

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αριθμ. Πρωτοκ. 117
Ημερομηνία 22-3-2006

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και
Αγροτικού Περιβάλλοντος**

**Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου
Περιβάλλοντος**

**«Επίδραση του συστήματος θέρμανσης στις
κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας σε θερμοκήπιο
με καλλιέργεια τομάτας»**

Πτυχιακή Διατριβή

Νικολακάκης Μιχάλης

Επιβλέπων

Καθηγητής Κωνσταντίνος Κίττας

Νέα Ιωνία, 2006

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

Αριθ. Εισ.: 4922/1
Ημερ. Εισ.: 15-09-2006
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιδετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ
2006
ΝΙΚ



**«Επίδραση του συστήματος θέρμανσης στις κατανομές
θερμοκρασίας και υγρασίας σε θερμοκήπιο με καλλιέργεια
τομάτας»**

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

1. Κ. Κίττας, Καθηγητής

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών

2. Θ. Γέμπτος, Καθηγητής

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας

3. Ι. Χα, Επίκουρος Καθηγητής

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Εργαστήριο Κηπευτικών Καλλιεργειών

Νικολακάκης Μιχάλης

**«Επίδραση του συστήματος θέρμανσης στις κατανομές
θερμοκρασίας και υγρασίας σε θερμοκήπιο με καλλιέργεια
τομάτας»**

Περίληψη

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής ήταν η επίδραση του συστήματος θέρμανσης στις κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας στο εσωτερικό θερμοκηπίου με καλλιέργεια τομάτας. Εξετάστηκε η επίδραση της συνδυασμένης χρήσης των επιδαπέδιων σωλήνων ζεστού νερού και του αερόθερμου. Τη περίοδο όπου η θέρμανση στο εσωτερικό του θερμοκηπίου προερχόταν μόνο από τους επιδαπέδιους σωλήνες η υψηλότερη τιμή θερμοκρασίας παρατηρήθηκε στη βάση του θερμοκηπίου σε ύψος 0.50 m από το έδαφος ενώ η χαμηλότερη στη κορυφή του θερμοκηπίου (3.60 m). Κατά τη διάρκεια της ίδιας μεταχείρισης, η υψηλότερη τιμή της σχετικής υγρασίας εμφανίστηκε στη κορυφή του θερμοκηπίου και η μικρότερη σε ύψος 0.50 m από το έδαφος. Τη περίοδο όπου η θέρμανση προερχόταν από τη συνδυασμένη χρήση αερόθερμου και επιδαπέδιων σωλήνων, η υψηλότερη τιμή θερμοκρασίας εμφανίστηκε στη βάση του θερμοκηπίου και η χαμηλότερη στη κορυφή του, ενώ η σχετική υγρασία ήταν υψηλότερη στη κορυφή και μικρότερη στη βάση του θερμοκηπίου. Η περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία κοντά στη καλλιέργεια ήταν μεγαλύτερη τη περίοδο λειτουργίας του συνδυασμένου συστήματος, αφού το μικροκλίμα πάνω από τη περιοχή της καλλιέργειας, λόγω του θερμού ρεύματος αέρα από το αερόθερμο ήταν τελείως διαφορετικό. Έτσι, η χρήση του συνδυασμένου συστήματος είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του καλύμματος της οροφής, αλλά και τη μείωση της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου του αέρα, οδηγώντας έτσι σε μικρότερο ρυθμό υγροποιήσεων στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος της οροφής. Τέλος, η κατανάλωση ενέργειας με τη χρησιμοποίηση του συνδυασμένου συστήματος είναι 16 % μεγαλύτερη σε σχέση με τη κατανάλωση ενέργειας όταν η θέρμανση προέρχεται μόνο από τους επιδαπέδιους σωλήνες.

Πρόλογος και Ευχαριστίες

Είναι ίσως δύσκολο να εκφράσει κανείς τις ευχαριστίες του με λίγα λόγια σε ανθρώπους που τον βοήθησαν, τον παρότρυναν και του συμπαρασταθήκαν κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της πτυχιακής διατριβής.

Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα της εν λόγω διατριβής, τον κ. Κωνσταντίνο Κίττα, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το παρόν θέμα, αλλά και για την αμέριστη επιστημονική και ηθική υποστήριξή του καθόλη τη διάρκεια της διατριβής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζονται και στα άλλα δυο μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, κ. Θεοφάνη Γέμπτο, Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και τον κ. Ιμπραήμ Χα, Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου Κηπευτικών Καλλιεργειών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Οι υποδείξεις, οι επισημάνσεις και οι διορθώσεις τους συνέβαλαν σημαντικά στην οργάνωση, στη βελτίωση και στην τελική διαμόρφωση της διατριβής.

Επίσης ευχαριστώ ιδιαίτερα τον Δρ. Θωμά Μπαρτζάνα, για τη βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του πειράματος αλλά και κατά τη συγγραφή της διατριβής, καθώς και για την επιστημονική καθοδήγηση που μου προσέφερε.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου για την ηθική και υλική τους υποστήριξη καθώς και για την αμέριστη συμπαράστασή τους καθόλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Στους γονείς μου,

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1	Γενική Εισαγωγή	7
1.1	Γενικά.....	7
1.1.1	Χρησιμότητα θερμοκηπίου.....	9
1.1.2	Παγκόσμια κατανομή θερμοκηπιακών εκτάσεων	10
1.1.3	Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα.....	10
1.1.4	Προβλήματα των ελληνικών θερμοκηπίων.....	12
1.2	Βέλτιστος έλεγχος θερμοκρασίας.....	13
1.2.1	Κεντρικό σύστημα θέρμανσης με κυκλοφορία ζεστού νερού σε σωλήνες.....	13
1.2.1.1	Υψηλή εγκατάσταση των σωλήνων θέρμανσης.....	15
1.2.1.2	Εγκατάσταση των σωλήνων θέρμανσης στους πλευρικούς τοίχους του θερμοκηπίου.	15
1.2.1.3	Εγκατάσταση των σωλήνων θέρμανσης κάτω από τα τραπέζια.....	16
1.2.1.4	Χαμηλή εγκατάσταση των σωλήνων θέρμανσης (θέρμανση βλάστησης).....	17
1.2.2	Σύστημα θέρμανσης με αερόθερμα.....	19
1.2.3	Θέρμανση εδάφους.....	21
1.3	Τύποι θερμοκηπίων σε σχέση με τη θέρμανση.....	22
1.4	Αντικείμενο και δομή της εργασίας.....	25
Κεφαλαίο 2	Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	26
2.1	Γενικά.....	27
Κεφαλαίο 3	Υλικά και Μέθοδοι.....	33
3.1	Το θερμοκήπιο.....	34
3.2	Καλλιέργεια.....	35
3.3	Θέρμανση.....	36
3.4	Μετρήσεις.....	37

3.4.1	Μετρήσεις στο εξωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου.....	37
3.4.2	Μετρήσεις στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.....	38
Κεφάλαιο 4	Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	41
4.1	Εισαγωγή.....	42
4.2	Εφαρμογή επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμων.....	42
4.2.1	Μεταβολή θερμοκρασίας και υγρασίας καθ' ύψος, στο κέντρο του θερμοκηπίου.....	42
4.2.2	Μεταβολή θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου....	46
4.3	Εφαρμογή επιδαπέδιας θέρμανσης.....	49
4.3.1	Μεταβολή θερμοκρασίας και υγρασίας καθ' ύψος, στο κέντρο του θερμοκηπίου.....	49
4.3.2	Μεταβολή θερμοκρασίας –υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου.....	52
4.4	Εφαρμογή αερόθερμων.....	55
4.4.1	Μεταβολή θερμοκρασίας και υγρασίας καθ' ύψος, στο κέντρο του θερμοκηπίου.....	55
Κεφάλαιο 5	Συζήτηση.....	58
5.1	Εισαγωγή.....	59
5.2	Συμπεράσματα.....	64
Βιβλιογραφία.....		66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

1.1.1 Χρησιμότητα θερμοκηπίου

Θερμοκήπιο είναι μια κατασκευή η οποία καλύπτεται με διαφανές υλικό. Έχει τέτοιο ύψος ικανό ώστε να εργάζεται ο άνθρωπος μέσα σε αυτό. Σκοπός της χρησιμοποίησης των θερμοκηπίων στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων είναι η τροποποίηση ή η ρύθμιση πολλών από τους παράγοντες του περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Με το θερμοκήπιο μπορούμε να επιτύχουμε :

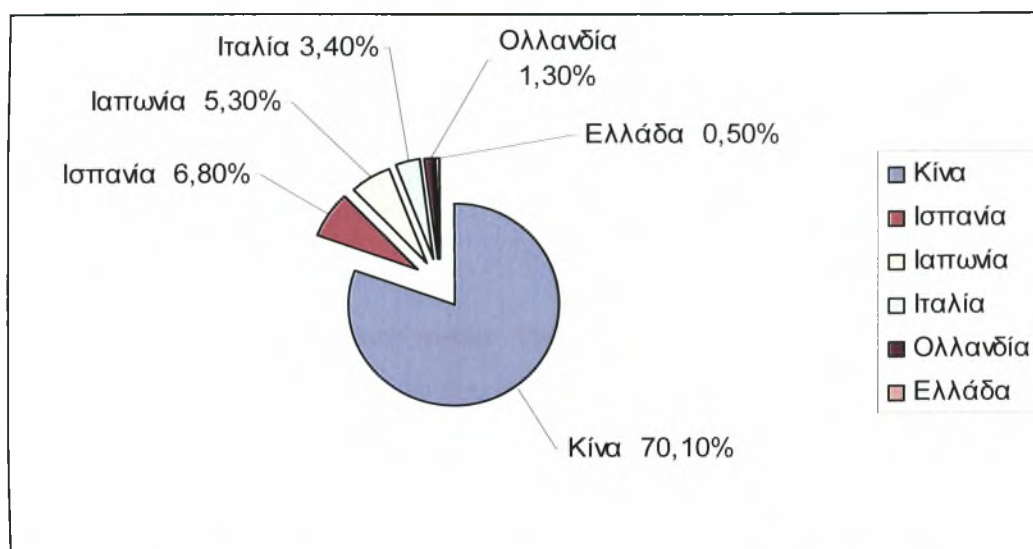
- Αποφυγή ζημιών από αέρα, βροχή, χιόνι και χαλάζι.
- Ανάλογα με τον εξοπλισμό του, δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης παραγόντων του περιβάλλοντος της κόμης των φυτών π.χ. θερμοκρασία, υγρασία.
- Παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της ρίζας των φυτών π.χ. θερμοκρασία, υγρασία, οξυγόνου, θρεπτικών στοιχείων και του pH.
- Λόγω περιορισμένου χώρου και εξειδικευμένου εξοπλισμού παρέχεται η δυνατότητα αποτελεσματικής φυτοπροστασίας από ασθένειες και έντομα .

Στα θερμοκήπια όπου γίνεται ακριβής ρύθμιση των παραγόντων του περιβάλλοντος των φυτών, μπορεί να επιτευχθεί :

- Χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες του εξωτερικού χώρου.
- Αύξηση της παραγωγής και βελτίωση της ποιότητας, λόγω της βελτίωσης των συνθηκών που επικρατούν μέσα στο θερμοκήπιο.
- Παραγωγή προϊόντων με μικρό κόστος.

1.1.2 Παγκόσμια κατανομή θερμοκηπιακών εκτάσεων

Η παγκόσμια έκταση των θερμοκηπίων το 2001 ήταν 8.500.000 στρέμματα. Από αυτά τα 6.000.000 στρ. ή το 70.1% ήταν στην Κίνα, τα 575.000 στρ. ή το 6.8% ήταν στην Ισπανία, τα 450.000 στρ. ή το 5.3% ήταν στην Ιαπωνία, τα 285.000 στρ. ή το 3.4% ήταν στην Ιταλία, τα 110.000 στρ. ή το 1.3% στην Ολλανδία ενώ η Ελλάδα παρά τις άριστες εδαφοκλιματικές συνθήκες, με συνολική θερμοκηπιακή έκταση 43.500 στρ.(1999) κατέχει μόλις το 0.5% της παγκόσμιας έκτασης.

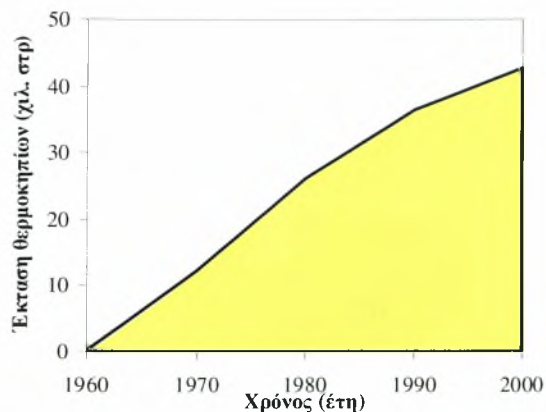


Σχήμα 1.1. Παγκόσμια κατανομή θερμοκηπίων το 2001 (Πηγή : ICAP)

1.1.3 Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις στην Ελλάδα

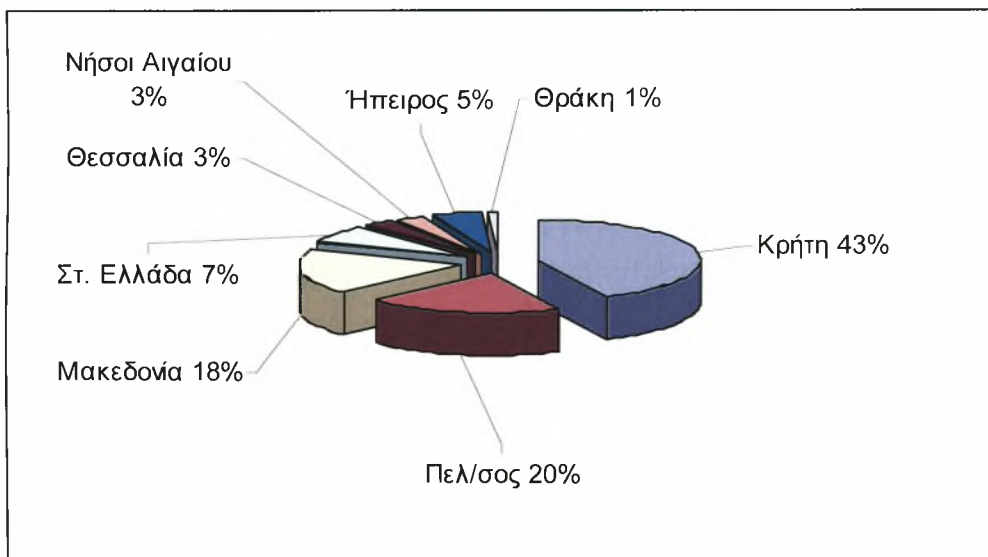
Στην Ελλάδα οι πρώτες συστηματικές εγκαταστάσεις θερμοκηπίων ξεκίνησαν το 1955 και εξαπλωθήκαν ραγδαία μετά το 1961 με τη χρησιμοποίηση του πολυαιθυλενίου ως υλικού κάλυψης. Από το 1982-1999 ο ετήσιος ρυθμός αύξησης των εκτάσεων των καλλιεργούμενων με κηπευτικά θερμοκηπίων ήταν 1.3%, φτάνοντας συνολικά το 1999 τα 43.500 στρέμματα, εκ των οποίων το 95.6% ήταν καλυμμένα με πλαστικό και μόλις το 4.2% ήταν υαλόφρακτα. Εν τούτοις, σε απόλυτα μεγέθη, οι θερμοκηπιακές εκτάσεις στην Ελλάδα δεν έχουν γνωρίσει την ανάπτυξη εκείνη που θα δικαιολογούσαν οι ευνοϊκοί παράγοντες που επικρατούν στη χώρα μας

για τις καλλιέργειες αυτές. Κατά συνέπεια, η χώρα μας υστερεί σημαντικά στον τομέα αυτό έναντι άλλων χωρών με παρόμοιες κλιματολογικές συνθήκες, όπως είναι η Ισπανία και η Ιταλία.



Σχήμα 1.2. Έκταση θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα από το 1960 έως το 2000 (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας).

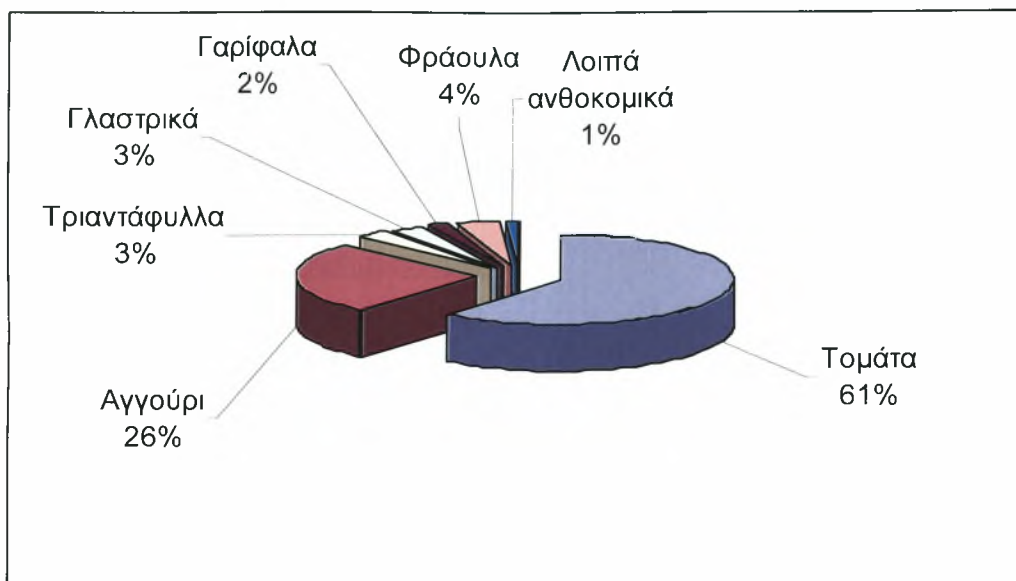
Το 65% των θερμοκηπίων αυτών είναι συγκεντρωμένα στην Κρήτη, στη Πελοπόννησο και στα νησιά του νοτίου Αιγαίου, δηλαδή σε περιοχές χωρίς χαμηλές θερμοκρασίες και έντονη ηλιοφάνεια (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3. Γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπίων στην Ελλάδα το 1999. (Πηγή : Υπουργείο Γεωργίας)

Τα κυριότερα είδη που καλλιεργούνται σε θερμοκήπιο, από τα λαχανοκομικά, είναι η τομάτα και το αγγούρι, ενώ από τα ανθοκομικά, τα τριαντάφυλλα και τα γαρύφαλλα. Το 79% της συνολικής έκτασης των θερμοκηπίων χρησιμοποιείται για τη

παραγωγή λαχανοκομικών προϊόντων, το 10 % για ανθοκομικά είδη και το υπόλοιπο 11% για φράουλα και λοιπά ανθοκομικά είδη (Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4. Ποσοστό εκτάσεων επί του συνόλου που καταλαμβάνουν διάφορες καλλιέργειες το 1999 (Πηγή : Υπουργείο Γεωργίας).

1.1.4 Προβλήματα των ελληνικών θερμοκηπίων

Η θέρμανση των θερμοκηπίων στη χώρα μας, καθώς επίσης και σε όλο τον μεσογειακό χώρο, παρουσιάζει μια ιδιομορφία, εξαιτίας των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν. Αυτή η ιδιομορφία συνιστάται στο ότι η χώρα μας έχει μεν ήπιο κλίμα κατά τη διάρκεια του χειμώνα, δεν είναι όμως τόσο ευνοϊκές οι θερμοκρασίες, ώστε να μπορούμε να παράγουμε ανθοκομικά ή και λαχανοκομικά προϊόντα καλής ποιότητας σε μη θερμαινόμενα θερμοκήπια. Το ήπιο κλίμα που επικρατεί στη χώρα μας το χειμώνα είναι μεν ένα μεγάλο πλεονέκτημα, γιατί χρειάζονται πολύ μικρότερες ποσότητες καυσίμων (περίπου το 1/5-1/6) για τη θέρμανση των θερμοκηπίων, σε σύγκριση με χώρες της Βόρειας Ευρώπης, δεν σημαίνει όμως ότι η θέρμανση δεν είναι απαραίτητη.

Επίσης, η πλειοψηφία των καλλιεργητών αγνοούν πόσες ποσότητες καυσίμων απαιτούνται περίπου στη διάρκεια ενός έτους, ώστε να μπορούν να υπολογίζουν τι επιπλέον κόστος θα έχουν να αντιμετωπίσουν ενώ δεν γνωρίζουν ακριβώς, ποιος

τύπος καυσίμων είναι ο πιο κατάλληλος και ο πιο οικονομικός για το θερμοκήπιο και τη περιοχή τους.

Ξεκινώντας από τη διαπίστωση ότι τα θερμοκήπια στη χώρα μας θα πρέπει να θερμαίνονται, γιατί μονό με αυτό το τρόπο θα μπορέσουμε να ανεβάσουμε τη ποιότητα των θερμοκηπιακών προϊόντων και συγχρόνως την παραγωγικότητα, μένει να ερευνήσουμε ποιο σύστημα θέρμανσης είναι το πιο κατάλληλο.

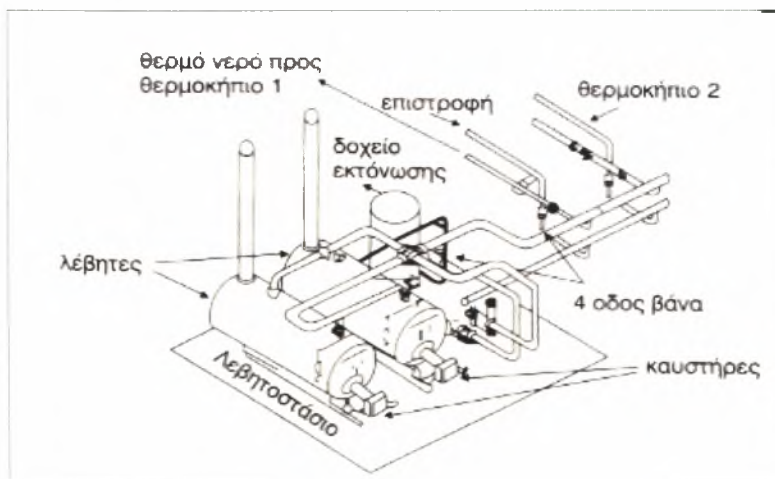
1.2 Βέλτιστος έλεγχος θερμοκρασίας

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας σε θερμοκήπια είναι πολύ καθοριστικός για την απόδοση της καλλιέργειας και τη ποιότητα των παραγομένων προϊόντων. Έτσι, στις περισσότερες περιπτώσεις, για να αυξηθεί η απόδοση και να βελτιωθεί η ποιότητα, είναι αναγκαίο να αυξηθεί η θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου, τουλάχιστον κατά τη διάρκεια της νύχτας, με ένα σύστημα θέρμανσης.

Για να γίνουν καλύτερα κατανοητά τα συστήματα θέρμανσης με τα οποία εξοπλίζονται τα θερμοκήπια, παρακάτω γίνεται αναφορά στα συνηθέστερα συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων.

1.2.1 Κεντρικό σύστημα θέρμανσης με κυκλοφορία ζεστού νερού σε σωλήνες

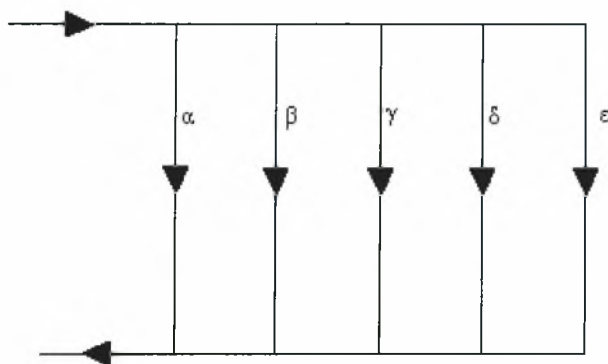
Αυτό το σύστημα θέρμανσης αποτελείται από το λέβητα, τον καυστήρα, τον κυκλοφορητή νερού, τις διαφορές βαλβίδες και από τους σωλήνες, στους οποίους κυκλοφορεί το ζεστό νερό (Σχήμα 1.5). Επίσης είναι απαραίτητο ένα λεβητοστάσιο και μια δεξαμενή καυσίμων.



Σχήμα 1.5. Λεβητοστάσιο

Στο λέβητα ελευθερώνεται η θερμική ενέργεια που περιέχουν τα καύσιμα, μέσω της καύσης, δηλαδή η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική. Για τη κυκλοφορία του νερού στις σωλήνες είναι απαραίτητη η αντλία, ενώ οι βαλβίδες χρησιμεύουν για την ομοιόμορφη κυκλοφορία του νερού στις σωλήνες, καθώς επίσης και για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του θερμοκήπιου. Για τη μεταφορά του νερού χρησιμοποιούνται σιδηροσωλήνες με διάμετρο 40-70 mm. Οι σωλήνες με το ζεστό νερό δίνουν θερμότητα στο θερμοκήπιο κατά 50% με αγωγή και 50% με ακτινοβολία.

Η διάταξη των σωλήνων μέσα στο θερμοκήπιο θα πρέπει να έχει την εξής διάταξη (σχήμα 1.6).



Σχήμα 1.6. Διάταξη που πρέπει να έχουν οι σωλήνες θέρμανσης μέσα στο θερμοκήπιο για καλύτερη κατανομή της θερμότητας.

Με αυτή τη διάταξη πετυχαίνουμε:

- Οι αποστάσεις που διανύει το νερό στους παραλλήλους σωλήνες (α, β, γ, δ, ε) να είναι ίδιες
- Να περνά από κάθε παράλληλο σωλήνα η ίδια ποσότητα νερού.

Με αυτό το τρόπο όλοι οι σωλήνες που είναι τοποθετημένοι στο θερμοκήπιο εκπέμπουν την ίδια ποσότητα θερμότητας με αποτέλεσμα να μην έχουμε διαφορετικές θερμοκρασίες στο θερμοκήπιο.

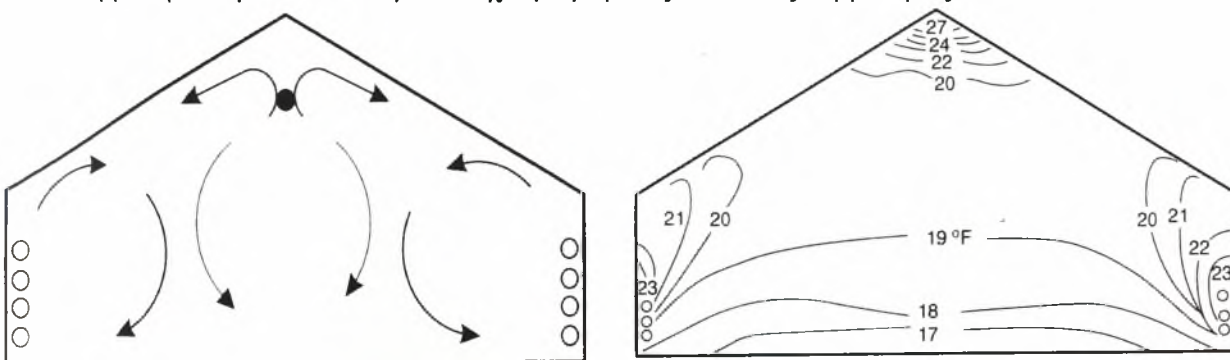
1.2.1.1 Υψηλή εγκατάσταση των σωλήνων θέρμανσης

Οι σωλήνες τοποθετούνται στο ύψος της υδρορροής, κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου. Σ' αυτή τη περίπτωση έχουμε συσσώρευση του ζεστού αέρα στην οροφή, ενώ στη περιοχή του θερμοκηπίου που βρίσκονται τα φυτά, συσσωρεύεται ο κρύος αέρας. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ οροφής και εδάφους εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και μπορεί να φτάσει τους 6-8 °C.

Το μεγάλο μειονέκτημα αυτού του συστήματος θέρμανσης είναι ότι θερμαίνουμε την οροφή του θερμοκηπίου και όχι το χώρο των φυτών. Επιπλέον δεν είναι δυνατή η ανακύκλωση του αέρα στο χώρο των φυτών, δεν γίνεται δηλαδή καλός αερισμός των φυτών.

1.2.1.2 Εγκατάσταση των σωλήνων θέρμανσης στους πλευρικούς τοίχους του θερμοκηπίου.

Η εγκατάσταση των σωλήνων θέρμανσης γίνεται κατά μήκος των πλευρικών τοιχωμάτων του θερμοκηπίου, σε κάθετη διάταξη (Σχήμα 1.7). Όπως και στο προηγούμενο σύστημα μεγάλο μέρος της θερμότητας ανακλάται στα τοιχώματα του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να έχουμε μεγάλες απώλειες θερμότητας.



Σχήμα 1.7. Κυκλοφορία του αέρα και κατανομή των θερμοκρασιών σε θερμοκήπιο θερμαινόμενο με σωλήνες ζεστού νερού κατά μήκος των πλευρών και με συμπληρωματικούς σωλήνες στο επάνω μέρος του κέντρου (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Γενικά τα δυο αυτά συστήματα θέρμανσης θεωρούνται ασύμφορα, για τους εξής λόγους :

- Καταναλώνουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας
- Η ανακύκλωση του αέρα και ιδιαίτερα στο χώρο που βρίσκονται τα φυτά είναι ανεπαρκής και τα φυτά δεν αερίζονται ικανοποιητικά, με αποτέλεσμα να υποφέρουν κάτω από υψηλή σχετική υγρασία του αέρα, κάτι που προκαλεί τις διάφορες ασθένειες και το σχηματισμό υγροποιήσεων του νερού στο κάλυμμα της οροφής του θερμοκηπίου.
- Όταν ο αερισμός είναι ανεπαρκής παρατηρείται έλλειψη του διοξειδίου του άνθρακα.
- Οι σωλήνες θέρμανσης ελατώνουν το φωτισμό του θερμοκηπίου.

1.2.1.3 Εγκατάσταση των σωλήνων θέρμανσης κάτω από τα τραπέζια.

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται κυρίως για τις ανθοκομικές μονάδες που καλλιεργούν γλάστρες πάνω σε τραπέζια (Σχήμα 1.8). Οι σωλήνες θέρμανσης τοποθετούνται κάτω από τα τραπέζια, πάνω στα οποία είναι τοποθετημένες οι γλάστρες. Ο αέρας θερμαίνεται από τους σωλήνες και μετά ανεβαίνει προς τα πάνω, θερμαίνοντας έτσι το υπόστρωμα, μέσα στο οποίο αναπτύσσεται η ρίζα του φυτού, καθώς επίσης και το υπέργειο μέρος του.



Σχήμα 1.8. Σωλήνες θέρμανσης κάτω από τα τραπέζια ανάπτυξης γλαστρικών φυτών.

Ο κάθετος καταμερισμός της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο είναι πολύ καλύτερος σε σχέση με τα δυο προηγούμενα συστήματα. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι ότι είναι πολύ πιο οικονομικό, περίπου 10-12 % σε σύγκριση με τα δυο προηγούμενα.

Μεγάλη προσοχή θα πρέπει να δίνεται κατά την εφαρμογή της θέρμανσης έτσι ώστε η θερμοκρασία του υποστρώματος να μην υπερβαίνει σε καμιά περίπτωση τις ιδανικές θερμοκρασίες που χρειάζεται κάθε φυτό για την ομαλή του ανάπτυξη. Η θερμοκρασία του υποστρώματος εξαρτάται από:

- Τον αριθμό των σωλήνων κάτω από τα τραπέζια.
- Την απόσταση των σωλήνων θέρμανσης από τα τραπέζια.
- Τη θερμοκρασία του νερού στους σωλήνες θέρμανσης.
- Την ποιότητα του δαπέδου των τραπεζιών.

1.2.1.4 Χαμηλή εγκατάσταση των σωλήνων θέρμανσης (θέρμανση βλάστησης)

Σαν θέρμανση βλάστησης χαρακτηρίζεται το σύστημα θέρμανσης που τοποθετείται στο χώρο που βρίσκονται τα φυτά και λειτουργεί με σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (Σχήμα 1.9).



Σχήμα 1.9. Σωλήνες κατανομής της θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου, τοποθετημένοι κατά μήκος της σειράς των στύλων (κλασικό σύστημα).

Οι σωλήνες θέρμανσης, οι οποίοι μπορεί να είναι και πλαστικοί από πολυαιθυλένιο ή από πολυπροπυλένιο, είναι τοποθετημένοι κοντά στο έδαφος και στους διαδρόμους του θερμοκηπίου, στο χώρο δηλαδή που αναπτύσσονται τα φυτά. Για καλύτερη παροχή της θερμότητας από τους σωλήνες θέρμανσης, οι σωλήνες δεν πρέπει να εφάπτονται με το έδαφος, αλλά να τοποθετούνται πάνω από αυτό, σε απόσταση 30-35 cm .



Σχήμα 1.10. Σωλήνες θέρμανσης τοποθετημένοι στο έδαφος που χρησιμοποιούνται και ως σιδηροτροχιά για την κίνηση του καροτσιού μεταφοράς προϊόντων και εφοδίων.

Με τη θέρμανση βλάστησης έχουμε αρκετά πλεονεκτήματα, όπως :

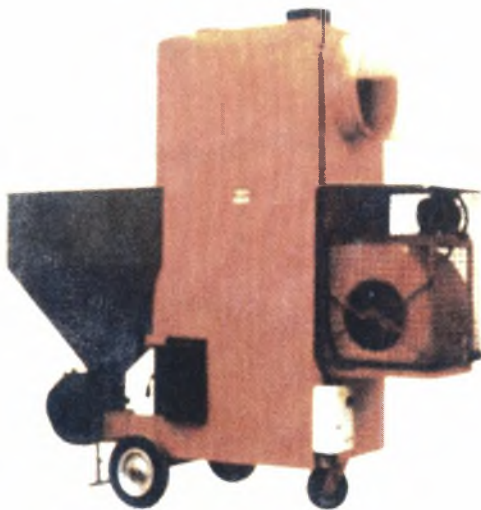
- Ομοιόμορφος κατακόρυφος καταμερισμός της θερμοκρασίας.
- Περιορισμένες απώλειες ενέργειας.
- Άριστη ανακύκλωση του αέρα με αποτέλεσμα ο αερισμός των φυτών να είναι ικανοποιητικός.
- Με τη θέρμανση βλάστησης μπορούμε να θερμάνουμε ταυτόχρονα το έδαφος, δηλαδή τις ρίζες του φυτού, και το υπέργειο μέρος του φυτού.

Τα μειονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι :

- Οι σωλήνες εμποδίζουν τις καλλιεργητικές φροντίδες, πρόβλημα που έχει κάπως ξεπεραστεί με τη χρήση πλαστικών σωλήνων οι οποίοι μπορούν να μαζεύονται μετά το τέλος της καλλιέργειας.
- Δεν μπορούμε να θερμάνουμε το νερό πάνω από 65 °C και γι' αυτό όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλές, το σύστημα αυτό δε μπορεί να θερμάνει ικανοποιητικά το θερμοκήπιο.

1.2.2 Σύστημα θέρμανσης με αερόθερμα

Το σύστημα θέρμανσης με αερόθερμα είναι πιο απλό και έχει χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης από το σύστημα θέρμανσης με κυκλοφορία ζεστού νερού σε σωλήνες (Σχήμα 1.11). Με το σύστημα αυτό παρέχεται το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας με αγωγή και ένα πολύ μικρό μέρος με ακτινοβολία



Σχήμα 1.11. Αερόθερμο στερεών καυσίμων.

Το αερόθερμο αποτελείται από ένα εναλλάκτη θερμότητας και ένα ανεμιστήρα. Ο ανεμιστήρας απορροφά τον κρύο αέρα από το χώρο του θερμοκηπίου, τον περνά από τον εναλλάκτη θερμότητας, εκεί ο αέρας θερμαίνεται και στη συνέχεια κατευθύνεται προς το χώρο που βρίσκονται τα φυτά. Η θερμοκρασία του αέρα που

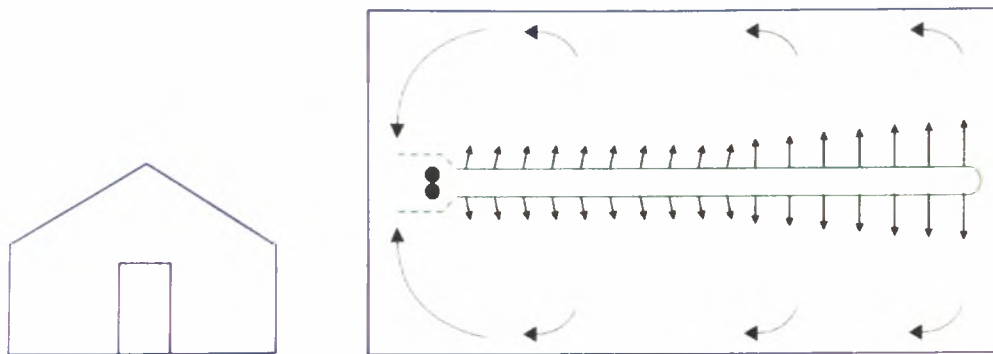
βγαίνει από το αερόθερμο πρέπει να κυμαίνεται από 35-45 °C , έτσι ώστε όταν στέλνεται πάνω στα φυτά να μην τους προκαλεί ζημιές.

Για να υπάρχει αποτελεσματική θέρμανση και καλή ανακύκλωση του αέρα στο θερμοκήπιο, θα πρέπει να περνά ο αέρας του θερμοκηπίου 7 φορές την ώρα από το αερόθερμο. Η ταχύτητα του αέρα που βγαίνει από το αερόθερμο είναι περιορισμένη και κυμαίνεται από 5 έως 20 m/s. Αν η ταχύτητα του αέρα είναι χαμηλή τότε ο ζεστός αέρας δε φτάνει σε όλο το χώρο που βρίσκονται τα φυτά, με αποτέλεσμα να μην έχουμε καλή κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο.

Για καλύτερη κατανομή του ζεστού αέρα στο θερμοκήπιο μπορούν να χρησιμοποιηθούν αερόθερμα που διανέμουν τον αέρα με τη βοήθεια διάτρητων πλαστικών αγωγών. Το σύστημα αυτό αποτελείται από το αερόθερμο και από ένα ή περισσότερους αγωγούς, με διάμετρο 60-120 εκ. οι οποίοι είτε κρέμονται από τη στέγη του θερμοκηπίου είτε βρίσκονται στο έδαφος. Για καλύτερη κατανομή της θερμότητας υπάρχουν οπές στους αγωγούς, με διάμετρο και αποστάσεις μεταξύ τους, που εξαρτώνται από την ισχύ του αερόθερμου (Σχήμα 1.12, 1.13).



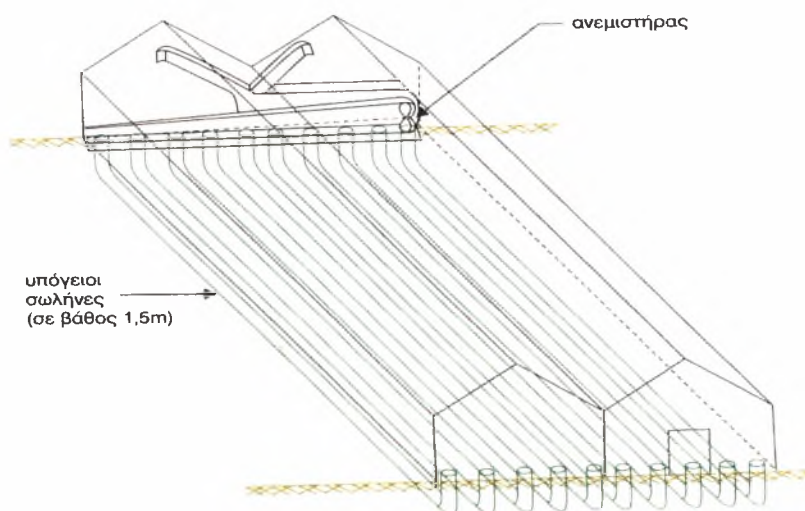
Σχήμα 1.12. Διαφανείς πλαστικοί αεραγωγοί κατανομής του αέρα του αερόθερμου στο χώρο του θερμοκηπίου.



Σχήμα 1.13. Κατανομή του αέρα μέσα σε ένα θερμοκήπιο από διάτρητο σωλήνα με οπές ίσης διαμέτρου, σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους.

1.2.3 Θέρμανση εδάφους

Για τη θέρμανση του εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν σιδεροσωλήνες ή σωλήνες από πλαστικό (PVC, πολυαιθυλένιο), που τοποθετούνται μέσα στο έδαφος, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το ζεστό νερό (Σχήμα 1.14).



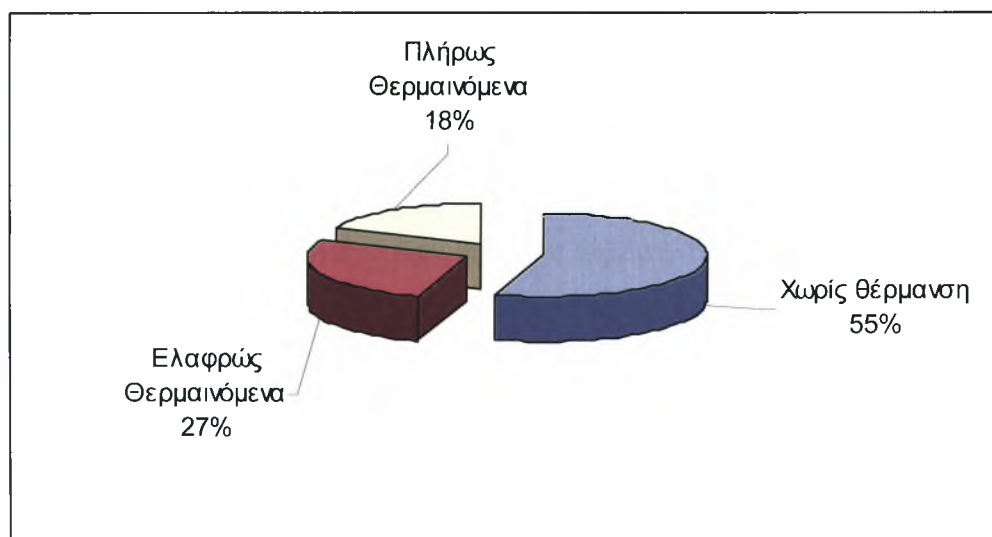
Σχήμα 1.14. Θέρμανση θερμοκηπίου με μεταλλάκτη θερμότητας εδάφους – αέρα.

Οι σωλήνες τοποθετούνται σε βάθος περίπου 50 εκ., έτσι ώστε να μην εμποδίζουν την καλλιέργεια του εδάφους. Η θερμοκρασία του νερού εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους και από την επιθυμητή θερμοκρασία του ριζικού συστήματος του φυτού και κυμαίνεται από 30 έως και 60 °C.

Με τη θέρμανση του εδάφους δε θερμαίνεται σημαντικά ο αέρας του θερμοκηπίου, δηλαδή το υπέργειο μέρος του φυτού, με αποτέλεσμα αυτό το σύστημα θέρμανσης να μη μπορεί να υποκαταστήσει τα διάφορα θερμικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του θερμοκηπίου. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η θέρμανση του εδάφους είναι συμπληρωματική και όχι η βασική που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο θερμοκήπιο.

1.3 Τύποι θερμοκηπίων σε σχέση με τη θέρμανση

Τα θερμοκήπια με βάση τη θέρμανση που διαθέτουν χωρίζονται σε μη θερμαινόμενα, ελαφρώς θερμαινόμενα και πλήρως θερμαινόμενα. (Σχήμα 1.15)



Σχήμα 1.15. Ποσοστιαία κατανομή θερμοκηπίων σε σχέση με τον τρόπο θέρμανσης (Πηγή : Υπουργείο Γεωργίας, 1998).

Μη θερμαινόμενα είναι τα περισσότερα θερμοκήπια της νοτίου Ελλάδος, δηλαδή σε περιοχές χωρίς χαμηλές θερμοκρασίες και έντονη ηλιοφάνεια (Σχήμα 1.16), τα οποία δε χρησιμοποιούν κανένα σύστημα θέρμανσης.



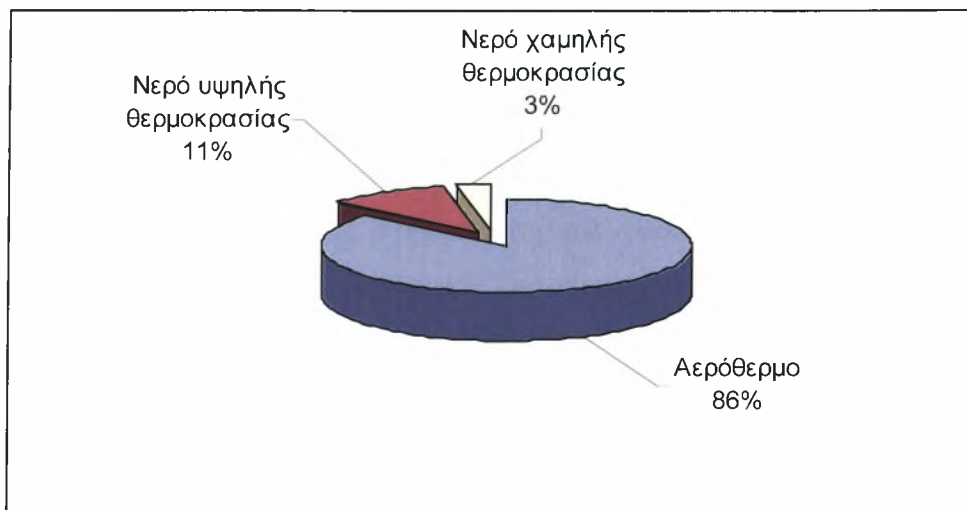
Σχήμα 1.16. Ισόθερμες Ιανουαρίου στο χώρο της Ελλάδος.

Η τιμή της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο εξαρτάται από τη ποσότητα της ηλιακής ενεργείας που δέχεται στο εσωτερικό του, καθώς και από τη τιμή της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα. Επίσης ένα μέρος της ακτινοβολίας που φτάνει στο έδαφος απορροφάται από αυτό, το έδαφος θερμαίνεται και μέρος της θερμότητας αποδίδεται κατά τη διάρκεια της νύχτας. Το ποσοστό όμως αυτό κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι πολύ μικρό.

Στα ελαφρώς θερμαινόμενα θερμοκήπια η τεχνητή θέρμανση χρησιμοποιείται για να προστατεύσει συνήθως τη καλλιέργεια από το παγετό αλλά και να διατηρήσει τη θερμοκρασία του χώρου σε ένα επίπεδο που να περιορίσει τη συμπύκνωση της υγρασίας πάνω στα φυτά. Τα θερμοκήπια αυτά δεν εξοπλίζονται με πολυσύνθετο και ακριβό σύστημα θέρμανσης. Ένα απλό αερόθερμο σχετικά μικρής ισχύος συνήθως είναι αρκετό.

Τα πλήρως θερμαινόμενα θερμοκήπια έχουν πιο σύνθετο και περισσότερο ακριβό σύστημα θέρμανσης, που επιτρέπει τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του χώρου στο άριστο επίπεδο. Συνήθως χρησιμοποιείται κεντρική θέρμανση με ζεστό νερό ή αερόθερμα κατάλληλης ισχύος, που συνήθως συνοδεύονται με αεραγωγό για ομοιόμορφη κατανομή του ζεστού αέρα.

Από τα θερμαινόμενα θερμοκήπια στο 86 % χρησιμοποιείται για την κατανομή της θερμοκρασίας το αερόθερμο, στο 11 % χρησιμοποιείται το κεντρικό σύστημα θέρμανσης με νερό 85 °C που κυκλοφορεί σε μεταλλικούς σωλήνες και στο 3 % χρησιμοποιείται το κεντρικό σύστημα θέρμανσης με ζεστό νερό 45 °C που κυκλοφορεί σε πλαστικούς σωλήνες (Σχήμα 1.17).



Σχήμα 1.17. Ποσοστιαία σχηματική παράσταση των διαφόρων συστημάτων θέρμανσης που χρησιμοποιούνται στα θερμαινόμενα θερμοκήπια.

1.4 Αντικείμενο και δομή της εργασίας

Στην εργασία αυτή γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης της επίδρασης του συστήματος θέρμανσης στις κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας σε θερμοκήπιο με καλλιέργεια τομάτας αλλά και στη δημιουργία υγροποιήσεων στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος του θερμοκηπίου.

Μετά τη γενική εισαγωγή που προηγήθηκε, στη συνέχεια γίνεται στο *Κεφάλαιο 2* η βιβλιογραφική ανασκόπηση. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στην επίδραση της θερμοκρασίας και της υγρασίας στην αύξηση και ανάπτυξη των θερμοκηπιακών καλλιεργειών καθώς και στις φυσιολογικές λειτουργίες της καλλιέργειας. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στην ανάπτυξη ασθενειών που οφείλονται στην υψηλή υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Κατόπιν, ακολουθεί το πειραματικό μέρος της εργασίας όπου στο *Κεφάλαιο 3* παρουσιάζεται ο πειραματικός εξοπλισμός και οι πειραματικές διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα εργασία και γίνεται περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, προκειμένου να μελετηθούν οι κατακόρυφες και οριζόντιες μεταβολές της θερμοκρασίας και της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Στη συνέχεια στο *Κεφάλαιο 4* γίνεται η παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων. Ακολουθεί, στο *Κεφάλαιο 5*, η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του κάθε συστήματος τόσο ενεργειακά όσο και με βάση το επιθυμητό αποτέλεσμα, που είναι η μείωση της υγρασίας, καθώς και τα συμπεράσματα αυτής της διατριβής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Γενικά

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες γνώρισαν σημαντική εξάπλωση στη περιοχή της Μεσογείου κατά τη διάρκεια των δυο τελευταίων δεκαετιών. Οι ενεργειακές καταναλώσεις των θερμοκηπίων, μειωθήκαν αισθητά με την υιοθέτηση τεχνολογιών που περιορίζουν τις ενεργειακές απώλειες.

Οι τεχνολογίες αυτές μπορεί να οδήγησαν σε μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής, κυρίως μέσω της μείωσης του κόστους θέρμανσης, κατέστησαν όμως τον έλεγχο του θερμοκηπιακού μικροκλίματος δυσκολότερο. Έτσι δεν ήταν πλέον εφικτό να ρυθμιστεί το εσωτερικό περιβάλλον με απλές πρακτικές. Για το λόγο αυτό πολλές μελέτες έχουν γίνει μέχρι σήμερα από ερευνητές, για το βέλτιστο έλεγχο της θερμοκρασίας μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου.

Η παρουσία ενός πλαστικού, συνήθως, καλύμματος, χαρακτηριστική σε κάθε θερμοκήπιο, προκαλεί αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό των θερμοκηπίων σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον. Η ακτινοβολία και η ταχύτητα του αέρα μειώνονται, η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα αυξάνονται και οι διακυμάνσεις των υγροποιήσεων των υδρατμών και της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) είναι πολύ πιο έντονες. Καθεμιά από αυτές τις αλλαγές έχει τη δικιά της επίδραση στην αύξηση, την παραγωγή και την ποιότητα της θερμοκηπιακής καλλιέργειας (Bakker, 1995). Στόχος του ελέγχου του περιβάλλοντος μέσα στο θερμοκήπιο είναι η βελτιστοποίηση της παραγωγής της καλλιέργειας. Οι περισσότερες ενέργειες ελέγχου που πραγματοποιούνται στο θερμοκήπιο αφορούν τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα, οι μετρήσεις των οποίων πραγματοποιούνται σε αντιπροσωπευτικό ύψος, σε σταθερά σημεία ή σε σημεία κοντά στη καλλιέργεια (Gieling and Schurer, 1995).

Η ταχύτητα ανάπτυξης σε πολλές καλλιέργειες, πέρα από ένα ευρύ φάσμα των θερμοκρασιών, έχει γραμμική σχέση με τη θερμοκρασία. Συνεπώς η τοπική θέρμανση της καλλιέργειας χρησιμοποιείται για να ενισχύσει την ανάπτυξή της (De Koning, 1994; Karlsson *et al.*, 1991). Μικρές θερμοκρασιακές διαφορές επηρεάζουν το χρόνο της αρχικής άνθισης σε φυτά τομάτας (Sausser *et al.*, 1998). Η παρουσία ανεξάρτητων ελεγχόμενων συστημάτων θέρμανσης επιτρέπουν τη τοπική θέρμανση της καλλιέργειας επηρεάζοντας την ανάπτυξη μεμονωμένων οργάνων των φυτών (Marcelis and de Koning, 1994, de Koning, 1994). Αν και για τη θέρμανση των

θερμοκηπίων προτιμώνται συστήματα θέρμανσης κοντά στο σημείο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Αυτό οδηγεί, γενικά, σε μια αύξηση της ενεργειακής απώλειας από το θερμοκήπιο λόγω της αυξανόμενης θερμικής ανταλλαγής με ακτινοβολία μεταξύ του συστήματος θέρμανσης και της οροφής του θερμοκηπίου (Bot and Van de Braak, 1995).

Μεγάλη σημασία στη κατανομή της θερμότητας έχει η θέση που βρίσκονται οι σωλήνες θέρμανσης. Στη περίπτωση όπου οι σωλήνες θέρμανσης είναι τοποθετημένοι κάτω από την κορυφή της καλλιέργειας τομάτας, η θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου πάνω από τα φυτά είναι χαμηλότερη απ' ό,τι μέσα σε αυτά (Winspear, 1978, Yang, 1995). Οι F.L.K. Kempkes και N.J. van de Braak (2000) μετά από μετρήσεις της κατακόρυφης κατανομής θερμοκρασίας και υγρασίας σε καλλιέργεια χρυσάνθεμου διαπίστωσαν ότι όταν η θέρμανση προέρχεται από σημεία κοντά στο έδαφος, η θερμοκρασία πάνω από τη καλλιέργεια μειωνόταν κατά 1.5 °C. Επίσης η ταχύτητα του αέρα κάτω από τους σωλήνες θέρμανσης είναι πολύ μικρή, περίπου 0.05 m/s, με συνέπεια τη μικρή ανάμειξη του αέρα, ενώ πάνω από αυτούς η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται φτάνοντας τα 0.15 m/s με αποτέλεσμα να έχουμε έντονη ανάμειξη του αέρα (Van Holsteijn and Kempkes, 1992, Stanghellini, 1987, and De Zwart, 1996).

Οι Fernandez και Bailey (1994) μελετώντας τρεις διαφορετικές κατανομές θερμοκρασίας, υγρασίας, ταχύτητας του αέρα και συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), διαπίστωσαν μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, στη περιοχή πάνω από την καλλιέργεια τομάτας. Επίσης παρατήρησαν ότι η παρουσία ψηλών φυτών είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση της ταχύτητας του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο.

Εκτός από τη θερμοκρασία, άλλος ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το μικροκλίμα του θερμοκηπίου και την απόδοση της καλλιέργειας, είναι και η υγρασία. Πολλοί ερευνητές (Monteith 1973, Stanghellini 1983, Yang *et al.* 1990, Κατσούλας 2002) έχουν αναφερθεί στη συσχέτιση της διαπνοής, μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας και της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο της καλλιέργειας. Η υγρασία του αέρα επηρεάζει, σε μικρότερο βαθμό αλλά εξίσου σημαντικά, τη διαπνοή μιας καλλιέργειας. Οι Lake *et al.* (1966) διαπίστωσαν πως ακόμη και η υγρασία του εξωτερικού αέρα επιδρά στη διαπνοή.

Ο Cockshull *et al.* (1987) μέτρησαν τη νυχτερινή διαπνοή σε καλλιέργεια τομάτας για δυο διαφορετικές περιεκτικότητες του αέρα σε υγρασία. Η διαπνοή της καλλιέργειας ήταν 3 mg m⁻² s⁻¹ σε πολύ υγρό περιβάλλον (95% σχετική υγρασία),

ενώ αυξανόταν περίπου στο διπλάσιο $5.4 \text{ mg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ σε πιο ξηρό περιβάλλον (61% σχετική υγρασία). Παρόμοια ήταν και τα αποτελέσματα του Van de Sanden (1985), σε καλλιέργεια αγγουριού.

Μεγάλη επίδραση παρουσιάζει η υγρασία και στη φωτοσύνθεση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Η επίδραση της υγρασίας στη φωτοσύνθεση είναι μάλλον έμμεση μέσω της επίδρασης που θα έχει η υγρασία στη στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας. Καθώς η σχετική υγρασία του αέρα μειώνεται, τα στόματα του φυτού προοδευτικά κλείνουν προσπαθώντας να περιορίσουν την υδατική καταπόνηση (stress). Καθώς τα στόματα είναι τα όργανα του φυτού μέσω των οποίων γίνονται οι ανταλλαγές νερού και διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) με την ατμόσφαιρα, η φωτοσυνθετική ικανότητα του φυτού μειώνεται. Η απόκριση των στομάτων στην υγρασία έχει παρατηρηθεί για τα περισσότερα καλλιεργήσιμα είδη (Kaufmann 1982, El-Sharkawy and Cock 1986, Schulze 1986, Munro 1989) και ο ρόλος τους στον έλεγχο ρυθμού της φωτοσύνθεσης έχει επιβεβαιωθεί για διάφορα καλλιεργήσιμα είδη, όπως τομάτες (Acock *et al.* 1976) και πιπεριές (Hall and Milthorpe 1978).

Οι Bakker (1991) απέδειξε πως η επίδραση της υγρασίας του αέρα στη φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών είναι περιορισμένη. Ο Bunce (1984) μελέτησε το ρυθμό φωτοσύνθεσης συναρτήσει του ελλείμματος κορεσμού και επίσης διαπίστωσε τη μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης με τη μείωση της περιεκτικότητας του αέρα σε υγρασία.

Από την άλλη πλευρά, ενδεχομένη μείωση του ελλείμματος κορεσμού του αέρα (αύξηση της σχετικής υγρασίας του αέρα) θα οδηγήσει σε αύξηση της στοματικής αγωγιμότητας, η οποία με τη σειρά της θα προκαλέσει αύξηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης. Ο Acock *et al.* (1976), μέτρησαν το ρυθμό φωτοσύνθεσης σε φυτά τομάτας σε διαφορές συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και επίπεδα υγρασίας. Χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο φωτοσύνθεσης έδειξαν ότι ο ρυθμός φωτοσύνθεσης ήταν 18 % μεγαλύτερος σε έλλειμμα κορεσμού 0.5 kPa απ' ότι σε 1 kPa.

Ένας άλλος παράγοντας που έχει σχέση με τη περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία, είναι οι συγκεντρώσεις κάποιων στοιχείων στο φυτό, με κυριότερο το ασβέστιο (Ca). Τη σχέση μεταξύ της τροφοπενίας του ασβεστίου (Ca) και της υψηλής υγρασίας μελέτησαν οι Ehret και Ho (1986), ενώ την ίδια σχέση διαπίστωσαν και οι Holder και Cockshull (1990).

Οι Bakker *et al.* (1987) μελετώντας την επίδραση των διαφορετικών συγκεντρώσεων υγρασίας τη μέρα και τη νύχτα, διαπιστώσαν ότι τα υψηλά επίπεδα υγρασίας οδηγούν σε τροφοπενίες ασβεστίου.

Η χαμηλή απορρόφηση και άλλων στοιχείων όπως K, N, Ca, P και Mg έχει παρατηρηθεί σε ένα σημαντικό αριθμό καλλιεργειών (φράουλα, μαρούλι, χρυσάνθεμα) με υψηλά επίπεδα υγρασίας (Aikman και Houter, 1990).

Ιδιαίτερης σημασίας είναι η επίδραση της υγρασίας στην αύξηση και ανάπτυξη μιας καλλιέργειας. Οι Gislerod και Nelson (1989), παρατήρησαν ότι ο συνδυασμός υψηλής σχετικής υγρασίας (τιμή ελλείμματος κορεσμού του αέρα 0.11 kPa) και υψηλών επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης και της φαλλικής επιφανείας.

Οι Holder και Cockshull (1990) μελέτησαν την επίδραση διαφορετικών επιπέδων υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε φυτά τομάτας. Βρήκαν ότι αν και η φυλλική επιφάνεια των φυτών μειωνόταν έως και 50% σε υψηλά επίπεδα υγρασίας, οι αποδόσεις δεν επηρεαζόταν περισσότερο από 31%. Επίσης δε βρήκαν καμία σημαντική επίδραση στην αύξηση των καρπών και στη διαδικασία γονιμοποίησης της γύρης.

Διαφορετικά επίπεδα υγρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας μελετηθήκαν από τους Bakker *et al.* (1987), οι οποίοι συμπεραίνουν ότι η βέλτιστη παραγωγή επιτυγχάνεται με υψηλά επίπεδα υγρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας και χαμηλά κατά τη διάρκεια της νύχτας. Το πιο αξιοσημείωτο αποτέλεσμα τους ήταν η μεγάλη εξάρτηση της συνολικής παραγωγής από τα επίπεδα της υγρασίας την ημέρα.

Η αυξημένη περιεκτικότητα του αέρα του θερμοκηπίου σε υγρασία είναι ένας από τους ευνοϊκότερους παράγοντες για την εξάπλωση μυκητολογικών ασθενειών. Η παρουσία αυξημένης υγρασίας προκαλεί συμπυκνώματα στην επιφάνεια των φύλλων και στο εσωτερικό του καλύμματος του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα οι μύκητες να βρίσκουν πρόσφορο έδαφος και να αναπτύσσονται ταχύτατα.

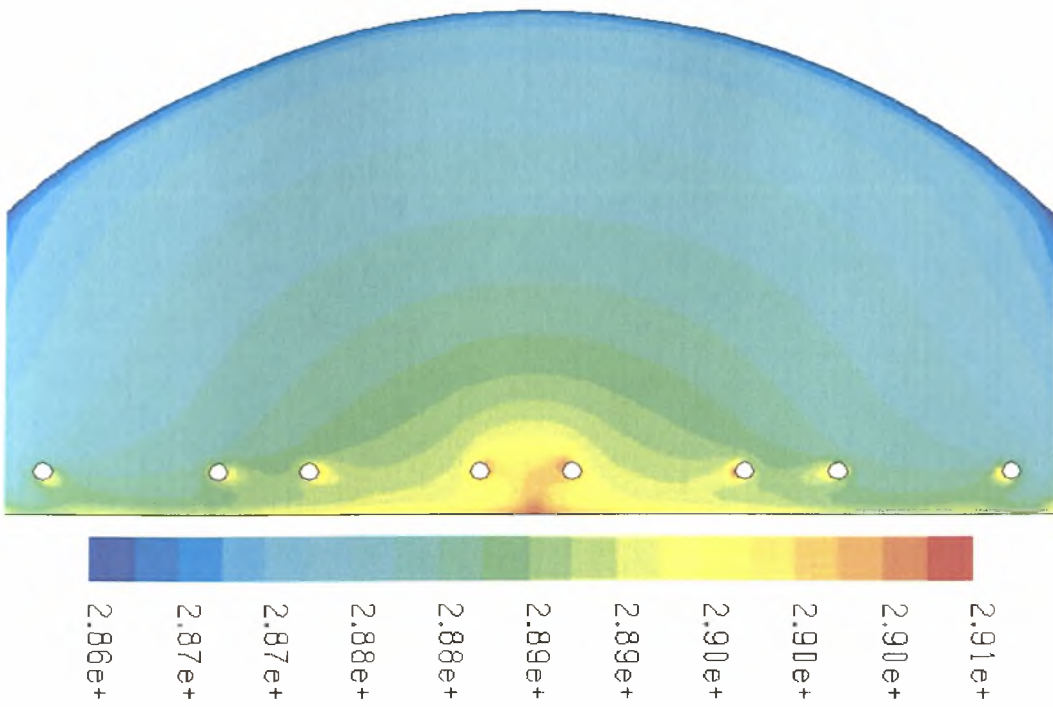
Οι πιο συνήθεις μυκητολογικές ασθένειες στο εσωτερικό των θερμοκηπίων είναι η φαϊά ή τεφρά σήψη (*Botrytis cinerea*) (Σχήμα 2.1), ο περονόσπορος (*Phytophthora infestans*), το ωίδιο (*Leveillula taurica* για την τομάτα) και η κλαδοσπορίωση (*Fulvia fulva* για την τομάτα).



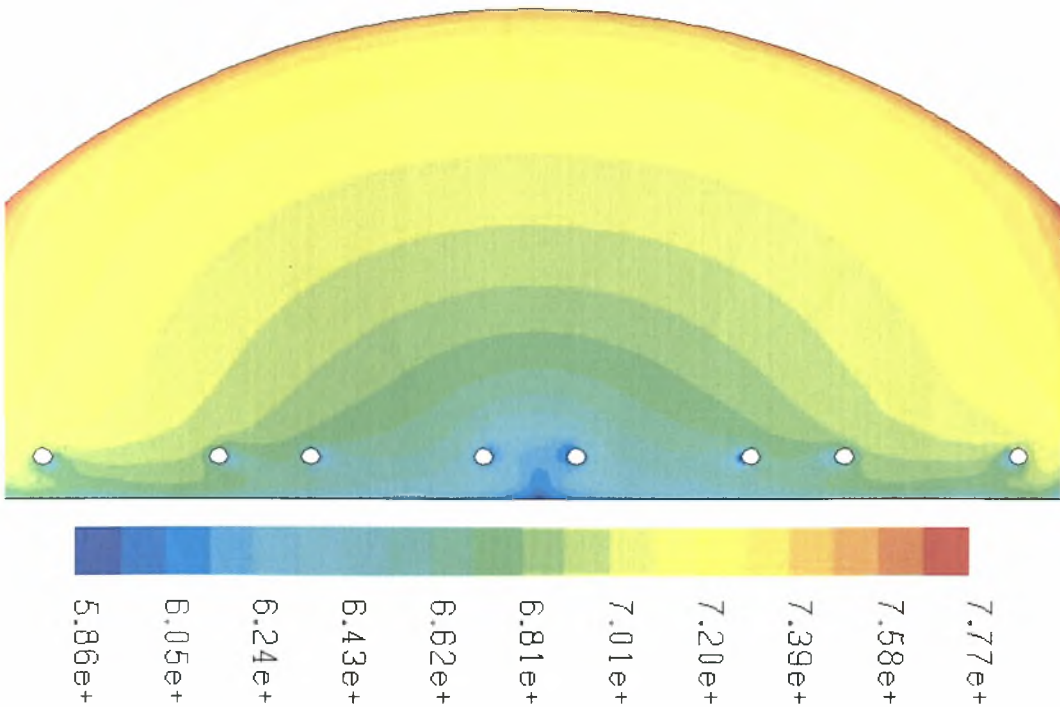
Σχήμα 2.1. Προσβολή διαφόρων μερών θερμοκηπιακών καλλιεργειών από το μύκητα *Botrytis cinerea*. Από αριστερά προς δεξιά: προσβολή σε φύλλο, σε μίσχο, σε άνθος και σε καρπό.

Είναι γνωστό πως ακόμη και σε ένα καλά σχεδιασμένο και μονωμένο θερμοκήπιο υπάρχουν θερμοκρασιακές μεταβολές στο εσωτερικό του, που φθάνουν τους 5 °C (Bloemhard *et al.* 1998). Εξάλλου η παρουσία ανεξάρτητων συστημάτων ρύθμισης του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου μπορεί να επηρεάσει «τοπικά» την αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας (Kempes & van de Braak, 2000). Η ταχύτητα του αέρα πάνω από το επίπεδο της καλλιέργειας είναι υψηλότερη από αυτή μέσα στη καλλιέργεια και ανάλογα με το είδος του αερισμού, η τιμή της ταχύτητας του αέρα πάνω από τη καλλιέργεια μπορεί να είναι και μια τάξη μεγέθους μεγαλύτερη. Η τιμή της θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα μεταβάλλεται και αυτή ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό (Σχήμα 2.2,2.3).

Οι κατακόρυφες διαβαθμίσεις της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό των θερμοκηπίων έχουν ήδη διερευνηθεί από αρκετούς ερευνητές (Winspear 1978, Aubinet and Deltour 1993, Yang 1995, Kempkes *et al.* 2000, Zhao *et al.* 2001, Bartzanas and Kittas 2002a, Kittas *et al.* 2003).



Σχήμα 2.2. Κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα σε τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο με καλλιέργεια τομάτας θερμαινόμενο με επιδαπέδιους σωλήνες τοποθετημένους στη βάση των φυτών (Μπαρτζάνας, 2004).



Σχήμα 2.3. Κατανομή της σχετικής υγρασίας του αέρα σε τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο με καλλιέργεια τομάτας θερμαινόμενο με επιδαπέδιους σωλήνες τοποθετημένους στη βάση των φυτών (Μπαρτζάνας, 2004).

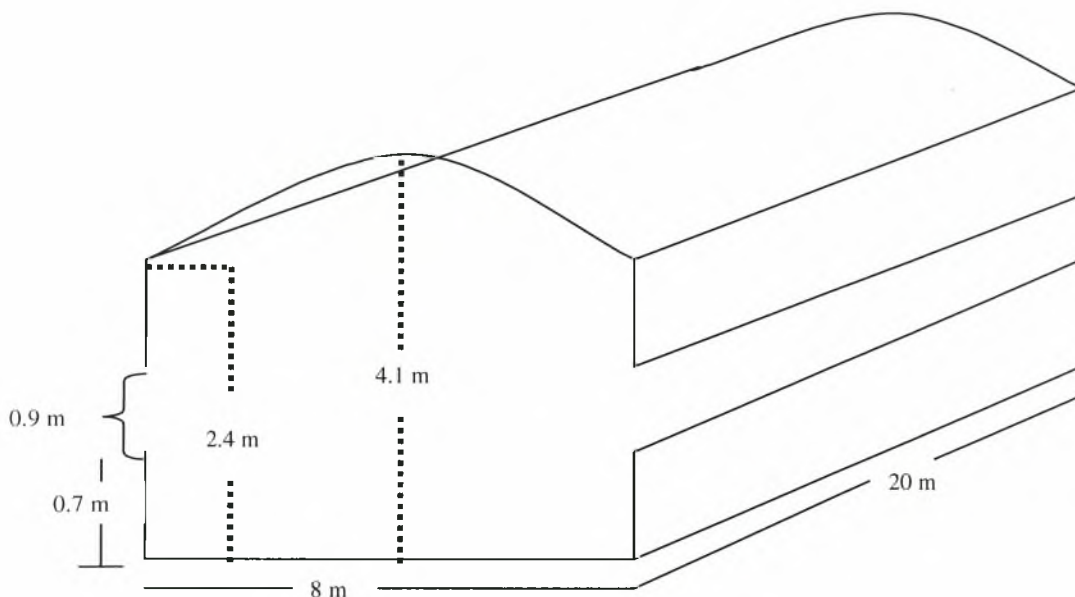
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Το θερμοκήπιο

Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιηθήκαν στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στη περιοχή του Βελεστίνου του Νομού Μαγνησίας. Το αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ} 44'$ και γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 79'$. Το υψόμετρο της περιοχής του Βελεστίνου είναι 85 m και απέχει 17 km από το Βόλο. Οι επικρατούντες άνεμοι της περιοχής έχουν κατεύθυνση είτε Νοτιοανατολικά προς Βορειοδυτικά είτε Βορειοδυτικά προς Νοτιοανατολικά .

Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε ένα τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο, προσανατολισμένο 36° δεξιόστροφα από τη διεύθυνση Βορράς-Νότος, με σκελετό από γαλβανισμένο χάλυβα και κάλυψη με απλό πολυαιθυλένιο (Σχήμα 3.1).



Σχήμα 3.1. Πειραματικό θερμοκήπιο.

Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν καλυμμένο με απλό πολυαιθυλένιο έτσι ώστε να αποτρέπεται η εμφάνιση ζιζανίων αλλά και η εξάτμιση από το έδαφος. Το θερμοκήπιο είχε μήκος 20 m και πλάτος 8 m, καταλαμβάνοντας συνολικά 160 m^2 . Το

ύψος του ορθοστάτη ήταν 2.4 m και το ύψος του κορφιά 4.1 m. Το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο με συνεχή πλαϊνά ανοίγματα αερισμού διαστάσεων 0.9 m x 15 m. Το ποσοστό των ανοιγμάτων αερισμού (ως προς το καλυμμένο έδαφος) ήταν 16.87 %.

3.2 Καλλιέργεια

Η καλλιέργεια ήταν υδροπονική καλλιέργεια τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη, με διαστάσεις κάθε σάκου περλίτη 1m και τοποθετημένοι σε απόσταση 0.5 m από την επιφάνεια του εδάφους (Σχήμα 3.2). Η καλλιέργεια είχε εγκατασταθεί σε δυο διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης 0.33 m επί της γραμμής και 0.75 m επί των γραμμών, δίνοντας κατά αυτόν τον τρόπο μια πυκνότητα φυτών 2.5φυτά / m εδάφους.



Σχήμα 3.2. Πειραματική καλλιέργεια τομάτας σε υπόστρωμα περλίτη.

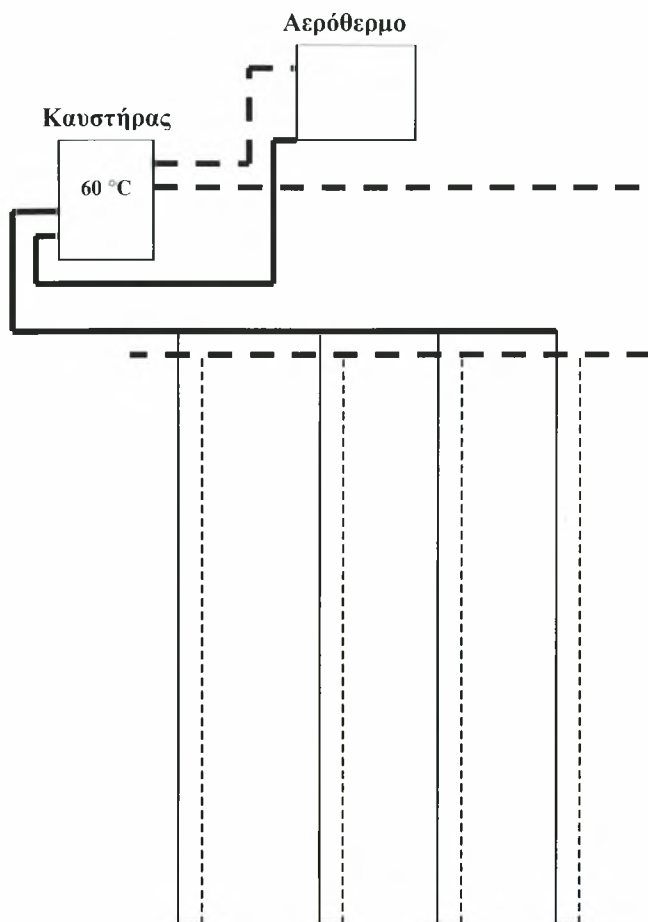
Η δόση και η συχνότητα άρδευσης καθώς και η ποιότητα του αρδευόμενου διαλύματος ελεγχόταν με ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου και αναμείξεως των διαλυμάτων μέσω Η/Υ. Το σύστημα ήταν εξοπλισμένο με μικροελεγκτή που

ρύθμιζε τις συγκεντρώσεις και τα χαρακτηριστικά του διαλύματος προτού αυτό να διοχετευτεί στα φυτά μέσω των σταλλακτών.

3.3 Θέρμανση

Η θέρμανση του θερμοκηπίου γινόταν από ένα δίκτυο σωληνώσεων ζεστού νερού ενώ συμπληρωματικά υπήρχε και ένα αξονικό αερόθερμο, τοποθετημένο σε απόσταση 2.5 m από το έδαφος του θερμοκηπίου και σε απόσταση 0.5 m από την είσοδό του. Το δίκτυο των σωλήνων ήταν τοποθετημένο σε απόσταση 10 cm από την επιφάνεια του εδάφους και αποτελούνταν από μια γραμμή προσαγωγής ζεστού νερού και μια γραμμή επιστροφής για κάθε σειρά της καλλιέργειας. Τόσο το αερόθερμο όσο και το σύστημα των επιδαπέδιων σωληνώσεων τροφοδοτούνταν με ζεστό νερό από τον ίδιο λεβητοκαυστήρα που ήταν τοποθετημένος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Ο λεβητοκαυστήρας, παραγωγής ζεστού νερού και ισχύος 175 W, χρησιμοποιούσε ως καύσιμο το πετρέλαιο. Η όλη διάταξη του συστήματος θέρμανσης παριστάνεται στο σχήμα 3.3.

Στο εσωτερικό του καυστήρα υπήρχε ένας κυκλοφορητής που ήλεγχε τη ροή του ζεστού νερού στο σύστημα θέρμανσης. Στην αρχή του συστήματος των επιδαπέδιων σωληνώσεων υπήρχε και δεύτερος κυκλοφορητής ο οποίος επιτάχυνε τη ροή του ζεστού νερού στις επιδαπέδιες σωληνώσεις, έτσι ώστε από το σύστημα μέσω της αύξησης της παροχής, να αυξηθεί η αποδιδόμενη ενέργεια στο περιβάλλον του θερμοκηπίου. Οι δυο κυκλοφορητές ήταν συνδεδεμένοι σε σειρά μεταξύ τους ενώ υπήρχε και δυνατότητα απενεργοποίησης του δεύτερου κυκλοφορητή μέσω ενός διακόπτη που παρεμβалλόταν ανάμεσά τους. Τόσο η λειτουργία των δυο κυκλοφορητών όσο και το αερόθερμο ελεγχόταν μέσω του κεντρικού ελεγκτή του κλίματος με βάση ένα αισθητήριο θερμοκρασίας-υγρασίας το οποίο ήταν τοποθετημένο στο μέσο του θερμοκηπίου και σε απόσταση 1.5 m από την επιφάνεια του εδάφους. Η επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα ήταν 21 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας και 15 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας.



Σχήμα 3.3. Σχηματική διάταξη του συστήματος θέρμανσης. Οι συνεχείς γραμμές αναπαριστούν την είσοδο του ζεστού νερού και οι συνεχόμενες την επιστροφή του.

3.4 Μετρήσεις

3.4.1 Μετρήσεις στο εξωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου

Στο εξωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου καταγραφόταν (Σχήμα 3.4) :

- Η θερμοκρασία και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα με αεριζόμενο ψυχρόμετρο τύπου Ashman. Το ψυχρόμετρο μετρούσε τις θερμοκρασίες υγρού και ξηρού θερμομέτρου από τις οποίες υπολογιζόταν και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα.
- Η ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) με πυρανόμετρα

- Η ταχύτητα του αέρα (m/s) με ανεμόμετρο κυπέλλων
- Η διεύθυνση του αέρα με ανεμοδείκτη



Σχήμα 3.4. Εξωτερικός μετεωρολογικός ιστός για την καταγραφή των εξωτερικών κλιματικών παραμέτρων.

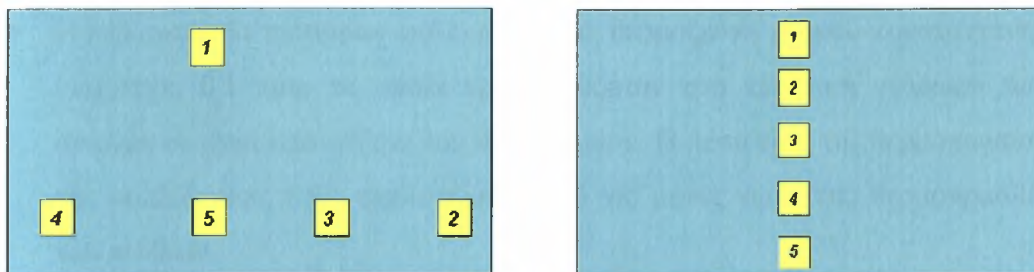
3.4.2 Μετρήσεις στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

Στο εσωτερικό του θερμοκηπίου καταγράφονται :

- Η θερμοκρασία (°C) και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα (kPa) με αεριζόμενο ψυχρόμετρο τύπου Assman.

Με σκοπό να διερευνηθούν οι οριζόντιες και κατακόρυφες διαβαθμίσεις θερμοκρασίας και της υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο χρησιμοποιήσαμε πέντε αισθητήρες μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας με ενσωματωμένο μικροεπεξεργαστή για την αποθήκευση των δεδομένων. Τα αισθητήρια

όργανα μέτρησης τοποθετήθηκαν σε δυο διαφορετικές διατάξεις, μια οριζόντια και μια κατακόρυφη (Σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4. Οριζόντια και κατακόρυφη διάταξη αισθητήριων οργάνων μέτρησης θερμοκρασίας και υγρασίας.

Στην οριζόντια διάταξη οι αισθητήρες Νο 2,3,4,5 τοποθετήθηκαν σε ύψος 50 cm από την επιφάνεια του εδάφους ενώ ο αισθητήρας Νο 1 σε ύψος 3.50 m. από το έδαφος του θερμοκηπίου και στο κέντρο αυτού.

Στη κατακόρυφη διάταξη οι αισθητήρες Νο 5,4,3,2 και 1 τοποθετήθηκαν σε ύψος 50 cm, 125 cm, 200 cm, 275 cm και 360 cm αντίστοιχα, από το έδαφος του θερμοκηπίου.

Πριν τη τοποθέτηση των αισθητήρων στη θέση που προσδιορίζονται στο σχήμα 3.4, τοποθετήθηκαν όλοι μαζί στο κέντρο του θερμοκηπίου για τρεις συνεχόμενες ημέρες και οι τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας που κατέγραψαν συγκρίθηκαν μεταξύ τους όσο και με τις τιμές που κατέγραφε το αεριζόμενο ψυχρόμετρο. Με το τρόπο αυτό διασφαλίστηκε ότι τυχόν μεταβολές στις τιμές θερμοκρασίας-υγρασίας θα οφείλονται στη διαφορετική θέση των αισθητήρων και όχι σε κάποιο σφάλμα του αισθητήρα.

Και στις δυο διατάξεις που εφαρμόσαμε επιλέξαμε διαφορετικούς τρόπους θέρμανσης με σκοπό να διαπιστώσουμε τις οριζόντιες και κατακόρυφες μεταβολές της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Έτσι χρησιμοποιήσαμε

- 1) μόνο αερόθερμα
- 2) μόνο επιδαπέδια θέρμανση και
- 3) συνδυασμό αερόθερμων και επιδαπέδιας θέρμανσης.

Οι μετρήσεις ξεκίνησαν στις 20 Δεκεμβρίου 2004 και ολοκληρώθηκαν στις 22 Μαρτίου 2005. Όλες οι μετρήσεις και τα διαγράμματα αναφέρονται στους μέσους

όρους των τιμών από τις 20:00 μ.μ. μέχρι τις 8:00 π.μ., χρονικό διάστημα κατά το οποίο η θέρμανση λειτουργούσε συνεχώς.

- Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) στο κέντρο του θερμοκηπίου με πυρανόμετρο.
- Η θερμοκρασία τεσσάρων φύλλων ($^{\circ}C$) με θερμοζεύγη χαλκού-κωνσταντάνης διαμέτρου 0.1 mm, τα οποία προσαρμοζόταν στη κεντρική νεύρωση των φύλλων σε φυτά στο κέντρο του θερμοκηπίου. Η μέση τιμή της θερμοκρασίας της καλλιέργειας ($^{\circ}C$) υπολογιζόταν από τις μέσες τιμές της θερμοκρασίας των φύλλων.
- Η θερμοκρασία της εσωτερικής επιφάνειας του καλύμματος της οροφής ($^{\circ}C$) με θερμοζεύγη χαλκού-κωνσταντάνης διαμέτρου 0.5 mm. Η θερμοκρασία του καλύμματος καταγραφόταν σε δυο σημεία στο κέντρο του θερμοκηπίου εκ των οποίων εξαγόταν ο μέσος ορός.
- Η παροχή ενεργείας από το αερόθερμο και τους επιδαπέδιους σωλήνες. Για κάθε ένα από τα δυο συστήματα θέρμανσης χρησιμοποιήθηκε ξεχωριστή διάταξη, έτσι ώστε να είναι εφικτή η μέτρηση της παρερχομένης ενεργείας χωριστά από τα δυο συστήματα, η οποία περιλάμβανε : ένα ροόμετρο τοποθετημένο στην είσοδο του ζεστού νερού και ένα ζεύγος αισθητήρων θερμοκρασίας τοποθετημένοι στην είσοδο του ζεστού νερού και στην έξοδο του νερού επιστροφής.

Για τη συλλογή, την αρχική επεξεργασία και τη καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων (DL 3000, Delta-T Devices, Cambridge, UK). Οι μετρήσεις που αφορούσαν τη θερμοκρασία των φύλλων της καλλιέργειας λαμβάνονταν κάθε ένα δευτερόλεπτο (1s) και καταγραφόταν η μέση τιμή τους κάθε ένα λεπτό (1m). Όλες οι υπόλοιπες μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε τριάντα δευτερόλεπτα (30s) και καταγραφόταν η μέση τους τιμή κάθε δέκα λεπτά (10m).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

4.1 Εισαγωγή

Η θέρμανση του πειραματικού θερμοκηπίου, όπως αναφέρθηκε στο κεφαλαίο 3, προερχόταν είτε από ένα δίκτυο επιδαπέδιων σωλήνων είτε από ένα αξονικό αερόθερμο είτε από το συνδυασμό των επιδαπέδιων σωλήνων και του αξονικού αερόθερμου. Προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, πρέπει να δώσουμε μια ποσότητα θερμότητας με τη χρήση κάποιου συστήματος θέρμανσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η ποσότητα αυτής της θερμότητας ήταν δυνατό να δοθεί στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μέσω κάποιου από τα προαναφερθέντα συστήματα. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των μεταβολών θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος και καθ' ύψος (στο κέντρο) του θερμοκηπίου στο εσωτερικό αυτού, όπως διαμορφωνόταν με τη χρήση των τριών διαφορετικών συνδυασμών θέρμανσης.

- Μόνο επιδαπέδια θέρμανση
- Μόνο αερόθερμα
- Συνδυασμό αερόθερμου και επιδαπέδιας θέρμανσης

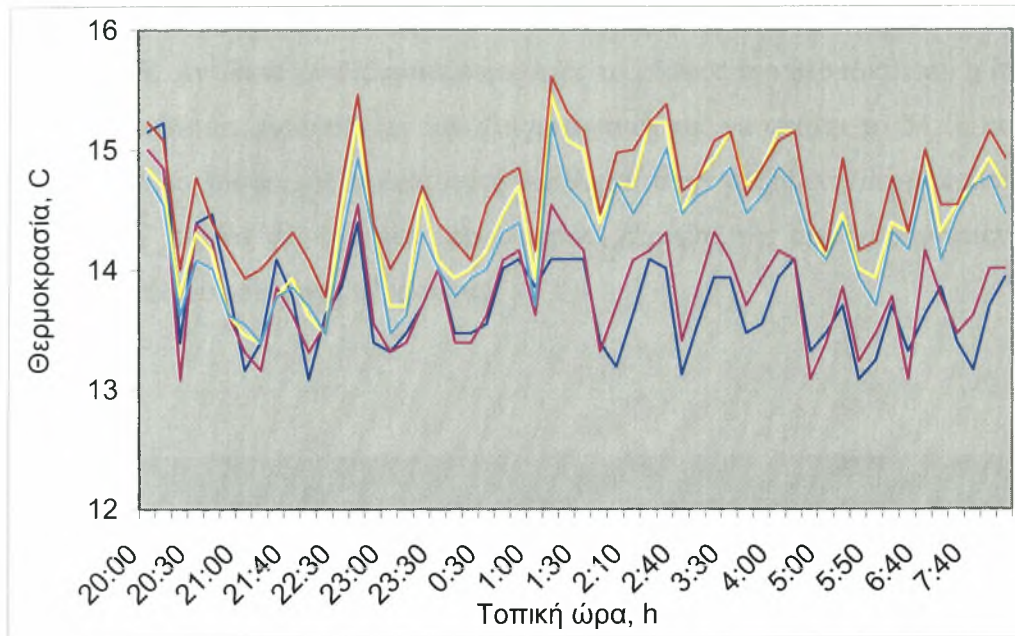
4.2 Εφαρμογή επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμων

Κατά την θέρμανση του θερμοκηπίου με συνδυασμό επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμων, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα στις κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας.

4.2.1 Μεταβολή θερμοκρασίας και υγρασίας καθ' ύψος, στο κέντρο του θερμοκηπίου.

Για τη διερεύνηση της κατανομής της θερμοκρασίας και της υγρασίας, όπως αυτή τροποποιήθηκε με τη χρήση της επιδαπέδιας θέρμανσης και του αερόθερμου, επιλεχτήκαν δεκατέσσερις (14) διαφορετικές ημέρες, όσον αφορά το τρόπο θέρμανσης του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν αφορούν τη χρονική περίοδο από 20:00 έως 08:00, περίοδος κατά την οποία το σύστημα

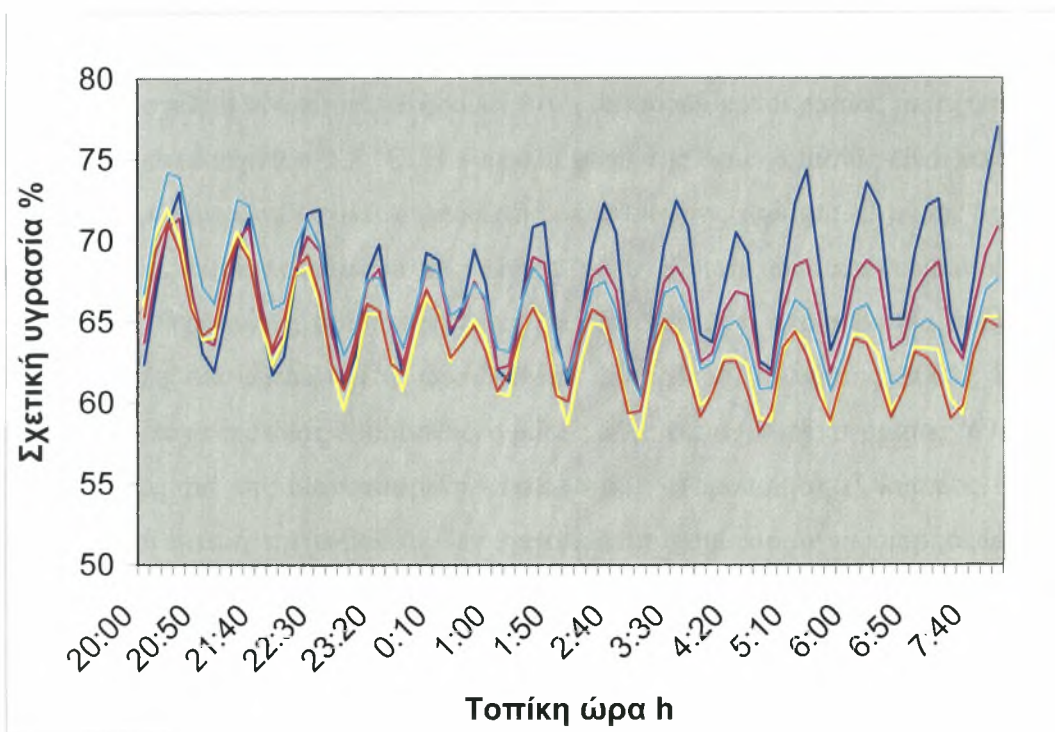
θέρμανσης λειτουργούσε συνεχώς. Οι τιμές είναι ο μέσος όρος των μετρούμενων παραμέτρων ανά δεκάλεπτο (10m) (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1. Κατακόρυφη μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο κέντρο του θερμοκηπίου, με χρήση αερόθερμων και επιδαπέδιας θέρμανσης. Σε ύψος 0.50 m — , σε ύψος 1.25 m — , σε ύψος 2.00 m — , σε ύψος 2.75 m — και σε ύψος 3.60 m — από την επιφάνεια του εδάφους.

Από το σχήμα 4.1 παρατηρούμε ότι η υψηλότερη τιμή της θερμοκρασίας εμφανίζεται κοντά στο έδαφος του θερμοκηπίου, σε ύψος 0.50 m από αυτό, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 14 και 15 °C καθ' όλη τη διάρκεια της εφαρμογής, με τη μέγιστη τιμή της να φτάνει στους 15.5 °C. Η υψηλή αυτή τιμή της θερμοκρασίας οφείλεται στο ότι οι σωλήνες θέρμανσης βρίσκονται τοποθετημένοι στο έδαφος. Όσο αυξάνεται το ύψος από το έδαφος του θερμοκηπίου προς την οροφή του, παρατηρούμε μια σταδιακή πτώση της θερμοκρασίας, λόγω της μειωμένης αποτελεσματικότητας του αερόθερμου να διατηρήσει τη θερμοκρασία του αέρα στην οροφή του θερμοκηπίου σε παρόμοια επίπεδα με αυτή των επιδαπέδων σωλήνων, η οποία φτάνει μέχρι τους 13 °C σε ύψος 3.60 m από το έδαφος.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της μεταβολής της σχετικής υγρασίας του αέρα (Σχήμα 4.2) παρατηρούμε ότι η υψηλότερη τιμή της εμφανίζεται στη κορυφή του θερμοκηπίου, λόγω της μειωμένης θερμοκρασίας που επικρατεί σ' αυτό το ύψος. Η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας στο μέγιστο μετρούμενο ύψος του θερμοκηπίου (3.60 m) κυμαίνεται στο 67 %, με την ελάχιστη τιμή της το 61 % και τη μέγιστη τιμή της το 74 %. Αντίθετα όσο πλησιάζουμε προς το έδαφος του θερμοκηπίου η σχετική υγρασία μειώνεται σταδιακά με την ελάχιστη τιμή της να φτάνει το 54 % σε ύψος 0.50 m από το έδαφος. Η πτώση αυτή οφείλεται στην αυξημένη θερμοκρασία που επικρατεί σ' εκείνο το ύψος του θερμοκηπίου, εξαιτίας της μικρής απόστασης από τους επιδαπέδιους σωλήνες θέρμανσης.



Σχήμα 4.2. Κατακόρυφη μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα με χρήση αερόθερμων και επιδαπέδιας θέρμανσης. Σε ύψος 0.50 m —, σε ύψος 1.25 m —, σε ύψος 2.00 m —, σε ύψος 2.75 m — και σε ύψος 3.60 m — από την επιφάνεια του εδάφους.

Κατά τη διάρκεια των υπολοίπων πειραματικών μετρήσεων, οι μέσες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου αναφέρονται στον πίνακα 4.1 .

Πίνακας 4.1. Μέσες τιμές θερμοκρασίας-υγρασίας σε θερμαινόμενο θερμοκήπιο με σύστημα επιδαπέδιων σωλήνων και αερόθερμου.

Θερμοκρασία, °C			Σχετική υγρασία, %		
ελάχιστη	μέγιστη	μέσος όρος	ελάχιστη	μέγιστη	μέσος όρος
11.45	16.99	14.22	52.83	85.31	69.07

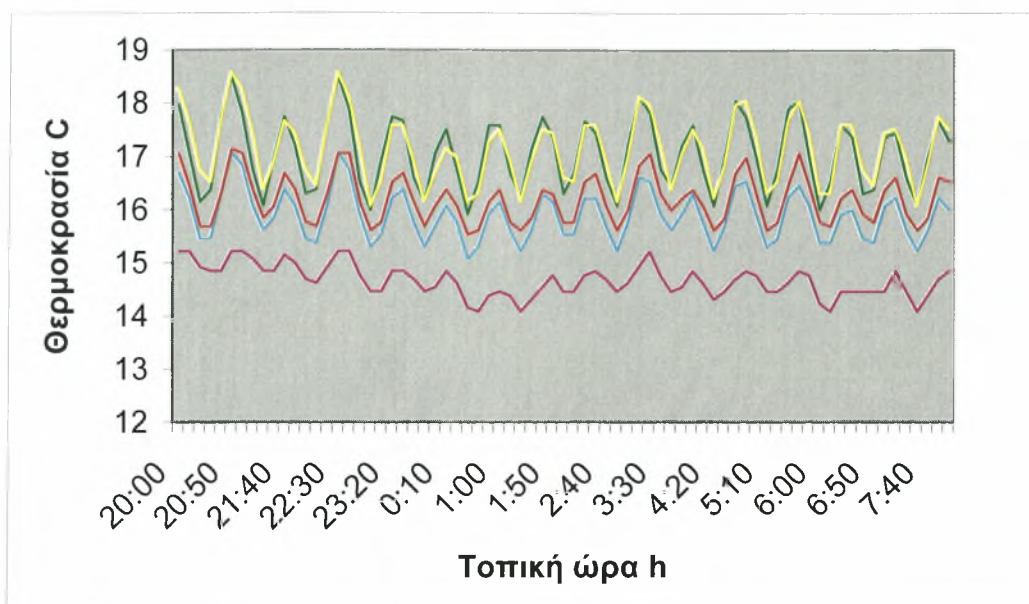
Από το σχετικό πίνακα παρατηρούμε ότι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας είναι περίπου 5.5 °C. Η διαφορά αυτή της θερμοκρασίας είναι αποδεκτή για τη σωστή και φυσιολογική καρπόδεση των φυτών της τομάτας. Ο μέσος όρος της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύχτας, με τη χρήση των αερόθερμων και της επιδαπέδιας θέρμανσης, βρίσκεται στους 14.22 °C, τιμή η οποία βοηθά σημαντικά την ανάπτυξη του φυτού και τη φυσιολογική καρπόδεση (Ολύμπιος, 2001). Επίσης κατά τη διάρκεια της ίδιας εφαρμογής, ο μέσος ορός της σχετικής υγρασίας (69.07 %) είναι άριστος για την ικανοποιητική φυσιολογική γονιμοποίηση (Ολύμπιος, 2001). Επίσης αυτή η τιμή της υγρασίας δεν προκαλεί το σχηματισμό υγροποιήσεων στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος, με αποτέλεσμα το μειωμένο τραυματισμό των φυτών από την έντονη και συνεχή τους πτώση, αλλά και τη μείωση των προσβολών των φυτών από συνήθεις μυκητολογικές ασθένειες όπως η φαιά ή τεφρά σήψη (*Botrytis cinerea*), ο περονόσπορος (*Phytophthora infestans*), το ωίδιο (*Leveillula taurica* για την τομάτα) και η κλαδοσπορίωση (*Fulvia fulva* για την τομάτα).

4.2.2 Μεταβολή θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και στο κεφαλαίο 3 (Υλικά και Μέθοδοι) κατά την οριζόντια διάταξη, τέσσερις αισθητήρες θερμοκρασίας-υγρασίας ήταν τοποθετημένοι κατά μήκος του θερμοκηπίου και σε ύψος 0.50 m από την επιφάνεια του εδάφους, ενώ ένας ακόμα αισθητήρας ήταν τοποθετημένος στο κέντρο του θερμοκηπίου και σε ύψος 3.60 m από την επιφάνεια του εδάφους. Το αερόθερμο βρισκόταν στην είσοδο του θερμοκηπίου και σε ύψος 2.50 m από την επιφάνεια του εδάφους.

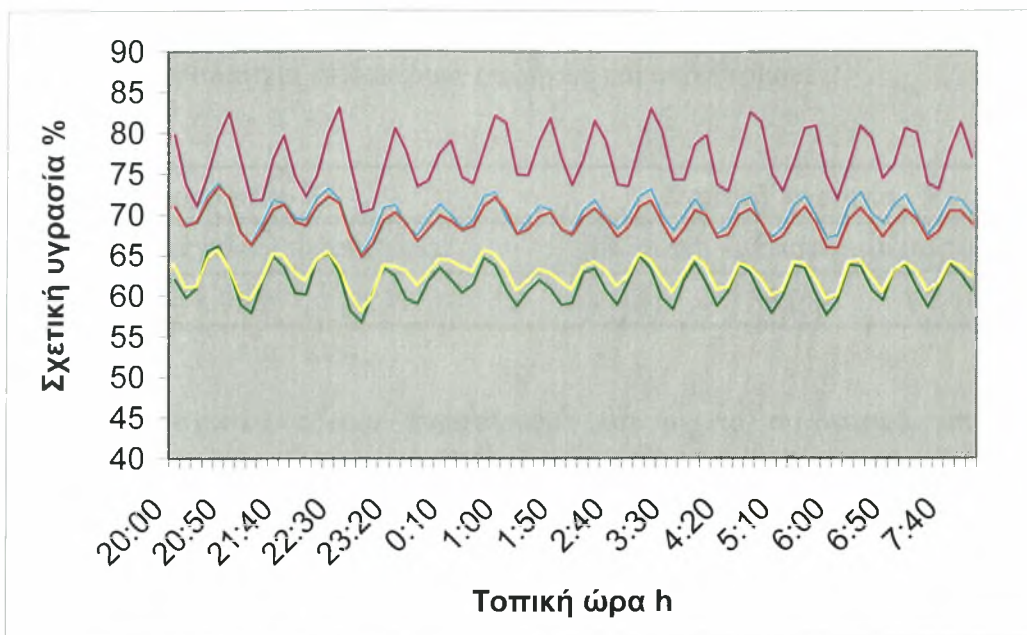
Για τη διερεύνηση της επίδρασης του συστήματος θέρμανσης στην οριζόντια κατανομή της θερμοκρασίας και της υγρασίας, όπως αυτή τροποποιήθηκε με τη χρήση της επιδαπέδιας θέρμανσης και του αερόθερμου, επιλεχτήκαν πέντε (5) διαφορετικές ημέρες, όσον αφορά το τρόπο θέρμανσης του θερμοκηπίου. Και σ' αυτή τη περίπτωση τα αποτελέσματα αφορούν τη χρονική περίοδο από 20:00 έως 08:00 και οι τιμές είναι ο μέσος ορός των μετρούμενων παραμέτρων ανά δεκάλεπτο (10m).

Από το σχήμα 4.3 το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω, παρατηρούμε ότι η χαμηλότερη θερμοκρασία εμφανίζεται στη κορυφή του θερμοκηπίου, σε ύψος 3.60 m από την επιφάνεια του εδάφους. Η τιμή της κυμαίνεται μεταξύ 14 °C και 15 °C, με το μεγαλύτερο διάστημα να είναι πάνω από 14.5 °C, ενώ η υψηλότερη θερμοκρασία εμφανίζεται στη βάση του θερμοκηπίου και προς το κέντρο αυτού, με τιμή γύρω στους 17 °C. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας οι οποίοι είχαν τοποθετηθεί ο ένας στην είσοδο του θερμοκηπίου και σε πολύ μικρή απόσταση από το αερόθερμο και ο άλλος σε απόσταση 5 m από το αερόθερμο είχαν τις ίδιες, περίπου, τιμές θερμοκρασίας και οι οποίες κυμαίνονται στους 17 °C. Αντίθετα η θερμοκρασία των αισθητήρων οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι σε απόσταση 10 m και 15 m από το αερόθερμο και την είσοδο του θερμοκηπίου, είναι περίπου 1 °C χαμηλότερη (16 °C) σε σχέση με τους άλλους δυο. Η διαφορά αυτή στη θερμοκρασία οφείλεται στη μεγάλη απόσταση του αερόθερμου από τα σημεία εκείνα αλλά και στη μειωμένη αποτελεσματικότητα αυτού να διατηρήσει την ίδια θερμοκρασία σε όλο το μήκος του θερμοκηπίου. (Υπενθυμίζεται ότι το αερόθερμο ήταν αξονικού τύπου χωρίς προσθήκη διάτρητου σωλήνα)



Σχήμα 4.3. Οριζόντια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με χρήση αερόθερμων και επιδαπέδιας θέρμανσης. Σε απόσταση 0.50 m από το αερόθερμο ———, σε απόσταση 5 m από το αερόθερμο ———, σε απόσταση 10 m από το αερόθερμο ———, σε απόσταση 18 m από το αερόθερμο ———, σε ύψος 3.60 m από το έδαφος του θερμοκηπίου και στο κέντρο αυτού ———.

Από το σχήμα 4.4, το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω, η υψηλότερη τιμή σχετικής υγρασίας εμφανίζεται στη κορυφή του θερμοκηπίου, σε ύψος 3.60 m, με μέση τιμή το 78 %. Όσον αφορά την οριζόντια κατανομή της σχετικής υγρασίας σε ύψος 0.50 m από το έδαφος του θερμοκηπίου, κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, παρατηρούμε ότι σε απόσταση 10 m και 18 m από το αερόθερμο, η υγρασία κυμαίνεται στο 70 %. Αντίθετα, οι αισθητήρες μέτρησης που βρισκόταν σε απόσταση 5 m και 0.50 m από το αερόθερμο του θερμοκηπίου, παρουσίασαν τιμές σχετικής υγρασίας η οποία μειώνεται κατά 8 %, φτάνοντας στο 62 %, μείωση η οποία οφείλεται στην υψηλότερη θερμοκρασία του αέρα, εξαιτίας της κοντινής απόστασης του αερόθερμου από αυτά τα σημεία.



Σχήμα 4.4. Οριζόντια μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα με χρήση αερόθερμων και επιδαπέδιας θέρμανσης. Σε απόσταση 0.50 m από το αερόθερμο ————, σε απόσταση 5 m από το αερόθερμο ————, σε απόσταση 10 m από το αερόθερμο ————, σε απόσταση 18 m από το αερόθερμο ————, σε ύψος 3.60 m από το έδαφος του θερμοκηπίου και στο κέντρο αυτού ————.

Για την υπόλοιπη πειραματική περίοδο κατά την οποία η θέρμανση προερχόταν από τον συνδυασμό των επιδαπέδιων σωλήνων και του αερόθερμου, οι μέσες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου αναφέρονται στον πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2. Μέσες τιμές θερμοκρασίας-σχετικής υγρασίας σε θερμαινόμενο θερμοκήπιο με σύστημα επιδαπέδιων σωλήνων και αερόθερμου.

Θερμοκρασία, °C			Σχετική υγρασία, %		
ελάχιστη	μέγιστη	μέσος όρος	ελάχιστη	μέγιστη	μέσος όρος
9.82	18.96	14.39	51	83.28	67.14

Από το σχετικό πίνακα παρατηρούμε ότι με το συνδυασμό επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμου, η μέση τιμή της θερμοκρασίας είναι μικρότερη από την επιθυμητή τιμή των 15 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας και για τη συγκεκριμένη πειραματική περίοδο, κατά 0.61 °C. Αυτό οφείλεται στις χαμηλές τιμές της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα εκείνη τη περίοδο, η μέση τιμή της οποίας είναι 4.6 °C. Η τιμή της υγρασίας καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου δεν ξεπέρασε το 84.3 %, με το μέσο ορό να βρίσκεται στο 67.14 %, τιμές οι οποίες βοηθούν στην ικανοποιητική φυσιολογική ανάπτυξη των φυτών (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

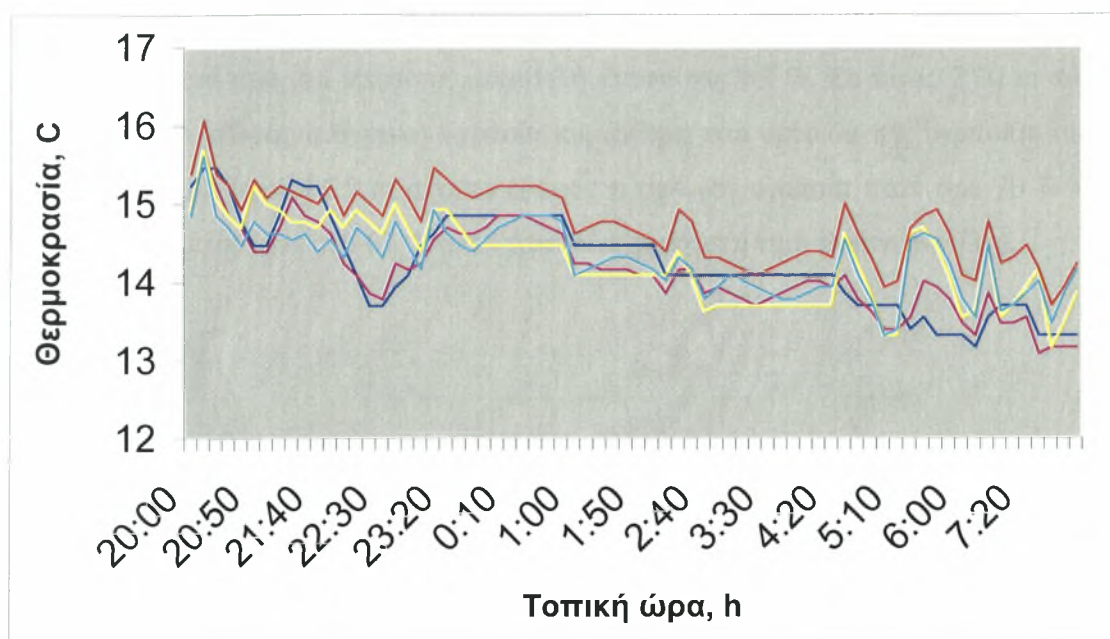
4.3 Εφαρμογή επιδαπέδιας θέρμανσης

Κατά τη θέρμανση του θερμοκηπίου μόνο με εφαρμογή επιδαπέδιας θέρμανσης προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα.

4.3.1 Μεταβολή θερμοκρασίας και υγρασίας καθ' ύψος, στο κέντρο του θερμοκηπίου.

Για τη διερεύνηση της κατανομής της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, όπως αυτή τροποποιήθηκε με τη χρήση της επιδαπέδιας θέρμανσης, επιλεχθήκαν τέσσερις (4) διαφορετικές ημέρες, όσον αφορά το τρόπο θέρμανσης του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν αφορούν τη χρονική περίοδο

από 20:00 έως 08:00 και οι τιμές είναι ο μέσος ορός των μετρούμενων παραμέτρων ανά δεκάλεπτο (10m) (Σχήμα 4.5).

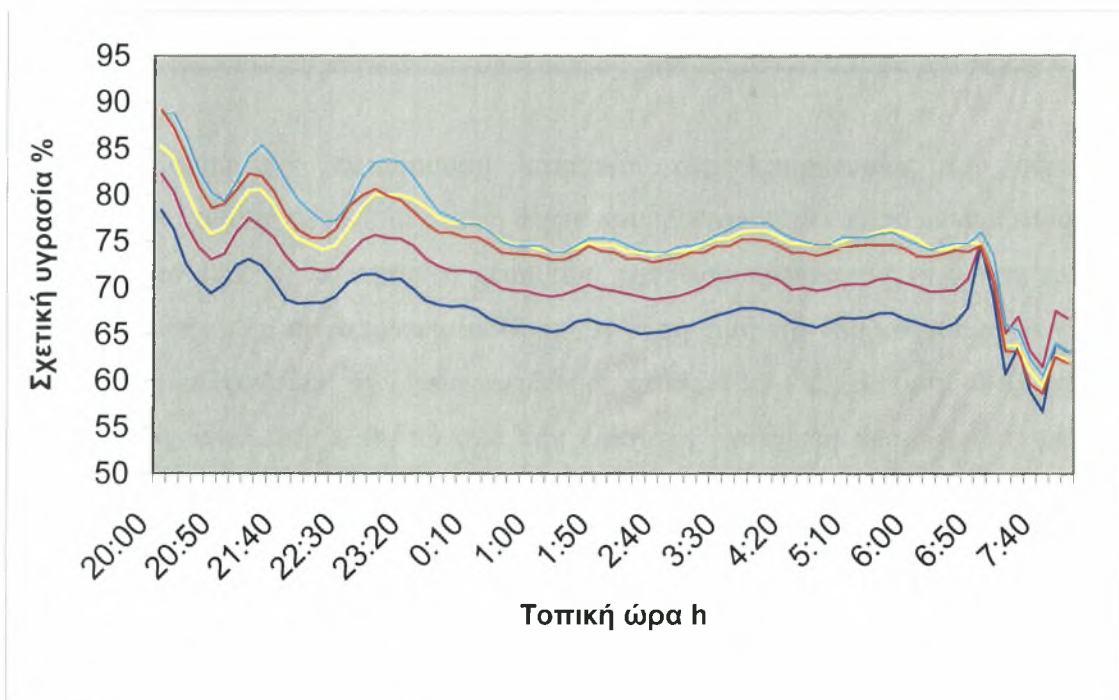


Σχήμα 4.5. Κατακόρυφη μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης. Σε ύψος 0.50 m —, σε ύψος 1.25 m —, σε ύψος 2.00 m —, σε ύψος 2.75 m — και σε ύψος 3.60 m —.

Από το σχήμα 4.5 παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία σε όλο το ύψος του θερμοκηπίου αρχίζει σταδιακά να μειώνεται από τους 15 °C στους 13.5 °C. Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία σε ύψος 0.50 m από το έδαφος, είναι υψηλότερη από τα υπόλοιπα σημεία και η οποία προς το τέλος της εφαρμογής φτάνει στους 14 °C. Η χαμηλότερη θερμοκρασία εμφανίζεται στη κορυφή του θερμοκηπίου η οποία στο τέλος της εφαρμογής πέφτει στους 13.3 °C.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της μεταβολής της σχετικής υγρασίας του αέρα (Σχήμα 4.6) παρατηρούμε ότι η σχετική υγρασία σε όλο το ύψος του θερμοκηπίου παρουσιάζει σημαντική πτώση κατά 15 % περίπου. Στην αρχή της περιόδου θέρμανσης η μέγιστη υγρασία κυμαίνονταν μεταξύ 78 % και 88 % ενώ τις πρώτες πρωινές ώρες η υγρασία ήταν μεταξύ 57 % και 62 %. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχή της περιόδου θέρμανσης, η υψηλότερη τιμή σχετικής υγρασίας ήταν 89 %, σε ύψος 0.50 m από το έδαφος του θερμοκηπίου. Στη συνέχεια είχαμε πτώση της στο 75 %

για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ενώ στο τέλος της συγκεκριμένης εφαρμογής η υγρασία στο ίδιο ύψος έφτασε στο 62 %. Η μικρότερη τιμή της σχετικής υγρασίας ήταν σε ύψος 3.60 m από το έδαφος του θερμοκηπίου. Από 78 % στην αρχή της εφαρμογής κυμάνθηκε σταθερά περίπου στο 65 % ενώ στο τέλος της διάρκειας θέρμανσης, μετά από μια απότομη μεταβολή έπεσε στο 63 %. Σε ύψος 2.00 m και 2.75 m από το έδαφος η σχετική υγρασία κυμάνθηκε στα επίπεδα της υγρασίας της κορυφής ενώ σε ύψος 1.25 m από το έδαφος η σχετική υγρασία ήταν στο 70 % η οποία στο τέλος έφτασε στο 67 % όπου ήταν και η μέγιστη τιμή εκείνη την ώρα.



Σχήμα 4.6. Κατακόρυφη μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης. Σε ύψος 0.50 m —, σε ύψος 1.25 m —, σε ύψος 2.00 m —, σε ύψος 2.75 m — και σε ύψος 3.60 m —.

Για την υπόλοιπη πειραματική περίοδο κατά την οποία η θέρμανση προερχόταν από τους επιδαπέδιους σωλήνες, οι μέσες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου αναφέρονται στον πίνακα 4.3 .

Πίνακας 4.3 Μέσες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας σε θερμαινόμενο θερμοκήπιο με σύστημα επιδαπέδιων σωλήνων.

Θερμοκρασία, °C			Σχετική υγρασία, %		
ελάχιστη	μέγιστη	μέσος όρος	ελάχιστη	μέγιστη	μέσος όρος
11.77	16	13.89	56.22	91.12	73.67

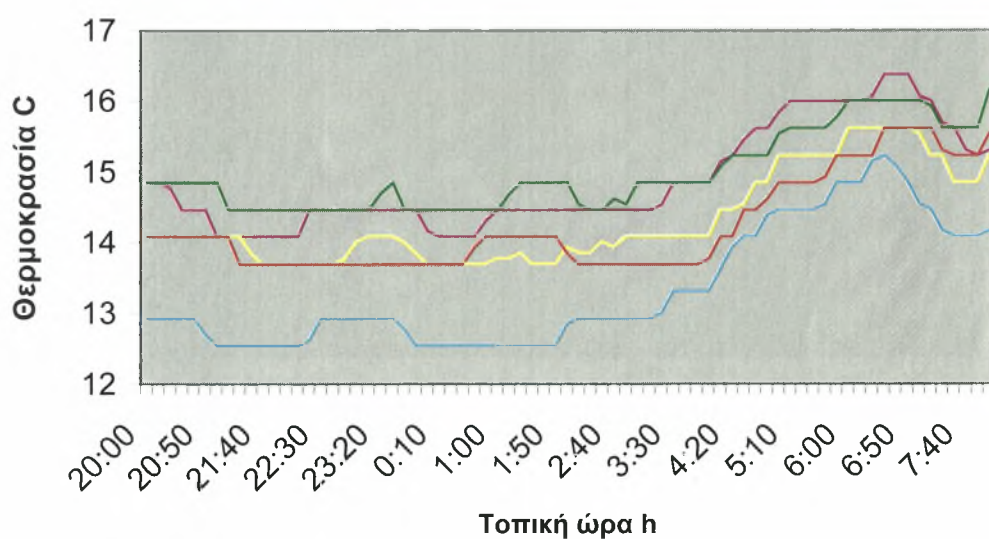
Όσον αφορά την κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα, παρατηρείται ότι αυτή μειώνεται όταν η θέρμανση προέρχεται μόνο από επιδαπέδιους σωλήνες. Από 14.2 °C που ήταν η μέση τιμή της θερμοκρασίας με τη χρήση του αερόθερμου και των επιδαπέδιων σωλήνων, η μέση τιμή της θερμοκρασίας με τη χρήση μόνο επιδαπέδιων σωλήνων μειώθηκε στους 13.9 °C. Η τιμή αυτή της θερμοκρασίας είναι 1.1 °C κάτω από την ελάχιστη επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα να μην έχουμε φυσιολογική ανάπτυξη των φυτών, αλλά να λειτουργούν κάτω από την επίδραση stress. Η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας βρίσκεται στα επιθυμητά επίπεδα της τάξης του 73.67 %.

4.3.2 Μεταβολή θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου.

Για τη διερεύνηση της κατανομής της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, όπως αυτή τροποποιήθηκε με τη χρήση της επιδαπέδιας θέρμανσης, επιλεχτήκαν τέσσερις (4) διαφορετικές ημέρες, όσον αφορά το τρόπο θέρμανσης του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν αφορούν τη χρονική περίοδο από 20:00 έως 08:00 και οι τιμές είναι ο μέσος ορός των μετρούμενων παραμέτρων ανά δεκάλεπτο (10m) (Σχήμα 4.7).

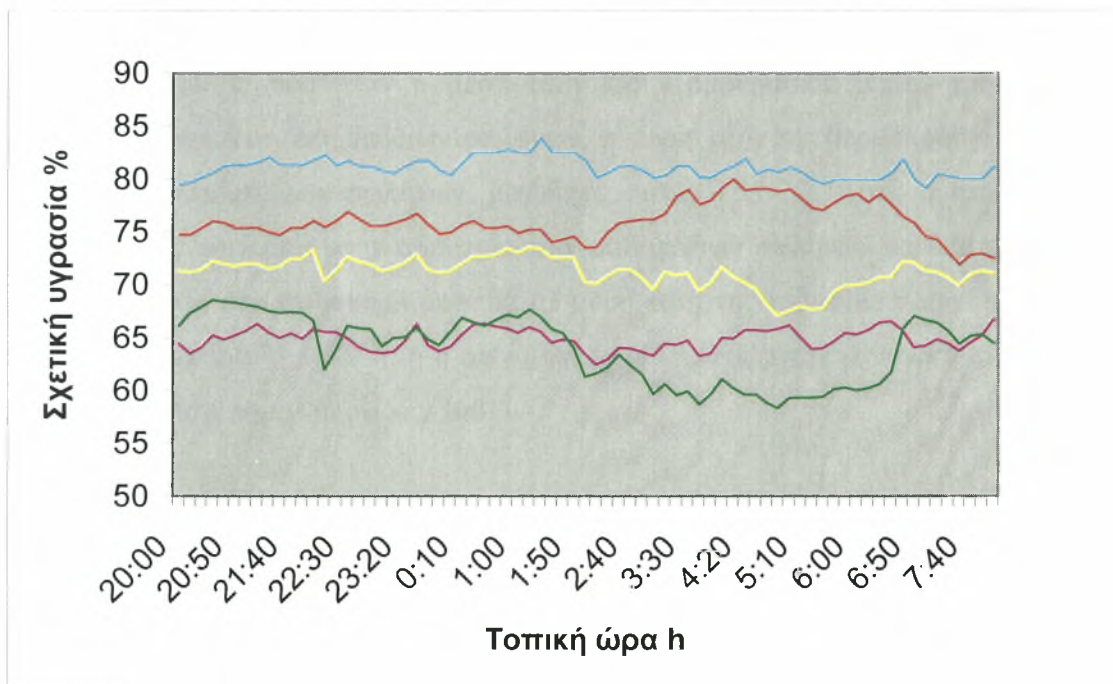
Για την ασφάλεια της καλλιέργειας είχε δοθεί εντολή να ενεργοποιούνται τα αερόθερμα όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου πέσει κάτω από τους 13 °C. Από το σχήμα 7 παρατηρούμε ότι όσο κινούμαστε προς το εσωτερικό του

θερμοκηπίου η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται. Στην αρχή του θερμοκηπίου και σε απόσταση 0.50 m από το αερόθερμο, η τιμή της θερμοκρασίας έχει την υψηλότερη τιμή της καθ' όλη τη διάρκεια όπου η θερμοκρασία προερχόταν από την επιδαπέδια θέρμανση. Αρχικά η τιμή της ξεκινάει από τους 14.8 °C και στο τέλος της εφαρμογής φτάνει στους 16 °C. Στο κέντρο του θερμοκηπίου και σε απόσταση 10 m από την είσοδο, η θερμοκρασία από τους 14.1 °C ανεβαίνει στους 15.6 °C στο τέλος της μεταχείρισης, ενώ σε απόσταση 18 m από την είσοδο του θερμοκηπίου, από τους 13 °C η θερμοκρασία αυξάνεται στους 15.2 °C. Παρατηρούμε ότι η οριζόντια διακύμανση της θερμοκρασίας από την είσοδο του θερμοκηπίου μέχρι το τέλος αυτού, αρχικά είναι 2 °C ενώ προς το τέλος της εφαρμογής πέφτει στον 1 °C.



Σχήμα 4.7. Οριζόντια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης. Σε απόσταση 0.50 m από το αερόθερμο ———, σε απόσταση 5 m από το αερόθερμο ———, σε απόσταση 10 m από το αερόθερμο ———, σε απόσταση 18 m από το αερόθερμο ———, σε ύψος 3.60 m από το έδαφος του θερμοκηπίου και στο κέντρο αυτού ———.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της σχετικής υγρασίας (Σχήμα 4.8) είναι εμφανείς οι διαφορές κατά μήκος του θερμοκηπίου. Το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας εμφανίζεται σε απόσταση 18 m από το αερόθερμο, η τιμή της οποίας φτάνει στο 82 %, λόγω της μειωμένης θερμοκρασίας που επικρατεί σ' αυτό το σημείο. Στο κέντρο του θερμοκηπίου η μέση τιμή της υγρασίας φτάνει στο 76 % ενώ η ελάχιστη τιμή της, που φτάνει το 65 %, εμφανίζεται στην είσοδο του θερμοκηπίου. Επίσης παρατηρούμε ότι αυτή η τιμή της υγρασίας υπάρχει και στη κορυφή του θερμοκηπίου, κάτι που οφείλεται στη κοντινή απόσταση του αερόθερμου από τα σημεία αυτά, το οποίο λειτουργεί όταν η θερμοκρασία πέφτει κάτω από τους 13 °C.



Σχήμα 4.8. Οριζόντια μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης. Σε απόσταση 0.50 m από το αερόθερμο ———, σε απόσταση 5 m από το αερόθερμο ———, σε απόσταση 10 m από το αερόθερμο ———, σε απόσταση 18 m από το αερόθερμο ———, σε ύψος 3.60 m από το έδαφος του θερμοκηπίου και στο κέντρο αυτού ———.

Τις υπόλοιπες ημέρες οι μέσες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου αναφέρονται στον πίνακα 4.4 .

Πίνακας 4.4. Μέσες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας σε θερμαινόμενο θερμοκήπιο με σύστημα επιδαπέδιων σωλήνων.

Θερμοκρασία, °C			Σχετική υγρασία, %		
ελάχιστη	μέγιστη	μέσος όρος	ελάχιστη	μέγιστη	μέσος όρος
9.80	15.61	12.7	58.38	83.9	71.14

Όσον αφορά την οριζόντια κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα, παρατηρείται ότι αυτή μειώνεται όταν η θέρμανση προέρχεται μονό από επιδαπέδιους σωλήνες. Από τους 14.4 °C που ήταν η μέση τιμή της θερμοκρασίας με τη χρήση του αερόθερμου και των επιδαπέδιων σωλήνων, η μέση τιμή της θερμοκρασίας με τη χρήση μόνο επιδαπέδιων σωλήνων, μειώθηκε στους 12.7 °C. Αυτή η πτώση της θερμοκρασίας οφείλεται στην αδυναμία των επιδαπέδιων σωλήνων να διατηρήσουν τη θερμοκρασία στα επιθυμητά επίπεδα. Η μέση τιμή της υγρασίας βρίσκεται στην επιθυμητή τιμή του 71.1 %, τιμή η οποία δεν προβληματίζει την κανονική ανάπτυξη των φυτών (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

4.4 Εφαρμογή αερόθερμων

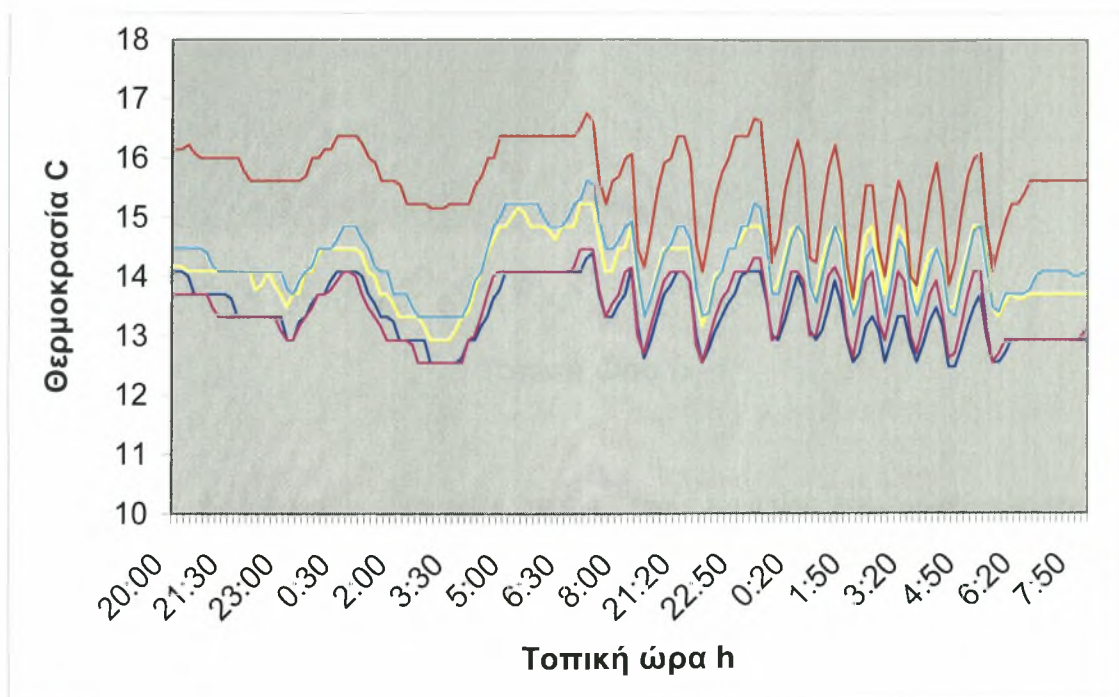
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων τα οποία προέκυψαν κατά τη θέρμανση του θερμοκηπίου μόνο με αερόθερμα και αφορούν τη κάθετη κατανομή, εμφανίζονται παρακάτω. Λόγω των εξαιρετικά μικρών εξωτερικών θερμοκρασιών που επικρατούσαν τη περίοδο που εφαρμόσαμε μόνο τα αερόθερμα, ήταν αδύνατη η θέρμανση του θερμοκηπίου χωρίς τη χρήση των επιδαπέδιων σωλήνων.

4.4.1 Μεταβολή θερμοκρασίας και υγρασίας καθ' ύψος, στο κέντρο του θερμοκηπίου.

Για τη διερεύνηση της κατανομής της θερμοκρασίας και της υγρασίας, όπως αυτή διαμορφώθηκε με τη χρήση του αερόθερμου, επιλεχτήκαν δύο (2) διαφορετικές

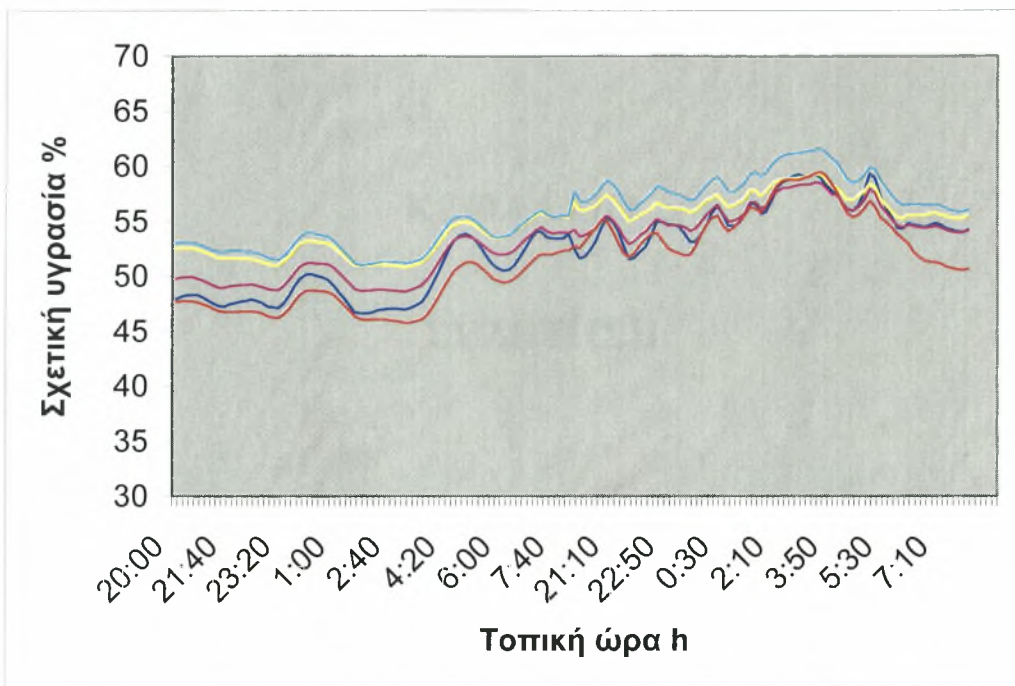
ημέρες, όσον αφορά το τρόπο θέρμανσης του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν αφορούν τη χρονική περίοδο από 20:00 έως 08:00 και οι τιμές είναι ο μέσος όρος των μετρούμενων παραμέτρων ανά δεκάλεπτο (10m).

Από το σχήμα 4.9 προκύπτει ότι κατά τη διάρκεια θέρμανσης του θερμοκηπίου με το αερόθερμο, η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη σε ύψος 0.50 m από το έδαφος του θερμοκηπίου και μειώνεται όσο αυξάνεται το ύψος, φαινόμενο το οποίο οφείλεται στη ταυτόχρονη χρήση των επιδαπέδιων σωλήνων. Παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία σε ύψος 0.50 m βρίσκεται στους 16 °C και σταδιακά αρχίζει να μειώνεται προς το τέλος της εφαρμογής στους 15 °C. Η θερμοκρασία σε ύψος 3.60 m από τους 14 °C αρχίζει σταδιακά να μειώνεται προς τους 13 °C ενώ προς το τέλος της εφαρμογής σταθεροποιείται σ' αυτή τη τιμή. Στο ύψος των 2.00 m και 2.75 m από το έδαφος, η θερμοκρασία από τους 14 °C σταδιακά αυξάνεται προς τους 15 °C ενώ στο τέλος της εφαρμογής πέφτει πάλι στους 14 °C .



Σχήμα 4.9. Κατακόρυφη μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα με χρήση αερόθερμων. Σε ύψος 0.50 m —, σε ύψος 1.25 m —, σε ύψος 2.00 m —, σε ύψος 2.75 m — και σε ύψος 3.60 m —.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της σχετικής υγρασίας (Σχήμα 4.10) η τιμή της από το 50 % που ήταν σε όλα τα σημεία του θερμοκηπίου αυξάνεται σταδιακά προς το 59 % και στο τέλος της εφαρμογής των αερόθερμων η υγρασία τείνει να σταθεροποιηθεί στο 55 %. Παρατηρούμε ότι σε όλα τα σημεία του θερμοκηπίου οι μεταβολές της σχετικής υγρασίας είναι ομοιόμορφες. Η υψηλότερη τιμή της εμφανίζεται σε ύψος 1.25 m από το έδαφος του θερμοκηπίου ενώ η χαμηλότερη σε ύψος 0.50 m από το έδαφος, με μια διαφορά της τάξης των 5 % καθ' όλη τη διάρκεια.



Σχήμα 4.10. Κατακόρυφη μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα με χρήση αερόθερμων. Σε ύψος 0.50 m —, σε ύψος 1.25 m —, σε ύψος 2.00 m —, σε ύψος 2.75 m — και σε ύψος 3.60 m —.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Εισαγωγή

Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 3 (υλικά και μέθοδοι), η θέρμανση του θερμοκηπίου προερχόταν είτε από ένα δίκτυο επιδαπέδιων σωλήνων είτε από το συνδυασμό των επιδαπέδιων σωλήνων και ενός αξονικού αερόθερμου. Προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητές συνθήκες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, πρέπει να δώσουμε μια ποσότητα θερμότητας με τη χρήση κάποιου συστήματος θέρμανσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η ποσότητα αυτή της θερμότητας ήταν δυνατό να δοθεί στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είτε μέσω του συστήματος των επιδαπέδιων σωλήνων είτε να κατανεμηθεί μεταξύ του συστήματος των επιδαπέδιων σωλήνων και του αερόθερμου. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της επίδρασης των δυο διαφορετικών συνδυασμών στο μικροκλίμα και την καλλιέργεια στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Για να είναι τα αποτελέσματα συγκρίσιμα θα πρέπει να τα παραβάλλουμε και με το συνολικό ποσό θερμότητας το οποίο δόθηκε στο θερμοκήπιο στην κάθε περίπτωση. Καθώς όμως οι συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι πολύ δύσκολο να είναι οι ίδιες, το ποσό της θερμότητας μεταβάλλεται προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητές κλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Έτσι η παρερχομένη από το σύστημα θέρμανσης ενέργεια, θα είναι μικρή για μεγάλες τιμές θερμοκρασίας εξωτερικού αέρα και θα μεγαλώνει καθώς η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα θα μειώνεται. Ένα τρόπος για να εκτιμηθεί αν η ενέργεια που δίνεται στο θερμοκήπιο είναι η ίδια, ανεξαρτήτως των συνθηκών του εξωτερικού περιβάλλοντος, είναι να συγκρίνουμε τους λόγους της ενέργειας που δίνεται από το σύστημα θέρμανσης προς το γινόμενο διαφοράς θερμοκρασίας εσωτερικού – εξωτερικού αέρα με τον ολικό συντελεστή απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου.

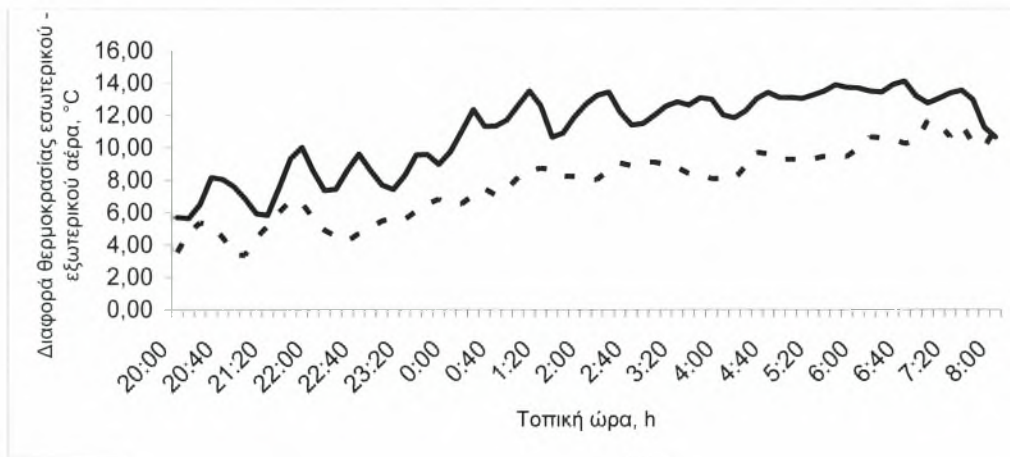
Για τη διερεύνηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος θέρμανσης επιλέχθηκαν δυο διαφορετικές νύχτες, όσον αφορά το τρόπο θέρμανσης του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν αφορούν στη χρονική περίοδο από 20:00 έως 08:00 και οι τιμές είναι ο μέσος όρος των μετρούμενων παραμέτρων ανά δεκάλεπτο (10min.).

Οι μέσες κλιματικές συνθήκες των δυο ημερών παρουσιάζονται στον πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1. Μέσες τιμές των εξωτερικών κλιματικών παραμέτρων

	Εξωτερικός αέρας	
	Θερμοκρασία, °C	Υγρασία, %
Επιδαπέδιοι σωλήνες	8	78.5
Επιδαπέδιοι σωλήνες και αερόθερμο	4.6	74

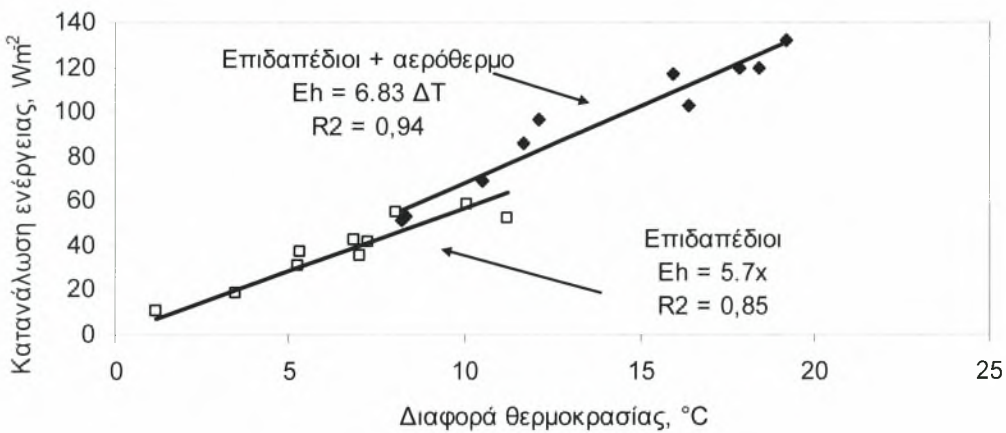
Από τον πίνακα 5.1 προκύπτει πως οι δυο νύχτες που επιλέχθηκαν είχαν διαφορετικές εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Αν και η σχετική υγρασία του εξωτερικού αέρα ήταν παραπλήσια και για τις δυο περιπτώσεις, τη νύχτα που η θέρμανση προερχόταν από το συνδυασμό των επιδαπέδιων σωλήνων και του αερόθερμου η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα ήταν χαμηλότερη. Χαρακτηριστική είναι και η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού – εξωτερικού αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας που παρατηρείται στο σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1. Διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού – εξωτερικού αέρα.
 — επιδαπέδιοι σωλήνες και αερόθερμο, - - - - επιδαπέδιοι σωλήνες.

Επομένως, κατά τη διάρκεια εκείνης της περιόδου (επιδαπέδιοι σωλήνες και αερόθερμο) η ενέργεια που θα έπρεπε να δοθεί από το σύστημα θέρμανσης ήταν μεγαλύτερη συγκριτικά με τη περίοδο κατά την οποία η θέρμανση προερχόταν μόνο από τους επιδαπέδιους σωλήνες.

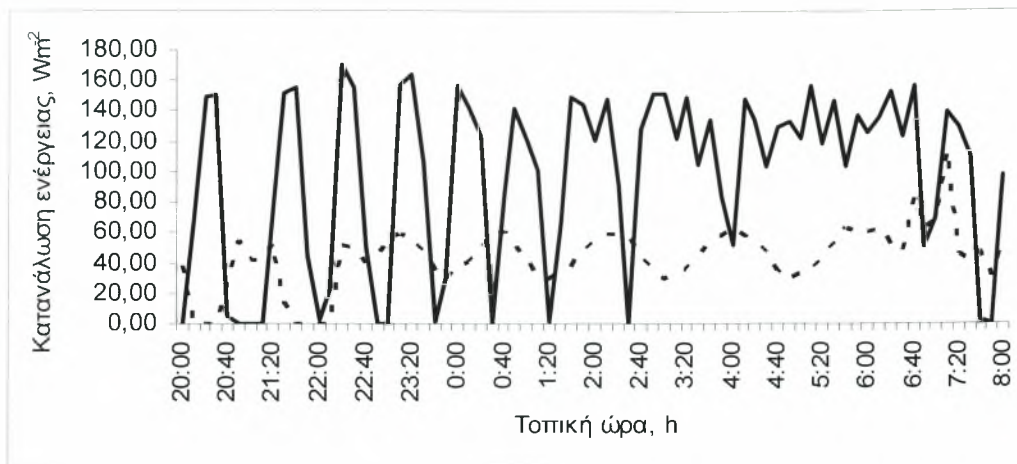
Προκειμένου να συγκριθούν ενεργειακά οι δυο διαφορετικές περιόδους, υπολογίστηκε αρχικά ο ολικός συντελεστής απωλειών του θερμοκηπίου για τις δυο διαφορετικές περιόδους. Για χρονικό διάστημα 10 ημερών για καθένα από τα δυο συστήματα, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.2. Συσχέτιση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας με το γινόμενο του λόγου της επιφάνειας του προς την επιφάνεια της οροφής επί τη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού – εξωτερικού αέρα. ■ ■ ■ ■ επιδαπέδιοι σωλήνες και αερόθερμο, □ □ □ □ επιδαπέδιοι σωλήνες. (E_h : συνολική ενέργεια που αποδίδεται από το σύστημα θέρμανσης σε Wm^{-2} , ΔT : διαφοράς θερμοκρασίας εσωτερικού – εξωτερικού αέρα)

Από τις καμπύλες της συνολικής κατανάλωσης της ενέργειας του παραπάνω σχήματος, προκύπτει ότι τη περίοδο που η θέρμανση προερχόταν από τους επιδαπέδιους σωλήνες και το αερόθερμο η κατανάλωση ενέργειας ήταν 16% μεγαλύτερη σε σχέση με τη κατανάλωση ενέργειας τη περίοδο που η θέρμανση προερχόταν μόνο από τους επιδαπέδιους σωλήνες.

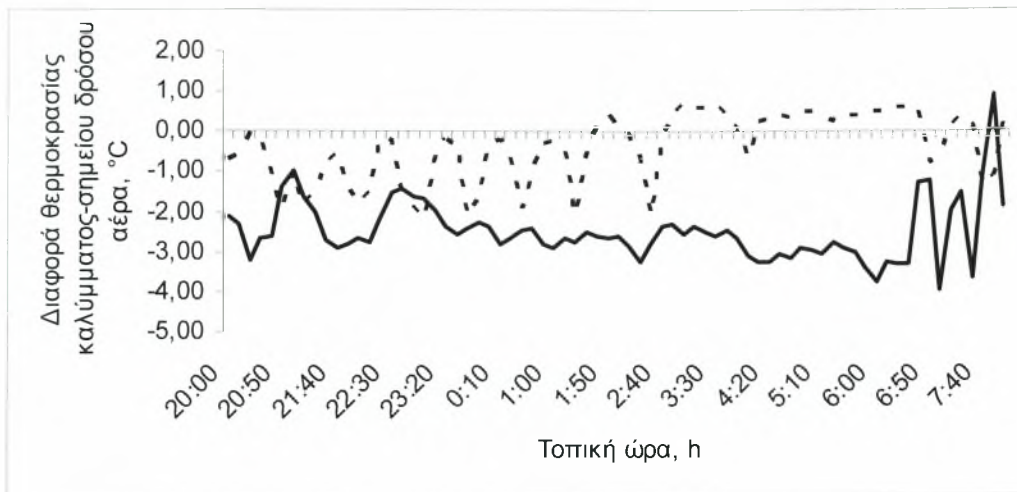
Στο σχήμα 5.2 παρουσιάζεται η συνολική κατανάλωση ενέργειας για τις δυο περιόδους.



Σχήμα 5.3. Συνολική κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της νύχτας.
 ——— επιδαπέδιοι σωλήνες και αερόθερμο, - - - - επιδαπέδιοι σωλήνες.

Όπως αναφέραμε η αυξημένη κατανάλωση ενέργειας την περίοδο κατά την οποία λειτουργούσαν συγχρόνως οι επιδαπέδιοι σωλήνες και το αερόθερμο οφείλεται στις δυσμενείς εξωτερικές κλιματικές συνθήκες και όχι σε πλεονάζουσα ενέργεια που δόθηκε από το σύστημα θέρμανσης στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Συγκρίνοντας τους συντελεστές θερμότητας των δυο συστημάτων προκύπτει πως ο συντελεστής απωλειών θερμότητας είναι 16 % μεγαλύτερος στη περίπτωση συνδυασμένης λειτουργίας των επιδαπέδιων και του αερόθερμου. Επομένως για τις ίδιες εξωτερικές κλιματικές συνθήκες η ενέργεια που θα καταναλωθεί από το συνδυασμένο σύστημα θα είναι πάντα μεγαλύτερη.

Ένας ακόμη παράγοντας που μετρήθηκε και που δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση ήταν η δημιουργία συμπυκνώσεων στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος του θερμοκηπίου. Απαραίτητη προϋπόθεση για τη δημιουργία συμπυκνώσεων στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος της οροφής, είναι η θερμοκρασία του καλύμματος να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα. Η μεταβολή της διαφοράς θερμοκρασίας του καλύμματος της οροφής με τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα παρουσιάζεται στο σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4. Μεταβολή της διαφοράς θερμοκρασίας της εσωτερικής επιφάνειας του καλύμματος της οροφής και θερμοκρασίας σημείου δρόσου του αέρα κατά τη διάρκεια της νύχτας. ——— επιδαπέδιοι σωλήνες, - - - - επιδαπέδιοι σωλήνες και αερόθερμο.

Η συνδυασμένη χρήση των επιδαπέδιων σωλήνων και του αερόθερμου όχι μόνο αύξησε τη θερμοκρασία της εσωτερικής πλευράς του καλύμματος της οροφής αλλά και μείωσε τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα. Έτσι η διαφορά θερμοκρασίας καλύμματος της οροφής και σημείου δρόσου του αέρα ήταν μικρότερη την περίοδο που λειτουργούσε το αερόθερμο, διατηρώντας έτσι την επιφάνεια του καλύμματος χωρίς συμπυκνώσεις για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Η μέση τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας καλύμματος – θερμοκρασίας σημείου δρόσου του αέρα ήταν $-2.48\text{ }^{\circ}\text{C}$, όταν η θέρμανση προερχόταν μόνο από τους επιδαπέδιους σωλήνες και $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ όταν λειτουργούσαν και τα δυο συστήματα θέρμανσης μαζί.

5.2 Συμπεράσματα

Βασική λειτουργία του συστήματος θέρμανσης είναι να διατηρεί τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα στα επιθυμητά επίπεδα. Εκτός από τη θέρμανση του αέρα είναι σημαντικό η θερμοκρασία της καλλιέργειας να είναι κοντά στη θερμοκρασία του περιβαλλοντος αέρα καθώς επίσης να μην έχουμε δημιουργία υγραποιήσεων ούτε στη καλλιέργεια αλλά ούτε και στο υλικό καλύψης του θερμοκηπίου. Στη παρουσία εννοτητα παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα από τη χρήση των επιδαπέδιων σωλήνων και του αερόθερμου στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου.

Την περίοδο όπου λειτουργούσαν οι επιδαπέδιοι σωλήνες και το αερόθερμο, η παροχή ενέργειας ήταν 16 % μεγαλύτερη σε σχέση με τη περίοδο όπου λειτουργούσαν μόνο οι επιδαπέδιοι σωλήνες, διαφορά η οποία δεν οφείλεται σε επιπλέον ενέργεια που δόθηκε αλλά στην ενεργειακή συμπεριφορά του συνδυασμένου συστήματος. Συγκρίνοντας τους συντελεστές απωλειών θερμότητας των δυο συστημάτων προκύπτει πως ο συντελεστής απωλειών θερμότητας είναι 16 % μεγαλύτερος στη περίπτωση συνδυασμένης λειτουργίας των επιδαπέδιων και του αερόθερμου. Για τις ίδιες δηλαδή εξωτερικές κλιματικές συνθήκες η ενέργεια που θα καταναλωθεί από το σύστημα θα είναι πάντα μεγαλύτερη.

Η θερμοκρασία του αέρα και στα δυο συστήματα διατηρήθηκε στην επιθυμητή τιμή των 15 °C. Με τη παράλληλη λειτουργία του αερόθερμου και των επιδαπέδιων σωλήνων είχαμε περισσότερες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, ενώ αντίθετα μόνο με τους επιδαπέδιους σωλήνες η μεταβολή αυτή παρατηρείται μόνο κατά τις πρώτες πρωινές ώρες της εξεταζόμενης περιόδου, ενώ στη συνέχεια διατηρείται σταθερή (γύρω στους 15 °C).

Η λειτουργία του αερόθερμου αύξησε τη θερμοκρασία του καλύμματος της κορυφής και παράλληλα μείωσε τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα. Έτσι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του καλύμματος της οροφής και του σημείου δρόσου του αέρα ήταν μικρότερη τη περίοδο λειτουργίας του αερόθερμου μειώνοντας το ρυθμό σχηματισμού υγραποιήσεων στην επιφάνεια του καλύμματος.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε πως η συνδυασμένη λειτουργία του αερόθερμου με τους επιδαπέδιους σωλήνες είναι προτιμότερη αφού καταμερίζοντας καλύτερα τη διαθέσιμη ενέργεια ως θερμότητα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου επιτυγχάνουμε:

- Την επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα
- Τη μείωση της υγρασίας του αέρα
- Τη καλύτερη φυσιολογική λειτουργία της καλλιέργειας
- Τη μείωση του ρυθμού υγροποιήσεων στην επιφάνεια του καλύμματος

Η ενέργεια όμως που θα απαιτείται θα είναι πάντα μεγαλύτερη (16 % στη συγκεκριμένη περίπτωση).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Acock B., Charles-Edward D.A. and Hand D.W., 1976. An analysis of some effects of humidity on photosynthesis by a tomato canopy under winter light conditions and a range of carbon dioxide concentrations. *Journal of Experimental Botany*, 27, 100:933-941
- Aikman D.P. and Houter G., 1990. Influence of radiation and humidity on transpiration: Implication for calcium levels in tomato leaves. *Journal of Horticulture Science* 65 (3): 245-253
- Bakker J. C., Welles G.W.H. and van Uffelen J.A.M., 1987. The effect of day and night humidity on yield and quality of glasshouse cucumbers. *Journal of horticultural Science* 62 (3):363-370
- Bakker J. C., 1990. Effects of day and night humidity on yield and fruit quality of glasshouse tomatoes. *Journal of horticultural Science*, 65 (3):323-331
- Bakker J. C., Bot GPA, Challa H., and Van de Braak, 1995. Heating equipment. In: Greenhouse Climate Control an integrated approach.
- Bot, G.P.A., van de Braak, N.J., 1995. Transport phenomena. In: Greenhouse Climate Control: An integrated Approach. Wageningen Pers, Wageningen, pp.125-134
- Bunce J.A., Effect of humidity on photosynthesis. *Journal of experimental Botany*, 35, 158:1245-1251
- Cockshull K.E., Graves C.J., Hand D.W., 1987. The effects of humidity on growth and nutrient composition of tomatoes. *G.C.R.I. Report* 86-87:76-77
- De Koning A.N.M., 1994. Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach. *Ph. D Thesis*, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands
- De Zwart H.E., 1996. Analysing energy saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. Ph.D. thesis, Agricultural University, Wageningen. pp.236
- Ehret D.L. and Ho L.C., 1986. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Annals of Botany*, 58:679-688
- Fernandez J.E. and Bailey B.J., 1992. Measurements and prediction of greenhouse ventilations rates. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58:229-245
- Gieling, Th.H., Schurer, K., 1995. Sensors and measurement. In: Greenhouse Climate Control: An integrated Approach. Wageningen Pers, Wageningen, pp.211-223
- Holder R. and Cockshull K.E., 1990. Effects of humidity on the growth and yield of glasshouse tomatoes. *Journal of horticultural Science* 65(1):31-39

- Karlsson M.G., Heins R.D., Gerberick J.O., Hackmann M.E., 1991. Temperature driven leaf unfolding rate in *Hibiscus rosa-sinensis*. *Scientia Horticulturae*, 45:323-331.
- Kaufmann M. R., 1982. Leaf conductance as a function of photosynthetic photon flux density and absolute humidity difference from leaf to air. *Plant Physiology*, 69: 1018-1022
- Kempkes F.L.K., Van de Braak N.J., Bakker J.C., 2000. Effect of heating system position on vertical distribution of crop temperature and transpiration in green house tomatoes. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 75:57-64
- Lake J.V., Postlethwaite J.D., Slack J., Edwards R.I., 1966. Seasonal variation in the transpiration of glasshouse plants. *Agriculture Meteorology*, 3:187:196
- Markelis L.F.M., and de Koning A.N.M., 1995. Biomass partitioning in plants. In: *Greenhouse Climate Control: an Integrated Approach*.
- Monteith J. L., 1973. Principles of environmental Physics. *Contemporary Biology*, Edward Arnold, London, UK, 241 pp
- Sauser B.J., Giacomelli G.A., Janes H.W., 1998. Modeling the effects of air temperature perturbations for control of tomato plant development. *Acta Horticulturae*, 456, 87-92
- Stanghellini C., 1987. Transpiration of green house crop: an aid to climate management. *Ph.D Thesis*, Agricultural University, Wageningen 150 pp.
- Van Holsteijn G.P.A., Kempkes F.L.K., 1992. Height of heating pipe influence temperature distribution. *Groenten + Fruit / Glasgroenten*, 50, pp. 28-29
- Winspear K.W., 1978. Vertical temperature gradients and greenhouse energy economy. *Acta Horticulturae*, 76: 97-103
- Yang X., 1995. Greenhouse micrometeorology and estimation of heat and water vapour fluxes. *Journal of Agricultural Engineering Research* 61:227-238
- Κατσούλας Ν., 2002. Επίδραση των παραγόντων του περιβάλλοντος στη διαπνοή της τριανταφυλλιάς υπό κάλυψη. *Διδακτορική Διατριβή*, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 220 pp
- Μαυρογιαννόπουλος, Γ.Ν., 2001. Θερμοκήπια. Περιβάλλον - Υλικά – Κατασκευή – Εξοπλισμός. Εκδόσεις Σταμούλη. Αθήνα.
- Μπαρτζάνας Θ. και Κίττας Κ., 2003c. Διερεύνηση της κατανομής των παραμέτρων του κλίματος σε θερμαινόμενο θερμοκήπιο με καλλιέργεια τομάτας. 21^ο Συνέδριο της Επιστήμης των Οπωροκηπευτικών, Ιωάννινα.

Μπαρτζάνας Θ.,2004. Διαχείριση της υψηλής υγραμετρίας σε ελληνικά θερμοκήπια.

Ολύμπιος, Χ.Μ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια.

Εκδόσεις Σταμούλη.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074954