

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Πτυχιακή Διατριβή

**«Επίδραση των συστημάτων θέρμανσης στην κατανομή
του μικροκλίματος στο θερμοκήπιο»**



Παππά Αικατερίνη

Επιβλέπων

Επ. Καθηγητής Κατσούλας Νικόλαος

Νέα Ιωνία, 2011



**«Επίδραση των συστημάτων θέρμανσης στην κατανομή του
μικροκλίματος στο θερμοκήπιο»**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 10130/1
Ημερ. Εισ.: 15-11-2011
Δωρεά: Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ
2011
ΠΑΠ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

N. Κατσούλας (Επιβλέπων)	Επίκουρος Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Γεωργικές Κατασκευές με έμφαση στα θερμοκήπια
K. Κίττας (Μέλος)	Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Γεωργικές κατασκευές
Σ. Φουντάς (Μέλος)	Επίκουρος Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Γεωργική Μηχανολογία

Παπά Αικατερίνη

**«Επίδραση των συστημάτων θέρμανσης στην κατανομή του
μικροκλίματος στο θερμοκήπιο»**

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της επίδρασης των συστημάτων θέρμανσης στις κατανομές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με καλλιέργεια τομάτας. Εξετάστηκε η επίδραση της συνδυασμένης χρήσης των δυο συνηθέστερων συστημάτων θέρμανσης, δηλαδή των επιδαπέδιων σωλήνων ζεστού νερού και του αερόθερμου.

Την περίοδο όπου η θέρμανση στο εσωτερικό του θερμοκηπίου προερχόταν μόνο από τους επιδαπέδιους σωλήνες, η υψηλότερη τιμή θερμοκρασίας παρατηρήθηκε ενδιάμεσα στην καλλιέργεια σε ύψος 1,5m από το έδαφος ενώ η χαμηλότερη στην κορυφή του θερμοκηπίου σε ύψος 2,5m. Κατά τη διάρκεια της ίδιας μεταχείρισης, καταγράφηκαν ορισμένες μετρήσεις σχετικής υγρασίας στο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους όπου σε μεμονωμένα σημεία παρατηρήθηκε πλήρης συμπύκνωση (100%).

Αντίστοιχα αποτελέσματα όσον αφορά τις θερμοκρασίες προέκυψαν από τη χρήση μόνο του αερόθερμου, με μέση τιμή της σχετικής υγρασίας περίπου στο 90%, με ομοιόμορφη μεταβολή.

Την περίοδο όπου η θέρμανση προερχόταν από τη συνδυασμένη χρήση αερόθερμου και επιδαπέδιων σωλήνων, παρατηρήθηκαν οι μεγαλύτερες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Παρόλα αυτά, η μέση τιμή της διατηρήθηκε στα επιθυμητά επίπεδα (15°C). Όσον αφορά τη σχετική υγρασία, η υψηλότερη τιμή της καταγράφηκε στην κορυφή του θερμοκηπίου, με σταδιακή μείωση προς το έδαφος.

Τέλος, την περίοδο μετά τη διακοπή λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης παρατηρήθηκε μια μείωση περίπου 2°C στα δυο επίπεδα μετρήσεων της καλλιέργειας, με μικρότερες θερμοκρασίες στο ενδιάμεσο επίπεδο καθώς τα σημεία δέχονταν χαμηλότερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας και με τις αντίστοιχες τιμές της σχετικής υγρασίας να μειώνονται σταδιακά από την κορυφή του θερμοκηπίου προς το κέντρο του.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η χρήση ενός μεικτού συστήματος θέρμανσης με επιδαπέδιους σωλήνες και αερόθερμο θα πρέπει να προτιμάται προκειμένου να επιτυγχάνεται ομοιομορφία κατανομής του μικροκλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Πρόλογος - Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, κ. Ν. Κατσούλα, για την υπόδειξη του θέματος της πτυχιακής διατριβής μου, τη βοήθεια και τη συμπαράσταση που μου προσέφερε κατά τη διάρκειά της.

Θερμές ευχαριστίες αποδίδονται στον Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Κ. Κίττα, για την επιστημονική καθοδήγηση, τη συνεργασία του και τη βοήθεια που μου πρόσφερε στη συγγραφή της εργασίας μου.

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Επίκουρο Καθηγητή του εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας κ. Σ. Φουντά, για τις διορθώσεις-υποδείξεις του ως μέλος της εξεταστικής επιτροπής.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά την οικογένειά μου για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρέχουν σε κάθε επιλογή μου, δίνοντάς μου δύναμη να επιτυγχάνω τους εκάστοτε στόχους μου.

Στους γονείς μου,

Πίνακας Περιεχομένων

Κεφάλαιο 1 Γενική Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά.....	2
1.1.1. Παγκόσμια κατανομή θερμοκηπιακών εκτάσεων.....	3
1.1.2. Ο κλάδος των θερμοκηπίων στην Ελλάδα.....	4
1.1.3. Τύποι θερμοκηπίων σε σχέση με τη θέρμανση.....	8
1.1.4. Προβλήματα του κλάδου των θερμοκηπίων στην Ελλάδα.....	11
1.1.5. Σημασία και μέθοδοι ρύθμισης της διαπνοής στο θερμοκήπιο.....	12
1.1.6. Αντικείμενο και δομή της εργασίας.....	16
Κεφάλαιο 2 Θεωρητική Ανάλυση – Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	17
2.1. Γενικά.....	18
2.2. Βέλτιστος έλεγχος της θερμοκρασίας – Συστήματα θέρμανσης του θερμοκηπίου.....	29
2.3. Συστήματα αφύγρανσης και θέρμανσης.....	42
2.4. Σύνοψη της ανασκόπησης.....	51
Κεφάλαιο 3 Υλικά και μέθοδοι.....	52
3.1. Εισαγωγή – Τοποθεσία του πειράματος.....	54
3.2. Περιγραφή θερμοκηπίου – Καλλιέργεια.....	55
3.3. Περιγραφή των οργάνων μέτρησης.....	60
3.4. Περιγραφή των μετρήσεων – μεταχειρίσεων.....	62
3.5. Περιγραφή της επεξεργασίας.....	67
Κεφάλαιο 4 Αποτελέσματα και συζήτηση.....	68
4.1. Εισαγωγή.....	70
4.2. Εφαρμογή επιδαπέδιας θέρμανσης.....	70
4.3. Εφαρμογή αερόθερμου.....	77
4.4. Εφαρμογή επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμου.....	86
4.5. Διακοπή λειτουργίας επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμου.....	93
Κεφάλαιο 5 Συμπεράσματα.....	99
5.1. Συμπεράσματα.....	100
Παράρτημα: Εξωτερικά δεδομένα.....	104
Βιβλιογραφία.....	105

Κεφάλαιο 1 ΓΕΝΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Τα θερμοκήπια είναι κλειστές, διαφανείς κατασκευές που ο σκελετός τους αποτελείται από σιδερένια ή ξύλινα δοκάρια, καλύπτεται από πλαστικά φύλλα ή γυαλί που έχουν σκοπό τη δημιουργία όσο το δυνατόν πιο ευνοϊκών συνθηκών περιβάλλοντος για την καλλιέργεια των φυτών, ιδιαίτερα σε εποχές που στην ύπαιθρο αυτό δεν συμβαίνει και σε περιοχές που δεν είναι ενδεδειγμένες για την καλλιέργεια κάποιου είδους στις επικρατούσες φυσικές οικολογικές συνθήκες. 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.



Εικόνα 1.1. Εσωτερικό σύγχρονου θερμοκηπίου (<http://www.google.gr/search>)

Με το θερμοκήπιο γενικά:

- Αποφεύγονται ζημιές από αέρα, βροχή, χιόνι και χαλάζι
- Ανάλογα με τον εξοπλισμό του, παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της κόμης των φυτών όπως της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ακτινοβολίας
- Παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της ρίζας των φυτών π.χ. της υγρασίας, του οξυγόνου, των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων και του pH

- Λόγω περιορισμένου χώρου και εξειδικευμένου εξοπλισμού παρέχεται η δυνατότητα αποτελεσματικότερης 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 ποιότητας λόγω της βελτίωσης των συνθηκών που επικρατούν μέσα στο θερμοκήπιο
- Παραγωγή προϊόντων με μικρό κόστος (Μαυρογιαννόπουλος,, 2005).

1.1.1. Παγκόσμια κατανομή θερμοκηπιακών εκτάσεων

Οι απαιτήσεις για παραγωγή φρέσκων λαχανικών και ανθέων κατά τη διάρκεια όλου του έτους έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του ενδιαφέροντος για καλλιέργειες υπό κάλυψη. Τα θερμοκήπια, τα οποία παρέχουν τη δυνατότητα καλλιέργειας υπό κάλυψη, έχουν αναπτυχθεί και βελτιωθεί σημαντικά εδώ και αρκετό καιρό. Ειδικά τα τελευταία χρόνια, οι προσπάθειες για περαιτέρω βελτίωση οδήγησαν στην εισαγωγή νέων υλικών κάλυψης, νέων μεθόδων κλιματισμού καθώς επίσης και στη χρήση της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών στο χώρο των θερμοκηπίων. Αποτέλεσμα των παραπάνω ήταν η κατασκευή θερμοκηπίων με χαρακτηριστικά που μπορούν να ανταποκριθούν στις ιδιαίτερες απαιτήσεις της κάθε περιοχής και καλλιέργειας. Η τεχνολογία των θερμοκηπίων αναπτύχθηκε προκειμένου να δημιουργείται το κατάλληλο περιβάλλον για την εκάστοτε επιθυμητή καλλιέργεια. Το θερμοκήπιο παρέχει τη δυνατότητα καλλιέργειας των φυτών κατά τη διάρκεια όλου του έτους και είναι μία κατασκευή, η οποία επιτρέπει τη δημιουργία του επιθυμητού μικροκλίματος για υψηλότερη παραγωγή (Jain, 2004).

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες αποτελούν την πιο δυναμική μορφή της πρωτογενούς παραγωγής. Η παγκόσμια έκταση το 2002 ανήλθε στα 15.000.000 στρέμματα ή περίπου $2m^2$ / κάτοικο της γης, εκ των οποίων το 83,3% στην Κίνα δηλαδή 12.500.000 στρέμματα (πιθανόν περιλαμβάνονται και τα χαμηλά σκέπαστρα) (Zhang, 2002). Στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Ε.Ε) υπήρχαν 1.200.000 στρέμματα θερμοκήπια ή το 8% των θερμοκηπιακών εκτάσεων παγκοσμίως.

Παγκόσμια, λοιπόν (πλην Κίνας για την οποία οι πληροφορίες είναι συγκεχυμένες), υπάρχουν σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία (2002), 2.500.000 στρέμματα

θερμοκηπίων, από τα οποία τα 650.000 στρέμματα είναι υαλόφρακτα και τα 1.850.000 στρέμματα είναι με κάλυψη πλαστικού. Σε σχέση με τον συνολικό αριθμό θερμοκηπίων παγκοσμίως (πλην Κίνας), τα θερμοκήπια της Ε.Ε. καλύπτουν το 48%, από τα οποία τα υαλόφρακτα θερμοκήπια αποτελούν το 62% των υαλόφρακτων θερμοκηπίων του κόσμου και τα πλαστικά το 43% των πλαστικών του κόσμου.

Όσον αφορά τα υαλόφρακτα θερμοκήπια, στην Ευρωπαϊκή Ένωση η Ολλανδία κατέχει την πρώτη θέση με 33% του συνόλου και ακολουθούν η Ιταλία με 17%, η Ισπανία με 13%, η Γερμανία με 10% και οι υπόλοιπες χώρες με μικρότερα ποσοστά. Στα καλυμμένα με πλαστικό θερμοκήπια, η Ισπανία κατέχει την πρώτη θέση με 59% του συνόλου και ακολουθεί η Ιταλία με 26%, η Γαλλία με 6%, η Ελλάδα με 4,5% ενώ έπονται οι άλλες χώρες με πολύ χαμηλά ποσοστά. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι ο τύπος θερμοκηπίων που χρησιμοποιείται στις διάφορες χώρες της Ε.Ε. εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες κάθε χώρας, την τεχνολογική της ανάπτυξη, τα χαρακτηριστικά της οικονομίας της και από τη φύση των προϊόντων που παράγονται εκεί. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η Ελλάδα στο γενικό σύνολο κατέχει μόλις την 7^η θέση ενώ έχει πολύ ευνοϊκές εδαφοκλιματικές συνθήκες για την παραγωγή θερμοκηπιακών προϊόντων.

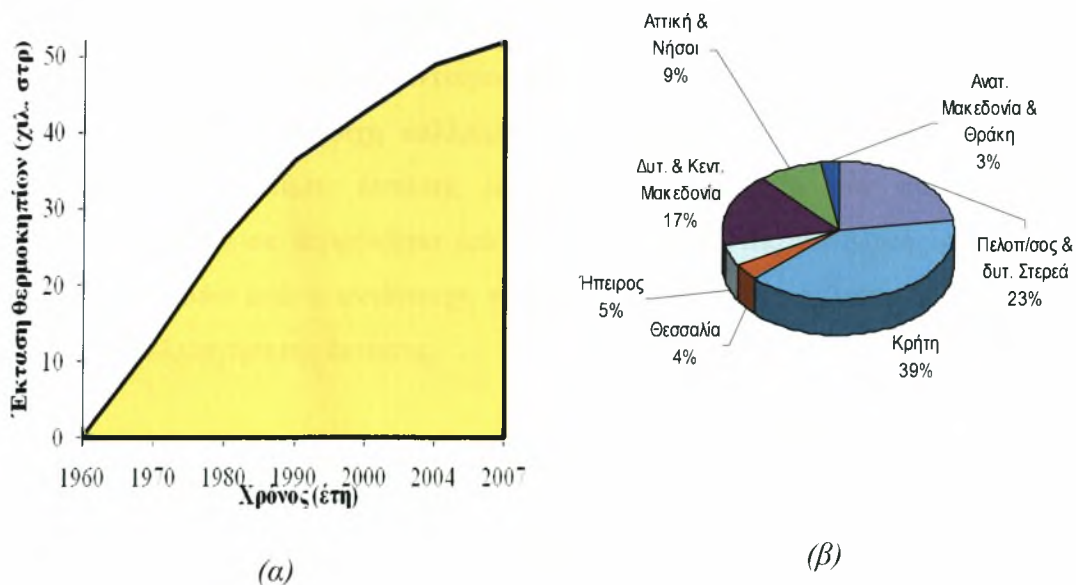
Σχετικά με την προσφορά θερμοκηπιακών προϊόντων στις χώρες της Ε.Ε. σημειώνουμε ότι, γενικά, το χειμώνα υπάρχει έλλειψη θερμοκηπιακών προϊόντων και γίνονται σημαντικές εισαγωγές από άλλες χώρες (κυρίως Μεσογειακές) ενώ το καλοκαίρι πλεόνασμα, το οποίο εξάγεται (Μαυρογιαννόπουλος,, 2005).

1.1.2. Ο κλάδος των θερμοκηπίων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, οι πρώτες συστηματικές εγκαταστάσεις θερμοκηπίων ξεκίνησαν το 1955 και αποτελούνταν από υαλόφρακτα θερμοκήπια για παραγωγή καλλωπιστικών φυτών. Τα θερμοκήπια είναι συγκεντρωμένα σε περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες και έντονη ηλιοφάνεια π.χ. Κρήτη, Πελοπόννησος και νησιά νοτίου Αιγαίου . Στη χώρα μας, η οποία καλύπτει το 1.4% της παγκόσμιας έκτασης σε θερμοκήπια, η αύξηση των θερμοκηπιακών εκτάσεων ήταν ιδιαίτερα εντυπωσιακή την εικοσαετία 1960-1980 (Σχήμα 1.1.α), με τη χρησιμοποίηση του πλαστικού φύλλου πολυαιθυλενίου ως υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων. Τα διάφορα διαρθρωτικά προβλήματα της ελληνικής γεωργίας όπως η ανάγκη εξασφάλισης υψηλότερου εισοδήματος από μικρής έκτασης γεωργικό έδαφος (εντατικοποίηση καλλιεργειών), ώθησαν αρκετούς

αγρότες από άλλες περιοχές της Ελλάδας (π.χ. Θεσσαλία) στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες, αυξάνοντας έτσι το ποσοστό των θερμοκηπιακών εκτάσεων. Η ευκολία προσαρμογής του πλαστικού σε οποιοδήποτε σχήμα σκελετού και η χαμηλή του τιμή, επέτρεψαν στους καλλιεργητές σε περιοχές με πρώιμες καλλιέργειες να κατασκευάσουν μόνοι τους θερμοκήπια για παραγωγή πρώιμων κηπευτικών χωρίς να χρειάζονται μεγάλα κεφάλαια. Κατά τη δεκαετία του '80 η αύξηση συνεχιζόταν αλλά με χαμηλότερους ρυθμούς ενώ κατά την τελευταία δεκαετία οι ρυθμοί ήταν ακόμη χαμηλότεροι. 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 π.χ. οι εδαφοκλιματικές συνθήκες και το ήπιο κλίμα που παρέχει τη δυνατότητα καλλιέργειας σε απλές κατασκευές χωρίς ακριβό εξοπλισμό. Κατά συνέπεια, η χώρα μας υστερεί σημαντικά στον τομέα αυτό έναντι άλλων χωρών με παρόμοιες κλιματολογικές συνθήκες, όπως είναι η Ισπανία και η Ιταλία.

Στην Ελλάδα, η Κρήτη κατέχει το μεγαλύτερο τμήμα της καλυμμένης έκτασης σε θερμοκήπια με ποσοστό περίπου 39% (Σχήμα 1.1.β).



Σχήμα 1.1. (α) Έκταση θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα από το 1960 έως το 2007 (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας). (β) Γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα σε ποσοστό της συνολικής έκτασης (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας).

Τα προϊόντα που παράγονται στο θερμοκήπιο ανήκουν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Τρόφιμα, κυρίως κηπευτικά και φρούτα
- Καλλωπιστικά φυτά, γλαστρικά φυτά και δρεπτά (κομμένα) άνθη.

Τα προϊόντα αυτά συνιστούν σήμερα έναν από τους δυναμικότερους τομείς της ελληνικής γεωργίας, από πλευράς εξασφάλισης εισοδήματος και εξαγωγών. Η καλλιέργεια των κηπευτικών φυτών και των δρεπτών ανθέων, στη συντριπτική πλειονότητα των θερμοκηπίων, γίνεται στο φυσικό έδαφος ή σε βελτιωμένο με προσθήκη οργανικής ουσίας. Η καλλιεργούμενη σήμερα έκταση στην Ελλάδα είναι περίπου 1.500 στρέμματα και γίνεται με τη μέθοδο του ορυκτοβάμβακα, μεμβράνης θρεπτικού διαλύματος, σάκων περλίτη και οργανικών υποστρωμάτων.

Τα παραγόμενα θερμοκηπιακά προϊόντα έχουν ιδιαίτερη σημασία για την αγροτική οικονομία της χώρας μας, καθώς συμμετέχουν στο σύνολο της ακαθάριστης αξίας της φυτικής παραγωγής κατά 6,6 % περίπου, καλύπτοντας το 0.1% της καλλιεργήσιμης έκτασης. Το 79% της συνολικής έκτασης των θερμοκηπίων χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια λαχανοκομικών ειδών και το 10% για την καλλιέργεια ανθοκομικών προϊόντων. Σύμφωνα με τα στοιχεία του Υπουργείου Γεωργίας για το 1998, η αξία των θερμοκηπιακών προϊόντων αντιπροσώπευε το 18.5% της συνολικής αξίας των κηπευτικών ενώ η αντίστοιχη καλλιεργήσιμη έκταση κάλυπτε μόνο το 3% της συνολικής καλλιεργήσιμης έκτασης με κηπευτικά. Η αξία των παραγόμενων ανθοκομικών ειδών σε θερμοκήπια αποτελούσε το 50% της συνολικής αξίας των ανθοκομικών ειδών ενώ η αντίστοιχη καλλιεργήσιμη έκταση κάλυπτε το 33% της συνολικής καλλιεργήσιμης έκτασης.

Τα κυριότερα είδη που καλλιεργούνται στο θερμοκήπιο είναι η τομάτα(50%) και το αγγούρι (25%) από τα λαχανοκομικά, τα γλαστρικά φυτά, τα γαρίφαλα και τα τριαντάφυλλα από τα ανθοκομικά.

Η γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπίων και καλλιεργειών στη χώρα μας παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.1.

Περιοχές Χώρας	Κηπευτικά			
	Πλαστικά	Υαλόφρακτα	Σύνολο	Ποσοστό(%)
Κρήτη	19623	177	19800	46,4
Πελοπόννησος	6298	49	6347	14,9
Κεντρική Μακεδονία	6424	8	6432	15,1
Λοιπές περιοχές	9975	104	10079	23,6
Σύνολο χώρας	42320	338	42658	100
Ποσοστό(%)	99,2	0,8	100	

Περιοχές Χώρας	Ανθοκομικά			
	Πλαστικά	Υαλόφρακτα	Σύνολο	Ποσοστό(%)
Κρήτη	409	412	821	21,7
Πελοπόννησος	87	202	289	7,6
Κεντρική Μακεδονία	74	297	371	9,8
Λοιπές περιοχές	692	1610	2302	60,9
Σύνολο χώρας	1262	2521	3783	100
Ποσοστό(%)	33,4	66,6	100	

Περιοχές Χώρας	Σύνολο			
	Πλαστικά	Υαλόφρακτα	Σύνολο	Ποσοστό(%)
Κρήτη	20032	589	20621	44,4
Πελοπόννησος	6385	251	6636	14,3
Κεντρική Μακεδονία	6498	305	6803	14,6
Λοιπές περιοχές	10667	1714	12381	26,7
Σύνολο χώρας	43582	2859	46441	100
Ποσοστό(%)	93,8	6,2	100	

Πίνακας 1.1. Γεωγραφική κατανομή των εγκατεστημένων στη χώρα μας θερμοκηπίων και καλλιεργειών σε στρέμματα (Υπουργείο Γεωργίας, 2003)

Η μέση στρεμματική απόδοση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών είναι σαφώς μεγαλύτερη από την απόδοση της υπαίθριας παραγωγής. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η απόδοση της τομάτας φτάνει τους δέκα (10) τόνους ανά στρέμμα, απόδοση που είναι διπλάσια της υπαίθριας παραγωγής. Αξίζει να αναφερθεί ότι στην Ολλανδία η απόδοση της τομάτας φτάνει τους 60 τόνους ανά στρέμμα.

Ο κλάδος των θερμοκηπίων στην Ελλάδα αποτελεί έναν από τους δυναμικότερους κλάδους της γεωργίας, παρόλο που ο μεγαλύτερος όγκος των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων στην Ελλάδα δε βρίσκεται τεχνολογικά σε υψηλό επίπεδο. Η περαιτέρω ανάπτυξη των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων:

- παρέχει τη δυνατότητα συγκράτησης του πληθυσμού στην ύπαιθρο
- μειώνει την ανεργία αξιοποιώντας πολλά εργατικά χέρια
- συντελεί στην αύξηση των ελληνικών εξαγωγών γεωργικών προϊόντων και
- δίνει διέξοδο στον εκσυγχρονισμό της ελληνικής γεωργίας.

Για να γίνει όμως δυνατή η βελτίωση αυτής της παραγωγικής δραστηριότητας, υπάρχει μεγάλη ανάγκη τεχνικής υποστήριξης των θερμοκηπιακών μονάδων, διότι:

- Η παραγωγή τους βασίζεται σε ανεπτυγμένες τεχνολογικά μεθόδους
- Η ανάπτυξη και παραγωγή φυτών έξω από το φυσικό τους περιβάλλον δημιουργεί περισσότερα προβλήματα απ' ό,τι στις συνθήκες καλλιέργειας του ανοιχτού αγρού, που πρέπει να επιλυθούν από κατάλληλα εξοπλισμένα εργαστήρια
- Ο εντατικός ρυθμός καλλιέργειας απαιτεί άμεσες λύσεις που δεν επιδέχονται καθυστερήσεις.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ορθολογική ρύθμιση του περιβάλλοντος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, καθώς και την υιοθέτηση τεχνικών που βελτιώνουν την ενεργειακή συμπεριφορά του και περιορίζουν την κατανάλωση ενέργειας. (Μπαρτζάνας, 2004).

1.1.3. Τύποι θερμοκηπίων σε σχέση με τη θέρμανση

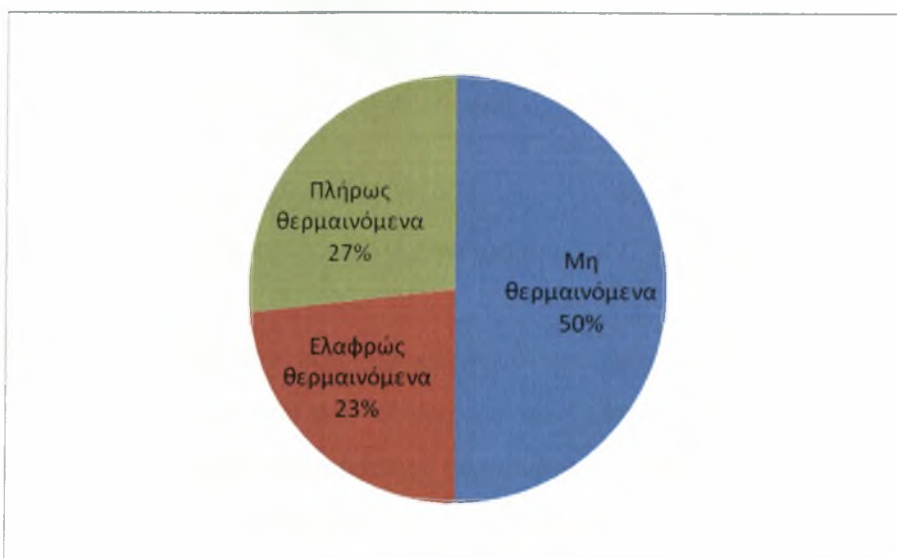
Τα θερμοκήπια με βάση τη θέρμανση που διαθέτουν χωρίζονται σε μη θερμαινόμενα, ελαφρώς θερμαινόμενα και πλήρως θερμαινόμενα.

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

Στα ελαφρώς θερμαινόμενα θερμοκήπια, η τεχνητή θέρμανση χρησιμοποιείται για να προστατεύσει συνήθως την καλλιέργεια από τον 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.

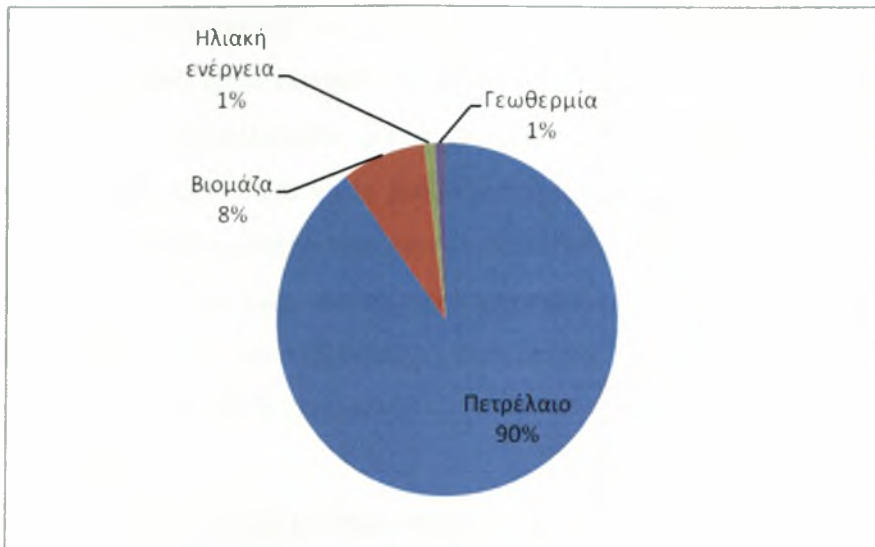
Τα πλήρως θερμαινόμενα θερμοκήπια έχουν πιο σύνθετο και περισσότερο ακριβό σύστημα θέρμανσης που επιτρέπει τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του χώρου στο άριστο επίπεδο. Πιο συχνά χρησιμοποιείται κεντρική θέρμανση με ζεστό νερό ή αερόθερμα κατάλληλης ισχύος, που συνοδεύονται με αεραγωγό για ομοιόμορφη κατανομή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



Γράφημα 1.1. Ποσοστιαία κατανομή της έκτασης των ελληνικών θερμοκηπίων σε σχέση με τον τρόπο θέρμανσης (Υπουργείο Γεωργίας, 2003)

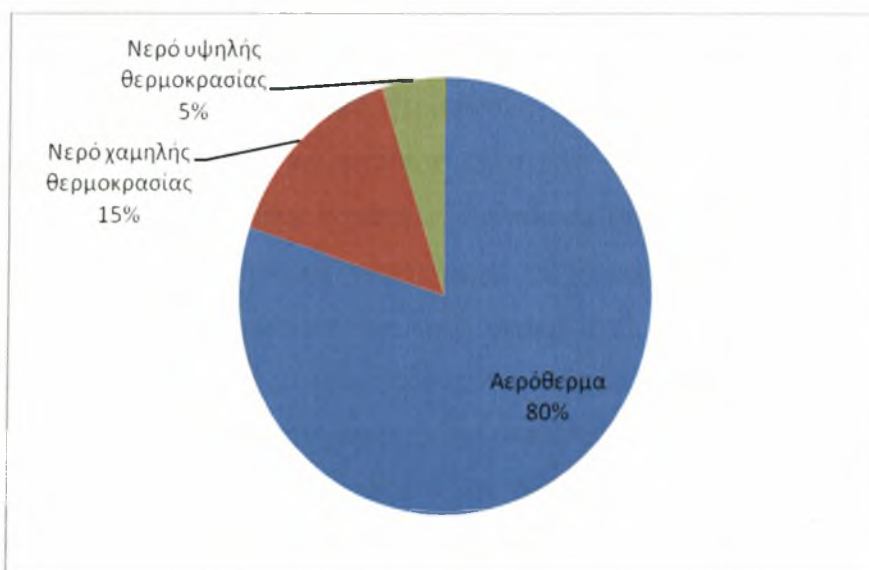
Σχετικά με τη θέρμανση το 1982, το 15% των θερμοκηπίων (υαλόφρακτων και πλαστικών) είχαν τη δυνατότητα έστω και υποτυπώδους θέρμανσης. Το 2003, αντίστοιχα, το ποσοστό είναι 50%. Θα πρέπει να σημειώσουμε, όμως, ότι μόνο το 26,7% έχει τη δυνατότητα ρύθμισης του περιβάλλοντος στα επιθυμητά επίπεδα ενώ τα υπόλοιπα χρησιμοποιούν τη θέρμανση για αντιπαγετική προστασία ή για τη μείωση της σχετικής υγρασίας.

Υπολογίζεται ότι το 2003, 11.170 στρέμματα ή το 90% του συνόλου των θερμαινόμενων θερμοκηπίων της χώρας θερμαίνονται με μαζούτ ή πετρέλαιο, 990 στρέμματα ή το 8% θερμαίνεται με βιομάζα (κυρίως με πυρήνα ελιάς), 120 στρέμματα ή το 1% με ηλιακή ενέργεια και 120 στρέμματα ή το 1% με γεωθερμική ενέργεια, όπως απεικονίζεται στο επόμενο διάγραμμα:



Γράφημα 1.2. Ποσοστιαία σχηματική παράσταση της έκτασης των θερμαινόμενων θερμοκηπίων σε σχέση με το καύσιμο που χρησιμοποιείται (Υπουργείο Γεωργίας, 2003)

Στο 80% των θερμοκηπίων που θερμαίνονται με μαζούτ ή πετρέλαιο, για την κατανομή της θερμότητας μέσα στο εσωτερικό τους χρησιμοποιείται το αερόθερμο, στο 5% χρησιμοποιείται κεντρικό σύστημα θέρμανσης με νερό 85°C που κυκλοφορεί σε μεταλλικούς σωλήνες και στο 15% χρησιμοποιείται κεντρικό σύστημα θέρμανσης με ζεστό νερό 45°C που κυκλοφορεί σε πλαστικούς σωλήνες.



Γράφημα 1.3. Ποσοστιαία σχηματική παράσταση των διάφορων συστημάτων θέρμανσης που χρησιμοποιούνται στα θερμαινόμενα θερμοκήπια (Υπουργείο Γεωργίας, 2003)

Τα τυποποιημένα θερμοκήπια, δηλαδή αυτά που προέρχονται από βιοτεχνίες και βιομηχανίες, το 1982 αποτελούσαν το 14,5% του συνόλου ενώ το 2003 αποτελούν το 58% του συνόλου. Τα τελευταία χρόνια προτιμούνται περισσότερο τα τυποποιημένα μεταλλικά θερμοκήπια διότι είναι μακροβιότερα. Ας σημειωθεί ότι τα τελευταία επίσης χρόνια, ο καλλιεργητής έχει συνειδητοποιήσει την ευνοϊκή επίδραση που έχει στην αύξηση της παραγωγής του το σωστό περιβάλλον στο χώρο του θερμοκηπίου. Για αυτόν το λόγο, όλο και περισσότερα θερμοκήπια κατασκευάζονται με εξαερισμό οροφής και εξοπλίζονται με θέρμανση.

1.1.4. Προβλήματα του κλάδου των θερμοκηπίων στην Ελλάδα

Σήμερα, η παραγωγή προϊόντων υπό κάλυψη εμφανίζεται ιδιαίτερα ενεργειοβόρα με ταυτόχρονη σημαντική χρήση χημικών για φυτοπροστασία, λίπανση και απολύμανση του εδάφους. Ο ανταγωνισμός, τόσο με τις χώρες της Βόρειας Ευρώπης, όσο και με τις χώρες της Μεσογειακής λεκάνης, είναι ιδιαίτερα οξύς, με αποτέλεσμα τη σχεδόν παντελή έλλειψη ελληνικών θερμοκηπιακών προϊόντων στις διεθνείς αγορές.

Η θέρμανση των θερμοκηπίων στη χώρα μας καθώς επίσης και σε όλον τον μεσογειακό χώρο, παρουσιάζει μια ιδιομορφία εξαιτίας των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν. Αυτή η ιδιομορφία συνίσταται 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 λαχανοκομικά προϊόντα καλής ποιότητας σε μη θερμαινόμενα θερμοκήπια. Το ήπιο κλίμα που επικρατεί στη χώρα μας το χειμώνα είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα γιατί χρειάζονται πολύ μικρότερες ποσότητες καυσίμων (περίπου το 1/5 – 1/6) για τη θέρμανση των θερμοκηπίων σε σύγκριση με τις χώρες της Βόρειας Ευρώπης, δεν σημαίνει όμως ότι η θέρμανση δεν είναι απαραίτητη. Επίσης, η πλειοψηφία των καλλιεργητών αγνοούν τις ακριβείς ποσότητες των καυσίμων οι οποίες απαιτούνται στη διάρκεια ενός έτους για να μπορούν να υπολογίζουν το επιπλέον κόστος που θα έχουν να αντιμετωπίσουν ενώ παράλληλα δεν γνωρίζουν ακριβώς ποιος τύπος καυσίμων είναι ο πιο κατάλληλος και ο πιο οικονομικός για το θερμοκήπιο και την περιοχή τους.

Για να γίνει η παραγωγή θερμοκηπιακών προϊόντων πιο φιλική στο περιβάλλον (με μείωση των εισροών ενέργειας και χημικών) και πιο ανταγωνιστική, δημιουργώντας έτσι προϋποθέσεις επέκτασης του κλάδου των θερμοκηπίων, θα πρέπει:

- Να υιοθετηθούν τεχνικές που βελτιώνουν την ενεργειακή συμπεριφορά του θερμοκηπίου και περιορίζουν την κατανάλωση ενέργειας. Τέτοιες τεχνικές είναι ο ορθολογικός σχεδιασμός της κατασκευής, η βελτίωση της χρήσης των συστημάτων θέρμανσης, η χρήση ήπιων μορφών ενέργειας και συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας. Η υιοθέτηση των ανωτέρω θα βελτιώσει τη συμπεριφορά των θερμοκηπίων στην εγχώρια αγορά και θα αυξήσει την ανταγωνιστικότητα των ελληνικών θερμοκηπίων.
- Να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες που παρατείνουν τη λειτουργία του θερμοκηπίου κατά τη θερμή περίοδο. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη χώρα μας, όπου, από τις πρώτες μέρες της άνοιξης, οι υψηλές θερμοκρασίες και οι υψηλές τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργούν «δυσβάστακτες» υπερθερμάνσεις στο εσωτερικό των θερμοκηπίων. Τέτοιες τεχνικές είναι ο σωστός φυσικός αερισμός, η χρήση συστημάτων δυναμικού αερισμού, δροσισμού και σκίασης. Οι τεχνολογίες αυτές θα καταστήσουν τα θερμοκήπιά μας ανταγωνιστικά σε σχέση με τα θερμοκήπια των άλλων μεσογειακών χωρών και θα μειώσουν τις εισαγωγές, ιδιαίτερα των ανθοκομικών προϊόντων.

Στη σημερινή παραγωγή θερμοκηπιακών προϊόντων, η έμφαση δε δίνεται στην αύξηση της παραγωγής αλλά κυρίως στην ορθολογική χρησιμοποίηση των συντελεστών της που θα επιτρέψει την παραγωγή ποιοτικών προϊόντων με όσο το δυνατόν λιγότερες εισροές. Το κλειδί για την επίτευξη του ανωτέρου στόχου στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες αποτελεί η ορθολογική ρύθμιση του περιβάλλοντος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

1.1.5. Σημασία και μέθοδοι ρύθμισης της διαπνοής στο θερμοκήπιο

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα των θερμοκηπίων, κατά τη διάρκεια του χειμώνα, είναι η διαχείριση της υγρασίας στο εσωτερικό τους και κυρίως η μείωση των υψηλών επιπέδων υγρασίας. Το πρόβλημα έγινε ιδιαίτερα έντονο από το 1980, όταν λόγω της ενεργειακής κρίσης υιοθετήθηκαν τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας (θερμοκουρτίνες εξοικονόμησης ενέργειας, διπλή κάλυψη της οροφής, μόνωση

βορινής πλευράς) που οδήγησαν σε αύξηση της υγρασίας του αέρα του θερμοκηπίου. Αυτό συμβαίνει διότι, λόγω της εξατμισοδιαπνοής της καλλιέργειας, δημιουργείται στο εσωτερικό των θερμοκηπίων μια συνεχής ροή υδρατμών, η οποία κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι μικρή αλλά όχι μηδενική. Οι παραγόμενοι υδρατμοί, αν δε διοχετευθούν προς το περιβάλλον με τον αερισμό του θερμοκηπίου, θα υγροποιηθούν στην επιφάνεια των φύλλων ή του τοιχώματος, γεγονός που ευνοεί την ανάπτυξη κρυπτογαμικών ασθενειών και ιδιαίτερα της φαιάς σήψης, που προκαλείται από το μύκητα *Botrytis cinerea*.



Εικόνα 1.2. Προσβολή διαφόρων μερών θερμοκηπιακών καλλιεργειών από το μύκητα *Botrytis cinerea*. Από αριστερά προς δεξιά: προσβολή σε φύλλο, σε μίσχο, σε άνθος και σε καρπό (Μπαρτζάνας, 2004).

Η ύπαρξη αυξημένης υγρασίας οδηγεί στη δημιουργία συμπυκνώσεων στην επιφάνεια των φύλλων και στο εσωτερικό του καλύμματος του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα οι μύκητες να βρίσκουν πρόσφορο έδαφος και να αναπτύσσονται ταχύτατα.

Μερικές ακόμη συνήθεις μυκητολογικές ασθένειες στο εσωτερικό των θερμοκηπίων είναι ο περονόσπορος (*Phytophthora infestans*), το ωίδιο (*Leveillula taurica*-τομάτα) και η κλαδοσπορίωση (*Fulvia fulva*-τομάτα).

Η υγρασία είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες σύστασης του περιβάλλοντος των φυτών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου γι' αυτό η διατήρηση ενός κατάλληλου περιβάλλοντος υγρασίας (π.χ. η μείωση της σχετικής υγρασίας κατά τη διάρκεια των ψυχρών ωρών), είναι απαραίτητη για τη φυσιολογική ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών. Γενικά, οι επιπτώσεις που δημιουργεί η σχετική υγρασία στα φυτά προέρχονται κυρίως από την επίδραση της υψηλής σχετικής υγρασίας στη σημαντική μείωση της λειτουργίας της διαπνοής (όπου συχνά δημιουργούνται προβλήματα θρέψεως π.χ. μεταφοράς ασβεστίου) και τη συμπύκνωση της υγρασίας στο φύλλωμα των φυτών (όπου παρατηρείται εκτεταμένη ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών).

Προκειμένου να μειωθούν τα υψηλά επίπεδα σχετικής υγρασίας συνίσταται η αφύγρανση των θερμοκηπίων με μία ή συνδυασμό των παρακάτω μεθόδων:

- α) χρήση υγροσκοπικών υλικών
- β) συμπύκνωση πάνω σε μία κρύα επιφάνεια, με τη χρήση συνήθως μιας αντλίας θερμότητας
- γ) εξαναγκασμένη εναλλαγή του αέρα του θερμοκηπίου, με τη χρήση εναλλάκτη θερμότητας
- δ) συνδυασμένη χρήση των συστημάτων θέρμανσης και αερισμού (Μανωλαράκη, 2008).

Στόχος της σημερινής παραγωγής θερμοκηπιακών προϊόντων δεν είναι τόσο η αύξηση της παραγωγής, όσο η παραγωγή ποιοτικών προϊόντων με ταυτόχρονη μείωση όλων των εισροών (ενεργειακών και χημικών). Αν το κλίμα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μπορούσε να ελεγχθεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να έχουμε μια πιο

ομοιόμορφη κατανομή των κλιματικών παραμέτρων του, τότε εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας θα μειωνόταν και η ένταση προσβολής από εχθρούς και ασθένειες επιτρέποντας έτσι μια πιο φιλική προς το περιβάλλον αντιμετώπισή τους (χρήση φυσικών εχθρών).

1.1.6. Αντικείμενο και δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία αποτελεί μια πειραματική διερεύνηση της επίδρασης των συστημάτων θέρμανσης στην κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας σε ένα πλαστικό, τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο. Μέσα από πειραματικές μετρήσεις μελετάται η επίδραση των συστημάτων θέρμανσης και αερισμού στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου, στην παραγωγή της καλλιέργειας τομάτας και στην ανάπτυξη ασθενειών σε σχέση πάντα με την κατανάλωση ενέργειας.

Μετά τη γενική εισαγωγή που προηγήθηκε, στη συνέχεια (Κεφάλαιο 2) γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των συστημάτων και των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της υψηλής υγρασίας των θερμοκηπίων, τονίζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους και προσδιορίζεται η αποτελεσματικότητά τους. Έπειτα, αναλύεται η ανάγκη διερεύνησης της κατανομής των κλιματικών παραμέτρων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Το ειδικό μέρος της εργασίας ξεκινάει με την αναφορά στην τοποθεσία του πειράματος, την περιγραφή του πειραματικού θερμοκηπίου, των πειραματικών διατάξεων και οργάνων μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν, την περιγραφή των μετρήσεων και μεταχειρίσεων που πραγματοποιήθηκαν καθώς και την περιγραφή της επεξεργασίας τους (Κεφάλαιο 3).

Η παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων ξεκινάει με την επίδραση του είδους του συστήματος θέρμανσης στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου (Κεφάλαιο 4). Θεωρώντας ως βασικό το σύστημα θέρμανσης των επιδαπέδιων σωλήνων ζεστού νερού, αξιολογείται η συνδυασμένη χρήση ενός τέτοιου συστήματος και ενός αξονικού αερόθερμου. Η αποτελεσματικότητα του κάθε συστήματος αξιολογείται τόσο ενεργειακά όσο και με βάση το επιθυμητό αποτέλεσμα, που είναι η μείωση της υγρασίας. Ταυτόχρονα θα γίνεται αναφορά στη βιβλιογραφία και σύγκριση με αποτελέσματα παρόμοιων ή παραπλήσιων εργασιών.

Στο τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας (Κεφάλαιο 5) παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και η θετική ή αρνητική επίδραση των μεταχειρίσεων που μελετήθηκαν.

**Κεφάλαιο 2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ
ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ**

ΑΝΑΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ

2.1. Γενικά

Το μικροκλίμα του θερμοκηπίου

Το θερμοκήπιο είναι μια κλειστή κατασκευή εντός της οποίας το περιβάλλον μπορεί να ελεγχθεί ή να τροποποιηθεί έτσι ώστε να είναι ευνοϊκό για την σωστή ανάπτυξη των φυτών. Το περιβάλλον του θερμοκηπίου εκφράζεται από μια ομάδα μέσων τιμών κλιματικών παραγόντων όπως η ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η υγρασία και η συγκέντρωση του CO₂ οι οποίοι επιδρούν στην ανάπτυξη των φυτών. Η ρύθμιση των περιβαλλοντικών παραγόντων που περιβάλλουν τα φυτά στο θερμοκήπιο ορίζεται ως μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Το μικροκλίμα του θερμοκηπίου ελέγχει άμεσα τις ανταλλαγές ενέργειας και μάζας και επιδρά στις μεταβολικές δραστηριότητες των φυτών. Το μικροκλίμα του θερμοκηπίου επηρεάζεται και από το μακροκλίμα και από την φυσιολογική κατάσταση των φυτικών στοιχείων της μονάδας (γεωμετρικοί παράμετροι, θερμικές συνθήκες) που υπόκεινται σε αυτό. Η διαφορά μεταξύ του κλίματος του θερμοκηπίου και του εξωτερικού καιρού οφείλεται κυρίως σε δύο μηχανισμούς. Ο πρώτος είναι ο αέρας που περικλείεται μέσα στο θερμοκήπιο και ο οποίος είναι εγλωβισμένος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι εναλλαγές του θερμοκηπιακού αέρα με τον εξωτερικό αέρα να είναι μειωμένες και οι ταχύτητες του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο να είναι μικρές σε σχέση με αυτές του εξωτερικού αέρα. Η μείωση των εναλλαγών του αέρα (ή του εξαερισμού) επιδρά άμεσα στα ισοζύγια ενέργειας και μάζας ενώ οι μικρότερες ταχύτητες επηρεάζουν την ανταλλαγή ενέργειας, την εξάτμιση νερού και το CO₂ ανάμεσα στον αέρα του θερμοκηπίου και τα υπόλοιπα στοιχεία του (καλλιέργεια, έδαφος, κάλυμμα, σύστημα θέρμανσης). Ο δεύτερος είναι ο μηχανισμός της ακτινοβολίας κατά τον οποίο η μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία εμποδίζεται από τα διαφανή και αδιαφανή στοιχεία του θερμοκηπίου ενώ η ανταλλαγή της μεγάλου μήκους ακτινοβολίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος είναι αποτέλεσμα των ραδιομετρικών ιδιοτήτων των υλικών κάλυψης.

Το μικροκλίμα του θερμοκηπίου ποσοτικά περιγράφει τη διαδικασία μεταφοράς ενέργειας και μάζας εντός του φυτικού θόλου, την ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ του αέρα, των φυτών και λοιπών επιφανειών και τους τρόπους με τους οποίους τα φυτά ανταποκρίνονται στους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Το μικροκλίμα του θερμοκηπίου επηρεάζεται από τον προσανατολισμό, το γεωγραφικό πλάτος και την περιοχή του θερμοκηπίου, το φυτικό θόλο μέσα στο θερμοκήπιο, την επιφάνεια του γυμνού εδάφους, το δομικό σχεδιασμό (σχήμα και μέγεθος), τις ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του θερμοκηπίου κλπ. Επίσης, εξαρτάται από τα συστήματα θέρμανσης και εξαερισμού που υπάρχουν εντός του θερμοκηπίου.

Ο σχεδιασμός και η λειτουργική χρήση ενεργειακά αποδοτικών και πλήρως ελεγχόμενων ως προς το μικροκλίμα τους θερμοκηπιακών συστημάτων είναι η σημερινή τάση για έλεγχο της παραγωγής και της ποιότητας, ανεξάρτητα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Ο βέλτιστος σχεδιασμός του θερμοκηπίου και ο έλεγχος του περιβάλλοντος, αντιπροσωπεύουν ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης και η χρήση των φυσικών και φυσιολογικών πληροφοριών καθώς επίσης και των μοντέλων προσομοίωσης έχει δείξει ότι αποτελούν ένα πολύ ισχυρό εργαλείο όσον αφορά αυτό το πρόβλημα. Οι μέθοδοι προσομοίωσης για την πρόβλεψη του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, παρέχουν μια γρήγορη, ευέλικτη και επαναλαμβανόμενη μέθοδο έναντι των πειραματικών προβλέψεων. Σε όλον τον κόσμο ερευνητικές ομάδες αναπτύσσουν και χρησιμοποιούν μοντέλα για το σχεδιασμό και το λειτουργικό έλεγχο των θερμοκηπίων. Τα μοντέλα προσομοίωσης του μικροκλίματος του θερμοκηπίου είναι φυσικά μοντέλα και περιγράφουν την εξέλιξη των παραγόντων του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου υπολογίζοντας τις επιδράσεις της δομής του, τις ιδιότητες των υλικών κάλυψης, τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες και την εφαρμογή των συστημάτων ελέγχου στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Επομένως, ένα τέτοιο μοντέλο προάγει τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού του θερμοκηπίου, την διαχείριση του κλίματος και της παραγωγής. Η έρευνα πάνω στο ενεργειακό ισοζύγιο, οι διαδικασίες προσομοίωσης και οι εφαρμογές στον έλεγχο του κλίματος του θερμοκηπίου άρχισαν να διεξάγονται στις αρχές της δεκαετίας του 1980 (Bot, 1983; Udink ten Cate, 1983).

Κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών, η έρευνα προσομοίωσης του θερμοκηπίου έχει συμβάλει στην κατανόηση των φυσικών πτυχών του μικροκλίματος όπως στη μετάδοση της ακτινοβολίας (Kurata *et al.*, 1991; Boulard & Wang, 2000; Soriano *et al.*, 2004), τη θέρμανση (Teitel and Tanny, 1998; Kempkes *et al.*, 2000; Kempkes *et al.*, 1998; Kurpaska *et al.*, 2004) τον εξαερισμό (Wang, 1988; Fernandez and Baille, 1992; Boulard & Baille, 1995; Boulard *et al.*, 1997; Boulard *et al.*, 1999; Willits, 2003), τις φυσιολογικές διαδικασίες εντός του θερμοκηπίου όπως η διαπνοή των φυτών (Stanghellini, 1987; Stanghellini & Meurs, 1992; Boulard & Wang, 2000; Kittas *et al.*, 2001) και τη φωτοσύνθεση (Gijzen, 1992; Chalabi & Fernandez, 1994; Nederhoff & Vegter, 1994; Pucheta *et al.*, 2006). Με βάση τα ισοζύγια ενέργειας και μάζας του θερμοκηπίου, διάφοροι ερευνητές έχουν αναπτύξει θερμικά μοντέλα προσομοίωσης με αντιπροσωπευτικότερα στην κατηγορία το KASPRO (De Zwart, 1996), το MICGREEN (Singh *et al.*, 2006) το GDGCM (Pieters & Deltour, 1997), το SimGreC (Dimokas *et al.*, 2008) κλπ. Τέλος, οι Gary *et al.* (1998) ανέπτυξαν το μοντέλο SIMULSERRE που χρησιμεύει ως ένα λογισμικό εκπαίδευσης και προσομοιάζει το σύστημα παραγωγής μέσα στο θερμοκήπιο.

Παράγοντες του περιβάλλοντος που επηρεάζουν την ανάπτυξη και παραγωγή φυτών στο θερμοκήπιο

Η ανάπτυξη και παραγωγή ενός φυτού εξαρτώνται από το κληρονομικό δυναμικό του, δηλαδή το είδος και την ποικιλία ή το υβρίδιο καθώς και από το περιβάλλον μέσα στο οποίο θα αναπτυχθεί. Το περιβάλλον το συνιστούν όλα τα φυσικά μεγέθη του χώρου που επιδρούν στην ανάπτυξη των φυτών. Για ένα συγκεκριμένο κληρονομικό δυναμικό υπάρχει πάντα ένα βέλτιστο περιβάλλον το οποίο επιτρέπει στους χαρακτήρες του φυτού που προσδιορίζονται από το κληρονομικό δυναμικό, να αναπτυχθούν στον καλύτερο δυνατό βαθμό.

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

α) οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού, που επιτελούνται στο υπέργειο μέρος του και είναι κυρίως η ακτινοβολία, η θερμότητα, το διοξείδιο του άνθρακα και η υγρασία.

β) οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού που επιτελούνται στη ρίζα και είναι κυρίως η θερμότητα, το νερό, το οξυγόνο, τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία και το pH.

Νεότερες έρευνες δείχνουν, όμως, ότι και η θερμοκρασία του φύλλου καθώς και η θερμοκρασία εδάφους πρέπει να είναι οι κατάλληλες για την ομαλή ανάπτυξη των φυτών.

Το περιβάλλον της κόμης επηρεάζεται από το χώρο του θερμοκηπίου ενώ αυτό της ρίζας από το έδαφος του θερμοκηπίου, τα υποστρώματα καλλιέργειας ή τα συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών που τυχόν χρησιμοποιούνται. Για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής δεν αρκεί η ρύθμιση καθενός από τους παράγοντες του περιβάλλοντος σε ένα συγκεκριμένο άριστο σημείο αλλά απαιτείται η ρύθμιση καθενός σε συνδυασμό με το επίπεδο όλων των άλλων παραγόντων. Στη ρύθμιση της θερμοκρασίας της κόμης κατά τη διάρκεια της ημέρας π.χ. θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η επικρατούσα ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η σχετική υγρασία, η συγκέντρωση του CO₂ αλλά και η θερμοκρασία εδάφους, η διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος κ.ά. αλλιώς το αποτέλεσμα μπορεί να είναι πολύ δυσμενές για την παραγωγή.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας η κύρια πηγή ενέργειας του θερμοκηπίου είναι η **ηλιακή ακτινοβολία** η οποία αποτελεί την πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση των φυτών καθώς και τη φυσική πηγή θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου. Η διάρκεια του φωτισμού έχει πολύ σημαντική επίπτωση στην ποσότητα των παραγόμενων από τη φωτοσύνθεση προϊόντων. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια φωτισμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη ενέργεια για τη φωτοσύνθεση. Επηρεάζει δε σημαντικά τη διάρκεια ζωής των διαφανών πλαστικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή πολλών θερμοκηπίων.

Για τη θέρμανση των θερμοκηπίων προτιμώνται συστήματα θέρμανσης κοντά στο σημείο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Το γεγονός 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).

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που καθορίζουν το κλίμα ενός θερμοκηπίου. Μεγαλύτερη κατανομή θερμοκρασιών

αναμένεται στο θερμοκήπιο όσο περισσότερο αυξάνεται η ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό μπορεί να συμβεί σε ημέρες με καθαρό ουρανό και κυρίως τις μεσημβρινές ώρες σε τροπικά κλίματα όπου οι μεταβολές της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι σημαντικές (Bojaca et al., 2008).

Η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου και η σχετική υγρασία είναι στενά συνδεδεμένες με την ηλιακή ακτινοβολία, την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα και το ρυθμό εξαερισμού (Litago et al., 2005).

Μελετήθηκε ένα αριθμητικό μοντέλο κατανομής των θερμοκρασιών σε ένα Κινέζικο ηλιακό θερμοκήπιο προκειμένου να απεικονισθούν οι μεταβολές στο μικροκλίμα εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας. Διαπιστώθηκε ότι οι θερμοκρασίες στο βόρειο τοίχωμα κατά τη διάρκεια της ημέρας ήταν υψηλότερες από αυτές που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια της νύχτας, όπως ήταν αναμενόμενο. Έτσι, η βόρεια πλευρά μετέφερε θερμότητα στο εσωτερικό κατά τη διάρκεια της νύχτας. Ακόμη, τα αποτελέσματα μιας συννεφιασμένης ημέρας δείχνουν ότι ο βόρειος τοίχος, η βόρεια οροφή και το έδαφος συμβάλλουν στη μεταφορά θερμότητας στον εσωτερικό αέρα ολόκληρη την ημέρα καθώς το εσωτερικό του θερμοκηπίου δε θερμαίνεται σημαντικά λόγω της μείωσης της ηλιακής ακτινοβολίας εξαιτίας της συννεφιάς. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό διατηρήθηκαν σε λογικά επίπεδα αν και η εξωτερική θερμοκρασία που επικρατούσε ήταν κάτω του μηδενός (Tonga et al., 2009).

Τα φυτά ανταλλάσσουν **θερμότητα** με τον περιβάλλοντα χώρο. Η ανταλλαγή θερμότητας του φυτού με το περιβάλλον συμβαίνει λόγω των διαφορών θερμοκρασίας. Η θερμοκρασία των φυτών στο χώρο του θερμοκηπίου καθορίζεται κυρίως από την ακτινοβολία που δέχονται και εκπέμπουν, από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα, από τη λανθάνουσα θερμότητα που χάνουν ή δέχονται λόγω εξάτμισης(διαπνοής) ή συμπύκνωσης των υδρατμών επάνω τους. Η θερμοκρασία είναι ο παράγοντας που έχει την πιο πολύπλοκη επίδραση στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών γιατί επηρεάζει σχεδόν όλες τις λειτουργίες τους όπως φωτοσύνθεση, αναπνοή, διαπνοή, μεταφορά και κατανομή των μεταβολιτών. Αξίζει να σημειωθεί ότι η ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι ο παράγοντας που έχει τη μεγαλύτερη επίπτωση στο κόστος της παραγωγής στο θερμοκήπιο, μετά τον τεχνητό φωτισμό.

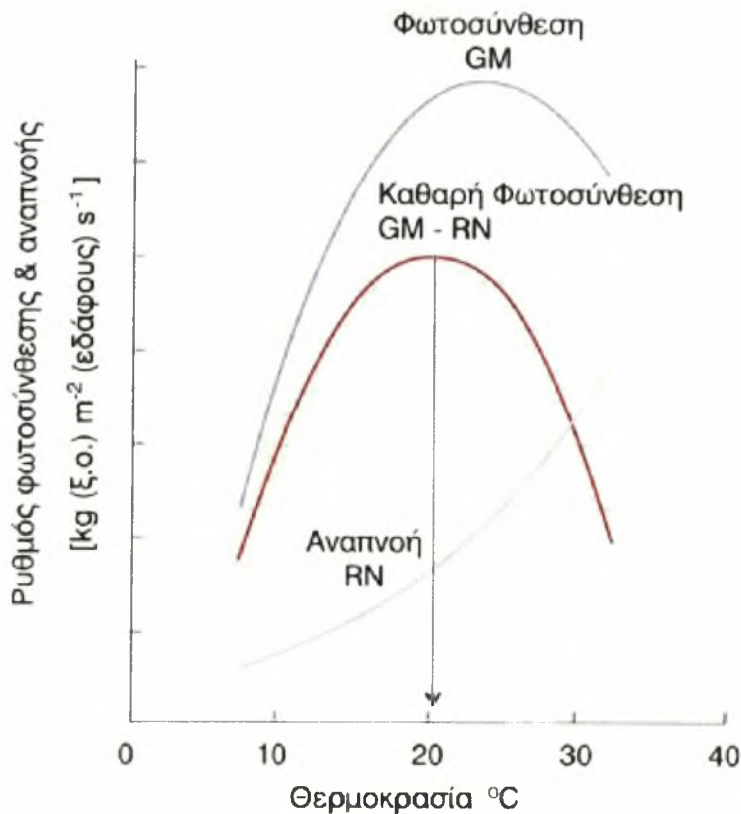
Τα περισσότερα είδη και ποικιλίες που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια είναι απαιτητικά σε ένταση φωτός και θερμότητα. Οι θερμικές ροές που συμβαίνουν λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που παρουσιάζει το θερμοκήπιο είναι:

1. Κάθε θερμοκήπιο, επειδή καλύπτεται με διαφανές κάλυμμα, δέχεται στο εσωτερικό του το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας.
2. Οι απώλειες του θερμοκηπίου σε θερμότητα, λόγω του λεπτού τοιχώματος του καλύμματος είναι πολύ μεγάλες, 6-12 φορές μεγαλύτερες από εκείνες ενός συνήθους κτίσματος ίσου όγκου .
3. Πιο συγκεκριμένα, η ενέργεια που χάνεται τη νύχτα, όταν $T_o < T_a$, είναι άμεσα ανάλογη με την συνολική επιφάνεια της δομής του θερμοκηπίου και με τη διαφορά θερμοκρασίας. Μια τέτοιου είδους σχέση αντιπροσωπεύει υψηλές απαιτήσεις για να διατηρηθεί μια δεδομένη εσωτερική θερμοκρασία (Μαυρογιαννόπουλος , 2005).

Λόγω των ιδιαίτερων αυτών χαρακτηριστικών τις ηλιόλουστες ημέρες, η θερμοκρασία του θερμοκηπίου ανέρχεται σε πολύ υψηλά επίπεδα και τις ψυχρές νύχτες η θερμοκρασία πέφτει σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Συνεπώς η απόδοση της παραγωγής είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις επικρατούσες θερμοκρασίες εντός του θερμοκηπίου (Καυγά, 2010).

Η θερμοκρασία είναι μια σημαντική παράμετρος από την οποία εξαρτώνται βασικές φυσιολογικές λειτουργίες κοινές σε όλα τα φυτά. Αυτές είναι η φωτοσύνθεση, η αναπνοή, η διαπνοή, η πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων, η αναπαραγωγή, η επιμήκυνση και πολλές άλλες. Η θερμοκρασία επηρεάζει όλες αυτές τις διαδικασίες με διάφορους τρόπους και σε διαφορετικό βαθμό. Μέσα σε ένα περιορισμένο εύρος θερμοκρασιών εντός του οποίου γίνεται η ανάπτυξη του φυτού, οι χημικές αυτές διαδικασίες διπλασιάζονται από κοινού για κάθε 10 °C αύξηση της θερμοκρασίας. Η αναπνοή δείχνει μια συνεχή αύξηση καθώς η θερμοκρασία αυξάνει, το ίδιο και η φωτοσύνθεση. Όμως, η φωτοσύνθεση από ένα σημείο και μετά περιορίζεται από την πλεονάζουσα διαθέσιμη ενέργεια και συγκέντρωση CO₂. Το μέγιστο της διαφοράς (μέγιστο καθαρής φωτοσύνθεσης) καθορίζει τη βέλτιστη θερμοκρασία για μεγιστοποίηση της παραγωγής (σχήμα 2.1.). Η αύξηση της θερμοκρασίας, επίσης, επηρεάζει και φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού όπως είναι η διαπνοή. Μια αύξηση της θερμοκρασίας των φύλλων θα οδηγήσει σε αύξηση του ρυθμού διαπνοής. Εξαιτίας αυτού η διαπνοή γίνεται με γρηγορότερο ρυθμό υπό την προϋπόθεση ότι η πίεση υδρατμών στο περιβάλλον του

φύλλου παραμένει σταθερή. Επίσης, αν η θερμοκρασία του εδάφους είναι χαμηλή ή πολύ χαμηλή, η πρόσληψη H_2O και θρεπτικών στοιχείων καθώς και η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος μειώνονται, σε σημείο που παρεμποδίζεται η ανάπτυξη του υπέργειου μέρους του φυτού, ασχέτως από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η επίδραση της θερμοκρασίας στη διαδικασία της επιμήκυνσης διαφέρει ανάλογα με το μέρος του φυτού στο οποίο αναφερόμαστε. Για παράδειγμα, μια νυχτερινή θερμοκρασία $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ προκαλεί καθημερινή επιμήκυνση του ριζικού συστήματος κατά 10 mm αλλά δεν έχει την ίδια επίδραση στην επιμήκυνση του βλαστού. Όσον αφορά ολόκληρο το φυτό, η μέγιστη επιμήκυνση συμβαίνει σε κάποιες ενδιάμεσες θερμοκρασίες.



Σχήμα 2.1.: Επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής (Μαυρογιαννόπουλος, 2005)

Για να επιτευχθούν οι βέλτιστες εσωτερικές συνθήκες, είναι απαραίτητη η θέρμανση, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των ψυχρών εποχών. Εφαρμογές θέρμανσης μέσα στα θερμοκήπια και βελτιστοποίηση της θερμοκρασίας του αέρα έχουν

σημαντικό αποτέλεσμα στο χρόνο παραγωγής (πρωίμιση παραγωγής), στην ποιότητα και την ποσότητα των παραγομένων προϊόντων (Santamouris, 1994b).

Η καλύτερη απόδοση της καλλιέργειας γίνεται σε ένα ορισμένο εύρος τιμών, το οποίο καλείται βέλτιστο και για τις θερμοκηπιακές καλλιέργειες βρίσκεται μεταξύ 10 °C και 30 °C. Ως βέλτιστη θερμοκρασία αναφέρεται η ευνοϊκή θερμοκρασία στην οποία τα ένζυμα που είναι ευαίσθητα στη θερμότητα και υπεύθυνα για τις βιοχημικές αντιδράσεις του φυτού ενεργοποιούνται και το φυτό αναπτύσσεται απρόσκοπτα κάτω από συγκεκριμένες κλιματολογικές συνθήκες. Στον πίνακα 2.1. δίνεται ένα εύρος βέλτιστων θερμοκρασιών (ημερήσιων και νυχτερινών) για τα κυριότερα είδη και ποικιλίες που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια. Από τον πίνακα μερικές γενικές αρχές μπορούν να αναδειχθούν, όπως:

- ❖ Τα περισσότερα φυτικά είδη απαιτούν ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας και αυτό διότι καθαρή ανάπτυξη της καλλιέργειας συμβαίνει όταν η φωτοσύνθεση είναι μεγαλύτερη από την αναπνοή. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η βέλτιστη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο είναι αυτή που δίνει τη μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ της παραγωγής της φωτοσύνθεσης και της κατανάλωσης της αναπνοής, δηλαδή αυτή που δίνει τη μέγιστη καθαρή φωτοσύνθεση (σχήμα 2.1.). Τη νύχτα που δεν υπάρχει φωτοσύνθεση η θερμοκρασία των φυτών διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα για να μειωθεί ο ρυθμός αναπνοής (Kurata and Takamura, 1991; Nelson, 2003). Μερικά ιθαγενή είδη των τροπικών περιοχών (τα περισσότερα φυλλώδη φυτά) συνήθως αναπτύσσονται καλύτερα εντός μιας σταθερής θερμοκρασίας ημέρας - νύχτας.
- ❖ Οι βέλτιστες θερμοκρασίες διαφέρουν με την περιοχή και την τοποθεσία (συνολική διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια).
- ❖ Οι βέλτιστες θερμοκρασίες διαφέρουν με την ηλικία και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (ριζοβολία, φύτευμα, ανθοφορία, βολβοποίηση κλπ).
- ❖ Οι βέλτιστες θερμοκρασίες διαφέρουν ανάλογα με τους αντικειμενικούς στόχους του καλλιεργητή σε σχέση με την απόδοση παραγωγής.

Θερμοκηπιακή Καλλιέργεια	Ημερήσια Θερμοκρασία (°C)	Νυχτερινή Θερμοκρασία (°C)
Τομάτα	21-27	14-16
Πιπεριά	22-24	16-19
Μελιτζάνα	21-27	16-18
Αγγούρι	19-24	16-19
Κολοκύθι	25-27	16-18
Πεπόνι	20-24	16-18
Καρπούζι	21-27	18-20
Φασολάκι	25-28	15-17
Μαρούλι	17-21	14-16
Τριαντάφυλλο	23	16-18
Χρυσάνθεμο	18-22	16-18
Γαρύφαλλο	22	16-18
Ζέρμπερα	18-22	16-18
Γλαστρικά Φυλλώδη	20-24	18-20

Πίνακας 2.1.: Βέλτιστες ημερήσιες και νυχτερινές θερμοκρασίες για διάφορες θερμοκηπιακές καλλιέργειες (Ολύμπιος, 2001)

Η ξηρή ουσία ενός φυτού αποτελείται κατά 40% περίπου από άνθρακα, τον οποίο αποσπά από το διοξείδιο του άνθρακα(CO₂) της ατμόσφαιρας. Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στον αέρα επηρεάζει εκτός από τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης και τη μορφογένεση στα φυτά.

Έχει αποδειχθεί ότι όσο το φως και η συγκέντρωση του CO₂ αυξάνουν, η αναλογία της επιφάνειας του φύλλου ως προς το ξηρό βάρος του (ειδική φυλλική επιφάνεια) μειώνεται. Παρατηρείται ακόμη ότι η αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ στο χώρο του θερμοκηπίου επιδρά ευνοϊκά στην αύξηση των αποδόσεων ορισμένων καλλιεργειών ακόμα και κάτω από περιορισμένες συνθήκες φωτός.

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, σε ημέρες με συνεφιασμένο ουρανό, η συγκέντρωση γίνεται πολύ χαμηλότερη από ότι κατά τη διάρκεια φωτεινών ημερών επειδή τα θερμοκήπια πρέπει να παραμείνουν κλειστά για όλη την ημέρα και επομένως το CO₂ που υπάρχει στο εσωτερικό χρησιμοποιείται από τα φυτά και δεν

αποκαθίσταται από το εξωτερικό. Έτσι, ο εμπλουτισμός του χώρου του θερμοκηπίου με CO₂ και μάλιστα με συγκεντρώσεις ανώτερες από αυτές που υπάρχουν στη φύση, είναι επιβεβλημένος ενώ έχει σημαντική επίδραση στην αύξηση της παραγωγής ποσοτικά και ποιοτικά. Εκτός της αναπλήρωσης του καταναλισκόμενου από τη φωτοσύνθεση διοξειδίου του άνθρακα μέσα στον περιορισμένο χώρο του θερμοκηπίου, αποδεικνύεται ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις κάνουν αποδοτικότερη τη φωτοσύνθεση και μειώνουν το ρυθμό της φωτοαναπνοής.

Διεξήχθη ένα πείραμα σε μοντέλο προσομοίωσης της διαπνοής των καλλιεργειών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, σύμφωνα με το οποίο η διαπνοή υπολογίζεται από την επίδραση του μικροκλίματος στο διαφανές κάλυμμα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το μικροκλίμα θεωρούμε ότι καθορίζεται από τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα γύρω από το κάλυμμα καθώς και από το ποσό της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Αυτό το απλό μοντέλο είναι σε θέση να εκτιμήσει το ποσοστό διαπνοής μιας καλλιέργειας με ακρίβεια της τάξης του 10%. Επομένως, λοιπόν, αν η «επιθυμητή τιμή διαπνοής» και η ποσότητα της εισερχόμενης ακτινοβολίας είναι δεδομένα, το μοντέλο διαπνοής μπορεί να αντιστραφεί ώστε να αποδώσει τους συνδυασμούς της θερμοκρασίας του αέρα και της υγρασίας που θα μπορούσαν να προκαλέσουν τον επιθυμητό ρυθμό διαπνοής. Στην πραγματικότητα, πολλοί διαφορετικοί συνδυασμοί των δυο μπορούν να παρέχουν το ίδιο ποσοστό διαπνοής. Η επιλογή των τελικών σημείων ρύθμισης του κλίματος, κατά συνέπεια, πρέπει να υπαγορεύεται με πρόσθετα κριτήρια, όπως π.χ. με ελαχιστοποίηση θέρμανσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι είναι δυνατόν να ελέγξουμε τη διαπνοή της καλλιέργειας, στα πλαίσια της διαχείρισης του εσωτερικού περιβάλλοντος. Ορισμένα αποτελέσματα δείχνουν ότι, στο μέτρο που ένα σύστημα ελέγχου κλίματος διατηρεί διαφορετικά επίπεδα διαπνοής κάτω από μια συγκεκριμένη ακτινοβολία, πρέπει να αναμένονται κάποιες διαφορές στην ανάπτυξη των καλλιεργειών (Stanghellini et al., 1992).

Ένας από τους βασικούς παράγοντες της σύστασης του περιβάλλοντος των φυτών είναι η **υγρασία** που εμπεριέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η διατήρηση ενός κατάλληλου περιβάλλοντος υγρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου είναι απαραίτητη όχι μόνο για τη διατήρηση της υδρικής ισορροπίας των φυτών μέσω της διαπνοής αλλά και για λόγους θρέψεως π.χ. μεταφοράς ασβεστίου και για την αποφυγή

εκτεταμένης ανάπτυξης παθογόνων μικροοργανισμών, εντόμων και ακάρεων. Γενικά, οι επιπτώσεις που δημιουργεί η σχετική υγρασία στα φυτά προέρχονται κυρίως από την επίδραση στη λειτουργία της διαπνοής και της θρέψης και από τη συμπύκνωση της υγρασίας στο φύλλωμά τους. Το μικροκλίμα μέσα στο θερμοκήπιο επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη διαπνοή των φυτών. Η λειτουργία της διαπνοής είναι απαραίτητη για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του φυτού και την κυκλοφορία του χυμού μέσα σε αυτό. Πρακτικά, το μέσο για τη μείωση ή την αύξηση του ρυθμού της διαπνοής στο θερμοκήπιο είναι η αύξηση ή η μείωση, αντίστοιχα, της σχετικής υγρασίας του χώρου.

Οι Lake et al. (1966) διαπίστωσαν πως ακόμη και η υγρασία του εξωτερικού αέρα επιδρά στη διαπνοή. Ο Bakker (1991) απέδειξε πως η επίδραση της υγρασίας του αέρα στη φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών είναι περιορισμένη ενώ μελετώντας την επίδραση των διαφορετικών συγκεντρώσεων υγρασίας την ημέρα και τη νύχτα (1987), διαπίστωσε ότι τα υψηλά επίπεδα υγρασίας οδηγούν σε τροφопενίες ασβεστίου. Ο Bunce (1984) μελέτησε το ρυθμό φωτοσύνθεσης συναρτήσει του ελλείμματος κορεσμού και διαπίστωσε τη μείωση του ρυθμού φωτοσύνθεσης με τη μείωση της περιεκτικότητας του αέρα σε υγρασία.

Όλοι οι παράγοντες που ευνοούν τη διαπνοή στο θερμοκήπιο, ενεργούν ταυτόχρονα το μεσημέρι διότι τότε τα φύλλα έχουν την υψηλότερη θερμοκρασία, ο αέρας έχει τη χαμηλότερη σχετική υγρασία και ταυτόχρονα υπάρχει έντονη κίνηση του αέρα καθώς τα παράθυρα είναι ανοικτά. Επομένως, κατά τη διάρκεια των θερμών ωρών πολύ συχνά υπάρχει ανάγκη να αυξηθεί η υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ώστε να περιοριστεί η υπερβολική διαπνοή. Αντίθετα, το πρόβλημα της πολύ υψηλής σχετικής υγρασίας παρουσιάζεται συνήθως τη νύχτα. Οι συνθήκες που ευνοούν την υπερβολική υγρασία ενεργούν ταυτόχρονα μέσα στο θερμοκήπιο. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, οπότε ψύχεται ο αέρας, η σχετική υγρασία αυξάνει και επειδή δεν υπάρχει σημαντικός εξαερισμός (τα παράθυρα είναι κλειστά), η σχετική υγρασία στο χώρο του θερμοκηπίου αυξάνει συνεχώς παρόλο που η διαπνοή τις νυχτερινές ώρες προσθέτει ελάχιστη μόνο υγρασία, συγκριτικά με την ημέρα.

2.2. Βέλτιστος έλεγχος της θερμοκρασίας - Συστήματα θέρμανσης του θερμοκηπίου

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας σε θερμοκήπια είναι πολύ καθοριστικός για την απόδοση της καλλιέργειας και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.

Ο ρυθμός ανάπτυξης (έκπτυξη φύλλων και εμφάνιση ανθέων) είναι συνήθως γραμμική συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα για τις περισσότερες καλλιέργειες και για ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών (Karlsson et al., 1991). Κατά ανάλογο τρόπο η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της καλλιέργειας και του περιβάλλοντος αέρα, καθορίζει την τιμή της αεροδυναμικής αγωγιμότητας της καλλιέργειας σε μεγάλο βαθμό και συνεπώς τις εναλλαγές θερμότητας και μάζας της καλλιέργειας με τον περιβάλλοντα αέρα.

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. Αρχικό στάδιο για την επιλογή του μέσου θέρμανσης του θερμοκηπίου, είναι ο υπολογισμός της δυναμικότητας που θα πρέπει να έχει η εγκατάσταση. Για τον υπολογισμό της δυναμικότητας θα πρέπει να εκτιμηθούν οι απώλειες σε θερμότητα μέσω των επιφανειών του θερμοκηπίου. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να καθοριστεί και η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας ($\Delta\theta$) μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού του θερμοκηπίου που θα πρέπει να διατηρηθεί κάτω από τις πλέον δυσμενείς συνθήκες που μπορούν να επικρατήσουν στη δεδομένη γεωγραφική περιοχή.

Η είσοδος θερμότητας στο θερμοκήπιο πραγματοποιείται από την ηλιακή ακτινοβολία, από τα μέσα θέρμανσης, από την άνοδο της θερμότητας από το υπέδαφος και από την αναπνοή των φυτών. Αντίθετα, θερμότητα από το θερμοκήπιο ρέει και χάνεται προς το περιβάλλον, με αγωγή προς το έδαφος, με αγωγή προς τον ελεύθερο ατμοσφαιρικό αέρα, με εξαερισμό, με απορρόφηση μέρους θερμότητας κατά τη φωτοσύνθεση των φυτών, με ακτινοβολία προς την ατμόσφαιρα και με την εξατμισοδιαπνοή των φυτών.

Ένα κατάλληλο σύστημα θέρμανσης θερμοκηπίων πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Να εξασφαλίζει τη θερμοκρασία που χρειάζονται οι καλλιέργειες
2. Να διανέμει ομοιόμορφα στο θερμοκήπιο την θερμότητα

3. Να χρησιμοποιεί χαμηλού κόστους καύσιμα των οποίων η προμήθεια είναι εύκολη
4. Να είναι εγγυημένης κατασκευής προκειμένου να μην κινδυνεύουν από πιθανή βλάβη του οι καλλιέργειες
5. Να μη μολύνει με καυσαέρια τον αέρα του θερμοκηπίου
6. Να επισκευάζεται εύκολα
7. Να ειδοποιεί με ένδειξη τον παραγωγό σε περίπτωση βλάβης
8. Να διαθέτει εφεδρικό σύστημα για την κάλυψη έκτακτων αναγκών, όπως διακοπή ρεύματος.

Κατά το σχεδιασμό ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράγοντες:

- ❖ Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της θέρμανσης να είναι ομοιόμορφη σε ολόκληρο το θερμοκήπιο
- ❖ Η θερμοκρασία των φυτών πρέπει να είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου, για να εμποδίζεται η συμπύκνωση των υδρατμών και έτσι να μειώνεται ο κίνδυνος μυκητολογικών ασθενειών
- ❖ Η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος θέρμανσης να μην είναι πολύ υψηλή.

Τα πλέον συνηθισμένα συστήματα θέρμανσης των θερμοκηπίων είναι οι ατομικές θερμάστρες, τα αερόθερμα, τα κεντρικά συστήματα θέρμανσης με κυκλοφορία ζεστού νερού, τα συστήματα θέρμανσης με ηλιακή ενέργεια, η θέρμανση θερμοκηπίου με μεταλλάκτη θερμότητας εδάφους – αέρα καθώς και διάφοροι άλλοι εναλλακτικοί τρόποι θέρμανσης.

Οι ατομικές θερμάστρες χρησιμοποιούνται κυρίως στα θερμοκήπια που καλύπτονται με πλαστικά και προσφέρουν κυρίως αντιπαγετική προστασία.

Οι εγκαταστάσεις θέρμανσης με φυσική κίνηση του αέρα (φυσική συναγωγή) χωρίζονται σε: (α) εναέριους σωλήνες θέρμανσης (β) θέρμανση πάγκων (γ) σωλήνες θέρμανσης που είναι τοποθετημένοι χαμηλά (δ) θέρμανση εδάφους. Ανάλογα με το είδος των καυσίμων που χρησιμοποιούν, διακρίνονται σε θερμάστρες πετρελαίου, θερμάστρες ξύλου, θερμάστρες υγραερίου και ηλεκτρικές θερμάστρες.

Οι θερμάστρες πετρελαίου αποτελούνται από το χώρο καύσης του πετρελαίου, από το δοχείο του πετρελαίου και από τους σωλήνες απαγωγής των καυσαερίων. Σημαντικό μειονέκτημά τους είναι η μη ομαλή διανομή της θερμότητας. Επιπλέον, πολλές φορές σημειώνονται διαρροές καυσαερίων που προκαλούν βλάβες στις καλλιέργειες του θερμοκηπίου. Για την αντιμετώπιση της δυσμενούς επίδρασης της διαρροής των καυσαερίων, τοποθετείται ένας εξαεριστήρας που τα απορροφά και τα απομακρύνει από το χώρο καύσης.

Οι θερμάστρες ξύλου βρίσκουν εφαρμογή σε ορισμένες περιπτώσεις διότι χρησιμοποιούν φθηνότερα καύσιμα. Δίνουν ακανόνιστη θερμότητα και ρυθμίζονται δύσκολα. Το μόνο τους πλεονέκτημα είναι ότι έχουν μικρό κόστος αγοράς.

Οι θερμάστρες υγραερίου είναι φθηνές, αναβοσβήνουν πολύ εύκολα και παράγουν CO₂ που είναι αέριο "λίπασμα" για τις καλλιέργειες. Το υγραέριο πρέπει να είναι καθαρό προπάνιο. Πιθανές προσμείξεις θείου και μεθανίου δίνουν πολλές φορές τοξικά αέρια για τα φυτά. Μειονεκτήματα των θερμαστρών αυτών είναι ότι το αέριο είναι πολύ ακριβό ενώ δεν κατανέμεται ομοιόμορφα η θερμότητα μέσα στο θερμοκήπιο.

Οι ηλεκτρικές θερμάστρες χρησιμοποιούνται για την αντιπαγετική προστασία των καλλιεργειών του θερμοκηπίου, όταν η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι σχετικά χαμηλή. Έχουν κατασκευαστεί ειδικές ηλεκτρικές θερμάστρες για θέρμανση θερμοκηπίων, στις οποίες μια αντίσταση θερμαίνεται και η θερμότητα μεταφέρεται και διανέμεται στο θερμοκήπιο. Οι κοινές θερμάστρες είναι ακατάλληλες για το θερμοκήπιο, λόγω βλαβών που εμφανίζονται από την υπερβολική υγρασία του αέρα. Η ηλεκτρική θέρμανση παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, όπως καθαριότητα, απουσία καυσαερίων, ευκολία στην εφαρμογή αυτόματων συστημάτων ρύθμισης της θερμοκρασίας, χαμηλό κόστος μέσων θέρμανσης, ευκολία στη συντήρηση των μηχανημάτων, απουσία αποθήκης καυσίμων. Σημαντικό μειονέκτημα είναι η περίπτωση διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος, όπως και το υψηλό κόστος εγκατάστασης.

Ένα **σύστημα κεντρικής θέρμανσης θερμοκηπίων με κυκλοφορία ζεστού νερού** αποτελείται από το τμήμα παραγωγής θερμότητας (καυστήρας, λέβητας, δεξαμενή καυσίμων, κυκλοφορητής νερού, κ.ά.), που στεγάζεται στο λεβητοστάσιο και από το τμήμα διανομής θερμότητας μέσα στο θερμοκήπιο (σωλήνες κυκλοφορίας του νερού, θερμοστάτες, κ.ά.).



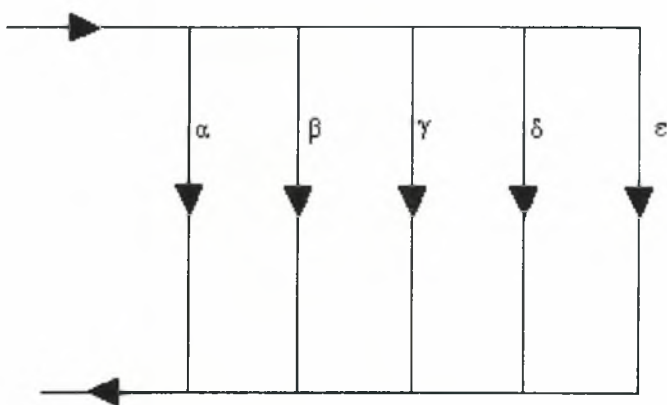
Σχήμα 2.2. Σύστημα κεντρικής θέρμανσης θερμοκηπίου με κυκλοφορία ζεστού νερού (<http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar09.pdf>)

Στο λέβητα απελευθερώνεται η θερμική ενέργεια που περιέχουν τα καύσιμα μέσω της καύσης, δηλαδή η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική. Για την κυκλοφορία του νερού στους σωλήνες είναι απαραίτητη η αντλία ενώ οι βαλβίδες χρησιμεύουν για την ομοιόμορφη κυκλοφορία του νερού στους σωλήνες, καθώς επίσης και για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου. 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.

Γενικά, το απαιτούμενο μήκος των σωλήνων είναι συνήθως μεγαλύτερο από το διπλάσιο του μήκους της περιμέτρου του θερμοκηπίου. Οι σωλήνες θέρμανσης τοποθετούνται παράλληλα προς τις γραμμές των φυτών για να μην εμποδίζουν την κυκλοφορία στο θερμοκήπιο. Η θερμότητα εντός του θερμοκηπίου χάνεται πιο γρήγορα στην περιφέρεια από ότι στο κέντρο. Γι' αυτό για να υπάρξει ομοιόμορφη θερμοκρασία στο χώρο του, θα πρέπει ένα πολύ μεγάλο μέρος της ενέργειας να αποδίδεται στην περιφέρεια με την εγκατάσταση ικανού μήκους σωληνώσεων. Δεν πρέπει, όμως, να τοποθετούνται όλοι περιμετρικά διότι τα ρεύματα του αέρα που δημιουργούνται από τις ψυχρές επιφάνειες της οροφής προκαλούν κατά τόπους ψυχρές θέσεις μέσα στο θερμοκήπιο. Ως γενικός κανόνας ισχύει το 1/3 των

σωληνώσεων (όχι πάνω από 6 σειρές σωλήνων και όχι λιγότερο από 2 σειρές) να τοποθετείται περιμετρικά και τα 2/3 των σωληνώσεων να τοποθετούνται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου χαμηλά μεταξύ των φυτών ή ένα μέρος αυτών μεταξύ των φυτών και το άλλο στην οροφή. Τέλος, εκτός από τους κοινούς χαλύβδινους σωλήνες για τη θέρμανση των θερμοκηπίων υπάρχουν και οι περυγιοφόροι σωλήνες, έτσι ώστε η μεταφορά θερμότητας ανά μονάδα μήκους στο χώρο να είναι τετραπλάσια ή και παραπάνω από τη συνηθισμένη.

Η διάταξη των σωλήνων μέσα στο θερμοκήπιο θα πρέπει να είναι ως εξής:



Σχήμα 2.3. Διάταξη σωλήνων θέρμανσης στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Μπαρτζάνας, 2004)

Με την παραπάνω διάταξη πετυχαίνουμε:

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

Με αυτόν τον τρόπο, όλοι οι σωλήνες που είναι τοποθετημένοι στο θερμοκήπιο εκπέμπουν την ίδια ποσότητα θερμότητας με αποτέλεσμα να μην έχουμε διαφορετικές θερμοκρασίες στο εσωτερικό του.

Στην υψηλή εγκατάσταση των σωλήνων θέρμανσης, οι σωλήνες τοποθετούνται στο ύψος της υδρορροής κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου. Σε αυτήν την περίπτωση έχουμε συσσώρευση του ζεστού αέρα στην οροφή ενώ στην περιοχή του θερμοκηπίου που βρίσκονται τα φυτά συσσωρεύεται ο κρύος αέρας. Η διαφορά

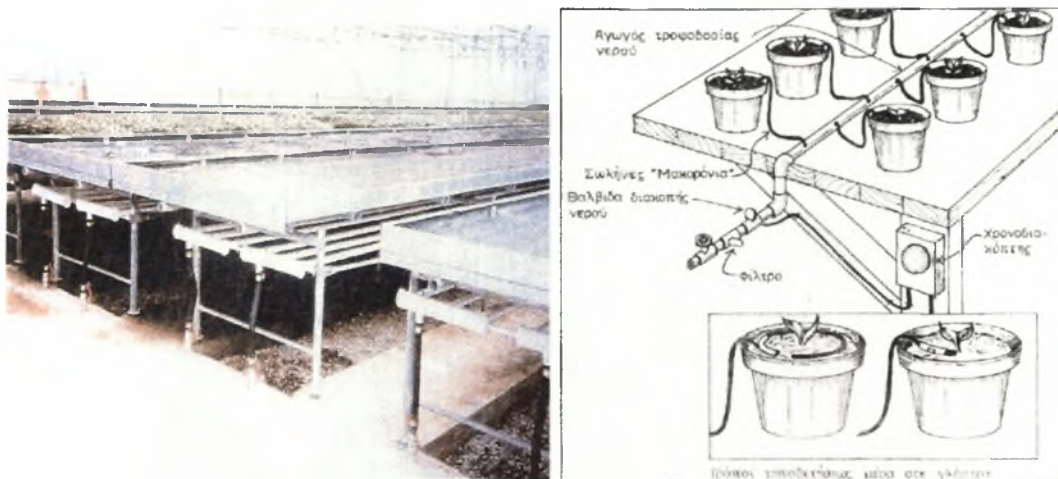
θερμοκρασίας μεταξύ οροφής και εδάφους εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και μπορεί να φθάσει τους 6-8°C. Το μεγάλο μειονέκτημα αυτού του συστήματος θέρμανσης είναι ότι θερμαίνουμε την οροφή του θερμοκηπίου και όχι το χώρο των φυτών. Επιπλέον, δεν είναι δυνατή η ανακύκλωση του αέρα στο χώρο των φυτών, δε γίνεται δηλαδή καλός αερισμός.

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

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 δεν αερίζονται ικανοποιητικά, με αποτέλεσμα να υποφέρουν κάτω από υψηλή σχετική υγρασία του αέρα, γεγονός που προκαλεί 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 ελαττώνουν το φωτισμό του θερμοκηπίου.

Η εγκατάσταση των σωλήνων θέρμανσης κάτω από τα τραπέζια χρησιμοποιείται κυρίως για τις ανθοκομικές μονάδες που καλλιεργούν γλάστρες πάνω σε τραπέζια. 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 επάνω, θερμαίνοντας το υπόστρωμα, μέσα στο οποίο αναπτύσσεται η ρίζα του φυτού καθώς επίσης και το υπέργειο μέρος του.



Εικόνα 2.1. Εγκατάσταση των σωλήνων θέρμανσης στο κάτω μέρος των πάγκων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (<http://www.google.gr/>)

Ο κάθετος καταμερισμός της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο είναι προτιμότερος σε σχέση με τα δυο προηγούμενα συστήματα όπως επίσης είναι πολύ πιο οικονομικός, περίπου 10-12%.

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

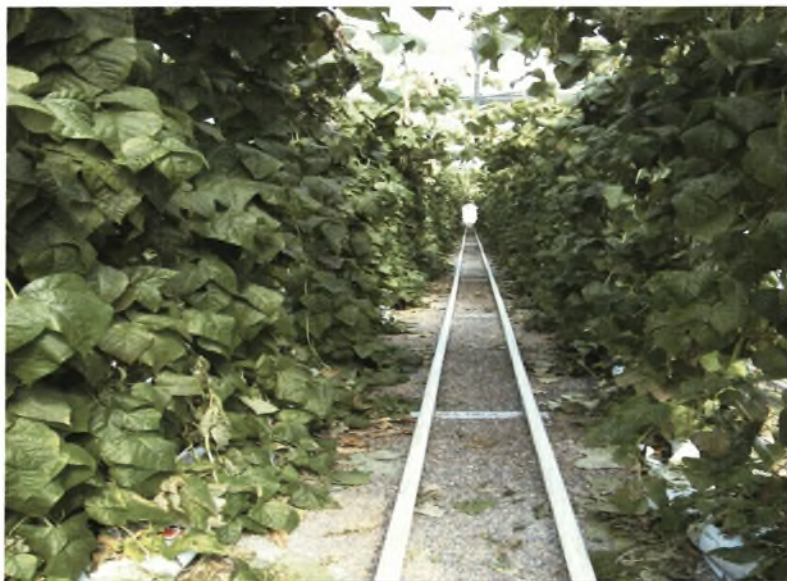
- Τον αριθμό των σωλήνων που τοποθετούνται κάτω από τα τραπέζια
- Την απόσταση των σωλήνων θέρμανσης
- Τη θερμοκρασία του νερού στους σωλήνες θέρμανσης
- Την ποιότητα του δαπέδου των τραπεζιών.

Θέρμανση βλάστησης ή χαμηλή εγκατάσταση των σωλήνων θέρμανσης, χαρακτηρίζεται το σύστημα θέρμανσης που τοποθετείται στο χώρο που βρίσκονται τα φυτά και λειτουργεί με σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες.



Εικόνα 2.2. Σωλήνες κατανομής της θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου, τοποθετημένοι κατά μήκος της σειράς των στύλων (κλασικό σύστημα) (<http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar09.pdf>)

Οι σωλήνες θέρμανσης οι οποίοι μπορεί να είναι πλαστικοί από πολυαιθυλένιο ή από προπυλένιο 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 30-35cm.



Εικόνα 2.3. Σωλήνες θέρμανσης τοποθετημένοι στο έδαφος που χρησιμοποιούνται και ως σιδηροτροχιά για την κίνηση του καροτσιού μεταφοράς προϊόντων και εφοδίων (<http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar09.pdf>)

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
- Μπορούμε να θερμάνουμε ταυτόχρονα το έδαφος, δηλαδή τις ρίζες του φυτού και το υπέργειο μέρος του.

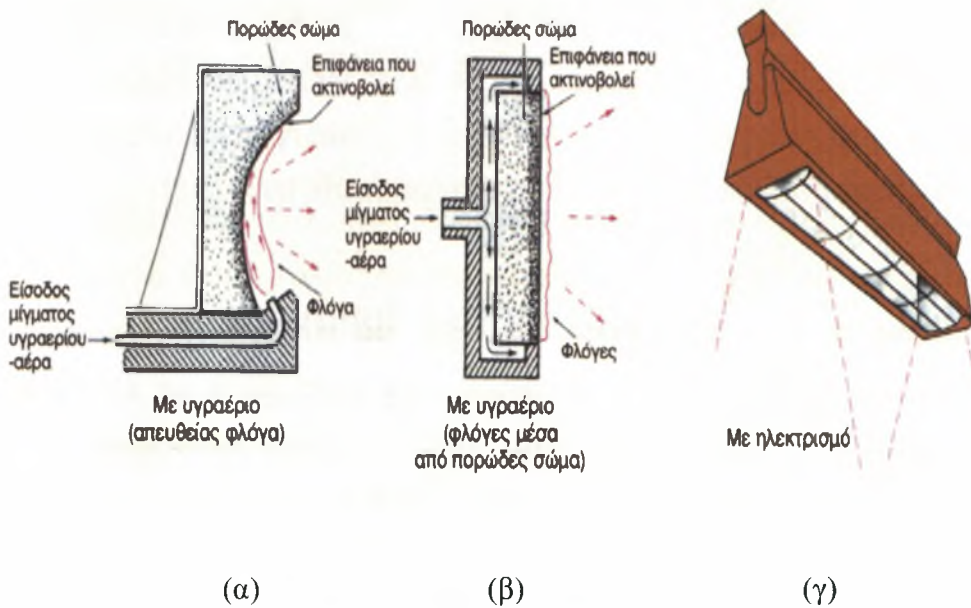
Τα μειονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι:

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

Γενικότερα, τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης θερμοκηπίων με την κυκλοφορία ζεστού νερού είναι αξιόπιστα, ρυθμίζονται αυτόματα, δεν αφήνουν καυσαέρια στο χώρο ανάπτυξης των φυτών και δίνουν μεγάλα ποσά θερμότητας. Αυτά τα συστήματα θέρμανσης έχουν το πλεονέκτημα όταν σχεδιαστούν σωστά να θερμαίνουν ικανοποιητικά και τον αέρα και το έδαφος του θερμοκηπίου και να δημιουργούνται πιο ομοιόμορφες θερμοκρασίες στο εσωτερικό του. Γι' αυτό, σήμερα είναι τα πλέον διαδεδομένα συστήματα θέρμανσης των σύγχρονων θερμοκηπίων. Παρουσιάζουν, όμως, το μειονέκτημα της μεγάλης θερμικής αδράνειας σε σχέση με το σύστημα θερμού αέρα καθώς και το υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας τους.

Τα **αερόθερμα** αποτελούνται από τον καυστήρα (καυστήρας μαζούτ, πετρελαίου, αερίου), το χώρο καύσης, το σώμα του αερόθερμου μέσα στο οποίο κυκλοφορεί ο αέρας, τις σωληνώσεις διανομής του θερμού αέρα, τους σωλήνες καυσαερίων και τη δεξαμενή καυσίμου. Τα πιο απλά είναι τα αερόθερμα που για καύσιμο χρησιμοποιούν το φυσικό αέριο. Το σύστημα θέρμανσης με αερόθερμα είναι πιο απλό και έχει χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης από το σύστημα θέρμανσης με κυκλοφορία ζεστού νερού σε σωλήνες. Με το σύστημα αυτό παρέχεται το

μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας με αγωγή και ένα πολύ μικρό μέρος με ακτινοβολία. Έχει υψηλή αποδοτικότητα, αυτοματοποιείται εύκολα, έχει γρήγορη ανταπόκριση στην ενέργεια του ελέγχου, δηλαδή δεν παρουσιάζει αδράνεια στη μεταβολή της θερμοκρασίας του χώρου. Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει είναι ότι σε περίπτωση βλάβης του συστήματος το θερμοκήπιο ψύχεται γρήγορα (ιδίως σε ψυχρότερα κλίματα), το έδαφος θερμαίνεται λιγότερο συγκριτικά με τα κεντρικά συστήματα θέρμανσης και η επιπλέον κατανάλωση ηλεκτρισμού, η οποία μπορεί να είναι 15% περίπου της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση.



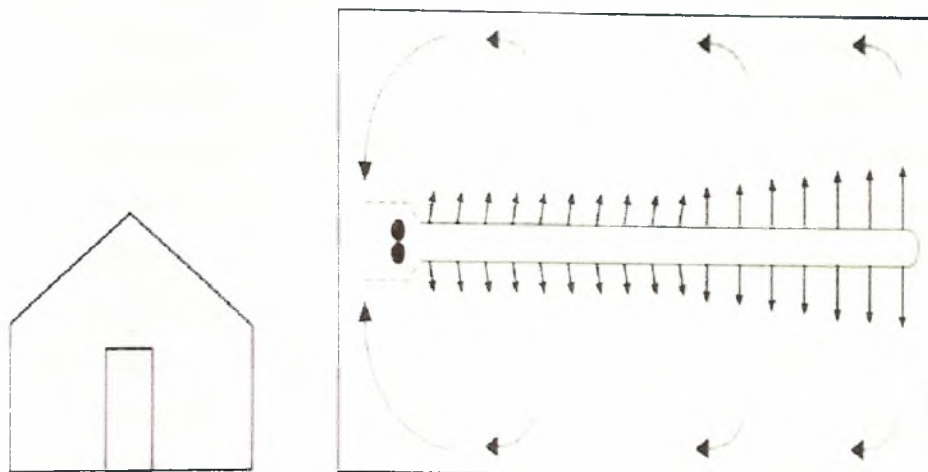
(δ)

Εικόνα 2.4. Διαφορετικά είδη αερόθερμων: (α) με απευθείας φλόγα, (β) με φλόγες μέσα από πορώδες σώμα (γ) με ηλεκτρισμό και (δ) ζεστού νερού (<http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar09.pdf>)

Το αερόθερμο, όπως αναφέρθηκε, αποτελείται από έναν εναλλάκτη θερμότητας και έναν ανεμιστήρα. Ο ανεμιστήρας απορροφά τον κρύο αέρα από το χώρο του θερμοκηπίου, τον περνά από τον εναλλάκτη θερμότητας όπου ο αέρας θερμαίνεται και στη συνέχεια κατευθύνεται προς το χώρο που βρίσκονται τα φυτά. Η θερμοκρασία του αέρα που εξέρχεται από το αερόθερμο πρέπει να κυμαίνεται από 35-45°C, έτσι ώστε όταν μεταβιβάζεται πάνω από τα φυτά, να μην τους προκαλεί ζημιές.

Για να υπάρχει αποτελεσματική θέρμανση και καλή ανακύκλωση του αέρα στο θερμοκήπιο, θα πρέπει ο αέρας του θερμοκηπίου να διέρχεται 7 φορές την ώρα από το αερόθερμο. Η ταχύτητα του αέρα που εξέρχεται 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 διασκορπίζεται 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 μπορούν να χρησιμοποιηθούν αερόθερμα που διανέμουν τον αέρα με τη βοήθεια διάτρητων πλαστικών αγωγών. Το σύστημα αυτό αποτελείται από το αερόθερμο και από έναν ή περισσότερους αγωγούς με διάμετρο 60-120 εκ., οι οποίοι είτε κρέμονται από την οροφή του θερμοκηπίου είτε βρίσκονται στο έδαφος. Για ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας υπάρχουν οπές στους αγωγούς, με διάμετρο και αποστάσεις μεταξύ τους, που εξαρτώνται από την ισχύ του αερόθερμου.



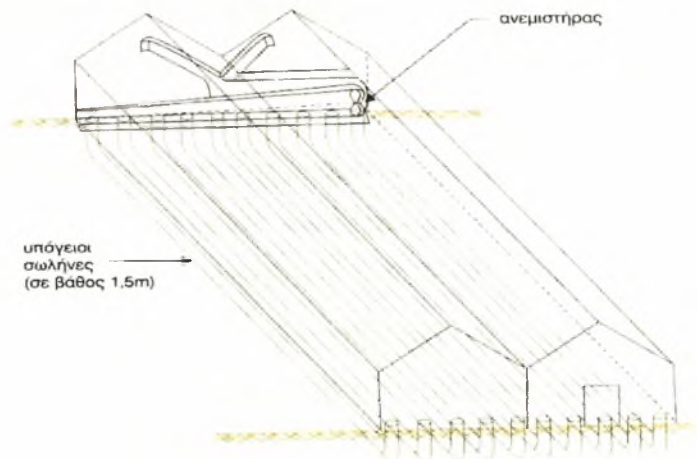
Σχήμα 2.4. Κατανομή του αέρα μέσα σε ένα θερμοκήπιο από διάτρητο σωλήνα με οπές ίσης διαμέτρου, σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους (Μπαρτζάνας, 2004)

Η σύγκριση των συστημάτων επιδαπέδιων σωλήνων και ο συνδυασμός τους με αερόθερμο σε ένα θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια δυο περιόδων νύχτας, έδειξε ότι η λειτουργία του αερόθερμου δεν επηρέασε μόνο τη διαφορά της θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα αλλά και το έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα το οποίο επηρεάζει σημαντικά το ρυθμό διαπνοής της καλλιέργειας. Όλα τα παραπάνω, έχουν ως αποτέλεσμα το μεγαλύτερο ρυθμό διαπνοής των φυτών εκείνη την περίοδο. Όπως ήταν αναμενόμενο, την περίοδο που λειτουργούσε το αερόθερμο παράλληλα με την επιδαπέδια θέρμανση, η αεροδυναμική αγωγιμότητα της καλλιέργειας ήταν μεγαλύτερη τόσο λόγω της μεγαλύτερης τιμής της διαφοράς θερμοκρασίας καλλιέργειας-αέρα (περίπου διπλάσια) όσο και λόγω της υψηλότερης τιμής της ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Μπαρτζάνας, 2004).

Τα **συστήματα θέρμανσης με ηλιακή ενέργεια** που αναπτύχθηκαν για τη θέρμανση των θερμοκηπίων αποτελούνται από τρία βασικά μέρη: το συλλέκτη, την αποθήκη θερμότητας και το διανομέα θερμότητας. Άλλα εξαρτήματα των συστημάτων θέρμανσης θερμοκηπίων με ηλιακή ακτινοβολία είναι: οι αντλίες νερού, οι εξαεριστήρες, οι θερμοστάτες, οι ηλεκτρικοί πίνακες και οι σωλήνες μεταφοράς και διανομής νερού. Τα συστήματα αυτά έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας, δεδομένου ότι δεν καταναλώνουν καύσιμα ή άλλη πηγή ενέργειας πέρα

από την ηλιακή ακτινοβολία. Απαιτούν, όμως, πολύ υψηλή δαπάνη εγκατάστασης, αφού για τη συλλογή μιας ικανοποιητικής ποσότητας ηλιακής ενέργειας οι συλλέκτες θα πρέπει να καταλαμβάνουν πολύ μεγάλη έκταση. Επιπλέον, η απόδοση αυτών των συστημάτων εξαρτάται από την ηλιοφάνεια η οποία είναι μειωμένη όταν επικρατεί κακοκαιρία ενώ ακριβώς κάτω από αυτές τις συνθήκες είναι απαραίτητη η μέγιστη δυνατή αποδοτικότητα του συστήματος. Γι' αυτό, η διάδοσή τους μέχρι σήμερα είναι περιορισμένη.

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



Σχήμα 2.5. Θέρμανση θερμοκηπίου με μεταλλάκτη θερμότητας εδάφους-αέρα
(<http://www.scribd.com/doc/>)

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 που 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 μην 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.

Άλλα συστήματα θέρμανσης των θερμοκηπίων βασίζονται σε διάφορες εναλλακτικές πηγές ενέργειας. Η γεωθερμία είναι μια εναλλακτική πηγή ενέργειας η οποία έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των ερευνητών διεθνώς και χρησιμοποιείται ήδη σε πολλές χώρες του κόσμου (μεταξύ αυτών και στην Ελλάδα) για τη θέρμανση των θερμοκηπίων. Για να χρησιμοποιηθεί, όμως, θα πρέπει να υπάρχει γεωθερμικό πεδίο στην περιοχή. Μια άλλη εναλλακτική πηγή ενέργειας για θέρμανση ή ψύξη των θερμοκηπίων όλες τις εποχές του έτους είναι ο αέρας από μεταλλεία μεγάλου βάθους, θερμοκρασίας 3-25°C. Τέλος, για θέρμανση των θερμοκηπίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ενέργεια θερμών απόνερων από θερμοηλεκτρικά ή πυρηνικά εργοστάσια θερμικής ενέργειας ή από άλλου είδους βιομηχανικές εγκαταστάσεις.

2.3. Συστήματα αφύγρανσης και θέρμανσης

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα των θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου είναι τα υψηλά επίπεδα υγρασίας που παρατηρούνται στο εσωτερικό τους, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Καθοριστικός παράγοντας στον τρόπο εξέλιξης του κύκλου του νερού στο θερμοκήπιο, είναι η διαπνοή των φυτών η οποία καθορίζει σε σημαντικό βαθμό και την περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία, αφού η εξάτμιση από το έδαφος μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα σήμερα στα περισσότερα θερμοκήπια είτε λόγω της εδαφοκάλυψης του θερμοκηπίου με κάποιο πλαστικό είτε γιατί πρόκειται για υδροπονικές καλλιέργειες (Μανωλαράκη, 2008).

Στην προσπάθεια αφύγρανσης των θερμοκηπίων έχουν δοκιμαστεί διάφορα συστήματα, εκτός του κλασικού με τη συνδυασμένη χρήση των συστημάτων θέρμανσης και αερισμού. Η αφύγρανση του θερμοκηπίου μπορεί να γίνει με τους ακόλουθους τρόπους:

- α)** χρήση κάποιου υγροσκοπικού υλικού ή
- β)** συμπύκνωση πάνω σε μια κρύα επιφάνεια, με τη χρήση συνήθως μιας αντλίας θερμότητας.

Στις παραπάνω μεθόδους πρέπει να προστεθούν και αυτές που πραγματοποιούνται με μείξη του εσωτερικού θερμού και υγρού αέρα του θερμοκηπίου με ψυχρό και ξηρό εξωτερικό αέρα:

- γ)** είτε με εξαναγκασμένη εναλλαγή του αέρα του θερμοκηπίου, συνήθως με τη χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας

δ) είτε με συνδυασμένη χρήση των συστημάτων θέρμανσης και αερισμού, μέθοδος που είναι η πιο συνήθης για την αφύγρανση των θερμοκηπίων σήμερα.

Εκτός του συνδυασμένου συστήματος αφύγρανσης (θέρμανση και αερισμός), τα υπόλοιπα συστήματα δε βρήκαν πρακτική εφαρμογή στο χώρο των θερμοκηπίων λόγω διαφόρων παραμέτρων, όπως υψηλή κατανάλωση ενέργειας, μεγάλη ετερογένεια στις κατανομές θερμοκρασίας και υγρασίας, έλλειψη αποτελεσματικότητας, υψηλές ταχύτητες του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, λόγω του μεγάλου μεγέθους των αφυγραντικών μονάδων. Εντούτοις, κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών έγινε κάποια προσπάθεια βελτιστοποίησης του συστήματος αφύγρανσης με χρήση αντλιών θερμότητας χρησιμοποιώντας και αριθμητικές μεθόδους (Campen and Bot, 2001, 2002). Στη συνέχεια θα γίνει μια περιγραφή αυτών των τεχνικών αφύγρανσης του θερμοκηπίου καθώς και ορισμένων αποτελεσμάτων από την εφαρμογή τους.

2.3.1. Χρήση υγροσκοπικών υλικών

Η αφύγρανση του θερμοκηπίου με τη χρήση υγροσκοπικών υλικών πραγματοποιείται με την επαφή του υγρού αέρα του θερμοκηπίου με ένα υγροσκοπικό υλικό και την αποβολή με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας των υδρατμών, καθώς ο υγρός αέρας απορροφάται από το υλικό. Το σύστημα αποτελείται από δύο μέρη: το πρώτο περιέχει το υγροσκοπικό υλικό και χρησιμοποιείται για την αφύγρανση του υγρού αέρα ενώ το δεύτερο χρησιμοποιείται για την επανατροφοδότηση του υγροσκοπικού υλικού που έχει διαλυθεί κατά τη διαδικασία της αφύγρανσης. Η πυκνότητα του υγροσκοπικού υλικού που θα χρησιμοποιηθεί παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία της αφύγρανσης, αφού όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ικανότητα απορρόφησης νερού από τον αέρα (Peiper et al., 1987). Η απορροφούμενη λανθάνουσα θερμότητα ελευθερώνεται απευθείας στον αέρα του θερμοκηπίου ή αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση από κάποιο σύστημα κλιματισμού. Συνεπώς, η χρήση των υγροσκοπικών υλικών για αφύγρανση του θερμοκηπίου είναι περισσότερο συμφέρουσα όταν υπάρχει, παράλληλα, η ανάγκη για θέρμανση του χώρου.

Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της χρήσης των υγροσκοπικών υλικών είναι οι κίνδυνοι που ελλοχεύουν για την ανθρώπινη υγεία λόγω της φύσης τους. Τα

συστήματα αφύγρανσης θερμοκηπίων με τη χρήση υγροσκοπικών υλικών περιέχουν άλατα (βρωμίδια, χλωρίδια, κ.λ.π.) σε υψηλές συγκεντρώσεις. Τα υλικά αυτά εκτός του ακριβού κόστους τους, εμπεριέχουν και τον κίνδυνο ρύπανσης της ατμόσφαιρας σε περίπτωση βλάβης ή διαρροής του συστήματος (Μπαρτζάνας, 2004).

2.3.2. Συμπύκνωση των υδρατμών σε ψυχρή επιφάνεια

Στην περίπτωση αυτή η αφύγρανση στηρίζεται στη συμπύκνωση των υδρατμών πάνω σε μια ψυχρή επιφάνεια. Είναι γνωστό πως όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μικρότερη του σημείου δρόσου, η πίεση των υδρατμών είναι χαμηλότερη από την πραγματική πίεση των υδρατμών και αυτή η διαφορά μπορεί να οδηγήσει στη συμπύκνωση. Σκοπός του συστήματος αυτού είναι οι συμπυκνώσεις να μη γίνονται στις επιφάνειες του καλύμματος του θερμοκηπίου αλλά σε μια άλλη επιφάνεια, ψυχρότερη της επιφάνειας του καλύμματος, στην οποία θα υπάρχει η δυνατότητα συλλογής του συμπυκνωμένου νερού. Η ψυχρή αυτή επιφάνεια θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 5°C αυξάνοντας, έτσι, την ικανότητα της για συμπύκνωση υδρατμών. Η ψυχρή επιφάνεια μπορεί να ψύχεται μέσω μιας αντλίας θερμότητας.

Η αντλία θερμότητας είναι μια κλιματιστική συσκευή, η οποία έχει τη δυνατότητα να αξιοποιεί τη διάχυτη ενέργεια που βρίσκεται στη φύση, συνήθως σε μη αξιοποιήσιμη μορφή (θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας) και να τη μετατρέπει σε ενέργεια που μπορεί να χρησιμοποιηθεί (θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας). Η όλη εγκατάσταση μιας αντλίας θερμότητας αποτελείται από τρία τμήματα: α) από την πηγή θερμότητας από την οποία απορροφάται η θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας, β) από την αντλία θερμότητας και γ) από το χώρο στον οποίο θα αποδοθεί η θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας. Η θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας προσλαμβάνεται από την πηγή θερμότητας και με κατανάλωση κάποιου μηχανικού έργου αποδίδεται σαν θερμότητα μεγαλύτερης θερμοκρασίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο πηγών θερμότητας τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η απόδοση της αντλίας ενώ για την ίδια θερμοκρασιακή διαφορά ο συντελεστής απόδοσης βελτιώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του φορέα μέσω του οποίου αποδίδεται η θερμότητα στην κατανάλωση. Ωστόσο στην τελική απόδοση μιας αντλίας θερμότητας συμβάλλουν και άλλοι παράγοντες, όπως ατέλειες στους εναλλάκτες, πτώσεις στην πίεση του ψυκτικού υγρού στον εξατμιστή κ.λ.π. Σημαντικό ρόλο στην αποτελεσματικότητα του συστήματος παίζουν φυσικά

οι κλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και ιδιαίτερα η σχετική υγρασία του αέρα. Ο λόγος μετατροπής της λανθάνουσας θερμότητας σε αισθητή είναι ένα κριτήριο της αποτελεσματικότητας του συστήματος, καθώς μεγάλες τιμές του λόγου αυτού δηλώνουν και μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα.

Οι Boulard et al. (1989) διερεύνησαν την αποτελεσματικότητα μιας αντλίας θερμότητας (αέρα – αέρα) ισχύος 2 kW στην αφύγρανση ενός πλαστικού θερμοκηπίου με καλλιέργεια τομάτας. Στα συμπεράσματά τους αναφέρεται ότι η χρήση της αντλίας θερμότητας ενώ δεν κατάφερε να μειώσει σημαντικά την υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, απέτρεψε τη δημιουργία συμπυκνώσεων στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος της οροφής.

Ο Chasseriaux (1987) χρησιμοποίησε μια αντλία θερμότητας ισχύος 2.5 kW για την αφύγρανση ενός πλαστικού θερμοκηπίου με καλλιέργεια τριαντάφυλλο έκτασης τριών στρεμμάτων. Αν και η συσκευή ήταν ικανή να απομακρύνει 5 lt νερού ανά ώρα, εντούτοις, αυτό δεν ήταν αρκετό να βελτιώσει το μικροκλίμα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Οι Campen and Bot (2002) χρησιμοποίησαν περυγωτούς σωλήνες τοποθετημένους κάτω από την οροφή του θερμοκηπίου για να αυξήσουν την επιφάνεια εναλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον. Στους σωλήνες κυκλοφορούσε νερό σε χαμηλή θερμοκρασία. Η συμπύκνωση των υδρατμών γινόταν στην επιφάνεια των σωλήνων και το υγροποιημένο νερό συλλεγόταν από σύστημα τοποθετημένο κάτω από την επιφάνεια των σωλήνων (Εικόνα 2.4.).



Εικόνα 2.5. Περυγωτοί σωλήνες τοποθετημένοι κάτω από την οροφή του θερμοκηπίου για τη συμπύκνωση του υγρού αέρα στην επιφάνειά τους. Στη δεξιά

εικόνα φαίνονται οι συμπυκνωμένοι υδρατμοί στην επιφάνεια του σωλήνα (Campren and Bot, 2002).

Το σύστημα είχε τη δυνατότητα να απορροφά 54g νερού για κάθε μέτρο σωλήνα με θερμοκρασία των σωλήνων 5 °C, θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου 20 °C και σχετική υγρασία 80%. Ο λόγος μετατροπής της λανθάνουσας θερμότητας σε αισθητή ήταν μικρότερος του 50% σε σχέση με τη σχετική υγρασία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα η συνολική ενέργεια που αφαιρούνταν από το θερμοκήπιο να είναι διπλάσια από αυτήν που χρειαζόταν πραγματικά για την αφύγρανση του χώρου. Με τη χρήση, όμως, μιας αντλίας θερμότητας, η λανθάνουσα και αισθητή θερμότητα που συγκεντρωνόταν στην ψυχρή επιφάνεια των σωλήνων μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την απόδοση της ενέργειας στο θερμοκήπιο καθώς και για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας.

Οι Campren et al. (2003b) υπολόγισαν την εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση αντλιών θερμότητας βασιζόμενοι σε ένα βιοφυσικό προσομοίωμα του θερμοκηπίου για μια μελέτη παρόμοια με αυτή που παρουσιάστηκε και για την αφύγρανση με υγροσκοπικά υλικά. Το σύστημα αυτό έχει το μειονέκτημα του υψηλού κόστους εγκατάστασης (35€/ m²) και ο χρόνος απόσβεσης ενός τέτοιου συστήματος είναι περίπου 30 χρόνια με βάση τις σημερινές τιμές των καυσίμων.

2.3.3. Εξαναγκασμένη εναλλαγή του αέρα του θερμοκηπίου με τη χρήση συνήθως ενός εναλλάκτη θερμότητας

Σε αυτήν την περίπτωση αφύγρανσης του θερμοκηπίου χρησιμοποιείται το σύστημα δυναμικού αερισμού για να αντικαταστήσει το θερμό και υγρό αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με τον εξωτερικό αέρα, ο οποίος λόγω χαμηλότερης θερμοκρασίας θα έχει και μικρότερη απόλυτη υγρασία και συνεπώς περιεκτικότητα υδρατμών. Συνήθως το σύστημα χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κάποιον εναλλάκτη θερμότητας, όπου ο εσωτερικός αέρας κατά την έξοδό του αφήνει τη θερμότητα στον αέρα που εισέρχεται να τον αντικαταστήσει. Έτσι, η θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα είναι λίγους μόνο βαθμούς χαμηλότερη από αυτή του εσωτερικού αέρα.

Οι Albright and Behler (1984) χρησιμοποιώντας έναν εναλλάκτη θερμότητας για τον έλεγχο της υγρασίας, συμπέραναν πως από τη θερμότητα που χανόταν λόγω του αερισμού μπορούσε να ανακτηθεί το ένα τρίτο.

Οι De Hallaux & Gauthier (1998) εξέτασαν την αποτελεσματικότητα ενός εναλλάκτη θερμότητας για την αφύγρανση ενός θερμοκηπίου σε συνδυασμό με φυσικό αερισμό και συμπέραναν πως η χρήση του εναλλάκτη θερμότητας μειώνει το κόστος για την αφύγρανση. Η μείωση ήταν ανάλογη της αποτελεσματικότητας του εναλλάκτη θερμότητας που χρησιμοποιούνταν. Εντούτοις, η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνονταν δεν επαρκούσε για την απόσβεση του κόστους εγκατάστασης.

Σε μια πιο πρόσφατη μελέτη οι Rousse et al. (2000) μελέτησαν τη δυνατότητα ανάκτησης θερμότητας κατά την αφύγρανση ενός θερμοκηπίου με αερισμό. Η συσκευή, η οποία κατασκευάστηκε από τους ίδιους, είχε απόδοση (στη διαδικασία της αφύγρανσης) γύρω στο 80%, δεν μπορούσε όμως να διατηρήσει στο επιθυμητό όριο (75%) την υγρασία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Σε μια μελέτη με ένα μικρότερο εναλλάκτη θερμότητας τοποθετημένο κάτω από την υδροροή του θερμοκηπίου ανακτόταν 60 με 70% της αισθητής θερμότητας (Speetjens, 2001).

2.3.4. Αφύγρανση με συνδυασμένη χρήση των συστημάτων θέρμανσης και αερισμού

Η μέθοδος αφύγρανσης του θερμοκηπίου με τη συνδυασμένη χρήση των συστημάτων θέρμανσης και αερισμού αποτελεί την πιο κλασική μέθοδο αφύγρανσης των θερμοκηπίων και χρησιμοποιείται σήμερα στην πλειονότητα των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων. Η μέθοδος συνίσταται στην αντικατάσταση του θερμού και υγρού εσωτερικού αέρα με τον εξωτερικό, που είναι πιο ψυχρός και θα έχει, συνεπώς, μικρότερη περιεκτικότητα υδρατμών. Όταν ο εξωτερικός αέρας αναμειχθεί με τον θερμότερο εσωτερικό, θα αυξήσει τη χωρητικότητά του σε υδρατμούς και θα μειωθεί στο σύνολό της η σχετική υγρασία, ακόμα και αν χαθεί μια ποσότητα θερμότητας, αφού αυτή θα αναπληρωθεί από το σύστημα θέρμανσης. Ο εξαερισμός θα πρέπει να γίνεται όταν υπάρχει μια ικανοποιητική διαφορά της υγρασίας μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού αέρα, αφού δεν έχει νόημα να εισάγουμε στο θερμοκήπιο αέρα που να έχει την ίδια υγρασία με τον ήδη

υπάρχοντα. Απαραίτητη, βέβαια, προϋπόθεση αποτελεί το σύστημα θέρμανσης το οποίο θα αναπληρώσει τη χαμένη θερμότητα.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών και στα πλαίσια των προσπαθειών για εξοικονόμηση ενέργειας, υπήρξε μια τάση στο χώρο των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων για την κατασκευή θερμοκηπίων με όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες ενέργειας. Έτσι, τα θερμοκήπια μονώνονταν καλύτερα και εξοπλίζονταν με θερμοκουρτίνες και διπλό κάλυμμα πλαστικού στην οροφή. Όλες αυτές οι επεμβάσεις μείωσαν τις ενεργειακές απώλειες των θερμοκηπίων, ελαττώνοντας κατά αυτόν τον τρόπο και την ενέργεια που απαιτούνταν για τη θέρμανσή τους. Παράλληλα, όμως, αύξησαν και τη σχετική υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα το κόστος αφύγρανσης αυτών των θερμοκηπίων να είναι μεγαλύτερο από αυτό των υπόλοιπων θερμοκηπίων, χωρίς πρόσθετες επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας.

Οι De Halleux and Gauthier (1998) χρησιμοποιώντας ένα προσομοίωμα πρόβλεψης των εναλλαγών θερμότητας και μάζας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Gauthier, 1993) προσδιόρισαν την επίδραση του φυσικού αερισμού στην αφύγρανση ενός θερμοκηπίου τύπου Venlo με καλλιέργεια τομάτας κατά την περίοδο που αυτό θερμαινόταν. Εξέτασαν τρία διαφορετικά σενάρια: α) αφύγρανση χωρίς αερισμό, β) αφύγρανση με μία εναλλαγή του αέρα του θερμοκηπίου ανά ώρα και γ) αφύγρανση με αερισμό ανάλογο με τις απαιτήσεις για αφύγρανση, με 10 κατά ανώτατο όριο ανανεώσεις του αέρα ανά ώρα. Από το παραπάνω πείραμα που πραγματοποίησαν, οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι η αφύγρανση με αερισμό ανάλογο των απαιτήσεων σε αφύγρανση αύξησε, σε σχέση με την κατανάλωση ενέργειας χωρίς αφύγρανση, την κατανάλωση ενέργειας κατά 18,4% ενώ η αφύγρανση με μία εναλλαγή του αέρα του θερμοκηπίου την ώρα αύξησε την κατανάλωση ενέργειας κατά 12.6%.

Πειράματα διεξήχθησαν σε θερμοκήπιο για τη μελέτη της κατακόρυφης κατανομής της θερμοκρασίας και της υγρασίας σε συνθήκες παροχής και μη φυσικού αερισμού. Πραγματοποιήθηκε σύγκριση μεταξύ αερισμού με συνεχή ανοίγματα οροφής και αερισμού με άνοιγμα τόσο των παραθύρων οροφής όσο και των πλευρικών, σε ώριμα και νεαρά φυτά. Στα ώριμα φυτά, ο λόγος της βαθμιαίας μεταβολής θερμοκρασίας και της υγρασίας πριν από το άνοιγμα των παραθύρων εξαερισμού ήταν σημαντική και παρέμεινε έτσι μετά το άνοιγμα των παραθύρων

είτε μόνο της οροφής είτε και των δύο παραθύρων (οροφής και πλευρικά). Οι μικρότερες διαφορές παρατηρήθηκαν στην περίπτωση του εξαερισμού οροφής από ότι με εξαερισμό μέσω οροφής και πλευρικών ανοιγμάτων. Στα νεαρά φυτά, ο λόγος αυτός ήταν πολύ μικρότερος από ότι στα ώριμα φυτά και θα μπορούσε να θεωρηθεί αμελητέος για καθένα από τα συστήματα αερισμού (Zhao et al., 2001).

Στα θερμά κλίματα, για τον αερισμό των εμπορικών θερμοκηπίων χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες οι οποίοι συνήθως τοποθετούνται στη μια άκρη του θερμοκηπίου και διοχετεύουν τον εξωτερικό αέρα μέσω ανοιγμάτων στο αντίθετο άκρο. Καθώς ο αέρας μετακινείται, η θερμοκρασία, η υγρασία και το CO₂ μεταβάλλονται σταδιακά καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, δημιουργώντας ένα ανομοιογενές μικροκλίμα για την καλλιέργεια, ανεπιθύμητο για τους παραγωγούς. Αναπτύχθηκαν μοντέλα για την πρόβλεψη αυτών των μεταβολών (με σταθερό ρυθμό ανανέωσης του αέρα ως προς το χρόνο) και επαληθεύθηκαν από πειράματα σε θερμοκήπιο με καλλιέργεια πιπεριού. Τα αποτελέσματα του μοντέλου έδειξαν ότι οι μεγαλύτερες μεταβολές πρέπει να αναμένονται περίπου τις μεσημβρινές ώρες (11:00-12:00), όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερη (Teitel et al., 2010).

Οι Seginer et al., (1994) δημιούργησαν μοντέλα προσομοίωσης για το εσωτερικό του θερμοκηπίου και διαπίστωσαν ότι τα αποτελέσματα υποστηρίζουν προηγούμενα ευρήματα ότι η κατεύθυνση του ανέμου και η ανύψωση της θερμοκρασίας δεν αποτελούν σημαντικές ενδείξεις για αερισμό το καλοκαίρι. Τα αποτελέσματα δείχνουν, επίσης, ότι η συχνότητα ανανέωσης του αέρα μπορεί να προβλεφθεί κάπως καλύτερα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες παρά από την ανύψωση της θερμοκρασίας. Παραδόξως, οι αλλαγές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας σε ένα θερμοκήπιο τομάτας δεν επηρέασαν σημαντικά το εσωτερικό περιβάλλον.

Διερευνήθηκε με προσομοιώσεις η επιρροή των προστατευτικών φραγμάτων για έντομα (σίτες) στη ροή του αέρα και της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, με κατεύθυνση του ανέμου κάθετα προς το πλευρικά ανοίγματα. Βρέθηκε ότι οι σίτες μείωσαν σημαντικά τη ροή του αέρα ενώ αύξησαν τη μεταβολή της θερμότητας στο θερμοκήπιο. Οι μέγιστες τιμές της ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του παρατηρήθηκαν κοντά στα ανοίγματα ενώ η ταχύτητα του αέρα ήταν χαμηλότερη στο κέντρο του θερμοκηπίου, όπως αναμενόταν. Μάλιστα, η ταχύτητα του αέρα μειώθηκε κατά το ήμισυ στο θερμοκήπιο που ήταν εξοπλισμένο



με προστατευτική σίτα για τα έντομα. Οι διαφορές αυτές ήταν, επίσης, σημαντικές στην περιοχή που ήταν καλυμμένη από την καλλιέργεια (Bartzanas et al., 2002).

Πειράματα διεξήχθησαν προκειμένου να διερευνηθούν την επίδραση του νυκτερινού εξαερισμού στην υγρασία σε θερμοκήπιο τομάτας χωρίς θέρμανση και τις συνέπειές του στον έλεγχο του μύκητα *Botrytis cinerea*. Μια σημαντική μείωση της υγρασίας του αέρα καταγράφηκε τις νυκτερινές ώρες αερισμού του θερμοκηπίου. Νυκτερινός ή μόνιμος εξαερισμός αποδείχθηκε ότι συνέβαλε στη μείωση της σοβαρότητας της νόσου στα φύλλα της τομάτας. Η νυκτερινή διαχείριση του εξαερισμού αποτελεί μια τεχνική ελέγχου του μικροκλίματος που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως προφυλακτικό μέτρο ελέγχου, δεδομένου ότι μειώνει τη σοβαρότητα του μύκητα σε καλλιέργειες που καλλιεργούνται σε θερμοκήπια χωρίς θέρμανση, επιτρέποντας τη μείωση της χρήσης χημικών και τη μείωση τόσο του κόστους παραγωγής όσο και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Baptista et al., 2007).

Μελετήθηκε η επιρροή της θερμοκρασίας σε καλλιέργεια τομάτας και βρέθηκε ότι θερμοκρασίες από 22 έως 32 °C επηρεάζουν σημαντικά την ανάπτυξη του *Fusarium spp.* καθώς και των φυσιολογικών παραμέτρων ανάπτυξης των φυτών (Larkin and Fravel, 2002).

Από μελέτη που έγινε σε δύο συστήματα θέρμανσης συμπεραίνεται ότι η συνδυασμένη λειτουργία επιδαπέδιων σωλήνων και αξονικού αερόθερμου είναι προτιμότερη από τη θέρμανση με επιδαπέδιους σωλήνες μόνο, αφού καταμερίζοντας καλύτερα τη διαθέσιμη ενέργεια ως θερμότητα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου επιτυγχάνεται:

- Η επιθυμητή θερμοκρασία αέρα
- Μείωση της υγρασίας του αέρα
- Καλύτερη φυσιολογική λειτουργία της καλλιέργειας
- Μείωση του ρυθμού υγροποιήσεων στην επιφάνεια του καλύμματος.

Βέβαια με αυτό το σύστημα απαιτείται μεγαλύτερη ενέργεια (περίπου 16%) λόγω της ενεργειακής συμπεριφοράς του αερόθερμου και των επιδαπέδιων σωλήνων και όχι εξαιτίας της επιπλέον ενέργειας που δόθηκε (Μπαρτζάνας, 2004).

2.4. Σύνοψη της ανασκόπησης

Στόχος του ελέγχου του περιβάλλοντος μέσα στο θερμοκήπιο είναι η βελτιστοποίηση της παραγωγής της καλλιέργειας. Οι περισσότερες ενέργειες ελέγχου που διενεργούνται 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 στην καλλιέργεια.

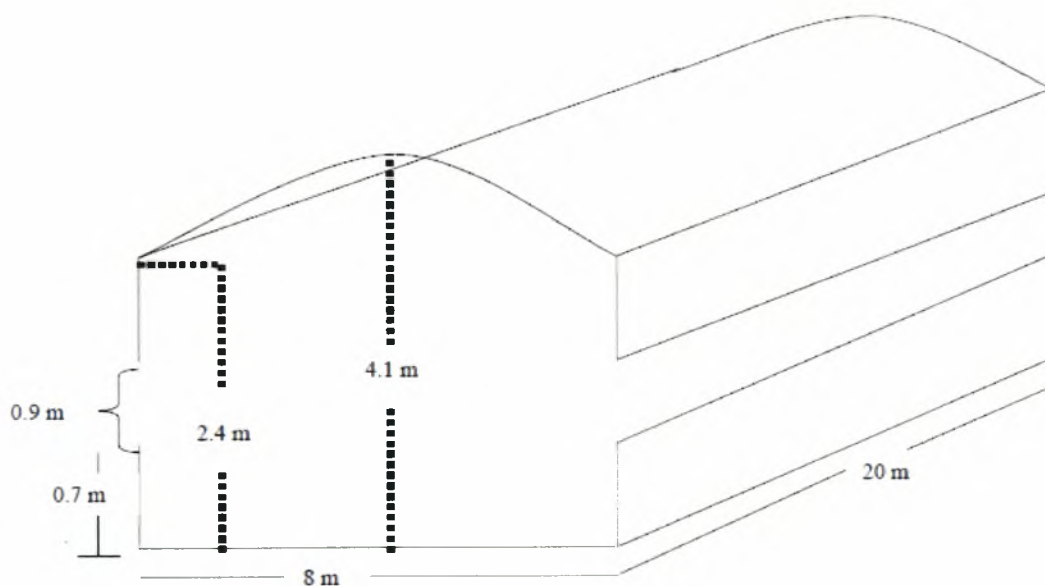
Οι ενεργειακές καταναλώσεις των θερμοκηπίων μειώθηκαν αισθητά με την υιοθέτηση τεχνολογιών που περιορίζουν τις ενεργειακές απώλειες. Οι τεχνολογίες αυτές μπορεί να οδήγησαν σε μείωση του συνολικού κόστους παραγωγής, κυρίως μέσω της μείωσης του κόστους θέρμανσης, κατέστησαν όμως τον έλεγχο του θερμοκηπιακού 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.

Κεφάλαιο 3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1. Εισαγωγή - Τοποθεσία του πειράματος

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση των συστημάτων θέρμανσης με επιδαπέδιους σωλήνες θέρμανσης και αερόθερμα στην κατανομή του μικροκλίματος στο θερμοκήπιο σε καλλιέργεια τομάτας, έγιναν μετρήσεις μικροκλίματος κατά την περίοδο 2009 - 2010.

Κατά την πραγματοποίηση του πειράματος χρησιμοποιήθηκε το θερμοκήπιο του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο αγρόκτημα του Βελεστίνου του νομού Μαγνησίας. Το αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ} 22'$ και γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 44'$, το υψόμετρο της περιοχής είναι 85 m και απέχει 17 km από το Βόλο. Το θερμοκήπιο είχε μήκος 20m και πλάτος 8m, καταλαμβάνοντας συνολικά 160m^2 και όγκο 572m^3 . Το ύψος του ορθοστάτη ήταν 2.4m και το ύψος του κορφιά 4.1m (Σχήμα 3.1).



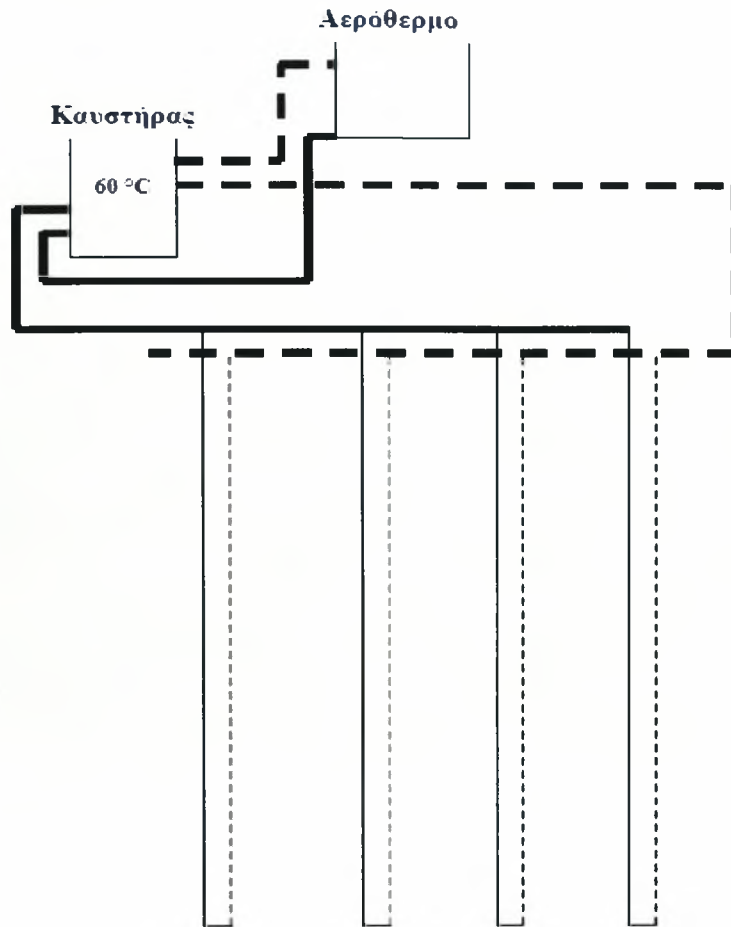
Σχήμα 3.1. Πειραματικό θερμοκήπιο

Οι επικρατούντες άνεμοι της περιοχής έχουν κατεύθυνση είτε Νοτιοανατολικά προς Βορειοδυτικά (συνήθως τις πρωινές ώρες) είτε Βορειοδυτικά προς Νοτιοανατολικά (συνήθως τις απογευματινές ώρες).

3.2. Περιγραφή θερμοκηπίου – Καλλιέργεια

Το θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο, προσανατολισμένο 36° δεξιόστροφα από τη διεύθυνση Βορράς-Νότος, με σκελετό από γαλβανισμένο χάλυβα και κάλυψη με απλό πολυαιθυλένιο. Το θερμοκήπιο θερμαινόταν με σύστημα πλαστικών σωλήνων ανακυκλοφορίας ζεστού νερού, τοποθετημένων στο έδαφος και παράλληλα με τις γραμμές της καλλιέργειας. Επίσης, υπήρχε τοποθετημένο σε απόσταση 3m από την επιφάνεια του εδάφους και σε απόσταση 0.5m από την είσοδο του θερμοκηπίου ένα αερόθερμο, το οποίο τροφοδοτούνταν με θερμό νερό από τον ίδιο λέβητα με το σύστημα των επιδαπέδιων σωλήνων και παρείχε ζεστό αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Το δίκτυο των σωλήνων ήταν τοποθετημένο σε απόσταση 10cm 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 ισχύος 175 W, χρησιμοποιούσε ως καύσιμο το πετρέλαιο. Η όλη διάταξη του συστήματος θέρμανσης παριστάνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 3.2. Σχηματική διάταξη του συστήματος θέρμανσης. Οι συνεχείς γραμμές αναπαριστούν την είσοδο του ζεστού νερού και οι συνεχόμενες την επιστροφή του.

Στο εσωτερικό του καυστήρα υπήρχε ένας κυκλοφορητής που έλεγχε 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 δύο κυκλοφορητές ήταν συνδεδεμένοι σε σειρά μεταξύ τους ενώ υπήρχε και η δυνατότητα απενεργοποίησης του δεύτερου κυκλοφορητή μέσω ενός διακόπτη που παρεμβαλλόταν 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 1.5m 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.

Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν καλυμμένο με απλό πολυαιθυλένιο έτσι ώστε να αποτρέπεται η εμφάνιση ζιζανίων αλλά και η εξάτμιση από το έδαφος ενώ η καλλιέργεια λιπαινόταν και ποτιζόταν από σύστημα στάγδην άρδευσης.



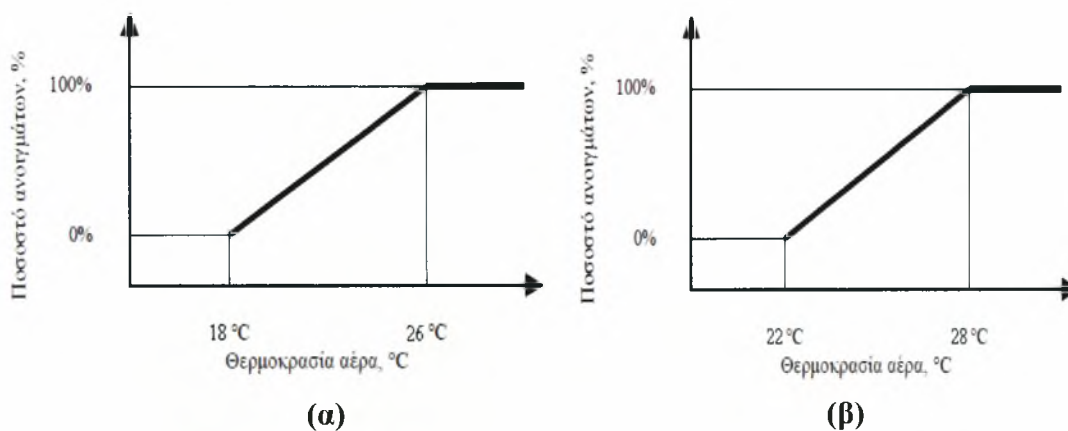
Εικόνα 3.1. Εξωτερική άποψη του πειραματικού θερμοκηπίου του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο με συνεχή πλαϊνά ανοίγματα αερισμού διαστάσεων 0.9m x 15m ή 13,5m² το καθένα. Ο αερισμός του θερμοκηπίου γινόταν μέσω δύο συνεχόμενων πλαϊνών ανοιγμάτων.



Εικόνα 3.2. Πλαϊνή άποψη του πειραματικού θερμοκηπίου-Ανοίγμα παραθύρων αερισμού

Το ποσοστό των ανοιγμάτων αερισμού (ως προς το καλυμμένο έδαφος) ήταν 16.87%. Η λειτουργία των ανοιγμάτων αερισμού ρυθμιζόταν μέσω μικροελεγκτή του κεντρικού συστήματος ρύθμισης του μικροκλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, δηλαδή τα παράθυρα για τον αερισμό ελέγχονταν αυτόματα με τη χρήση Ηλεκτρονικού Υπολογιστή. Η βασική ενεργοποίηση των ανοιγμάτων αερισμού γινόταν με βάση τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Τα παράθυρα ξεκινούσαν να ανοίγουν όταν η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου ξεπερνούσε τους 23°C ενώ όταν η θερμοκρασία έφτανε τους 28°C τα παράθυρα είχαν το μέγιστο άνοιγμα τους.



Γράφημα 3.1. Ποσοστό ανοιγμάτων (%) για: (α)τα παράθυρα οροφής και (β)τα πλαινά παράθυρα αερισμού του θερμοκηπίου.

Ακόμη, το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο με έναν ανεμομεικτη αέρα αποδοτικότητας $4500\text{m}^3\text{h}^{-1}$, τοποθετημένο σε ύψος 2.6m από το έδαφος.

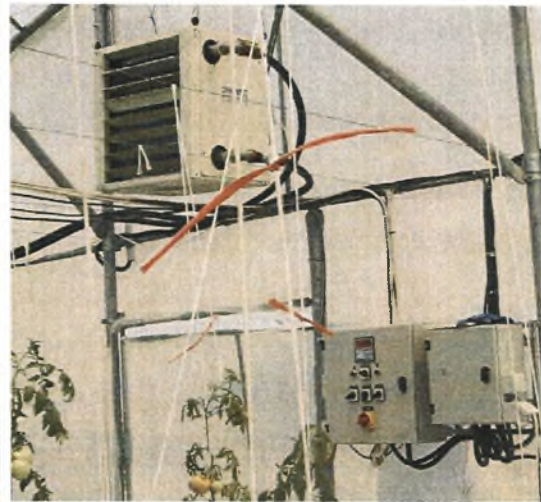


Εικόνα 3.3. Ανεμομείκτης αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

Συμπληρωματικά υπήρχε και αξονικό αερόθερμο, τοποθετημένο σε ύψος 2.6m από το έδαφος στη βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου.



(α)



(β)

Εικόνα 3.4. Συστήματα θέρμανσης στο εσωτερικό του πειραματικού θερμοκηπίου: (α) Σύστημα επιδαπέδιων σωληνώσεων και (β) Αερόθερμο

Η καλλιέργεια που εγκαταστάθηκε ήταν υδροπονική καλλιέργεια τομάτας (*Lycopersicon esculentum cv. Belladonna*), μια ποικιλία αυτογονιμοποιούμενη με χαρακτηριστικό τη μεγάλη διάρκεια ζωής του καρπού. Η καλλιέργεια γινόταν σε

υδροπονικό σύστημα για να επιτευχθεί ομοιομορφία συνθηκών στη ρίζα, γεγονός που δεν επιτυγχάνεται στο έδαφος, καθώς και για την αποφυγή ασθενειών του εδάφους. Το υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν περλίτης, με διαστάσεις κάθε σάκου περλίτη 1m μήκος και 0,2m πλάτος και ήταν τοποθετημένοι σε απόσταση 0.5m από την επιφάνεια του εδάφους. Η καλλιέργεια είχε εγκατασταθεί σε δύο διπλές σειρές με αποστάσεις φύτευσης 0.33m επί της γραμμής και 0.75m επί των γραμμών, δίνοντας κατά αυτόν τον τρόπο μια πυκνότητα φυτών 2.4 φυτά / m² εδάφους.



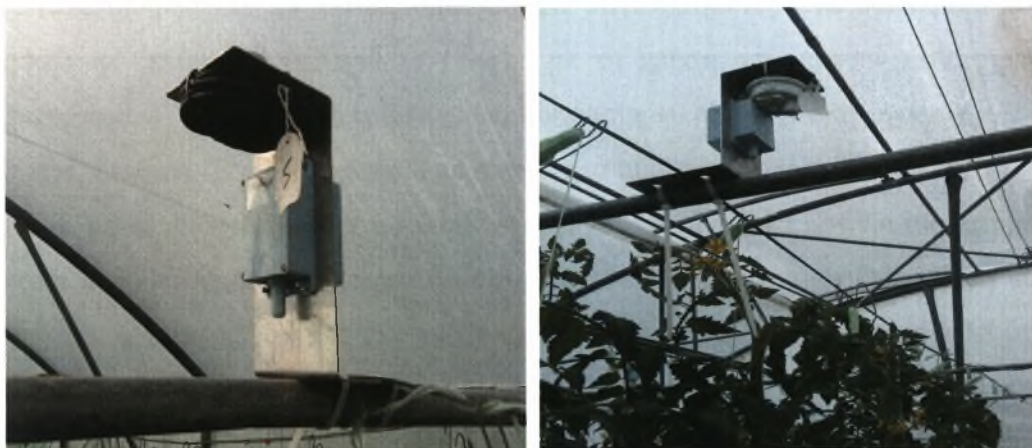
Εικόνα 3.5. Εγκατάσταση καλλιέργειας τομάτας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε διπλές γραμμές φύτευσης

Η δόση και η συχνότητα άρδευσης καθώς και η ποιότητα του αρδευόμενου διαλύματος ελέγχονταν με ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου και αναμείξεως των διαλυμάτων μέσω Η/Υ, με ρύθμιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας περίπου στο 2,5 dSm⁻¹ και pH στο 5,5. Το σύστημα ήταν εξοπλισμένο με μικροελεγκτή που ρύθμιζε τα παραπάνω χαρακτηριστικά του διαλύματος προτού αυτό να διοχετευθεί στα φυτά μέσω των σταλλακτών.

3.3. Περιγραφή των οργάνων μέτρησης

Προκειμένου να αναλυθούν οι ενδείξεις των χαρακτηριστικών που μελετήθηκαν κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, χρησιμοποιήθηκε ένα σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (Zeno, Coastal USA) ανά 10 λεπτά (μέτρηση κάθε 1 λεπτό), όπου καταγραφόταν:

- Εσωτερικά στο θερμοκήπιο: η **θερμοκρασία** (T , °C) και η **σχετική υγρασία** (RH) του αέρα με τη χρήση αισθητήρων μέτρησης (HD9009TR Hygrotransmitter, Delta OHM S.r.L., Padova, Italia) με ακρίβεια: θερμοκρασία $\pm 0.1^\circ\text{C}$, σχετική υγρασία $\pm 2\%$ τοποθετημένοι στο κέντρο του θερμοκηπίου σε ύψος περίπου 1,8 μέτρα καθώς και η **ολική ηλιακή ακτινοβολία** (R_s , Wm^{-2}) με ηλιακά πυρανόμετρα (Middleton EP08-E, Brunswick, Victoria, Australia) σε απόσταση 2 μέτρων από το έδαφος του θερμοκηπίου. Ακόμη, η **παροχή ενέργειας** 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 παρεχόμενης ενέργειας [$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T / (60 \cdot 160)$] χωριστά από τα δυο συστήματα. Περιλαμβάνει ένα ροόμετρο τοποθετημένο στην είσοδο του ζεστού νερού και ένα ζεύγος αισθητήρων θερμοκρασίας τοποθετημένους στην είσοδο του ζεστού νερού και στην έξοδο του νερού επιστροφής.



(α)

(β)

Εικόνα 3.6. Ασύρματοι και ενσύρματοι αισθητήρες καταγραφής δεδομένων, τοποθετημένοι σε διάφορες θέσεις στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

- Εξωτερικά του θερμοκηπίου: η **θερμοκρασία**, η **σχετική υγρασία** του αέρα και η **ολική ηλιακή ακτινοβολία** που αναφέρθηκαν παραπάνω, σε απόσταση περίπου 15 μέτρων από το θερμοκήπιο και σε ύψος 4 μέτρα. Ακόμη, λήφθηκαν μετρήσεις για την **ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου** με τη χρήση ενός ανεμομέτρου κυπέλλων (model AN1-UM-3, Delta-T Devices, Cambridge, U.K.) και ενός ανεμοδείκτη (model WD1-UM-3, Delta-T Devices,

Cambridge, U.K.) αντίστοιχα, οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι σε ύψος 10 μέτρων.

3.4. Περιγραφή των μετρήσεων – μεταχειρίσεων

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση των συστημάτων θέρμανσης με επιδαπέδιους σωλήνες θέρμανσης και αερόθερμα στην κατανομή του μικροκλίματος στο θερμοκήπιο σε καλλιέργεια τομάτας, έγιναν μετρήσεις μικροκλίματος κατά την περίοδο 2009 - 2010.

Οι μετρήσεις του μικροκλίματος πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια χρονικών περιόδων στις οποίες ο ανεμομείκτης είτε δεν είχε τεθεί σε λειτουργία είτε είχε τεθεί συνεχώς ή με διακοπτόμενη ισχύ κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Σε αυτές τις περιόδους των μετρήσεων, το θερμοκήπιο θερμαινόταν είτε με τους επιδαπέδιους σωλήνες θέρμανσης είτε με το αερόθερμο ή εναλλακτικά και με τα δυο συστήματα.

Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα πραγματοποιήθηκαν σε 17 θέσεις ομοιόμορφα κατανεμημένες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 2,4m από το έδαφος με τη χρήση ασύρματων αισθητήρων μέτρησης(model W-S DLTc, ακρίβειας: θερμοκρασία $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$, σχετική υγρασία $\pm 3\%$, WiSensys, Emmen, The Netherlands) με συχνότητα μετρήσεων ανά 1 λεπτό.

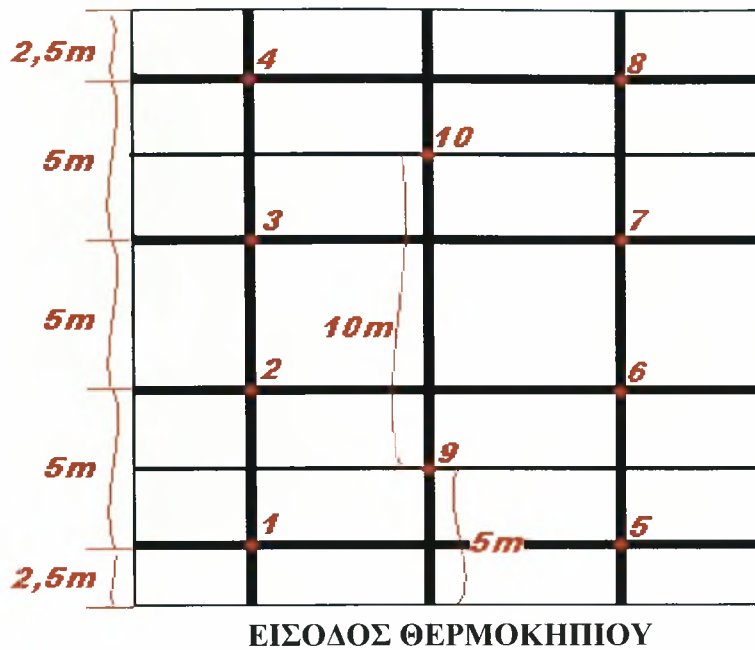
Αρχικά, με το πρόγραμμα Sensor Grafts ενεργοποιήθηκαν οι 10 πρώτοι αισθητήρες οι οποίοι τοποθετήθηκαν στο τρίτο θερμοκήπιο του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και κατέγραφαν μετρήσεις δοκιμαστικά για ένα εικοσιτετράωρο. Αξίζει να σημειωθεί ότι, το παράθυρο οροφής και τα πλαϊνά παράθυρα λειτουργούσαν αυτόματα μετά από προγραμματισμό: το παράθυρο οροφής ήταν προγραμματισμένο να ανοίγει στους 18°C και ήταν τελείως ανοιχτό στους 26°C ενώ τα πλαϊνά παράθυρα άνοιγαν στους 22°C και ήταν τελείως ανοιχτά στους 28°C . Ακόμη, το αερόθερμο λειτουργούσε στη θερμοκρασία των 14°C και σταματούσε στους 14.8°C και η επιδαπέδια θέρμανση λειτουργούσε στους 14.8°C ενώ διέκοπτε τη λειτουργία της όταν η θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 15.3°C . Τέλος, τέθηκε σε λειτουργία ο ανεμομείκτης ο οποίος λειτουργούσε επί 24ώρου.

Στην **πρώτη φάση** του πειράματος, οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν στο πρώτο θερμοκήπιο κοντά στην οροφή πάνω από τα φυτά, σε απόσταση 2,5 μέτρα από το έδαφος.



Εικόνα 3.7. Ασύρματος αισθητήρας τοποθετημένος στα 2,5 μέτρα από την επιφάνεια του εδάφους

Όλοι οι αισθητήρες ήταν αριθμημένοι από το 1-10. Οι τέσσερις πρώτοι, τοποθετήθηκαν στην αριστερή πλευρά του θερμοκηπίου, πάνω από την σειρά των φυτών. Ο ένας, 2,5m από την αρχή του θερμοκηπίου και οι υπόλοιποι τρεις σε απόσταση 5m μεταξύ τους. Άλλοι τέσσερις αισθητήρες τοποθετήθηκαν με τον ίδιο τρόπο στη δεξιά πλευρά του θερμοκηπίου. Οι τελευταίοι δυο αισθητήρες τοποθετήθηκαν σχεδόν στη μέση του θερμοκηπίου και πάνω από τα φυτά. Σε αυτήν την περίπτωση, ο πρώτος απείχε 5m από την αρχή του θερμοκηπίου και ο άλλος 10m από αυτόν, όπως φαίνεται και στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 3.3. Απεικόνιση των σημείων τοποθέτησης των πρώτων 10 ασύρματων αισθητήρων στα 2,5 μέτρα από το έδαφος του θερμοκηπίου

Με τη χρήση του προγράμματος VNC στον κεντρικό υπολογιστή του αγροκτήματος, αποθηκεύθηκαν όλες οι ενδείξεις από τους εγκατεστημένους αισθητήρες.

Κατά τη **δεύτερη φάση** του πειράματος, τοποθετήθηκαν άλλοι 7 αισθητήρες μέσα στην καλλιέργεια, αριθμημένοι από το 11 έως το 17, ενδιάμεσα στα φυτά σε απόσταση περίπου 1,5 μέτρο από το έδαφος του θερμοκηπίου, αφού πρώτα τέθηκαν σε λειτουργία στον κεντρικό υπολογιστή του αγροκτήματος.



Εικόνα 3.8. Ενσύρματοι αισθητήρες τοποθετημένοι στο 1,5 μέτρο από το έδαφος του θερμοκηπίου

Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες αποθηκεύουν τα δεδομένα σε εσωτερική μνήμη που διαθέτουν. Οι αισθητήρες αυτοί, τοποθετήθηκαν όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 3.4. Απεικόνιση των σημείων τοποθέτησης 7 επιπλέον αισθητήρων σε σημεία ενδιάμεσα στα φυτά της καλλιέργειας

Ο ανεμομείκτης και τα δύο συστήματα θέρμανσης λειτουργούσαν χωρίς καμία αλλαγή στην ρύθμισή τους.

Κατά την **τρίτη φάση** του πειράματος, οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν πάνω από την καλλιέργεια καθώς και στο ύψος των ριζών (0,5μέτρο). Σε αυτήν την περίπτωση, οι αισθητήρες ήταν αριθμημένοι από το 1-10. Οι αισθητήρες με τους αριθμούς 1,3,5,7 και 9 τοποθετήθηκαν χαμηλά στην καλλιέργεια, κοντά στο ύψος των φυτών ενώ στις αντίστοιχες θέσεις αλλά κοντά στην οροφή του θερμοκηπίου πάνω από τα φυτά, τοποθετήθηκαν οι αισθητήρες 2,4,6,8 και 10. Στην αριστερή πλευρά του θερμοκηπίου βρίσκονταν οι αισθητήρες 1,2 και 7,8 οι οποίοι απείχαν από την είσοδο του θερμοκηπίου 17,5m και 2,5m αντίστοιχα. Άλλοι τέσσερις αισθητήρες, οι 3,4 και 5,6, βρίσκονταν στη δεξιά πλευρά του θερμοκηπίου, στις ίδιες αποστάσεις. Οι τελευταίοι δυο αισθητήρες, 9 και 10, ήταν τοποθετημένοι στο κέντρο του θερμοκηπίου και απείχαν από την είσοδο 10m, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχήμα 3.5. Απεικόνιση των σημείων τοποθέτησης των 10 αισθητήρων στα 2,5μέτρα καθώς και στο 0,5 μέτρο από την επιφάνεια του εδάφους



Εικόνα 3.9. Αισθητήρες τοποθετημένοι στο 0,5 μέτρο από την επιφάνεια του εδάφους

3.5. Περιγραφή της επεξεργασίας

Οι μετρήσεις που αφορούσαν τη θερμοκρασία του αέρα λαμβάνονταν κάθε ένα δευτερόλεπτο (1sec) και καταγραφόταν η μέση τιμή τους κάθε ένα λεπτό (1min). Όλες οι υπόλοιπες μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε τριάντα δευτερόλεπτα (30sec) και καταγραφόταν η μέση τους τιμή κάθε δέκα λεπτά (10min).

Κεφάλαιο 4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1. Εισαγωγή

Η θέρμανση του πειραματικού θερμοκηπίου, όπως αναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 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 δυνατόν 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 αερόθερμο
- Συνδυασμός επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμου
- Διακοπή λειτουργίας συστημάτων θέρμανσης

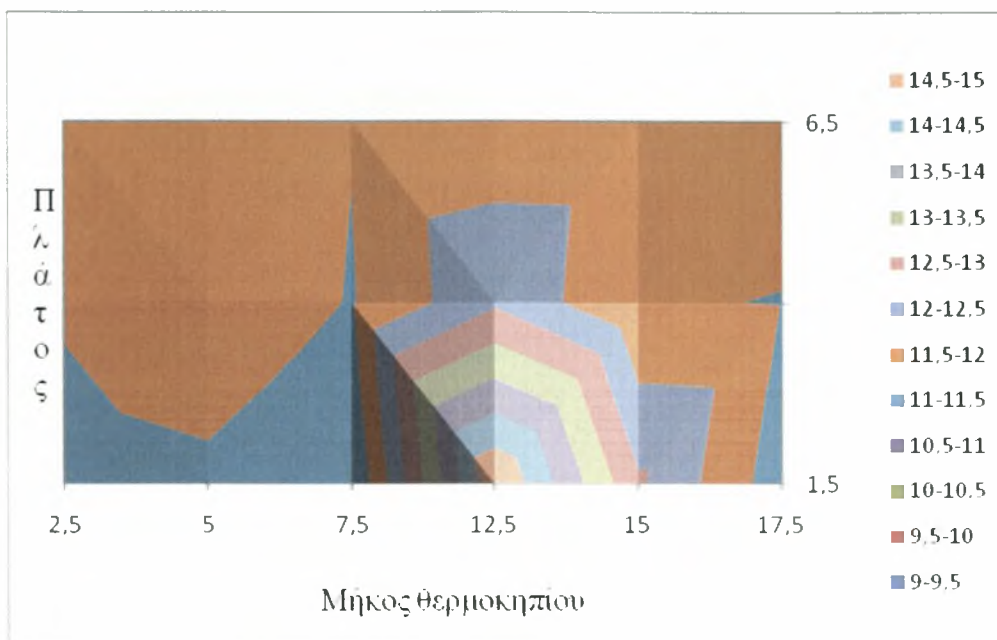
4.2. Εφαρμογή επιδαπέδιας θέρμανσης

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

Για τη διερεύνηση της κατανομής της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, επιλέχθηκαν 4 διαφορετικές ημέρες όσον αφορά τον 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 (10min).

Μεταβολή θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας κατά μήκος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

Στο Σχήμα 4.1 παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

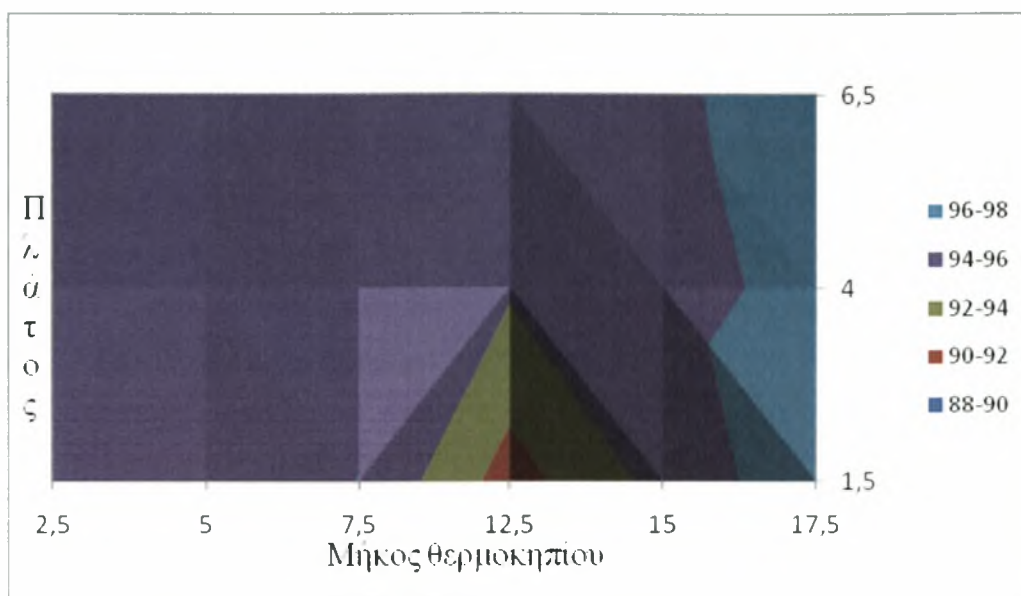


Σχήμα 4.1. Οριζόντια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης από 14-12 έως 15-12.

Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα, η υψηλότερη θερμοκρασία σημειώνεται στα 12,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου με τιμή 15°C. Η μέση τιμή της στο κέντρο του, δηλαδή σε απόσταση 10m από την είσοδο είναι 12,6°C.

Μεγάλη σημασία στην κατανομή της θερμότητας έχει η θέση που βρίσκονται οι σωλήνες θέρμανσης. Στην 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 από ό,τι μέσα σε αυτά (Winspear, 1978; Yang, 1995).

Στο Σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.2. Οριζόντια μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης από 14-12 έως 15-12.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της σχετικής υγρασίας, οι χαμηλότερες τιμές καταγράφονται στα 12,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου καθώς και στο κέντρο του. Το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας εμφανίζεται σε απόσταση 17,5m από το αερόθερμο, η τιμή της οποίας φθάνει στο 97%, λόγω της μειωμένης θερμοκρασίας που επικρατεί σε αυτό το σημείο (11°C).

Στον Πίνακα 4.1. παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των θερμοκρασιών του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

Μήκος\Πλάτος	1,5	4	6,5
5	11,6	11,5	11,3
7,5		11,6	11,3
10		12,6	11
12,5		11,4	
15	10,8	10,9	

Πίνακας 4.1. Μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα σε διάφορα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο οριζόντιο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης από 14-12 έως 15-12.

Όσον αφορά στην κατανομή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας σε σημεία ενδιάμεσα της καλλιέργειας του πειράματος, ήταν αδύνατον να διαμορφωθούν

τα αντίστοιχα διαγράμματα λόγω έλλειψης δεδομένων. Έτσι, οι μέσοι όροι από τους αισθητήρες παρουσιάζονται στους παραπάνω πίνακες. Παρατηρείται, λοιπόν, ότι η υψηλότερη μέση θερμοκρασία σημειώνεται στο κέντρο του θερμοκηπίου (12,6°C), με χαμηλότερη στα 15m από την είσοδό του (10,8°C). Διαπιστώνεται, δηλαδή, μια ομοιομορφία στην κατανομή των θερμοκρασιών χωρίς μεγάλες αποκλίσεις, όπως φαίνεται και στον πίνακα, σε αντίθεση με τις μέσες τιμές των σημείων στην κορυφή του θερμοκηπίου που αναφέρθηκαν.

Στον Πίνακα 4.2. παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των σχετικών υγρασιών του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

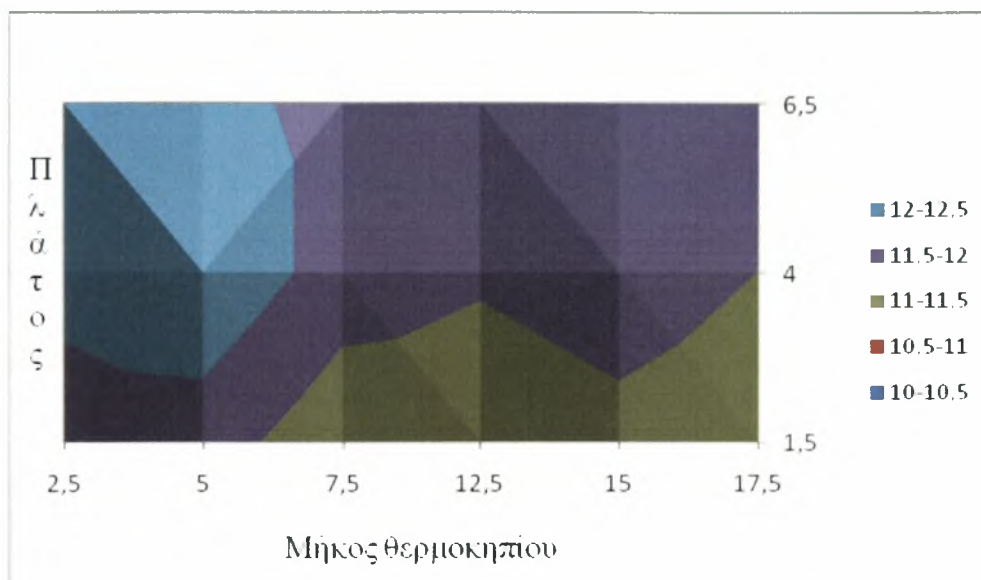
Μήκος\Πλάτος	1,5	4	6,5
5	100	99,1	100
7,5		92,8	76,9
10		92,4	37
12,5		97,3	
15	84,4	100	

Πίνακας 4.2. Μέσες τιμές των σχετικών υγρασιών του αέρα σε διάφορα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο οριζόντιο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης από 14-12 έως 15-12.

Όσον αφορά στην κατανομή της σχετικής υγρασίας, κυμαίνεται σε αρκετά υψηλά επίπεδα ενώ σε μερικά σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου φθάνει το 100%, δηλαδή ο αέρας έχει κορεσθεί (πλήρης συμπύκνωση). Παρόλα αυτά, στα 10m δηλαδή στο κέντρο του θερμοκηπίου καταγράφηκε τιμή σχετικής υγρασίας 37%, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται σε σφάλμα του αισθητήρα, καθώς η τιμή αυτή δεν δικαιολογείται αφού απέχει αρκετά μέτρα από το αερόθερμο.

Οι Fernandez and Bailey (1992) μελετώντας τρεις διαφορετικές κατανομές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας διαπίστωσαν μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στην περιοχή πάνω από την καλλιέργεια τομάτας.

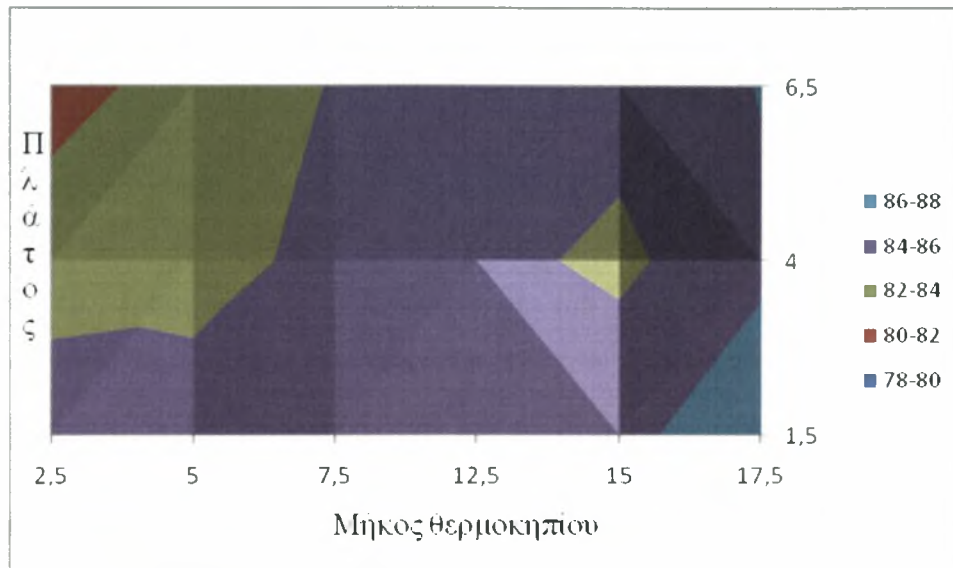
Στο Σχήμα 4.3. παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.3. Οριζόντια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης από 5-1 έως 6-1.

Από το παραπάνω σχήμα, παρατηρείται ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες σημειώνονται στα 2,5 και 5m από την είσοδο του θερμοκηπίου (αισθητήρας 5 και 9 αντίστοιχα), όπως επίσης και στο κέντρο του. Η μέγιστη θερμοκρασία ανέρχεται κατά μέσο όρο στους 12,5°C. Αντίθετα, η χαμηλότερη θερμοκρασία καταγράφεται στα 12,5 και 17,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου, με μέσο όρο 10°C. Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν ήταν τα αναμενόμενα καθώς οι υψηλότερες θερμοκρασίες σημειώθηκαν σε σημεία που βρίσκονται σε αποστάσεις 2 και 4m αντίστοιχα από την επιδαπέδια θέρμανση ενώ οι χαμηλότερες παρατηρούνται σε σημεία περισσότερο απομακρυσμένα από το σύστημα θέρμανσης.

Στο Σχήμα 4.4. παρουσιάζεται η μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.4. Οριζόντια μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης από 5-1 έως 6-1.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της σχετικής υγρασίας, οι χαμηλότερες τιμές καταγράφονται στα 2,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου καθώς και στο κέντρο. Το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας εμφανίζεται σε απόσταση 17,5m από το αερόθερμο, η τιμή της οποίας φθάνει στο 87%, λόγω της μειωμένης θερμοκρασίας που επικρατεί σε αυτό το σημείο (10°C). Στο κέντρο του θερμοκηπίου, η μέση τιμή της υγρασίας φθάνει στο 79%.

Στον Πίνακα 4.3. παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των θερμοκρασιών του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

Μήκος\Πλάτος	1,5	4	6,5
5	12,3	12,1	12,1
7,5		11,8	11,8
10		12,4	11,5
12,5		11,2	
15	10,7	11,1	

Πίνακας 4.3. Μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα σε διάφορα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο οριζόντιο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης από 5-1 έως 6-1.

Από τον πίνακα των θερμοκρασιών ενδιάμεσα στην καλλιέργεια του πειράματος, παρατηρείται ότι υπάρχει μια ομοιόμορφη κατανομή στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με τις υψηλότερες θερμοκρασίες να σημειώνονται στα 5m από την είσοδο καθώς και στο κέντρο του θερμοκηπίου. Τα αποτελέσματα αυτά ήταν αναμενόμενα αφού τα σημεία που βρίσκονται πιο κοντά στην επιδαπέδια θέρμανση, καταγράφουν υψηλότερες θερμοκρασίες.

Στον Πίνακα 4.4. παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των σχετικών υγρασιών του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

Μήκος\Πλάτος	1,5	4	6,5
5	97,7	89,3	86,7
7,5		83,6	64,6
10		79,6	23,4
12,5		85,7	
15	63,4	87,1	

Πίνακας 4.4. Μέσες τιμές των σχετικών υγρασιών του αέρα σε διάφορα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο οριζόντιο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης από 5-1 έως 6-1.

Για τη σχετική υγρασία, αξιοσημείωτη είναι η χαμηλότερη μέση τιμή της, 23,4% στα 10m από την είσοδο, γεγονός που πιθανόν οφείλεται σε σφάλμα μέτρησης του

αισθητήρα. Αντίθετα, η υψηλότερη τιμή της παρατηρείται στα 5m, αν και το αερόθερμο βρισκόταν αρκετά κοντά στον συγκεκριμένο αισθητήρα, δηλαδή θα έπρεπε να αναμένονται μικρότερες τιμές.

Από τις μετρήσεις των τεσσάρων (4) ημερών την περίοδο λειτουργίας μόνο της επιδαπέδιας θέρμανσης, προκύπτουν μέσες τιμές θερμοκρασιών 11,5°C και 11,7°C στα 2,5m και στο 1,5m, με αντίστοιχες τιμές σχετικής υγρασίας 82% και 90%. Δηλαδή, η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα μειώνεται κατά 0,2 °C καθώς απομακρυνόμαστε από το έδαφος όπου βρίσκονται οι σωλήνες θέρμανσης.

Μια μελέτη που διεξήχθη είχε ως στόχο να αναλύσει τη ροή αέρα που παράγεται στο εσωτερικό ενός θερμοκηπίου από τις θερμικές δυνάμεις άνωσης. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις κοινοί σωλήνες θέρμανσης και τοποθετήθηκαν σε διαφορετικές θέσεις: (α) σωλήνες θέρμανσης κοντά στη ρίζα της καλλιέργειας (β) σωλήνες θέρμανσης τοποθετημένοι στο μέσο ύψος των φυτών και (γ) σωλήνες θέρμανσης πάνω από το ύψος της καλλιέργειας. Για την ίδια ενέργεια που απελευθερώθηκε από τους αγωγούς θέρμανσης, βρέθηκε ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στη μέση θερμοκρασία του αέρα για τις τρεις θέσεις τοποθέτησης των σωλήνων θέρμανσης (Tadj et al., 2006).

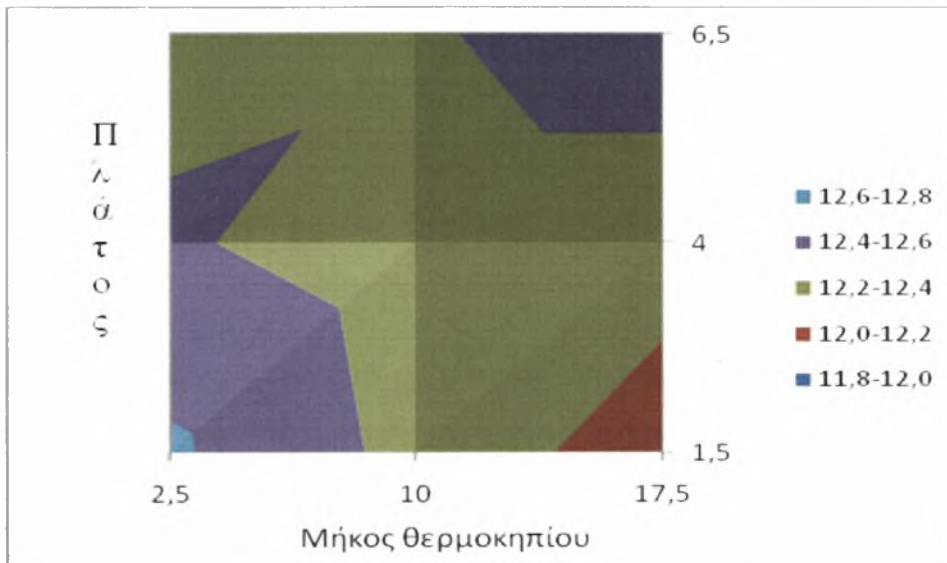
4.3. Εφαρμογή αερόθερμου

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων τα οποία προέκυψαν κατά τη θέρμανση του θερμοκηπίου μόνο με αερόθερμο εμφανίζονται παρακάτω.

Για τη διερεύνηση της κατανομής της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, όπως διαμορφώθηκαν με τη χρήση του αερόθερμου, επιλέχθηκαν 2 διαφορετικές ημέρες όσον αφορά στον 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 (10min).

Μεταβολή θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας κατά μήκος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

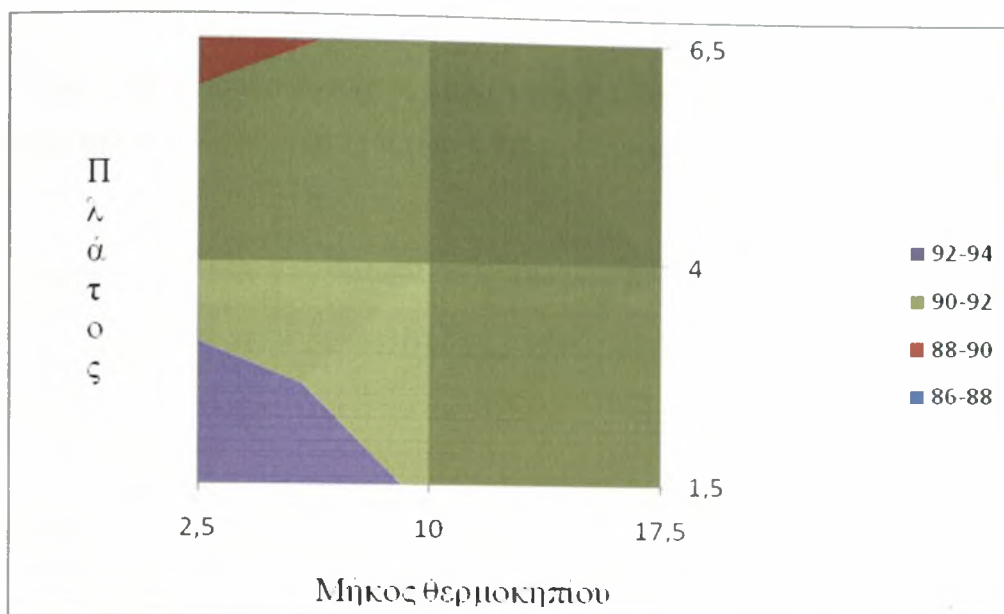
Στο Σχήμα 4.5. παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.5. Οριζόντια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, με χρήση αερόθερμου στις 23-02.

Από το σχήμα παρατηρούμε ότι η υψηλότερη θερμοκρασία σημειώνεται 2,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου (αισθητήρας 8), με μέσο όρο 12,7°C. Η αμέσως επόμενη υψηλότερη θερμοκρασία καταγράφεται στα 17,5m, με μέσο όρο 12,5°C. Παρατηρείται μια ομοιογένεια στην κατανομή των θερμοκρασιών, αφού η χαμηλότερη καταγράφεται στους 12 °C.

Στο Σχήμα 4.6. παρουσιάζεται η μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

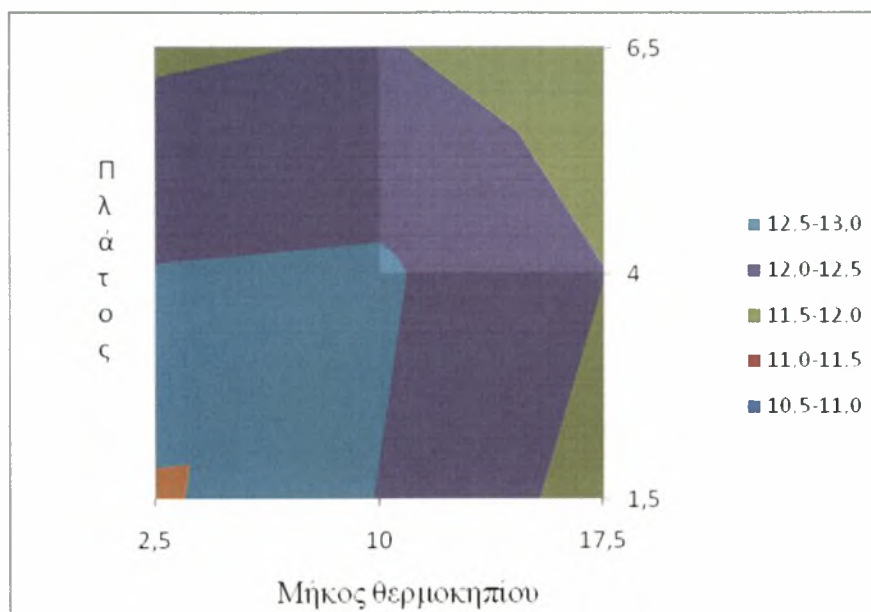


Σχήμα 4.6. Οριζόντια μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, με χρήση αερόθερμου στις 23-02.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της σχετικής υγρασίας, οι χαμηλότερες μέσες τιμές καταγράφονται στον αισθητήρα 2, δηλαδή 17,5m από την είσοδο καθώς και στο κέντρο του θερμοκηπίου στα 10m, όπου η μέση τιμή της υγρασίας φθάνει στο 87%. Αντίθετα, το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας εμφανίζεται σε απόσταση 2,5m από το αερόθερμο, η τιμή της οποίας φθάνει στο 93,5%.

Διερευνήθηκε η επίδραση των συστημάτων θέρμανσης στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, χρησιμοποιώντας ένα πειραματικό θερμοκήπιο τύπου τούνελ με καλλιέργεια της τομάτας. Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν ότι η θερμοκρασία της καλλιέργειας ήταν χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα όμως η κατανομή της ήταν μεγαλύτερη την περίοδο λειτουργίας μόνο του αερόθερμου, γεγονός που οδήγησε σε αύξηση της αεροδυναμικής αγωγιμότητας της καλλιέργειας. Επίσης, η χρήση του αερόθερμου διερευνήθηκε για σκοπούς αφύγρανσης. Αποδείχθηκε ότι με το αερόθερμο, αν και η αγωγιμότητα μεταφοράς μάζας μέχρι τον κορεσμό ήταν υψηλότερη, η ροή συμπύκνωσης ήταν μικρότερη, με αποτέλεσμα τη μικρότερη συμπύκνωση στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος (Bartzanas et al., 2005).

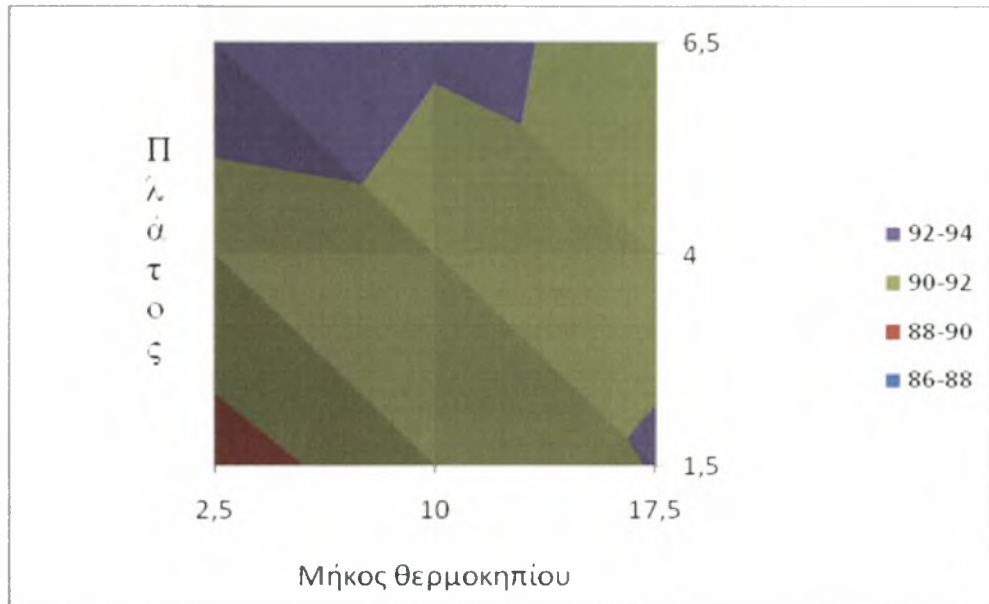
Στο Σχήμα 4.7. παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 0,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.7. Οριζόντια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο οριζόντιο επίπεδο 0,5m από την επιφάνεια του εδάφους τις νυχτερινές ώρες, με χρήση αερόθερμου στις 23-02.

Όσον αφορά στις αντίστοιχες μετρήσεις θερμοκρασίας στο ύψος των ριζών της καλλιέργειας, παρατηρείται μια ομοιομορφία ως προς την κατανομή τους με μικρό εύρος τιμών. Πιο συγκεκριμένα, η μέγιστη τιμή της καταγράφηκε στα 2,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου (13°C) ενώ η ελάχιστη στα 17,5m (10,7°C). Οι μετρήσεις που λάβαμε ήταν αναμενόμενες διότι οι υψηλότερες τιμές της θερμοκρασίας παρατηρούνται στα σημεία που βρίσκονται πλησιέστερα στο αερόθερμο.

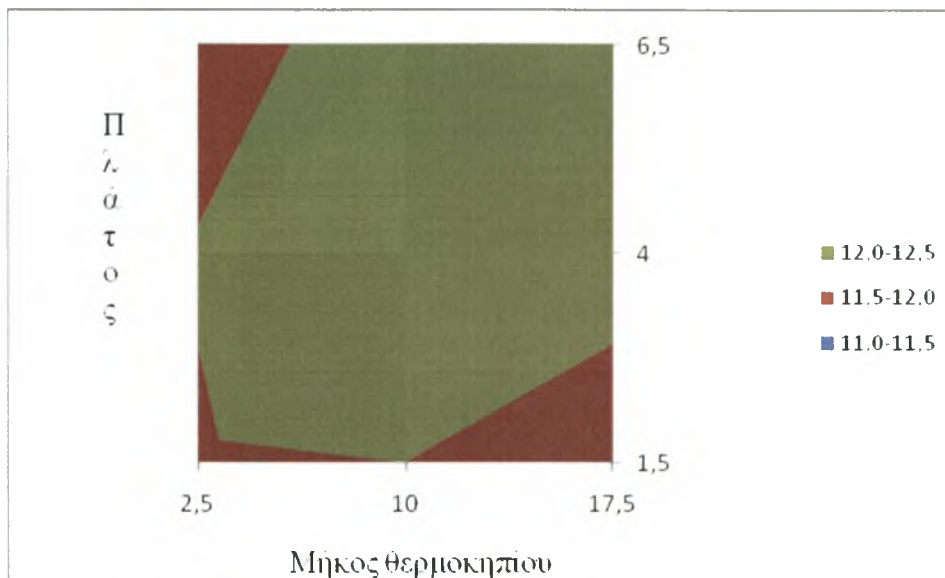
Στο Σχήμα 4.8. παρουσιάζεται η μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 0,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.8. Οριζόντια μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στο οριζόντιο επίπεδο 0,5m από την επιφάνεια του εδάφους τις νυχτερινές ώρες, με χρήση αερόθερμου στις 23-02.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της σχετικής υγρασίας, η χαμηλότερη μέση τιμή καταγράφεται στα 2,5m από την είσοδο, αφού όπως αναφέρθηκε σε αυτό το σημείο καταγράφηκε η μέγιστη θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Για τον ίδιο λόγο, η μεγαλύτερη μέση τιμή υγρασίας εμφανίζεται σε απόσταση 17,5m από το αερόθερμο, η τιμή της οποίας φθάνει στο 93%.

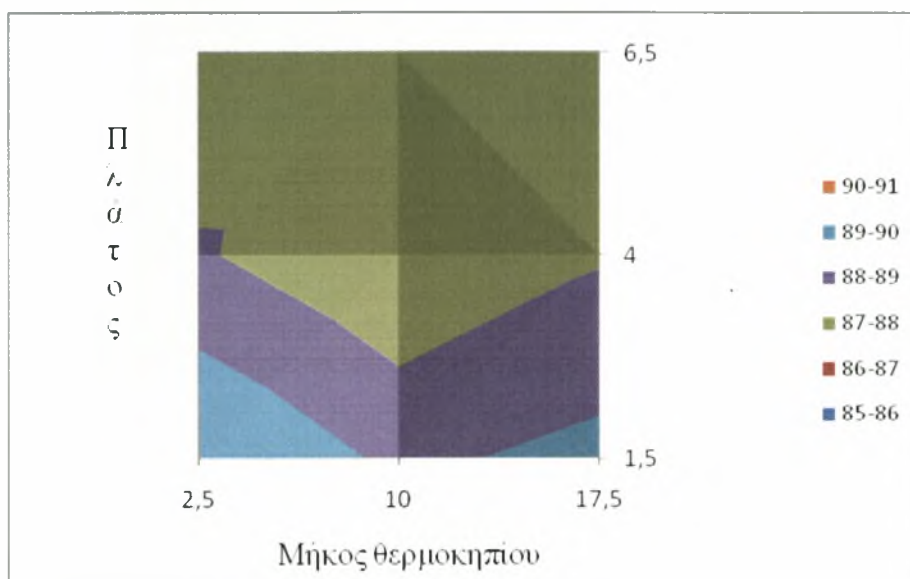
Στο Σχήμα 4.9. παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.9. Οριζόντια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, με χρήση αερόθερμου στις 24-02.

Από το σχήμα παρατηρούμε ότι η υψηλότερη θερμοκρασία σημειώνεται στα 17,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου (αισθητήρας 4) και ανέρχεται κατά μέσο όρο στους 12,4°C. Στο κέντρο του θερμοκηπίου, η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται στους 12,3°C, η οποία αποτελεί τη δεύτερη υψηλότερη θερμοκρασία. Αντίθετα, η χαμηλότερη θερμοκρασία καταγράφεται στα 2,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου, με μέσο όρο 11,5°C.

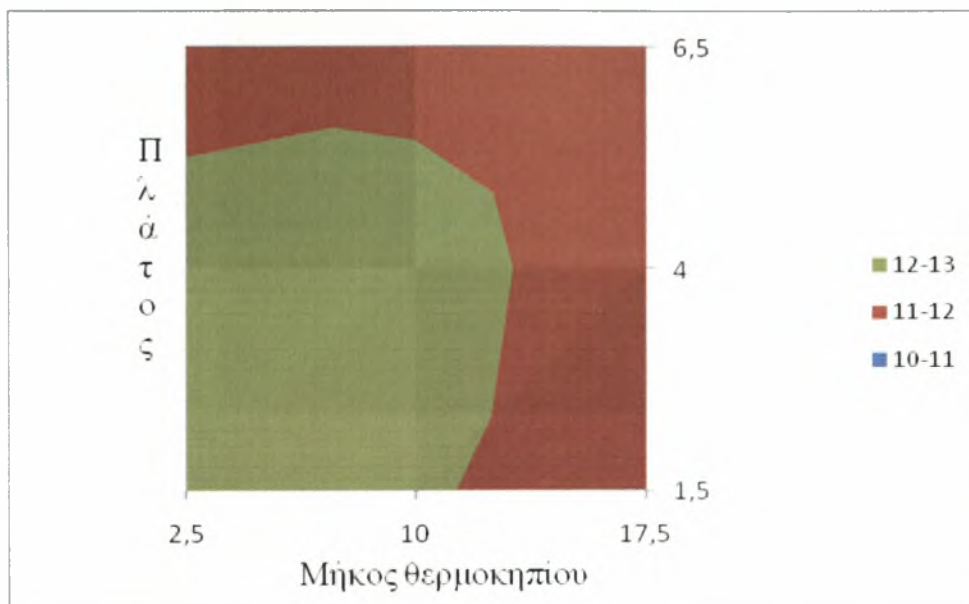
Στο Σχήμα 4.10. παρουσιάζεται η μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.10. Οριζόντια μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυκτερινές ώρες, με χρήση αερόθερμου στις 24-02.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της σχετικής υγρασίας, η χαμηλότερη τιμή καταγράφεται στο κέντρο του θερμοκηπίου. Το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας εμφανίζεται σε απόσταση 2,5m από το αερόθερμο, η τιμή της οποίας φθάνει στο 90%, λόγω της μειωμένης θερμοκρασίας που επικρατεί σε αυτό το σημείο (11,5°C).

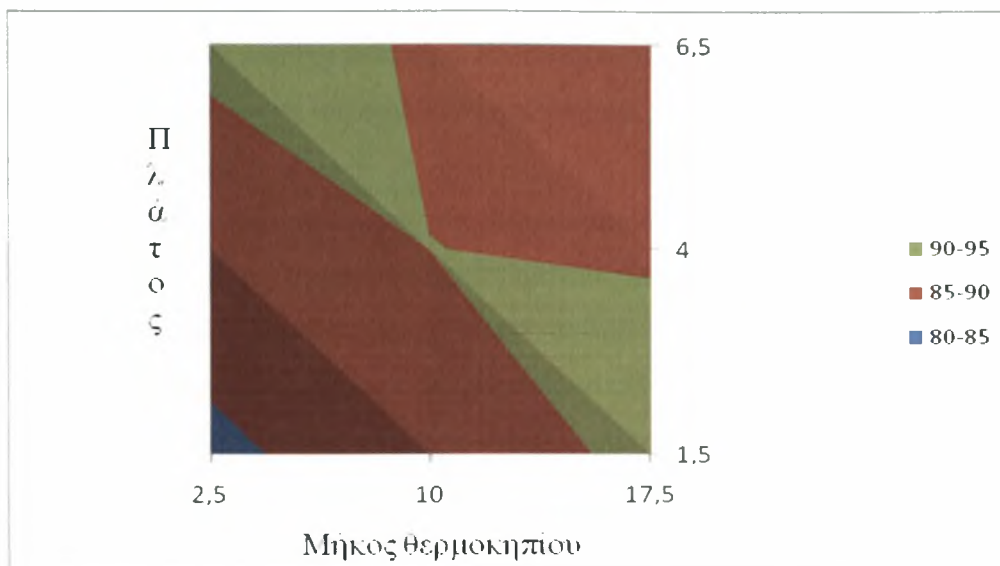
Στο Σχήμα 4.11. παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 0,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.11. Οριζόντια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο οριζόντιο επίπεδο 0,5m από την επιφάνεια του εδάφους τις νυχτερινές ώρες, με χρήση αερόθερμου στις 24-02.

Από το σχήμα παρατηρούμε ότι η υψηλότερη θερμοκρασία σημειώνεται 2,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου (αισθητήρας 7), με μέσο όρο 13°C. Η αμέσως επόμενη υψηλότερη θερμοκρασία καταγράφεται στα 10m (12,3°C). Αρχικά, η τιμή της ξεκινά από τους 11°C και στο τέλος της εφαρμογής φθάνει στους 13°C ενώ στο κέντρο του θερμοκηπίου, δηλαδή σε απόσταση 10m από την είσοδο, η μέση θερμοκρασία είναι στους 12°C.

Στο Σχήμα 4.12. παρουσιάζεται η μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 0,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.12. Οριζόντια μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στο οριζόντιο επίπεδο 0,5m από την επιφάνεια του εδάφους τις νυχτερινές ώρες, με χρήση αερόθερμου στις 24-02.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της σχετικής υγρασίας, η χαμηλότερη τιμή καταγράφεται στα 2,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου (84%) λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας που σημειώθηκε όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας ανέρχεται στο 90,7%.

Από τις μετρήσεις των δυο (2) ημερών την περίοδο λειτουργίας μόνο του αερόθερμου, προκύπτουν μέσες τιμές θερμοκρασιών 12°C και 12,5°C στα 2,5m και στο 0,5m αντίστοιχα, με τις τιμές της σχετικής υγρασίας να κυμαίνονται στο 90% και για τα δυο επίπεδα. Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση της ετερογένειας που παρατηρείται στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου συγκριτικά με τις υπόλοιπες μετρήσεις των μεταχειρίσεων.

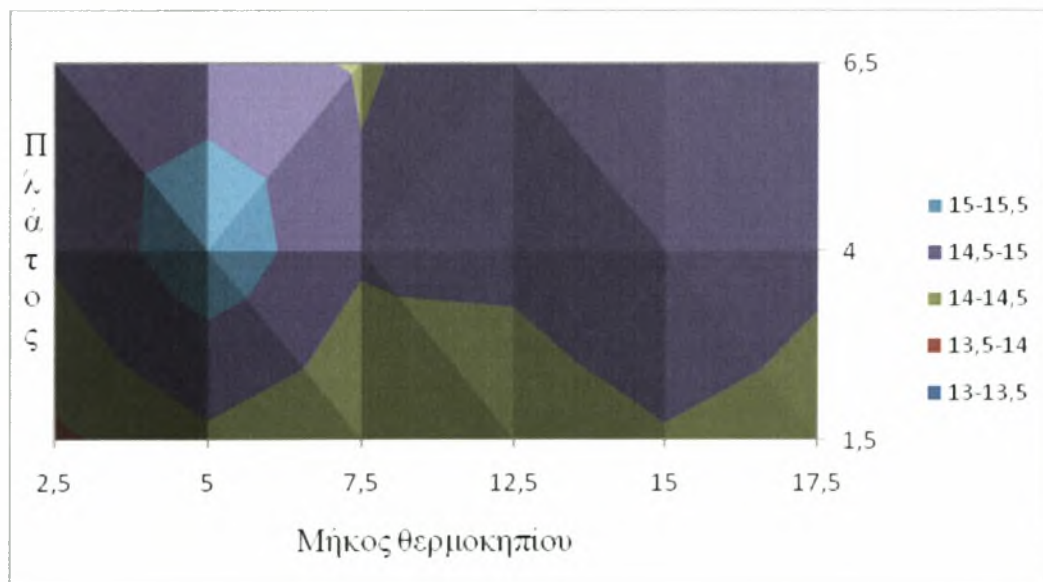
4.4. Εφαρμογή επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμου

Κατά τη θέρμανση του θερμοκηπίου με συνδυασμό επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμου, προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα στις κατανομές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.

Για τη διερεύνηση της κατανομής της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας, όπως τροποποιήθηκαν με τη χρήση της επιδαπέδιας θέρμανσης και του αερόθερμου, επιλέχθηκαν 3 διαφορετικές ημέρες όσον αφορά στον 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 (10min).

Μεταβολή θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας κατά μήκος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

Στο Σχήμα 4.13. παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

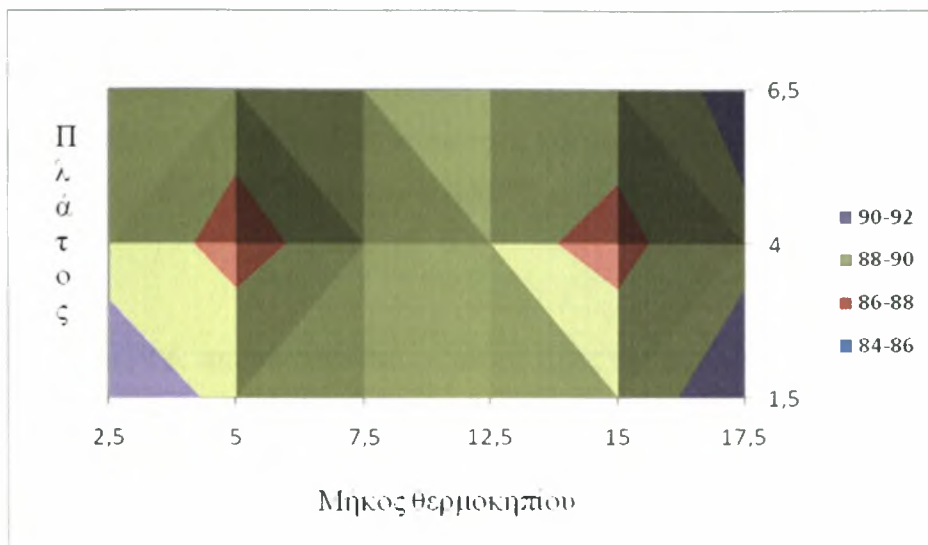


Σχήμα 4.13. Οριζόντια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμου από 16-12 έως 17-12.

Από το παραπάνω σχήμα, η υψηλότερη μέση τιμή θερμοκρασίας εμφανίζεται στα 5m από την είσοδο του θερμοκηπίου και ανέρχεται στους 15,3°C. Το γεγονός αυτό ήταν αναμενόμενο διότι το σημείο βρίσκεται πλησιέστερα στα συστήματα θέρμανσης. Στο κέντρο του θερμοκηπίου, η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται στους 14,6°C. Αντίθετα, η χαμηλότερη θερμοκρασία καταγράφεται στα 2,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου, με μέσο όρο 13,5°C.

Μελετήθηκαν οι επιπτώσεις ενός συστήματος θέρμανσης σε διαφορετικά σημεία του θερμοκηπίου για την κατανομή και την ομοιομορφία της θερμοκρασίας του αέρα και της θερμοκρασίας του φυλλώματος. Το σύστημα αυτό που αποτελούνταν από σωλήνες ζεστού νερού, τοποθετήθηκε πάνω από την κορυφή της καλλιέργειας σε έξι διαφορετικά ύψη (0,25, 0,5, 0,75, 1,0, 1,25 και 1,45m) και συγκρίθηκε με ένα εναέριο σύστημα θέρμανσης (αερόθερμο) που τοποθετήθηκε 1,6m πάνω την κορυφή του φυλλώματος. Η θέρμανση με τους σωλήνες ζεστού νερού επηρέασε την κατανομή και την ομοιομορφία της θερμοκρασίας του αέρα στο θερμοκήπιο: η αλλαγή στην κατανομή της θερμοκρασίας ήταν στενά συνδεδεμένη με τη θέση των σωλήνων θέρμανσης. Η θερμοκρασία του φύλλου συσχετιζόταν με την θερμοκρασία του αέρα, παρόλα αυτά δεν επηρεάστηκε από τη θέση των σωλήνων θέρμανσης (Andersson, 2009).

Στο Σχήμα 4.14. παρουσιάζεται η μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.14. Οριζόντια μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμου από 16-12 έως 17-12.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της μεταβολής της σχετικής υγρασίας του αέρα, η υψηλότερη τιμή της, 91%, εμφανίζεται στην κορυφή του θερμοκηπίου στα 2,5m από την είσοδο λόγω της μειωμένης θερμοκρασίας που επικρατεί σε αυτό το ύψος. Αντίθετα, στα 5m καταγράφεται η χαμηλότερη τιμή της υγρασίας εξαιτίας της υψηλής μέσης θερμοκρασίας σε αυτό το σημείο. Στο κέντρο του θερμοκηπίου καταγράφεται μέση τιμή σχετικής υγρασίας 88,6%.

Στον Πίνακα 4.5. παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των θερμοκρασιών του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

Μήκος\Πλάτος	1,5	4	6,5
5	14,1	14,2	14,1
7,5		14,3	14,1
10		14,6	13,9
12,5		14	
15	13,7	14,4	

Πίνακας 4.5. Μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα σε διάφορα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο οριζόντιο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμου από 16-12 έως 17-12.

Από τον παραπάνω πίνακα των θερμοκρασιών παρατηρείται μια ομαλή κατανομή τους στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, γεγονός που προφανώς οφείλεται στην ταυτόχρονη χρήση της επιδαπέδιας θέρμανσης και του αερόθερμου. Έτσι, η ελάχιστη θερμοκρασία δεν πέφτει κάτω από τους 13,7°C ενώ η μέγιστη δεν ξεπερνά τους 14,6 °C.

Στον Πίνακα 4.6. παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

Μήκος\Πλάτος	1,5	4	6,5
5	100	96,5	97,3
7,5		88,3	71,3
10		88,5	28,2
12,5		93,1	
15	73,2	94,9	

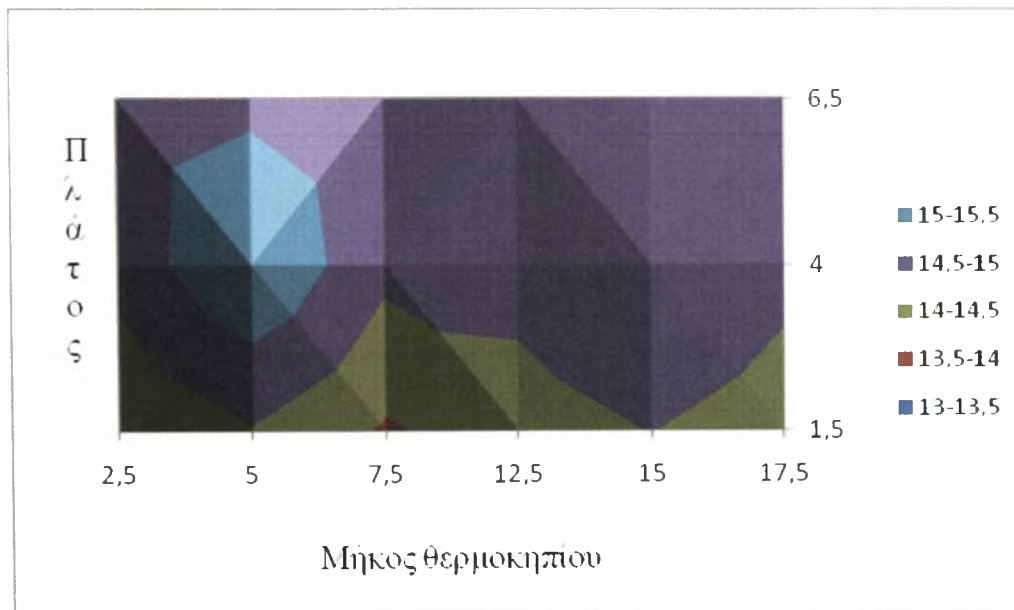
Πίνακας 4.6. Μέσες τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα σε διάφορα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο οριζόντιο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμου από 16-12 έως 17-12.

Μια αντίστοιχα ομαλή κατανομή παρατηρείται και στις τιμές της σχετικής υγρασίας. Παρόλα αυτά, στα 7,5m και στα 15m από την είσοδο του θερμοκηπίου παρατηρούνται οι χαμηλότερες τιμές της σχετικής υγρασίας, 71,3% και 73,2%, αντίστοιχα.

Ένα πείραμα πραγματοποιήθηκε προκειμένου να μελετηθεί η θέση των συστημάτων θέρμανσης και η κάθετη κατανομή του μικροκλίματος σε θερμοκήπιο με καλλιέργεια χρυσάνθεμου. Τοποθετήθηκαν σωλήνες θέρμανσης σε διάφορα ύψη και διαπιστώθηκε ότι ο συνδυασμός ενός συστήματος θέρμανσης στα 0,5-0,75m πάνω από την καλλιέργεια και μια χαμηλότερη τοποθέτηση αυτού, μειώνει την κάθετη διαφοροποίηση της θερμοκρασίας του αέρα και της καλλιέργειας. Η χαμηλότερη τοποθέτηση μειώνει τη σχετική υγρασία στα κατώτερα στρώματα της καλλιέργειας και παράλληλα το ρίσκο συμπύκνωσης, καθιστώντας ικανή την καλλιέργεια και τον αέρα να στεγνώσουν ταχύτερα ύστερα από μια άρδευση (Kempkes and Van de Braak, 2000). Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν ότι η χρήση ενός μεικτού συστήματος, είναι επιθυμητή για τις συνθήκες του θερμοκηπίου, αν και με τη χρήση του αερόθερμου

αυξάνεται ελαφρώς η κατανάλωση ενέργειας. Παρόλα αυτά, βελτιώνεται ο έλεγχος της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα, ιδιαίτερα με τη διατήρηση της θερμοκρασίας δρόσου του εσωτερικού αέρα σε χαμηλότερα επίπεδα.

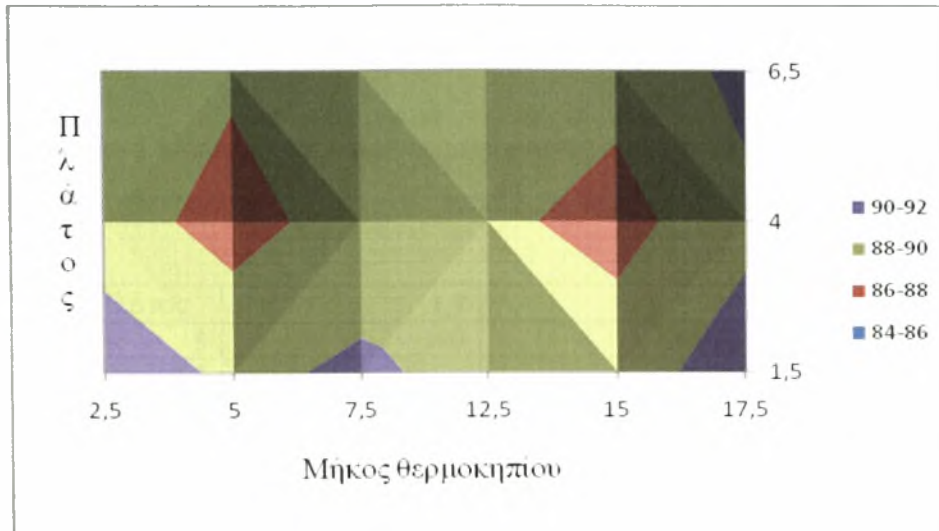
Στο Σχήμα 4.15. παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.15. Οριζόντια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμους στις 18-12.

Από το παραπάνω σχήμα, η υψηλότερη θερμοκρασία σημειώνεται στα 5m από την είσοδο του θερμοκηπίου και ανέρχεται κατά μέσο όρο στους 15,5°C. Στο κέντρο του θερμοκηπίου η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται στους 14,8°C ενώ η χαμηλότερη θερμοκρασία καταγράφεται στα 7,5m από την είσοδο.

Στο σχήμα 4.16. παρουσιάζεται η μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.16. Οριζόντια μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμου στις 18-12.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της σχετικής υγρασίας, οι χαμηλότερες μέσες τιμές καταγράφονται στους αισθητήρες 9 και 10, δηλαδή 5 και 15m από την είσοδο του θερμοκηπίου, αντίστοιχα. Στο κέντρο του θερμοκηπίου, στα 10m, η μέση τιμή της υγρασίας φθάνει στο 88,5%. Αντίθετα, το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας εμφανίζεται σε απόσταση 2m από τα συστήματα θέρμανσης, η τιμή της οποίας φθάνει στο 91%.

Στον Πίνακα 4.7. παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των θερμοκρασιών του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

Μήκος\Πλάτος	1,5	4	6,5
5	14,2	14,3	14,3
7,5		14,5	14,3
10		14,7	13,9
12,5		14,2	
15	13,7	14,4	

Πίνακας 4.7. Μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα σε διάφορα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο οριζόντιο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμου στις 18-12.

Από τον πίνακα κατανομής των θερμοκρασιών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε κοντά στο αερόθερμο, όπως ήταν αναμενόμενο. Αντίστοιχα, η χαμηλότερη τιμή παρατηρήθηκε στο τέλος του θερμοκηπίου, δηλαδή στα 15m από την είσοδό του.

Στον Πίνακα 4.8. παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

Μήκος Πλάτος	1,5	4	6,5
5	100	95,5	95,6
7,5		87,2	69,7
10		88,4	26,2
12,5		91,4	
15	72,7	94,6	

Πίνακας 4.8. Μέσες τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα σε διάφορα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο οριζόντιο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους, με χρήση επιδαπέδιας θέρμανσης και αερόθερμου στις 18-12.

Όπως είναι φανερό από τον πίνακα κατανομής των τιμών της σχετικής υγρασίας, στα 15m από την είσοδο του θερμοκηπίου παρατηρείται η χαμηλότερη τιμή της σχετικής υγρασίας, 72,7%, με εξαίρεση την τιμή 26,2% στο κέντρο του θερμοκηπίου η οποία πιθανόν οφείλεται σε σφάλμα καταγραφής του αισθητήρα. Αντίθετα, στα 5m από την είσοδο καταγράφηκε η υψηλότερη τιμή, 100%, δηλαδή ο αέρας έχει κορεσθεί (πλήρης συμπύκνωση).

Πειράματα διεξήχθησαν προκειμένου να μελετηθεί η συνδυασμένη χρήση των σωλήνων θέρμανσης και του αερόθερμου και διαπιστώθηκε ότι αυξήθηκε η δραστηριότητα των φυτών ενώ μειώθηκε το ποσοστό συμπύκνωσης. Αυτή η μέθοδος θέρμανσης οδήγησε σε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας μέχρι και 19% αλλά δημιούργησε, επίσης, μια ανομοιογενή κατανομή του κλίματος στην περίπτωση κατά την οποία χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι σωλήνες θέρμανσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο όγκος του αέρα του θερμοκηπίου είναι χωρισμένος σε δύο περιοχές: τη μια που καταλαμβάνει η καλλιέργεια όπου κυριαρχεί η φυσική συναγωγή και την άλλη πάνω από την καλλιέργεια όπου ο ζεστός αέρας από το σύστημα θέρμανσης οδήγησε σε ένα

διαφορετικό μικροκλίμα στο κάτω μέρος του επιπέδου της καλλιέργειας (Tadj et al., 2010).

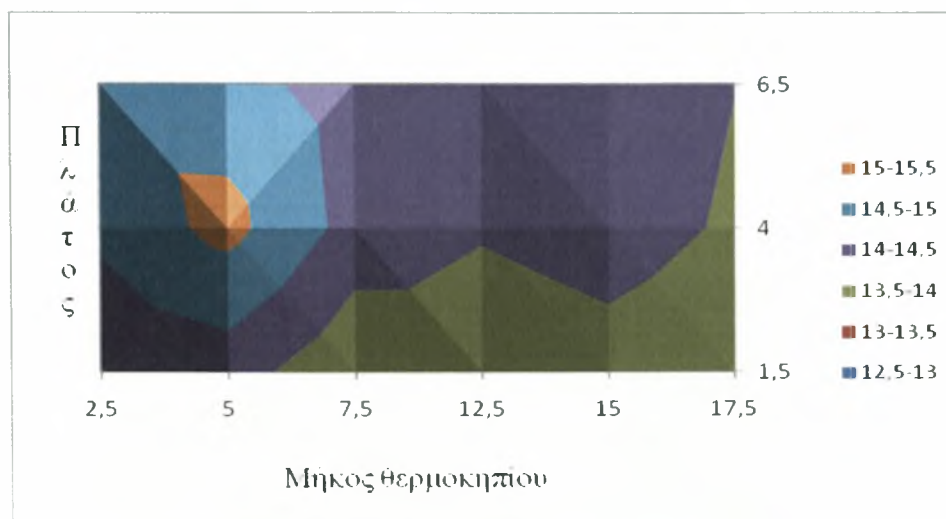
Από τις μετρήσεις των τριών (3) ημερών την περίοδο της ταυτόχρονης λειτουργίας των επιδαπέδιων σωλήνων και του αερόθερμου, προκύπτει μέση τιμή θερμοκρασιών στους 15°C και στα δυο επίπεδα της μεταχείρισης (στα 2,5m και στο 1,5m), με αντίστοιχες τιμές σχετικής υγρασίας στο 86% και στο 82%. Η τιμή της θερμοκρασίας διατηρείται στα επιθυμητά επίπεδα για την ανάπτυξη της καλλιέργειας στο θερμοκήπιο ενώ η σχετική υγρασία σε ορισμένα σημεία φθάνει στο 70%, γεγονός που δεν παρεμποδίζει τις φυσιολογικές λειτουργίες των φυτών.

4.5. Διακοπή λειτουργίας της επιδαπέδιας θέρμανσης και του αερόθερμου

Για τη διερεύνηση της κατανομής της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας με τη διακοπή λειτουργίας των δυο συστημάτων θέρμανσης, επιλέχθηκαν 2 διαφορετικές ημέρες. Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν αφορούν τη χρονική περίοδο από 20:00 έως 08:00. Οι τιμές είναι ο μέσος όρος των μετρούμενων παραμέτρων ανά δεκάλεπτο (10min).

Μεταβολή θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας κατά μήκος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου

Στο Σχήμα 4.17. παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

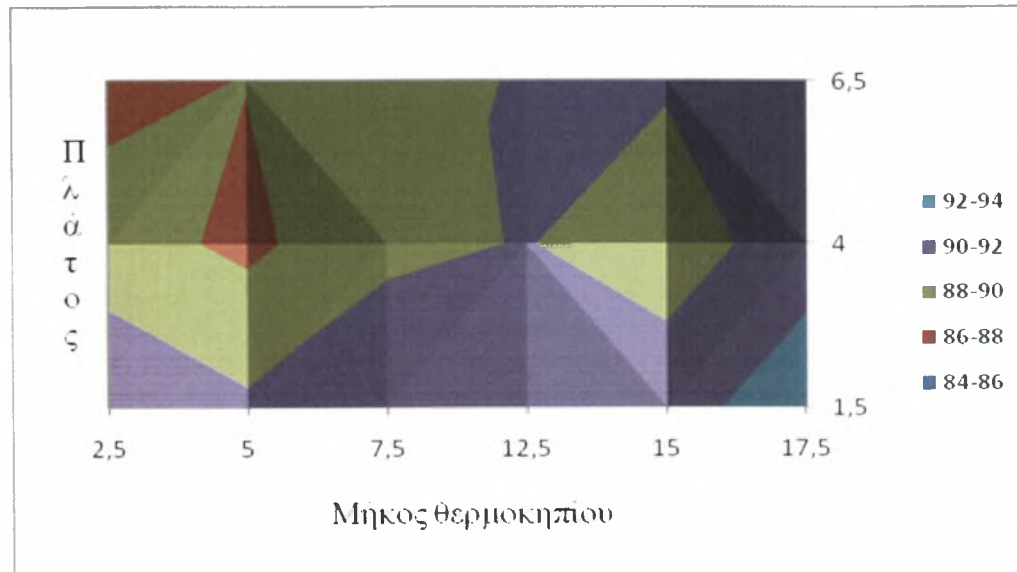


Σχήμα 4.17. Οριζόντια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, μετά τη διακοπή λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης από 3-12 έως 4-12.

Η υψηλότερη μέση τιμή θερμοκρασίας εμφανίζεται στα 5m από την είσοδο του θερμοκηπίου (αισθητήρας 9), όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, η οποία ανέρχεται στους 15,1°C. Στο κέντρο του θερμοκηπίου, η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται στους 14,8°C. Αντίθετα, η χαμηλότερη θερμοκρασία καταγράφεται στα 17,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου, με μέσο όρο 13°C.

Μελέτες διακύμανσης της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου σε θερμοκήπια χωρίς θέρμανση καλυμμένα με απλό πολυαιθυλένιο, τόνισαν την ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας και την εξίσου ταχεία μείωσή της τις νυχτερινές ώρες την καλλιεργητική περίοδο. Ωστόσο, η διακύμανση της θερμοκρασίας ήταν λιγότερο έντονη στην άκρη ενός θερμοκηπίου πλάτους 10m, με τη θερμοκρασία του αέρα μόνο 2°C χαμηλότερη από ό,τι στο κέντρο του. Η θερμοκρασία του εδάφους κατά τη διάρκεια της νύχτας είχε πολύ μικρότερη αυξομείωση τόσο εντός όσο και εκτός του θερμοκηπίου, όμως ήταν σημαντικά υψηλότερη στο εσωτερικό του. Μελέτες σε νεαρά φυτά απέδειξαν ότι η διακύμανση στα μεμονωμένα σημεία επισκιάζεται από τη συνολική διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα (Wien, 2009).

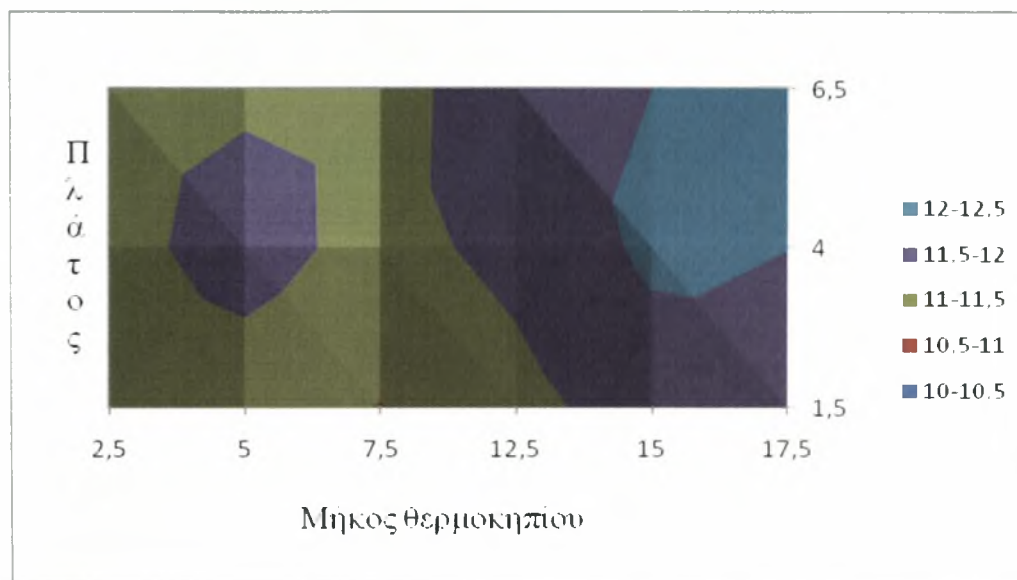
Στο Σχήμα 4.18. παρουσιάζεται η μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.18. Οριζόντια μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, μετά τη διακοπή λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης από 3-12 έως 4-12.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της σχετικής υγρασίας, οι χαμηλότερες μέσες τιμές καταγράφονται στο κέντρο του θερμοκηπίου στα 10m καθώς και 2,5m από την είσοδό του. Στο κέντρο, η μέση τιμή της υγρασίας φθάνει στο 87,2%. Αντίθετα, το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας εμφανίζεται σε απόσταση 17,5m από τα συστήματα θέρμανσης, η τιμή της οποίας "αγγίζει" το 93%, λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας που παρατηρήθηκε, όπως αναφέρθηκε, στο σημείο αυτό.

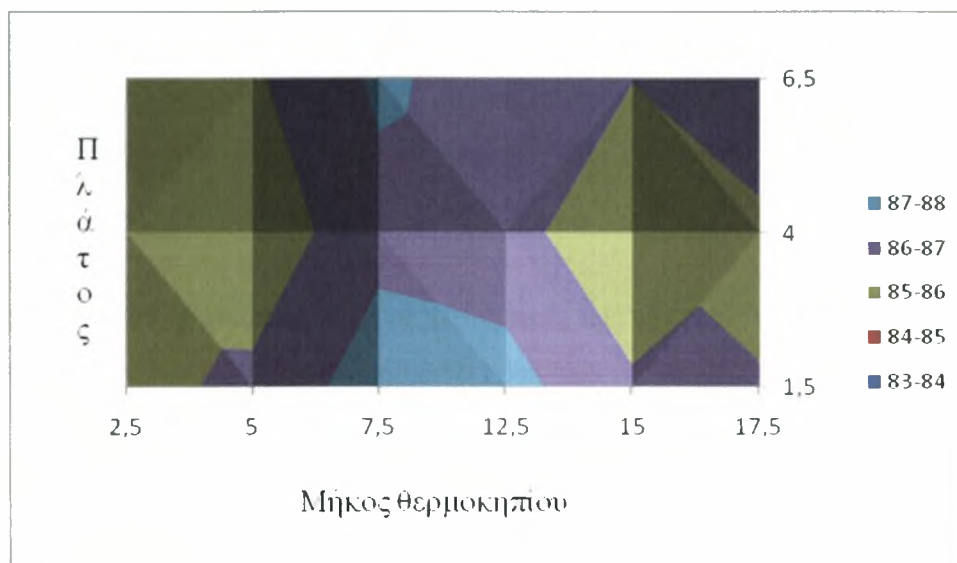
Στο Σχήμα 4.19. παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.19. Οριζόντια μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, μετά τη διακοπή λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης από 1-1 έως 2-1.

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες σημειώνονται στα 10m (κέντρο) και στα 17,5m, αντίστοιχα, από την είσοδο του θερμοκηπίου και ανέρχονται κατά μέσο όρο στους 12°C. Αντίθετα, η χαμηλότερη θερμοκρασία καταγράφεται στα 7,5m από την είσοδο του θερμοκηπίου, με μέσο όρο 10,5°C.

Στο Σχήμα 4.20. παρουσιάζεται η μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 2,5m από την επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 4.20. Οριζόντια μεταβολή της σχετικής υγρασίας του αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου τις νυχτερινές ώρες, μετά τη διακοπή λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης από 1-1 έως 2-1.

Από το αντίστοιχο διάγραμμα της σχετικής υγρασίας, η χαμηλότερη μέση τιμή καταγράφεται στο κέντρο του θερμοκηπίου, δηλαδή 10m από την είσοδο, με μέση τιμή της υγρασίας να φθάνει στο 84%. Αντίθετα, το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας εμφανίζεται σε απόσταση 7,5m από τα συστήματα θέρμανσης, η τιμή της οποίας ανέρχεται στο 87,5%.

Στον Πίνακα 4.9. παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των θερμοκρασιών του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

Μήκος Πλάτος	1,5	4	6,5
5	11	11	10,8
7,5		11,2	11
10		12,1	10,9
12,5		11,4	
15	11,3	11,5	

Πίνακας 4.9. Μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα σε διάφορα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο οριζόντιο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους, μετά τη διακοπή λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης από 1-1 έως 2-1.

Λόγω της διακοπής λειτουργίας των δυο συστημάτων θέρμανσης, παρατηρείται μια ομαλή κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου η οποία, βέβαια, κυμαίνεται όπως είναι λογικό σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών σε σύγκριση με αυτές όταν είχαν τεθεί σε λειτουργία η επιδαπέδια θέρμανση και το αερόθερμο.

Στον Πίνακα 4.10. παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους.

Μήκος\Πλάτος	1,5	4	6,5
5	100	93,9	94,8
7,5		85,6	68,2
10		84,5	24,3
12,5		89,2	
15	64,7	89,6	

Πίνακας 4.10. Μέσες τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα σε διάφορα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στο οριζόντιο επίπεδο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους, μετά τη διακοπή λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης από 1-1 έως 2-1.

Μια αντίστοιχα ομαλή κατανομή παρατηρείται και στις τιμές της σχετικής υγρασίας. Παρόλα αυτά, στα 15m από την είσοδο του θερμοκηπίου παρατηρείται η χαμηλότερη τιμή της σχετικής υγρασίας, 64,7%, με εξαίρεση την τιμή 24,3% στο κέντρο του θερμοκηπίου η οποία πιθανόν οφείλεται σε σφάλμα καταγραφής του αισθητήρα.

Από τις μετρήσεις των δυο (2) ημερών για την περίοδο διακοπής λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης, προκύπτουν μέσες τιμές θερμοκρασιών 13°C και 11,2°C στα 2,5m και στο 1,5m, με αντίστοιχες τιμές σχετικής υγρασίας στο 88% και στο 80%. Καταγράφονται, δηλαδή, μικρότερες τιμές θερμοκρασίας από αυτές της μεταχείρισης όπου τέθηκαν σε ταυτόχρονη λειτουργία οι επιδαπέδιοι σωλήνες και το αερόθερμο (14,6°C), όπως ήταν αναμενόμενο.

Κεφάλαιο 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. 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 περιβάλλοντος αέρα καθώς επίσης να μη δημιουργούνται υγραποιήσεις ούτε στην καλλιέργεια αλλά ούτε και στο υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται τα γενικότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη χρήση των συστημάτων θέρμανσης.

Την περίοδο λειτουργίας **μόνο της επιδαπέδιας θέρμανσης**, η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα παρατηρείται ότι μειώνεται κατά 0,2 °C όσο απομακρυνόμαστε από το έδαφος όπου βρίσκονται οι σωλήνες θέρμανσης. Δηλαδή, στο 1,5m από την επιφάνεια του εδάφους η μέση τιμή της κυμαίνεται στους 11,7 °C ενώ στην κορυφή του θερμοκηπίου μειώνεται στους 11,5 °C. Με μια πρώτη ανάγνωση της διαφοράς φαίνεται ότι η καλλιέργεια δεν επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό, όμως ύστερα από τη στατιστική ανάλυση (SPSS) διαπιστώνεται ότι η διαφορά των θερμοκρασιών είναι στατιστικά σημαντική (significance < 0,05). Γενικότερα, η θερμοκρασία μειώνεται όταν η θέρμανση προέρχεται μόνο από τους επιδαπέδιους σωλήνες. Από τους 14,6 °C που ήταν η μέση τιμή της θερμοκρασίας με τη χρήση του αερόθερμου σε συνδυασμό με την επιδαπέδια θέρμανση, η μέση τιμή της με τη χρήση μόνο των επιδαπέδιων σωλήνων μειώθηκε στους 11,7 °C. Η τιμή αυτή της θερμοκρασίας είναι κάτω από την ελάχιστη επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου, γεγονός που οφείλεται στις χαμηλές θερμοκρασίες του εξωτερικού αέρα εκείνη την περίοδο, η μέση τιμή της οποίας είναι 6 °C, με αποτέλεσμα τη μη φυσιολογική ανάπτυξη των φυτών. Η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας στα δυο επίπεδα μετρήσεων, στην κορυφή του θερμοκηπίου και στο μέσο της καλλιέργειας, βρίσκεται στο 86,1%. Εάν μελετηθούν μεμονωμένα οι τιμές των μετρήσεων που προέκυψαν, παρατηρείται ότι με τη χρήση μόνο της επιδαπέδιας θέρμανσης αυξάνεται η ετερογένεια του μικροκλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Από τις μετρήσεις προκύπτει ότι κατά τη διάρκεια της θέρμανσης του θερμοκηπίου με τη χρήση **μόνο του αερόθερμου**, η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη σε ύψος 0,5m από την επιφάνεια του εδάφους και μειώνεται σταδιακά όσο αυξάνεται το ύψος, με μέσες τιμές 12,5°C και 12°C, αντίστοιχα. Σε σύγκριση με τις μετρήσεις των προηγούμενων μεταχειρίσεων, παρατηρείται γενικότερα μια αισθητή αύξηση στην ετερογένεια του μικροκλίματος. Από τις αντίστοιχες μετρήσεις της σχετικής υγρασίας, προκύπτει μια μέση τιμή περίπου στο 90%, με ομοιόμορφη μεταβολή. Η υψηλότερη τιμή της εμφανίζεται σε ύψος 2,5m από το έδαφος ενώ η χαμηλότερη σε ύψος 0,5m από το έδαφος.

Την περίοδο όπου λειτουργούσαν **ταυτόχρονα οι επιδαπέδιοι σωλήνες και το αερόθερμο**, η θερμοκρασία του αέρα και στα δυο συστήματα διατηρείται στην επιθυμητή τιμή των 15°C περίπου. Με την παράλληλη λειτουργία του αερόθερμου και των επιδαπέδιων σωλήνων παρατηρούνται οι μεγαλύτερες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Η υψηλή τιμή της θερμοκρασίας οφείλεται στο γεγονός ότι οι σωλήνες θέρμανσης βρίσκονται τοποθετημένοι στο έδαφος. Όσο αυξάνεται το ύψος από το έδαφος του θερμοκηπίου προς την οροφή του, παρατηρείται 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 επιδαπέδιων σωλήνων. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο μέσος όρος κατά τη διάρκεια της νύχτας βρίσκεται στους 14,6°C, τιμή η οποία βοηθά σημαντικά την ανάπτυξη του φυτού και τη φυσιολογική καρπόδεση (Ολύμπιος, 2001).

Όσον αφορά τη σχετική υγρασία, την περίοδο αυτή παρατηρείται η μεγαλύτερη ετερογένεια του μικροκλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου καθώς και οι μεγαλύτερες αποκλίσεις στις τιμές της για τους αισθητήρες που είχαν τοποθετηθεί στην κορυφή στα 2,5m και για τους αισθητήρες στο κέντρο. Από τις αντίστοιχες μετρήσεις της μεταβολής της σχετικής υγρασίας του αέρα, η υψηλότερη τιμή της, 91,3%, εμφανίζεται στην κορυφή του θερμοκηπίου λόγω της μειωμένης θερμοκρασίας που επικρατεί σε αυτό το ύψος. Όσο πλησιάζουμε προς το έδαφος του θερμοκηπίου, η σχετική υγρασία μειώνεται σταδιακά με την ελάχιστη τιμή της να φθάνει το 70% σε ύψος 1,5m από το έδαφος, τιμή η οποία δεν προβληματίζει την κανονική ανάπτυξη των φυτών (Μαυρογιαννόπουλος, 2005). Η πτώση αυτή οφείλεται

στην αυξημένη θερμοκρασία που επικρατούσε σε εκείνο το ύψος του θερμοκηπίου, εξαιτίας της μικρής απόστασης από τους επιδαπέδιους σωλήνες θέρμανσης.

Την περίοδο μετά τη **διακοπή λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης**, ο μέσος όρος των θερμοκρασιών στην κορυφή του θερμοκηπίου κυμαίνεται στους 13°C ενώ ενδιάμεσα στην καλλιέργεια στο 1,5m μειώνεται στους 11,2°C. Η διαφορά αυτή πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι τα σημεία στην κορυφή του θερμοκηπίου δέχονται υψηλότερα ποσά ηλιακής ακτινοβολίας λόγω διαφοράς ύψους.

Όσον αφορά τη σχετική υγρασία του αέρα, η μέση τιμή της στα 2,5m από το έδαφος του θερμοκηπίου βρίσκεται στο 88% ενώ στο 1,5m είναι χαμηλότερα στο 80%, με τα αντίστοιχα εξωτερικά δεδομένα να είναι 100% και 57,5%. Επισημαίνεται ότι ενώ η μέση τιμή των σχετικών υγρασιών του αέρα είναι χαμηλότερη στο μέσο της καλλιέργειας, παρόλα αυτά στα 5m από την είσοδο καταγράφεται η υψηλότερη τιμή 100%, δηλαδή ο αέρας έχει κορεσθεί (πλήρης συμπύκνωση).

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι η συνδυασμένη λειτουργία του αερόθερμου με τους επιδαπέδιους σωλήνες είναι προτιμότερη αφού καταμερίζοντας καλύτερα τη διαθέσιμη ενέργεια ως θερμότητα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου επιτυγχάνεται:

- ◇ Η επιθυμητή θερμοκρασία του αέρα
- ◇ Η μείωση της υγρασίας του αέρα
- ◇ Η καλύτερη φυσιολογική λειτουργία της καλλιέργειας
- ◇ Η μείωση του ρυθμού υγροποιήσεων στην επιφάνεια του καλύμματος.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

<u>ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΗ</u>	<u>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</u>	<u>ΝΥΧΤΕΡΙΝΕΣ ΩΡΕΣ</u> <u>(18:00-7:00)</u>	<u>T out</u> <u>aver</u>	<u>RH</u> <u>out</u> <u>aver</u>	<u>WS</u> <u>aver</u>
ΕΠΙΔΑΠΕΔΙΑ	14/12/2009-	αισθητήρες 2,5m από το			
	15/12/2009	έδαφος	7,3	100	0,8
		αισθητήρες 1,5m από το			
		έδαφος	7,3	100	0,8
	5/1/2010-	αισθητήρες 2,5m από το			
	6/1/2010	έδαφος	6,0	88,9	1,6
		αισθητήρες 1,5m από το			
		έδαφος	6,0	88,9	1,6
ΑΕΡΟΘΕΡΜΟ	23/2/2011	αισθητήρες 2,5m από το			
		έδαφος	-	-	2,4
	24/2/2011	αισθητήρες 0,5m από το			
		έδαφος	-	-	2,4
		αισθητήρες 2,5m από το			
		έδαφος	7,5	97,7	3,1
		αισθητήρες 0,5m από το			
		έδαφος	7,5	97,7	3,1
ΕΠΙΔΑΠΕΔΙΑ&ΑΕΡΟΘΕΡΜΟ ΣΕ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	16/12/2009-	αισθητήρες 2,5m από το			
	17/12/2009	έδαφος	8,4	100	1,0
		αισθητήρες 1,5m από το			
		έδαφος	8,4	100	1,0
	18/12/2009	αισθητήρες 2,5m από το			
		έδαφος	9,9	91,3	2,1
		αισθητήρες 1,5m από το			
		έδαφος	9,9	91,3	2,1
ΔΙΑΚΟΠΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ	3/12/2009-	αισθητήρες 2,5m από το			
	4/12/2009	έδαφος	8,8	100	1,0
	5/12/2009-	αισθητήρες 2,5m από το			
	6/12/2009	έδαφος	10,0	100	1,7
	1/1/2010-	αισθητήρες 2,5m από το			
2/1/2010	έδαφος	12,6	57,5	4,9	
		αισθητήρες 1,5m από το			
		έδαφος	12,6	57,5	4,9

Βιβλιογραφία

Ξένη βιβλιογραφία

- Albright, L.D. and Behler M. L., 1984. An air-liquid heat exchanger for greenhouse humidity control. *Transactions of the ASAE*, 27 (5): 1524-1530
- Andersson, N.E., 2009. The impact of overhead heating system height on greenhouse air temperature, air movement, and canopy temperature
- Bakker, J.C., 1991. Analysis of humidity effects on growth and production of glasshouse fruit vegetables. PhD Thesis, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands
- Baptista, F.J., Bailey, B.J., Meneses, J.F., 2007. Comparison of humidity conditions in unheated tomato greenhouses with different natural ventilation management and implications for climate and *Botrytis cinerea* control
- Bartzanas, T., Boulard, T., Kittas, C., 2002. Numerical simulation of the airflow and temperature distribution in a tunnel greenhouse equipped with insect-proof screen in the openings
- Bartzanas, T., Tchamitchian, M., Kittas, C., 2005. Influence of the heating method on greenhouse microclimate and energy consumption
- Bojaca, C.R., Gil, R., Cooman, A., 2008. Use of geostatistical and crop growth modelling to assess the variability of greenhouse tomato yield caused by spatial temperature variations, 65:219-227
- Bot, G.P.A., 1983. Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model, Ph.D.thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands
- 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
- Boulard, T., Baille, A., Lagier, J., Mermier, M., Vanderschmitt, E., 1989. Water vapour transfer in a plastic house equipped with a dehumidification heat pump. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 44: 191-204

- Boulard, T. and Baille, A., 1995. Modelling of air exchange rate in a greenhouse equipped with continuous roof vents, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 61:37–48
- Boulard, T., Papadakis, G., Kittas, C., Mermier M., 1997. Air flow and associated sensible heat exchanges in a naturally ventilated greenhouse, *Agricultural and Forest Meteorology* 88: 111–119
- Boulard, T., Haxaire, R., Lamrani, M.A., Roy, J.C., Jaffrin, A., 1999. Characterizing and modeling of the air fluxes induced by naturally ventilation in a greenhouse, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 174: pp. 135–144
- Boulard, T. and Wang, S., 2000. Greenhouse crop transpiration simulation from external climate conditions, *Agricultural and Forest Meteorology*, 100:25–34
- Bunce, J.A., 1984. Effect of humidity on photosynthesis. *Journal of experimental Botany*, 35, 158:1245-1251
- Campen, J.B. and Bot, G.P.A., 2001. Design of a low energy dehumidifying system for greenhouses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78(1): 65-73
- Campen, J.B. and Bot, G.P.A., 2002. Dehumidification in greenhouses by condensation on finned pipes. *Biosystems Engineering*, 82 (2): 177-185
- Campen, J.B., Bot, G.P.A., De Zwart H.F., 2003b. Dehumidification of Greenhouses at Northern Latitudes. *Biosystems Engineering*, 86 (4): 487-493
- Chalabi, Z.S. and Fernandez, J.E., 1994. Estimation of net photosynthesis of a greenhouse canopy using a mass balance method and mechanistic models, *Agricultural and Forest Meteorology*, 71:165–182
- Chasseriaux, G., 1987. Heat pumps for reducing humidity in plastics greenhouses. *Plasticulture*: 73, 29–40
- De Hallaux, D. and Gauthier, L., 1998. Energy consumption due to dehumidification of greenhouses under Northern latitudes. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 69: 35–42

- De Zwart, H.F., 1996. Analyzing energy-saving potentials in greenhouse cultivation using a simulation model. Thesis, Wageningen University. 236p
- Dimokas, G., Katsoulas, N., Kittas, C., 2008. Calibration of a climate simulator (SimGreC) in Mediterranean greenhouses during winter period. 4th International Conference on Information and Communication Technologies in Bio and Earth Sciences (HAICTA 2008). Agricultural University of Athens, September 18-20, 2008, Athens, Greece
- Fernandez, J.E. and Bailey, B.J., 1992. Measurements and prediction of greenhouse ventilations rates. *Agricultural and Forest Meteorology*, 58:229-245
- Gary, C., Tchamitchian, M., Bertin, N., Boulard, T., Baille, A., Charasse, L., Rebillard, A., Cardi, J.P. and Marcelis, L.F.M., 1998. SIMULSERRE: an education software simulating the greenhouse-crop systems, *Acta Horticulturae*, 456: 451–458
- Gauthier, L., 1993. An object oriented greenhouse simulation software system. Part II: description, validation and use of a simple model. *Canadian Agriculture Engineering*, 35 (3): 215-228
- Gijzen, H., 1992. Simulation of photosynthesis and dry matter production of greenhouse crops. Simulation Report No. 28, CABO-DLO, Wageningen
- Jain D., 2004. Modeling the performance of greenhouse with packed red thermal storage on crop drying application. *Journal of Food Engineering*, 71:170-178
- 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
- Kempkes, F.L.K., Bakker, J.C. and Van de Braak, N.J., 1998. Control and modelling of vertical temperature distribution in greenhouse crops. *Acta Horticulturae*, 456:313-323
- Kempkes, F.L.K., Van de Braak, J.K., Bakker, C.J., 2000. Effect of Heating System Position on Vertical Distribution of Crop Temperature and

- Transpiration in Greenhouse Tomatoes. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 75: 57-64
- Kempkes, F.L.K., Van de Braak, N.J., August 2000. Heating system position and vertical microclimate distribution in chrysanthemum greenhouse, Volume 104, Issue 2, Pages 133-142
- Kittas, C., Katsoulas, N., Baille, A., Fernandez, J.A., Martinez, P.F., Castilla, N., 2001. Transpiration and energy balance of a greenhouse rose crop in Mediterranean summer conditions. *Acta Hort* 559:395–400
- Kupraska, S., Slipek, Z., Bozek, B., Fraczek, J., 2004. Simulation of Heat and moisture transfer in a greenhouse Substrate due to a Heating system by buried pipes. *Biosystems Engineering*, 90(1): 63-74
- Kurata, K. and Takamura, T., 1991. Underground Storage of Solar Energy for Greenhouse Heating. I. Analysis of Seasonal Storage System by Scale and Numerical Models. *Transactions of ASAE*, 34(2):563-569
- 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
- Larkin, R.P., Fravel, D.R., November 2002. Effects of varying environmental conditions on biological control of Fusarium wilt of tomato by nonpathogenic Fusarium spp., Volume 92, Number 11, Pages 1160-1166
- Litago, J., Baptista, F.J., Meneses, J.F., Navas, L.M., Bailey, B.J., Sánchez-Girón, V., November 2005. Statistical Modelling of the Microclimate in a Naturally Ventilated Greenhouse . Volume 92, Issue 3, 365-381
- Nederhoff, E.M. and Vegter, J.G., 1994. Canopy photosynthesis of tomatoes, cucumber, and sweet pepper in greenhouses: measurements compared to models. *Annals of Botany*, 73: 421–427
- Nelson, P.V., 2003. Greenhouse operation and management. 6rd ed. New Jersey: Upper Saddle River, Chapter 3: 93-94, 116-118
- Peiper, U.M., Levav, N., Geoola, F., Seginer, I., 1987. Experimental evaluation and mathematical model of an hygroscopic greenhouse dehumidifier, *Final Research Report. BARD Project I39082*, Bet-Dagan, Israel

- Pieters, J.G., Deltour, J.M., 1997. Performances of greenhouses with the presence of condensation on cladding materials. *Journal of Agr. Engineering Research*, 68(2): 125–137
- Pucheta, J.A., Schugurensky, C., Fullana, R., Patino, H., Kuchen, B., 2006. Optimal Greenhouse control of tomato-seedling crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 50:70-82
- Rousse, D.R., Martin, D.Y., Theriault, R., Leveillee, F., Boily, R., 2000. Heat recovery in greenhouses: a practical solution. *Applied Thermal Engineering*, 20: 687–706
- Santamouris, M., Balaras, C.A., Dascalaki, E., Vallindras, M., 1994b. Passive solar agricultural greenhouses: a worldwide classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes. *Solar Energy*, 53 (5): 411–426
- Seginer, I., Boulard, T., Bailey, B.J., November 1994. Neural Network Models of the Greenhouse Climate, Volume 59, Issue 3, Pages 203-216
- Soriano, T., Montero, J.I., Sanchez-Guerrero, M.C., Medrano, E., Anton, A.J., Hernandez, J., Morales, M.I. and Castilla, N., 2004. A Study of Direct Solar Radiation Transmission in Asymmetrical Multi-span Greenhouses using Scale Models and Simulation Models. *Biosystems Engineering*, 88(2): 243-253
- Singh, G., Singh, PP, Lubana, PPS, Singh, KG., 2006. Formulation and validation of a mathematical model of the microclimate of a greenhouse. *Renewable Energy*, 31(10):1541-1560
- Speetjens, S.L., 2001. Warmteterugwinning uit ventilatielucht. [Heat recovery from ventilation.] *Report Nota V 2001-86,IMAG*, Wageningen, The Netherlands
- Stanghellini, C., 1987. Transpiration of greenhouse crops: an aid to climate management. PhD Thesis, Agricultural University of Wageningen, The Netherlands
- Stanghellini, C., Van Meurs, W.Th.m., 1992. Environmental control of greenhouse crop transpiration
- Tadj, N., Draoui, B., Bartzanas, T., Kittas, C., Theodoridis, G., 2006. Convective heat transfer in a heated greenhouse tunnel

- Tadj, N., Bartzanas, T., Fidaros, D., Draoui, B., Kittas, C., 2010. Influence of heating system on greenhouse microclimate distribution
- Teitel, M., and Tanny, J., 1998. Radiative heat transfer from heating tubes in a greenhouse. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 69:185-188
- Teitel, M., Atias, M., Barak, M., 2010. Gradients of temperature, humidity and CO₂ along a fan-ventilated greenhouse
- Tonga, G., Christopherb, D.M., Lic, B., 2009. Numerical modelling of temperature variations in a Chinese solar greenhouse
- Udink ten Cate, A. J., 1983. Modeling and (adaptive) control of greenhouse climates. PhD Thesis, Agricultural University, Wageningen, The Netherlands
- Wang, S., 1988. Measurement and modeling of natural ventilation in a large Venlo-type greenhouse. PhD Thesis, Faculte Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgium
- Wien, H.C., April 2009. Microenvironmental variations within the high tunnel, Volume 44, Issue 2, Pages 235-238
- Willits, D.H., 2003. Cooling fan – ventilated greenhouses: a modeling study. *Biosystems Engineering*, 84(3):315-329
- 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
- Zhang, Z.H., 2002. China greenhouses. *Chronica Horticulturae*, Vol. 44, N^o 1
- Zhao, Y., Teitel, M., Barak, M., 2001. Vertical temperature and humidity gradients in a naturally ventilated greenhouse

Ελληνική βιβλιογραφία

- Καυγά Α., 2010. Ενεργειακή βελτιστοποίηση θερμοκηπίου με χρήση συστήματος θέρμανσης με υπέρυθη ακτινοβολία- Θεώρηση της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας (NIR), Διδακτορική Διατριβή

- Μανωλαράκη Χ., 2008. Αξιολόγηση της επίδρασης της χρήσης αντισταγονικών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίων στο μικροκλίμα και την καλλιέργεια. Μεταπτυχιακή διατριβή
- Ολύμπιος Χ.Μ., 2001. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη
- Μαυρογιαννόπουλος Γ.Ν., 2005. Θερμοκήπια. Περιβάλλον-Υλικά-Κατασκευή-Εξοπλισμός. Εκδόσεις Σταμούλη. Αθήνα
- Μπαρτζάνας Θ., 2004. Διαχείριση της υψηλής υγραμετρίας σε ελληνικά θερμοκήπια. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Πηγές από Internet

<http://www.ekk.aua.gr/seminar/seminar09.pdf>

<http://www.google.gr/search>

<http://www.scribd.com/doc/>

http://www.moa.gov.cy/moa/agriculture.nsf/index_gr/index_gr?OpenDocument
(Υπουργείο Γεωργίας)



ΛΗΞΗ	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΔΑΝΕΙΖΟΜΕΝΟΥ

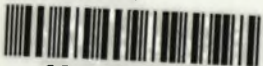
**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ**

Τηλ.: 24210 ~~72750067~~

93141



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000108467