



ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Αριθρ. Πρωτοκόλλου: 174
Ημερομηνία: 5-7-2007

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ & ΕΛΕΓΧΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

“Κατανομή των παραμέτρων του μικροκλίματος σε θερμοκήπιο
εξοπλισμένο με σύστημα υγρής παρειάς”

Ητυχιακή διατριβή
Λώλης Αλέξανδρος



Επιβλέπων καθηγητής : Κίττας Κωνσταντίνος

ΒΟΛΟΣ 2007



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

Αριθ. Εισ.: 5940/1
Ημερ. Εισ.: 11-10-2007
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ
2007
ΛΩΛ

“ Κατανομή των παραμέτρων του μικροκλίματος σε θερμοκήπιο
εξοπλισμένο με σύστημα υγρής παρειάς ”

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων:

- **κ. Κίττας Κωνσταντίνος**, Καθηγητής Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος.

Μέλη:

- **κ. Γέμτος Θεοφάνης**, Καθηγητής Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος.
- **κ. Κατσούλας Νικόλαος**, Λέκτορας Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή του τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος και διευθυντή του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών κ. Κίττα Κωνσταντίνο για την ανάθεση αυτού του θέματος και την εμπιστοσύνη του από την αρχή αυτής της συνεργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος κ. Μπαρτζάνα Θωμά και το Λέκτορα του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος κ. Κατσούλα Νικόλαο για το ενδιαφέρον τους , τις χρήσιμες υποδείξεις τους καθώς και διορθώσεις αυτής της ερευνητικής εργασίας,

Την εκτίμηση μου και τις ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω στον Καθηγητή κ. Γέμτο Θεοφάνη για τη συμμετοχή τους στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή και τη διόρθωση αυτής της πτυχιακής διατριβής.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Δημόκα Γεώργιο για τη πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε όταν τον χρειάστηκα.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω επίσης στη οικογένεια μου για την πολύτιμη ηθική υποστήριξη και όχι μόνο που μου προσέφεραν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου έτσι ώστε να περατωθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου για τη συμπαράστασή τους κατά τη διάρκεια διεξαγωγής αυτής της ερευνητικής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο κλιματισμός των θερμοκηπίων κατά τη θερινή περίοδο είναι ένα πρόβλημα που αντιμετωπίζουν κυρίως οι χώρες της Μεσογειακής λεκάνης. Σε αυτές τις χώρες η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλά επίπεδα υγρασίας φθάνοντας σε τιμές τέτοιες ώστε να προκαλέσουν σοβαρές ζημιές στην καλλιέργεια με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής και της ποιότητας των προϊόντων. Έτσι οι παραγωγοί αναγκαζόταν να διακόψουν την καλλιέργεια. Αυτό οδήγησε στη χρησιμοποίηση συστημάτων τα οποία μειώνουν την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου καθιστώντας εφικτή την καλλιέργεια.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την μείωση της θερμοκρασίας είναι :

- a) η σκίαση
- b) ο αερισμός (φυσικός και δυναμικός) και
- c) ο δροσισμός με εξάτμιση (σύστημα υγρής παρειάς-ανεμιστήρων και σύστημα υδρονέφωσης).

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση ενός συστήματος δροσισμού με υγρή παρειά και ανεμιστήρες καθώς και η κατανομή των παραμέτρων του μικροκλίματος. Έτσι, αφού γίνεται μια γενική αναφορά στα θερμοκήπια και στα συστήματά τους και ιδιαίτερα στο σύστημα με υγρή παρειά και ανεμιστήρες, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων που έγιναν το καλοκαίρι του 2005 και τα συμπεράσματα που βγαίνουν από αυτά.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ι ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Το θερμοκήπιο και η χρησιμότητά του.....	8
1.2 Ιστορική εξέλιξη θερμοκηπίου.	9
1.3 Παγκόσμια κατανομή θερμοκηπιακών εκτάσεων.	12
1.4 Γεωγραφική κατανομή θερμοκηπίων στην Ελλάδα.	12
1.5 Σκοπός του πειράματος.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	16
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	19
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	19
3.1 Περιβάλλον και παραγωγή.	19
3.1.1 Θερμοκρασία	20
3.1.2 Σχετική υγρασία.....	21
3.1.3 Διαπνοή.....	22
3.1.4 Στοματική αγωγιμότητα.....	23
3.1.5 Αεροδυναμική αγωγιμότητα	24
3.2 Το ενεργειακό ισοζύγιο στο θερμοκήπιο.	25
3.3 Ψύξη θερμοκηπίων.	27
3.3.1 Αερισμός.....	27
3.3.2 Σκίαση.....	29
3.4 Συστήματα δροσίσιμου με εξάτμιση.....	30
3.4.1 Σύστημα υδρονέφωσης.....	32
3.4.2 Σύστημα υγρής παρειάς – ανεμιστήρων.	34
3.4.2.1 Περιγραφή του συστήματος.....	35
3.4.2.1.1 Η υγρή παρειά.....	35
3.4.2.1.2 Σύστημα διαβροχής της παρειάς.....	36
3.4.2.1.3 Επιλογή και εγκατάσταση ανεμιστήρων.....	38
“ Κατανομή των παραμέτρων του μικροκλίματος σε θερμοκήπιο εξοπλισμένο με σύστημα υγρής παρειάς ”	5

3.4.2.1.4 Διαστασιολόγηση του συστήματος.....	39
3.4.2.1.5 Πλεονεκτήματα και αδυναμίες του συστήματος.	42
3.4.2.1.6 Απόδοση του συστήματος.	43
Ι Ι ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	45
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	45
4.1 Τοποθεσία πειράματος – Περιγραφή του θερμοκηπίου.	45
4.2 Περιγραφή των οργάνων μέτρησης.	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	49
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	49
5.1 Κλιματικές συνθήκες κατά την περίοδο των μετρήσεων.	49
5.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας αέρα.	52
5.3. Αεροδυναμική αγωγιμότητα και Διαπνοή.	57
5.4. Απόδοση συστήματος.	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	59
ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	59
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	60

I

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1 Το θερμοκήπιο και η χρησιμότητά του.

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

Διαφέρει από άλλες παρόμοιες κατασκευές όπως χαμηλά σκέπαστρα και σπορεία στο ότι είναι ψηλά ώστε να μπορούν να εργάζονται μέσα σε αυτό οι παραγωγοί.

Σκοπός της χρησιμοποίησης θερμοκηπίων στην παραγωγή αγροτικών προϊόντων είναι η τροποποίηση των παραγόντων του περιβάλλοντος που επηρεάζουν την αύξηση των φυτών. Με την τροποποίηση αυτή μπορούμε να αυξήσουμε την παραγωγή, να την προγραμματίσουμε χρονικά, να τη βελτιώσουμε ποσοτικά και επίσης μπορούμε να παράγουμε προϊόντα εκτός εποχής.

Επίσης με τα θερμοκήπια αποφεύγουμε ζημιές από δυσμενείς καιρικές συνθήκες, ορίζουμε τις επιθυμητές τιμές στο εσωτερικό του και μειώνουμε ζημιές από έντομα και ασθένειες.

Το θερμοκήπιο δεν θα πρέπει να θεωρηθεί μόνο ως ένα μέσο για την παραγωγή προϊόντων εκτός εποχής, αλλά κυρίως ως ένα μέσο σημαντικής αύξησης της απόδοσης του συστήματος άνθρωπος - υλικά μέσα – έδαφος – φυτό – κλίμα και ως ένα μέσο που επιτρέπει την αύξηση των αποδόσεων ανά μονάδα εδάφους-χρόνου, σε επίπεδα πολύ υψηλότερα από τον ελεύθερο αγρό.

Το θερμοκήπιο, θεωρούμενο αρχικά ως μια κατασκευή που επιτρέπει τον περιορισμό ενός καλλιεργούμενου τμήματος με την βοήθεια ενός διαφανούς υλικού κάλυψης, είναι εκ κατασκευής ένα μέσο διαμόρφωσης του κλίματος. Λόγω των διαταραχών που δημιουργεί το υλικό κάλυψης στα φαινόμενα ακτινοβολίας και μεταφοράς ενέργειας, δημιουργείται στο θερμοκήπιο ένα “αυθόρμητο κλίμα”, του οποίου τα χαρακτηριστικά δεν είναι πάντα ευνοϊκά για την καλλιέργεια. Με τον όρο “αυθόρμητο κλίμα” εννοούμε τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στο

θερμοκήπιο όταν αυτό δεν είναι εφοδιασμένο με κανένα μηχανισμό κλιματισμού, και το μοναδικό μέσο τροποποίησης του κλίματός σε σχέση με τον ελεύθερο αγρό είναι το τοίχωμά του. Φυσικά με αυτό τον τρόπο απομονώνεται το θερμοκήπιο από ορισμένες δυσμενείς κλιματολογικές συνθήκες όπως χαμηλές θερμοκρασίες, βροχές και άνεμοι. Χάρη σε αυτά τα πλεονεκτήματα του θερμοκηπίου είναι δυνατή η βελτίωση της παραγωγικότητας.

Βέβαια το αυθόρμητο κλίμα του θερμοκηπίου δεν είναι ανεξάρτητο από το εξωτερικό κλίμα, αφού λαμβάνουν χώρα ενεργειακές μεταβολές μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Παρόλα αυτά οι συνθήκες που δημιουργούνται μέσα στο θερμοκήπιο δεν είναι πάντα ευνοϊκές, και μάλιστα μπορεί να απέχουν πολύ από τις ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης των καλλιεργειών. Γίνεται λοιπόν κατανοητό πως είναι απαραίτητη η ύπαρξη τεχνικών για την τροποποίηση του αυθόρμητου κλίματος που επικρατεί στο θερμοκήπιο.

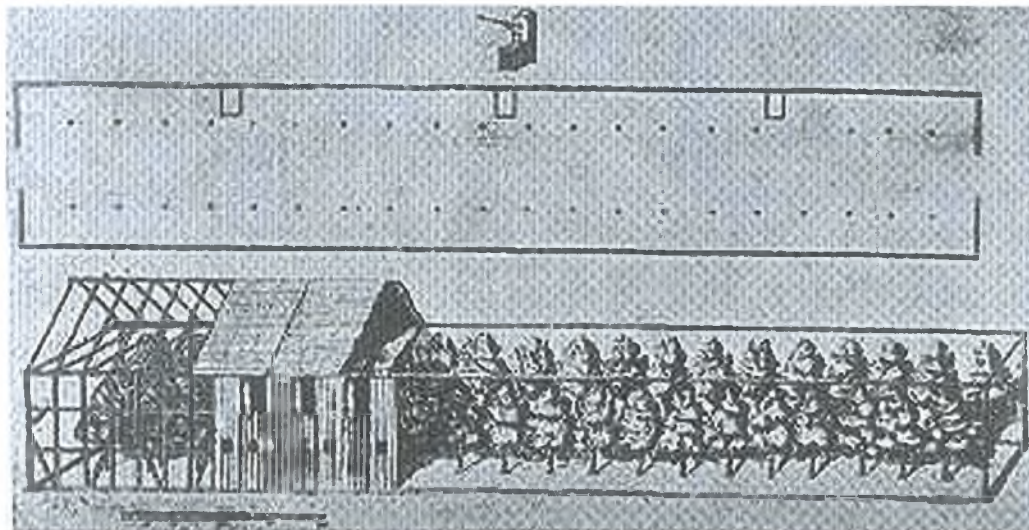
1.2 Ιστορική εξέλιξη θερμοκηπίου.

Αναφορές για ανάπτυξη φυτών σε “ειδικούς” χώρους γίνονται ήδη από τον 5^ο π.Χ. αιώνα από τον Πλάτωνα ενώ από τον 1^ο π.Χ. αιώνα ξέρουμε ότι οι Ρωμαίοι καλλιεργούσαν φρούτα και λαχανικά σε απλά θερμοκήπια. Κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα η έννοια φαίνεται να είναι άγνωστη και έτσι ξαναφάνηκαν κατά τη διάρκεια του 17^{ου} μ.Χ. αιώνα. Τότε καλλιεργήθηκαν τροπικά φυτά και διάφορα καρποφόρα.

Κινητικότητα και πρόοδος παρουσιάστηκε στα θερμοκήπια με την ανάπτυξη της βιομηχανίας γυαλιού. Τότε εμφανίστηκαν τα μικρά γυάλινα πλαίσια τα οποία χρησιμοποιήθηκαν από τους παραγωγούς των μεγάλων πόλεων της Βόρειας Ευρώπης σαν μέσο για την επιμήκυνση της περιόδου παραγωγής και τροφοδοσίας της αγοράς.

Με την πάροδο του χρόνου παρουσιάστηκε περαιτέρω ανάπτυξη των θερμοκηπίων, και από τα μικρά αυτά πλαίσια με βάση από ξύλινα κουτιά, περάσαμε στην δημιουργία πιο ψηλών γυάλινων κατασκευών που αποτέλεσαν τους προδρόμους των σύγχρονων θερμοκηπίων.

Σύμφωνα με τον London, διάσημο συγγραφέα του 19^{ου} αιώνα, το πρώτο γυάλινο θερμοκήπιο, με τη σημερινή μορφή, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε το 1611 από τον Salomon de Caus.



Εικόνα 1. Σχέδιο θερμοκηπίου από τον Salomon de Caus.

Τον 19^ο αιώνα το θερμοκήπιο εξελίχθηκε ραγδαία με την εισαγωγή συστημάτων και αυτοματισμών όπως συστήματα θέρμανσης και δροσισμού και θερμοστάτες.

Τα θερμοκήπια αρχικά εμφανίστηκαν στη Βόρεια Ευρώπη όμως την τελευταία δεκαετία η εξάπλωση και ανάπτυξη των θερμοκηπίων και καλλιεργειών υπό κάλυψη, κέρδισε και τις μεσογειακές χώρες της Ευρώπης καθώς μέχρι τότε πίστευαν, εσφαλμένα, ότι οι ευνοϊκές συνθήκες ηλιοφάνειας και θερμοκρασίας δεν δικαιολογούσαν τέτοιου είδους κατασκευές.

Τα τελευταία χρόνια η διάδοση των θερμοκηπίων δεν σταμάτησε να προχωρά στις μεσογειακές χώρες, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζεται μείωση των επιφανειών υπό κάλυψη στις χώρες της βόρειας Ευρώπης. Κύριος λόγος για αυτή την εξέλιξη είναι ότι οι ανάγκες σε θέρμανση των θερμοκηπίων στην Μεσογειακή λεκάνη είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με την βόρεια Ευρώπη, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών. Έτσι η αλματώδης αύξηση του κόστους παραγωγής είχε μικρότερο αντίκτυπο στους παραγωγούς της Μεσογείου.

Επιπλέον η κατασκευή των θερμοκηπίων από πλαστικά φύλλα πολυαιθυλενίου (PE) , που είναι πιο ελαφρά και ευκολόχρηστα, οι καλύτερες συνθήκες φωτισμού που επικρατούν στις νότιες περιοχές και τα φτηνά εργατικά χέρια είναι από τους βασικότερους παράγοντες που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην αναπροσαρμογή των εκτάσεων υπό κάλυψη στον βορά και στον νότο.

Στην δεκαετία του εξήντα δόθηκε έμφαση στην μείωση του κόστους κατασκευής του θερμοκηπίου έτσι ώστε να αντισταθμιστεί το αυξανόμενο κόστος για την παραγωγή ενέργειας.

Έτσι, από την μία μεριά άρχισαν να κατασκευάζονται θερμοκήπια πολύ πιο ελαφριά και με πολύ μειωμένο κόστος παραγωγής, ενώ από την άλλη δεν είχε υπάρξει ενδιαφέρον, ούτε είχε γίνει κάποια μελέτη για της απώλειες ενέργειας που παρουσιάζανε με αποτέλεσμα να αυξηθεί το κόστος λειτουργίας τους. Το κυριότερο πρόβλημα που παρουσιάστηκε ήταν η έλλειψη στεγανότητας των κατασκευών, οι οποίες οδηγούσαν σε απώλειες θερμότητας και κατ' επέκταση σε άσκοπη κατανάλωση ενέργειας από τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης, στην προσπάθειά τους να διατηρήσουν στα επιθυμητά επίπεδα τις συνθήκες που επικρατούσαν μέσα στο θερμοκήπιο.

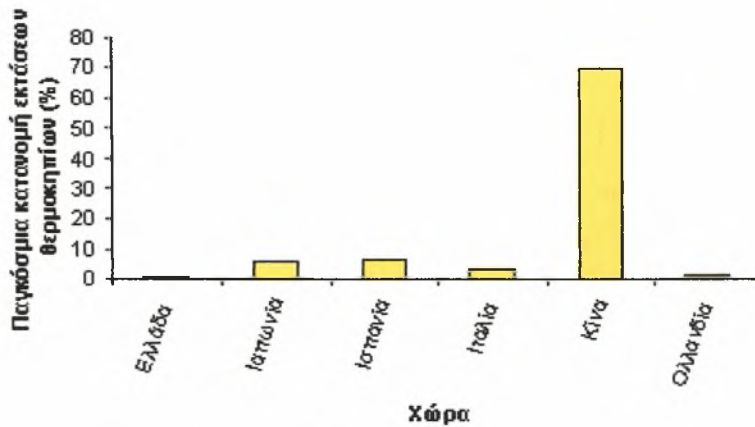
Τα πρώτα μέτρα που πάρθηκαν για την αντιμετώπιση του προβλήματος ήταν η βελτίωση της στεγανότητας των κατασκευών και των αγωγών προσαγωγής, και η ρύθμιση των καυστήρων.

Γρήγορα όμως φάνηκε πως αυτές οι ενέργειες δεν ήταν ικανές να λύσουν το πρόβλημα του υψηλού κόστους λειτουργίας του θερμοκηπίου και έπρεπε να ληφθούν πιο δραστικά μέτρα, όπως:

1. Να βελτιωθούν κατά τα τρόπο ουσιαστικό οι υπάρχουσες τεχνικές θέρμανσης και θερμικής μόνωσης, κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρηθεί το μικροκλίμα του θερμοκηπίου, σε ευνοϊκά επίπεδα για την ανάπτυξη των καλλιεργειών.
2. Χρησιμοποίηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας και κυρίως της ηλιακής.
3. Προσαρμογή των καλλιεργητικών τεχνικών και των αμειψισπορών σε καινούρια συστήματα, προερχόμενα από μια ορθολογική προσέγγιση των δημιουργούμενων προβλημάτων.
4. Ανάπτυξη και δημιουργία ποικιλιών προσαρμοσμένων στις ιδιαιτερότητες του κλίματος του θερμοκηπίου.

1.3 Παγκόσμια κατανομή θερμοκηπιακών εκτάσεων.

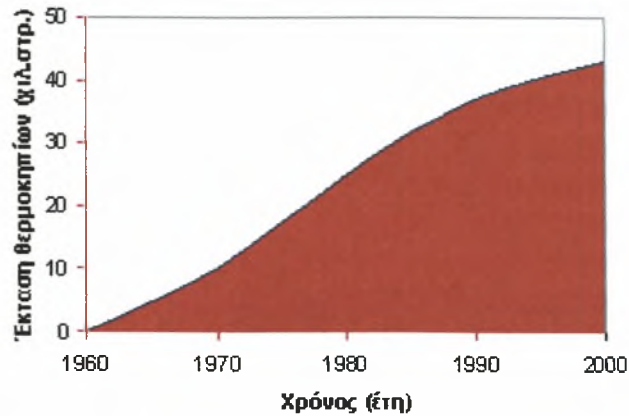
Η παγκόσμια έκταση θερμοκηπίων το 2001 ανήλθε σε 8.500.000 στρέμματα. Από αυτά το μεγαλύτερο μέρος βρίσκεται στην Κίνα. Ακολουθεί η Ιαπωνία και τη σκυτάλη παίρνουν οι Ευρωπαϊκές χώρες με πρώτη την Ισπανία. Η Ελλάδα παρά τις ευνοϊκές για εγκατάσταση θερμοκηπίων συνθήκες κατέχει μόλις το 0,5% της παγκόσμιας έκτασης.



Διάγραμμα 1. Παγκόσμια κατανομή θερμοκηπιακών εκτάσεων (πηγή : ICAP)

1.4 Γεωγραφική κατανομή θερμοκηπίων στην Ελλάδα.

Στην Ελλάδα οι πρώτες συστηματικές εγκαταστάσεις θερμοκηπίων ξεκίνησαν το 1955 και εξαπλώθηκαν μετά το 1961 με τη χρησιμοποίηση του πολυαιθυλενίου. Από το 1982-1999 ο ετήσιος ρυθμός αύξησης των εκτάσεων των καλλιεργούμενων με κηπευτικά θερμοκηπίων ήταν 1,3%, φθάνοντας το 1999 τα 43.500 στρέμματα, εκ των οποίων το 95,6% ήταν καλυμμένα με πλαστικό και μόλις το 4,2% υαλόφρακτα.



Διάγραμμα 2. Έκταση θερμοκηπίων στην Ελλάδα (1960-2000)

Σύμφωνα με πρόσφατα αποτελέσματα της Ετήσιας Γεωργικής Στατιστικής Έρευνας του έτους 2003, η έκταση των θερμοκηπίων ανέρχεται στα 45.000 στρέμματα για την καλλιέργεια των λαχανικών, ενώ για την καλλιέργεια ανθοκομικών φυτών ανέρχεται στα 4.000 στρέμματα (Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος, 2003).

Η γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπίων στην Ελλάδα ακολουθεί κατά κανόνα την κλιματική διαφοροποίηση των επί μέρους περιοχών. Περισσότερες εκτάσεις θερμοκηπίων συναντώνται στις πλέον ευνοϊκές από πλευράς κλίματος (ήπιοι χειμώνες, απουσία παγετών κ.λπ.) περιοχές. Υψίστης σημασίας είναι η παραγωγή θερμοκηπιακών προϊόντων χωρίς ή με ελάχιστη ανάγκη πρόσθετης θέρμανσης (Ολύμπιος, 2001).

Στην Κρήτη (Ιεράπετρα, Τυμπάκι, Παλαιόχωρα) συναντάται σχεδόν το μισό των θερμοκηπιακών εκτάσεων σε ποσοστό 44 % λόγω ευνοϊκού κλίματος, έπεται η Βόρεια Ελλάδα με ποσοστό 14 %, ενώ περιοχή με σημαντική έκταση θερμοκηπίων θεωρείται και η Πελοπόννησος με 10 %.

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι εκτάσεις των θερμοκηπίων σε διάφορες περιοχές της χώρας.

Πίνακας 1. Γεωγραφική κατανομή των εγκατεστημένων στη χώρα μας θερμοκηπίων και καλλιέργειών, σε στρέμματα. Στοιχεία Υπουργείου Γεωργίας για το έτος 2003.

Περιοχές χώρας	Κηπευτικά				Ανθοκομικά				Σύνολο			
	πλαστικά	υαλόφρα κτα	σύνολο	ποσοστό (%)	πλαστικά	υαλόφρα κτα	σύνολο	ποσοστό (%)	πλαστικά	υαλόφρα κτα	σύνολο	ποσοστό (%)
Κρήτη	19.623	177	19.800	46,4	409	412	821	21,7	20.032	589	20.621	44,4
Πελοπόννησος	6.298	49	6.347	14,9	87	202	289	7,6	6.385	251	6.636	14,3
Κεντρική Μακεδονία	6.424	8	6.432	15,1	74	297	371	9,8	6.498	305	6.803	14,6
Λοιπές περιοχές	9.975	104	10.079	23,6	692	1.610	2.302	60,9	10.667	1.174	12.381	26,7
Σύνολο χώρας	42.320	338	42.658	100,00	1.262	2.521	3.783	100,00	43.582	2.859	46.441	100,00
Ποσοστό	99,2	0,8	10		33,4	66,6	100		93,8	6,2	100	

1.5 Σκοπός της εργασίας .

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών στην Ελλάδα είναι η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου σε συνδυασμό με τις χαμηλή υγρασία, συνθήκες που εμφανίζονται κατά την θερμή περίοδο του έτους (περίπου 6 μήνες) και κάνουν απαγορευτική την συνέχιση της καλλιέργειας στο θερμοκήπιο ή την συνέχισή της κάτω από όχι ευνοϊκές συνθήκες για την παραγωγή προϊόντων ποιότητας. Γίνεται λοιπόν κατανοητό ότι για την παραγωγή ποιοτικών προϊόντων, είναι απαραίτητος ένας καλός κλιματισμός κατά την θερινή περίοδο. Ένα από τα πλέον χρησιμοποιούμενα συστήματα ψύξης θερμοκηπίου είναι το σύστημα με υγρή παρειά και ανεμιστήρα.

Σκοπός της εργασίας ήταν η πειραματική διερεύνηση των παραμέτρων που καθορίζουν την απόδοση του συστήματος δροσισμού θερμοκηπίων με υγρή παρειά και ανεμιστήρες και η κατανομή των παραμέτρων του μικροκλίματος. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκε πειραματικά η επίδραση των συνθηκών του περιβάλλοντος, όπως θερμοκρασία, σχετική υγρασία και ηλιακή ακτινοβολία στην απόδοση του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Ένας καλός κλιματισμός κατά την θερινή περίοδο είναι απαραίτητος, αλλά απαιτεί επενδύσεις μικρότερες ή μεγαλύτερες ανάλογα με την ποιότητα που επιθυμεί ο καλλιεργητής. Είναι προφανές ότι είναι πολύ πιο δύσκολο να ψυχθεί ένα θερμοκήπιο το καλοκαίρι από το να θερμανθεί τον χειμώνα. Η καθαρή ακτινοβολία στο θερμοκήπιο το καλοκαίρι φτάνει τα 500 ως 600 Wm^{-2} από τα οποία, αν θέλουμε να έχουμε θερμοκρασίες ανάλογες με τις εξωτερικές, πρέπει να αφαιρεθούν 200 ως 250 Wm^{-2} αισθητής θερμότητας. Η εξάλειψη αυτής της πλεονάζουσας ενέργειας δεν μπορεί να γίνει με κλασικά ψυκτικά μηχανήματα που είναι πολύ ακριβά, αλλά πρέπει να γίνει με μεθόδους όσο το δυνατόν λιγότερο δαπανηρές όπως ο αερισμός, η ψύξη με εξάτμιση, η σκίαση ή συνδυασμός περισσότερων του ενός από αυτά τα συστήματα (Baille, 1988).

Πρώτος ο Morris το 1956 ήταν αυτός που ερεύνησε τη δυνατότητα για δροσισμό των θερμοκηπίων με το σύστημα υγρής παρειάς- ανεμιστήρων, ενώ οι Kozai και Sase (1978) και Landsberg et al. (1979) μελέτησαν την απόδοση του συστήματος αυτού.

Σε χώρες με πολύ θερμό κλίμα ο δροσισμός με υγρή παρειά και ανεμιστήρες χωρίς παράλληλα αερισμό του θερμοκηπίου (εναλλαγή αέρα) δεν ήταν ικανοποιητικός. Αντίθετα συνδιασμός των δυο με 20 ή 40 εναλλαγές ανά ώρα (AC/h) μείωσαν τη θερμοκρασία σε επίπεδα ικανοποιητικά για την ανάπτυξη της καλλιέργειας (Jamal, 1994).

Σε θερμοκήπιο στο οποίο το υλικό κάλυψης μειώνει κατά 30% το ποσοστό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας και διαθέτει εξαερισμό με περίπου 30 AC/h, το σύστημα υγρής παρειάς- ανεμιστήρων αύξησε τη διαπνοή των φυτών με αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας, στο φύλλωμα και τον εσωτερικό αέρα, σε επίπεδα μικρότερα του εξωτερικού ακόμα και όταν το ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ήταν το μέγιστο. Επίσης η αύξηση της εξωτερικής υγρασίας μείωσε την εξάτμιση από την παρειά (Fuchs et al 2006).

Οι Arbel et al. (1999) μελετώντας το σύστημα δροσισμού με υδρονέφωση διαπίστωσαν καλύτερη απόδοση από ένα σύστημα υγρής παρειάς – ανεμιστήρων όσον αφορά στην ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας και υγρασίας.

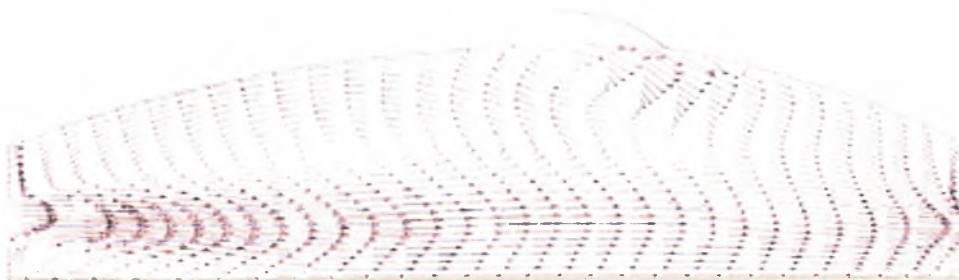
Πείραμα που έγινε σε θερμοκήπιο εξοπλισμένο με σύστημα υγρής παρειάς - ανεμιστήρων και σκιασμένο κατά το ήμισυ, έδειξε θερμοκρασιακή ανομοιογένεια κατά μήκος του θερμοκηπίου από την παρειά ως τους ανεμιστήρες. Αν και η απόδοση του συστήματος ήταν υψηλή (80%) και η θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα μειώθηκε έως και 10 °C, λόγω του μεγάλου μήκους του θερμοκηπίου κατά την έξοδο από τους ανεμιστήρες η θερμοκρασία ήταν αυξημένη κατά 8 °C (Bartzanas and Kittas, 2004).

Ο υψηλός ρυθμός αερισμού και η σκίαση συμβάλλουν στην μείωση της διακύμανσης της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, αποτέλεσμα της χρήσης του συστήματος υγρής παρειάς – ανεμιστήρων. Υπάρχουν όμως και κάποια μειονεκτήματα, αφού η αύξηση του ρυθμού αερισμού οδηγεί στην αύξηση της διαπνοής που συμβάλλει στη εμφάνιση stress λόγω έλλειψης νερού, ενώ η σκίαση μειώνει μεν τη διαπνοή αλλά αναλογικά μειώνει και τη φωτοσύνθεση άρα και την απόδοση της καλλιέργειας (Kittas et al. 2003)

Επίσης ο Willits (2003) μελέτησε το συνδιασμό των συστημάτων αερισμού και υγρής παρειάς – ανεμιστήρων για το δροσισμό θερμοκηπίων και είδε πως η αύξηση του ρυθμού αερισμού δεν είχε αξιόλογα αποτελέσματα, ενώ ο συνδιασμός αυτών επέφερε μείωση της θερμοκρασίας του αέρα.

Τέλος οι Sethi και Sharma (2007) έκανα μια συγκριτική μελέτη για όλα τα συστήματα δροσισμού (σκίαση, αερισμός και δροσισμός με εξάτμιση) και διαπίστωσαν πως το σύστημα δροσισμού με υγρή παρειά και ανεμιστήρες μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του αέρα ως και 6 °C αν χρησιμοποιηθεί μόνο ή ως 12 °C αν συνδυαστεί με σκίαση. Επισήμαναν επίσης μειονεκτήματα όπως η διακύμανση στις τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου καθώς και την ανάγκη για σωστή συντήρηση της παρειάς που φθείρεται από εναπόθεση αλάτων και άλγη.

Όσον αφορά την ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου οι Bartzanas et al. έδειξαν πως ανομοιομορφία παρατηρείται κατά μήκος του θερμοκηπίου στην ταχύτητα του ανέμου η οποία είναι μεγαλύτερη στα ανοίγματα (π.χ. παρειά, ανεμιστήρας) και στο δάπεδο (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Διανυσματική απεικόνιση της ταχύτητας του ανέμου στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Ενώ η ανάπτυξη των φυτών θα ενισχυόταν αν μέσω του σχεδιασμού των ανοιγμάτων αερισμού μειωνόταν η ταχύτητα του αέρα και η τύρβη (Boulard *et al.*, 1999)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Περιβάλλον και δροσισμός θερμοκηπίου

3.1 Περιβάλλον και παραγωγή.

Η ανάπτυξη και παραγωγή ενός φυτού εξαρτάται από το είδος, την ποικιλία του καθώς και από το περιβάλλον στο οποίο αναπτύσσεται.

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

Για ένα συγκεκριμένο γενότυπο υπάρχει πάντα ένα βέλτιστο περιβάλλον, το οποίο επιτρέπει στους χαρακτήρες του φυτού να αναπτυχθούν στον καλύτερο δυνατό βαθμό.

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

- Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού, που επιτελούνται κυρίως στο υπέργειο μέρος του και είναι κυρίως η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, το CO₂ και οι μικροοργανισμοί και
- Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού που επιτελούνται στη ρίζα και είναι κυρίως η θερμοκρασία της ρίζας, η υγρασία, το οξυγόνο και τα ανόργανα θρεπτικά συστατικά.

Για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής δεν αρκεί η ρύθμιση καθενός από τους παράγοντες του περιβάλλοντος σ' ένα συγκεκριμένο άριστο σημείο, αλλά η ρύθμιση καθενός σε συνδυασμό με το επίπεδο των άλλων παραγόντων.

Παρακάτω αναλύονται οι δυο κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία και μια από τις λειτουργίες του φυτού που επηρεάζονται από αυτούς, η διαπνοή.

3.1.1 Θερμοκρασία

Όλη σχεδόν η θερμότητα πάνω στη γη προέρχεται από τον ήλιο. Η ενέργεια από τον ήλιο φτάνει στο έδαφος και τη βλάστηση, όπου ένα μέρος αντανακλάται και το υπόλοιπο μετατρέπεται σε θερμότητα η οποία στη συνέχεια θερμαίνει τον αέρα και τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους.

Η επιφάνεια όμως της γης δεν δέχεται μόνο την ηλιακή ακτινοβολία αλλά ακτινοβολεί και αυτή προς το διάστημα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ψύξη του εδάφους κατά τη διάρκεια της νύχτας και συγχρόνως τη ψύξη του ατμοσφαιρικού αέρα που έρχεται σε επαφή με αυτήν.

Ο ψυχρός αυτός αέρας με την επικράτηση κάποιων συνθηκών καταρακιδά στις χαμηλότερες περιοχές μιας ευρύτερης λεκάνης με αποτέλεσμα στις περιοχές αυτές να επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες για μεγάλο χρονικό διάστημα κάτι που τις κάνει μη επιθυμητές για εγκατάσταση θερμοκηπίου.

Ο ρυθμός μείωσης της θερμοκρασίας σε ένα θερμοκήπιο εξαρτάται από:

1. Τη θερμοκρασία του
2. την έκταση της επιφάνειάς του
3. την θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου και
4. από το ισοζύγιο ακτινοβολίας.

Η θερμοκρασία των φυτών στο χώρο του θερμοκηπίου καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα, από την ακτινοβολία που δέχονται ή εκπέμπουν, από την θερμοχωρητικότητά τους και από τη λανθάνουσα θερμότητα που δέχονται η χάνουν.

Η θερμοκρασία είναι ο παράγοντας που έχει την πιο πολύπλοκη επίδραση στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, γιατί επηρεάζει σχεδόν όλες τις λειτουργίες του όπως φωτοσύνθεση, αναπνοή, διαπνοή κ.α. και επίσης έχει τη μεγαλύτερη επίπτωση στο κόστος της παραγωγής στο θερμοκήπιο.

Όσον αφορά τη φωτοσύνθεση η θερμοκρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει την έντασή της και αυτό συμβαίνει όσο ο φωτισμός δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα.



Το φαινόμενο της αναπνοής είναι πολύ ευαίσθητο στις μεταβολές της θερμοκρασίας και υπάρχει μια άριστη θερμοκρασία , πέρα από την οποία η καθαρή αφομοίωση ελαττώνεται.

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

3.1.2 Σχετική υγρασία

Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι μίγμα αερίων (O₂, N, CO₂ κ.α.) και υδρατμών. Η σύνθεση αυτή στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μεταβάλλεται λόγω των φυσιολογικών λειτουργιών των φυτών και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

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

Σχετική υγρασία ονομάζουμε το λόγο της πυκνότητας των υδρατμών του αέρα προς αυτή του κορεσμένου αέρα, στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Εκφράζεται επί τοις % και είναι 0 για τον ξηρό αέρα και 100 για τον κορεσμένο αέρα. Στο χώρο γύρω από τα φυτά επιδιώκουμε η σχετική υγρασία να μην είναι ούτε πολύ υψηλή, διότι ευνοείται η ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών και εντόμων αλλά ούτε πολύ χαμηλή γιατί αυξάνεται υπερβολικά η διαπνοή από τα φύλλα των φυτών και ευνοείται η ανάπτυξη ακάρεων.

Έτσι η διαπνοή είναι εντονότερη το μεσημέρι καθώς τότε η σχετική υγρασία είναι στα χαμηλότερα επίπεδα και υπάρχει κίνηση του αέρα λόγω ανοιχτών παραθύρων. Αντίθετα τις βραδινές ώρες που ο αέρας ψύχεται η σχετική υγρασία αυξάνει και αφού δεν υπάρχει και σημαντικός εξαερισμός η υγρασία στο θερμοκήπιο αυξάνεται.

3.1.3 Διαπνοή

Η διαπνοή των φυτών είναι ίσως ο σημαντικότερος παράγοντας όχι μόνο της ρύθμισης του ισοζυγίου των υδρατμών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, αλλά και της διαμόρφωσης του θερμοκηπιακού μικροκλίματος. Αν και η διαπνοή είναι μορφή μετάδοσης θερμότητας, αφού εκφράζει το ρυθμό μετάδοσης υδρατμών, εντούτοις δεν έχει φυσική, αλλά βιολογική βάση. Η διαπνοή των φυτών γίνεται από τα στόματα και την επιδερμίδα των φύλλων. Επειδή η διαπνοή από την επιδερμίδα των φύλλων έχει πολύ μικρές τιμές ο κυριότερος ρυθμιστής της διαπνοής των φυτών είναι τα στόματα. Η λειτουργία της διαπνοής είναι απαραίτητη για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας των φυτών και την κυκλοφορία του χυμού μέσα σ' αυτά.

Η πιο χρησιμοποιούμενη σχέση για τον υπολογισμό της διαπνοής είναι αυτή των Penman – Monteith (Monteith, 1973), η οποία αναπτύχθηκε για καλλιέργειες ανοιχτού αγρού. Σύμφωνα με τη σχέση αυτή, η διαπνοή μιας καλλιέργειας, λE , μπορεί να εκφραστεί με την παρακάτω εξίσωση:

$$\lambda E = \frac{\Delta R G_i}{\Delta + \gamma(1 + g_a/g_c)} + \frac{\rho C_p D_i g_a}{\Delta + \gamma(1 + g_a/g_c)} \quad (1)$$

όπου : λE ο ρυθμός μεταφοράς υδρατμών από την καλλιέργεια στον περιβάλλοντα αέρα σε Wm^{-2} , $R G_i$ η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε Wm^{-2} , ρ η πυκνότητα του αέρα σε kg m^{-3} , C_p η ειδική θερμότητα του αέρα σε J kg K^{-1} , γ η ψυχομετρική σταθερά σε kPa K^{-1} , D_i το έλλειμμα κορεσμού του αέρα σε kPa [= $e_{is} - e_i$, με e_{is} να είναι η πίεση υδρατμών σε kPa του αέρα στον κορεσμό και e_i η πίεση των υδρατμών του αέρα σε kPa σε θερμοκρασία T_i], g_a η αεροδυναμική αγωγιμότητα σε m/s , g_c η στοματική αγωγιμότητα σε m/s και Δ είναι η κλίση της καμπύλης κορεσμού των υδρατμών του αέρα σε kPa K^{-1} στη θερμοκρασία του αέρα T_i .

Ο υπολογισμός της διαπνοής, σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, στηρίζεται στην παραδοχή του « μεγάλου φύλλου » (BL) και του ενιαίου μικροκλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Big leaf, Perfectly-Stirred-Tank, approach).

Σύμφωνα με την παραδοχή αυτή η καλλιέργεια νταλλάσει ενέργεια και μάζα με τον περιβάλλοντα αέρα σαν να επρόκειτο για ένα επίπεδο ομοιογενές φύλλο. Δηλαδή, το σύνολο των εσωτερικών αντιστάσεων της καλλιέργειας αντιπροσωπεύεται από μια τιμή που είναι συγκρίσιμη και επηρεάζεται από του ίδιους παράγοντες (όπως αυτή οτυ απλού φύλλου). Επίσης θεωρείται ότι ο αέρας πάνω από την καλλιέργεια είναι ομοιογενής (η τιμή της υγρασίας, της θερμοκρασίας, της ταχύτητας του αέρα και της συγκέντρωσης του CO₂ δε μεταβάλλεται), ενώ η μεταφορά ακτινοβολίας μεταξύ των φυτών είναι μηδενική.

Όπως προκύπτει από την εξίσωση (1), η διαπνοή της καλλιέργειας αξαρτάται από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και από το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, την υδατική κατάσταση δηλαδή του αέρα πολύ κοντά στο επίπεδο της καλλιέργειας.

3.1.4 Στοματική αγωγιμότητα

Η στοματική αγωγιμότητα έχει συσχετιστεί με κλιματικούς παράγοντες, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση του CO₂ στον αέρα καθώς επίσης και με το υδατικό δυναμικό της καλλιέργειας (Kaufmann 1982, Avissar *et al.* 1985, Grantz 1990, Baldocchi *et al.* 1987, Stanghellini 1987) ή με φυσιολογικούς παράγοντες όπως η φωτοσύνθεση (Ball *et al.* 1987, Collatz *et al.* 199, Leuning 1995) και η διαπνοή (Monteith 1973). Απ' όλους αυτούς τους παράγοντες η ακτινοβολία και κυρίως η απορροφούμενη μικρού μήκους παίζει το σπουδαιότερο ρόλο.

Οι Boulard *et al.* (1991) προσδιόρισαν πειραματικά τη στοματική αγωγιμότητα για καλλιέργεια τομάτας σε σχέση με την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία R_{Gi} και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, D_i .

$$g_c = 1 / \left\{ 200 \left(1 + \frac{1}{\exp(0.005(R_{gi} - 50))} \right) \times \left[1 + 0,11 \exp\left(0,34 \left(\frac{D_i}{100} - 10 \right) \right) \right] \right\} \quad (2)$$

Από τη Σχέση (2) φαίνεται και η σχέση της στοματικής αγωγιμότητας με δυο από τους κυριότερους παράγοντες που την επηρεάζουν, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα. Το πρώτο μέρος της Σχέσης (2) μας δείχνει πως η στοματική αγωγιμότητα αυξάνεται με την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας και διατηρεί μια σταθερή τιμή γύρω στα 5 mm/s, για τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας μεγαλύτερες από 100 Wm⁻². Το δεύτερο μέρος της σχέσης μας δείχνει πως η στοματική αγωγιμότητα μειώνεται, όταν η τιμή του ελλείμματος κορεσμού του αέρα πάρει τιμές μεγαλύτερες από 10 kPa.

3.1.5 Αεροδυναμική αγωγιμότητα

Η αεροδυναμική αγωγιμότητα g_a αντιπροσωπεύει τη μεταφορά των υδρατμών από την επιφάνεια της καλλιέργειας στον περιβάλλοντα αέρα.

Οι Boulard and Wang (2001) μέτρησαν την κατανομή των κλιματικών παραμέτρων στο εσωτερικό ενός τούνελ θερμοκηπίου με καλλιέργεια τομάτας χρησιμοποιώντας τρισδιάστατα ηχητικά ανεμόμετρα και αισθητήρες γρήγορης απόκρισης για την μέτρηση της θερμοκρασίας και υγρασίας και εκφράσανε την αεροδυναμική αγωγιμότητα συναρτήσει μόνο της ταχύτητας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου:

$$g_a = \frac{u_i^{0,8}}{220 * d_c^{0,2}} \quad (3)$$

όπου: u_i η ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και d_c το μήκος του φύλλου του φυτού της καλλιέργειας.

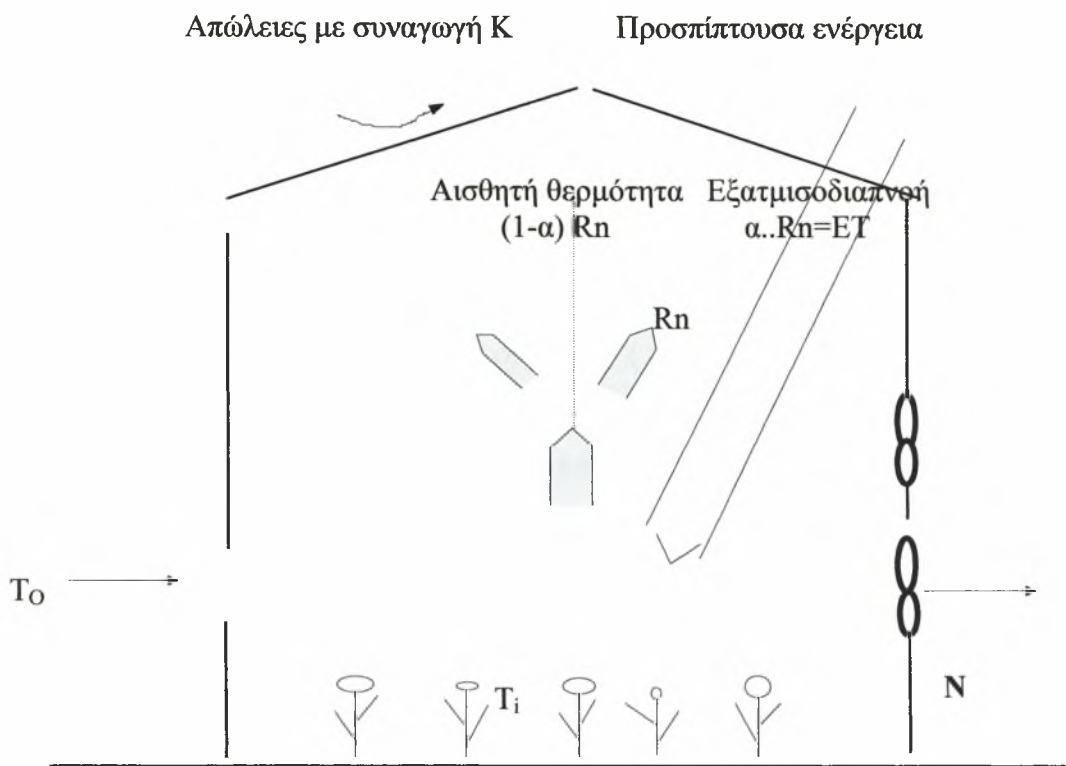
3.2 Το ενεργειακό ισοζύγιο στο θερμοκήπιο.

Πριν αναφερθούμε στις διάφορες τεχνικές ελέγχου των υπερθερμάνσεων στα θερμοκήπια θεωρούμε χρήσιμο να δώσουμε μια απλοποιημένη έκφραση του ισοζυγίου ενέργειας των θερμοκηπίων, η οποία περιγράφει αφενός το ενεργειακό κέρδος από την συμβολή της ηλιακής ενέργειας και αφετέρου τις διάφορες μορφές των απωλειών ενέργειας έτσι ώστε να αναλύσουμε τους μηχανισμούς θέρμανσης του εσωτερικού αέρος. Αγνοώντας την θερμική αδράνεια του εδάφους και της καλλιέργειας, το ενεργειακό ισοζύγιο του θερμοκηπίου γράφεται:

$$R_n \cdot (1-a) = \beta \cdot k \cdot (T_i - T_o) + \rho \cdot C_p \cdot N \cdot (Vol / A_s) (T_i - T_o) \quad (4)$$

όπου :

$T_o, T_i =$	Θερμοκρασίες του εξωτερικού και εσωτερικού αέρα, αντίστοιχα , (K)
$R_n =$	καθαρή ακτινοβολία (ηλιακή και θερμική) στην επιφάνεια του θερμοκηπίου, (Wm^{-2})
$a =$	λόγος της ροής της λανθάνουσας θερμότητας προς την καθαρή ακτινοβολία. Ο όρος $(1-a) R_n$ είναι κατά συνέπεια το μέρος της ενέργειας που απορροφάται από την επιφάνεια και μετατρέπεται σε αισθητή θερμότητα η οποία και θα αυξήσει την εσωτερική θερμοκρασία του θερμοκηπίου.
$k =$	Ολικός συντελεστής απωλειών θερμότητας (με συναγωγή, αγωγή και ακτινοβολία) του τοιχώματος του θερμοκηπίου εξαρτώμενος από το είδος του υλικού και την ταχύτητα τ του ανέμου ($Wm^{-2} ^\circ C^{-1}$).
$\beta =$	λόγος της επιφάνειας του τοιχώματος του θερμοκηπίου προς την επιφάνεια του εδάφους.
$A_s =$	επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου (m^2).
$Vol =$	όγκος του θερμοκηπίου (m^3).
$N =$	ρυθμός ωριαίας ανανέωσης του αέρα του θερμοκηπίου (h^{-1}).



Σχήμα 1. Σχηματική παράσταση ενεργειακού ισοζυγίου του θερμοκηπίου.

Το Σχήμα 1 σχηματοποιεί τους βασικούς όρους.

Από την εξίσωση (4) μπορούμε να υπολογίσουμε το T_i :

$$T_i = T_o + \frac{R_n (1-\alpha)}{\beta K + \rho C_p N (\text{Vol} / A_s)} \quad (5)$$

Από την Σχέση (5) φαίνεται, ότι μπορούμε να μειώσουμε το T_i ενεργώντας

- 1: στο R_n . Μπορούμε να μειώσουμε το R_n χρησιμοποιώντας κουρτίνες σκίασης .
- 2: στο α : αυξάνοντας το μέρος του R_n που εξατμίζεται, με διοχέτευση υδρατμού μέσα στο θερμοκήπιο (τεχνική ομίχλη, FOG-SYSTEM).
- 3: στο T_o : ψύχοντας τον εξωτερικό αέρα πριν τον διοχετεύσουμε στο θερμοκήπιο (σύστημα δροσισμού με ανεμιστήρες+ υγρή παρειά).
- 4: στο N : αυξάνοντας τον ρυθμό ανανέωσης του αέρα, (με φυσικό ή δυναμικό αερισμό).

Στη συνέχεια θα περιγραφούν τα ακόλουθα συστήματα ψύξης- κλιματισμού των θερμοκηπίων:

- Αερισμός (φυσικός, δυναμικός)
- Δροσισμός (σύστημα δυναμικού αερισμού+ υγρή παρειά, σύστημα υδρονέφωσης)
- Σκίαση(λεύκανση, κουρτίνες, φωτοεκλεκτικά υλικά κάλυψης).

3.3 Ψύξη θερμοκηπίων.

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στα μεσογειακά θερμοκήπια για την μείωση της θερμοκρασίας είναι τα *συστήματα αερισμού, τα συστήματα σκίασης και τα συστήματα δροσισμού*. Παρακάτω περιγράφονται τα διάφορα συστήματα ψύξης των θερμοκηπίων.

3.3.1 Αερισμός

Ο αερισμός ήταν πάντοτε ένα σημαντικό πρόβλημα για τις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις σε περιοχές με θερμό κλίμα. Επιτυγχάνεται είτε μηχανικά, μέσω συστήματος εξαερισμού, είτε φυσικά, με παράθυρα.

Γενικά σαν αερισμός θερμοκηπίου χαρακτηρίζεται ο ρυθμός ωριαίας ανανέωσης N , δηλαδή το πόσες φορές ο όγκος του θερμοκηπίου ανανεώνεται σε μια ώρα (h^{-1}). Η μονάδα που χρησιμοποιείται είναι το $m^3 * m^2 * s^{-1}$.

“ Κατανομή των παραμέτρων του μικροκλίματος σε θερμοκήπιο εξοπλισμένο με σύστημα υγρής παρειάς ” 27

Υπάρχουν τρεις λόγοι για να αερίσουμε ένα θερμοκήπιο: 1) για να μειώσουμε τη θερμοκρασία του αέρα, 2) για να ανανεώσουμε τον αέρα και 3) για να μειώσουμε την σχετική υγρασία.

Για τον αερισμό των θερμοκηπίων χρησιμοποιούνται συστήματα φυσικού και δυναμικού αερισμού. Στα συστήματα φυσικού αερισμού εκμεταλλευόμαστε το «φαινόμενο της καμινάδας» δηλαδή το φαινόμενο κατά το οποίο ο αέρας όταν θερμαίνεται γίνεται λιγότερο πυκνός και έτσι ανεβαίνει πιο ψηλά από τον κρύο αέρα. Έτσι τοποθετούμε 'παράθυρα' στην οροφή ή στα πλαϊνά του θερμοκηπίου τα οποία ανοίγουν με χειροκίνητους μηχανισμούς ή με αυτόματα συστήματα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο θερμός εσωτερικός αέρας να ανεβαίνει και βγαίνει από τα ανοίγματα της οροφής με συνδυασμό φυσικής και δυναμικής επαγωγής και αντικαθίσταται από ψυχρότερο εξωτερικό αέρα που εισέρχεται από τα πλαϊνά ανοίγματα. Ο φυσικός αερισμός είναι ο πλέον διαδεδομένο σύστημα που χρησιμοποιείται για τη μείωση της θερμοκρασίας, η αποτελεσματικότητά του όμως είναι περιορισμένη (Kittas et al. 2001).

Αντίθετα, με τον δυναμικό αερισμό επιτυγχάνεται ρυθμός ανανέωσης του αέρα μεγαλύτερος από 40 h^{-1} , με τη χρήση ανεμιστήρων οι οποίοι τοποθετούνται στο ένα άκρο του θερμοκηπίου. Υπάρχουν δυο συστήματα δυναμικού αερισμού. Το σύστημα υποπίεσης, στο οποίο ο ανεμιστήρας τοποθετείται στη μικρή πλαϊνή πλευρά και καθώς εξάγει τον εσωτερικό αέρα, λόγω υποπίεσης, αναγκάζει τον εξωτερικό αέρα να μπει από ανοίγματα που βρίσκονται στην απέναντι πλευρά. Τέλος υπάρχει και το σύστημα υπερπίεσης λόγω του οποίου ο εξωτερικός αέρας εισάγεται με πίεση στο θερμοκήπιο και ο θερμότερος αέρας του εσωτερικού βγαίνει από ανοίγματα. Αυτό το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για το σύστημα ψύξης με υγρή παρειά.



Εικόνα 3. Συστήματα αερισμού.

Ο δυναμικός αερισμός είναι σαφέστατα αποτελεσματικότερος του φυσικού αλλά δεν μπορεί να μειώσει την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε επίπεδα χαμηλότερα της εξωτερικής θερμοκρασίας. Έτσι ο αερισμός συνδιάζεται με άλλα συστήματα δροσισμού του θερμοκηπίου.

3.3.2 Σκίαση

Μια μέθοδος μείωσης της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι αυτή της σκίασης. Με αυτή τη μέθοδο μειώνεται η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία άρα και η θερμοκρασία. Για την μείωση της ακτινοβολίας επεμβαίνουμε:

- I. Στη διαπερατότητα του θερμοκηπίου
- II. Στη θερμοκρασία του τοιχώματος (κυρίως τη στέγη)
- III. Και στα δυο μαζί

Έτσι βλέπουμε δυο τύπους σκίασης : **α)** τη μόνιμη, η οποία επιτυγχάνεται με λεύκανση των τοιχωμάτων ή με εγκατάσταση σκίαστρου και **β)** την προσωρινή με κυκλοφορία υγρού στη στέγη.



Εικόνα 4. Συστήματα σκίασης.

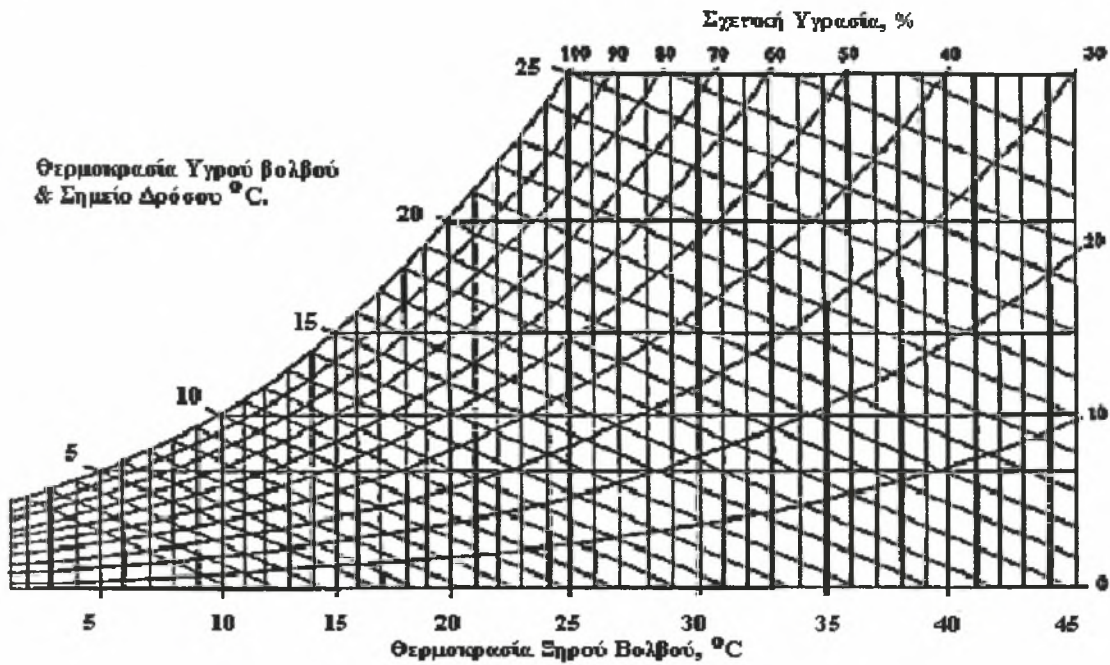
3.4 Συστήματα δροσισμού με εξάτμιση.

Σε πολλές περιοχές, περίοδοι του καλοκαιριού όπου επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες επιδρούν αρνητικά στην καλλιέργεια, καθώς η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μπορεί να είναι ως και 17° C μεγαλύτερη από τον έξω χώρο. Έτσι προκαλούνται προβλήματα στους βλαστούς, στα ανθικά στελέχη και κατά συνέπεια στην παραγωγή.

Το πρόβλημα αυτό ξεπεράστηκε με την ανάπτυξη των ενεργητικών συστημάτων δροσισμού. Τα συστήματα αυτά βασίζονται στην διαδικασία απορρόφησης θερμότητας κατά τη διάρκεια της εξάτμισης του νερού. Τα δυο συστήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι :

- το σύστημα υδρονέφωσης και
- το σύστημα παρειάς – ανεμιστήρων.

Για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των συστημάτων δροσισμού με εξάτμιση θα πρέπει να αναφερθούν κάποια βασικά στοιχεία για τις ιδιότητες του υγρού αέρα και τη χρήση του ψυχομετρικού χάρτη.



Εικόνα 5. Ψυχομετρικός χάρτης.

Ο ψυχομετρικός χάρτης, τον οποίο για πρώτη φορά σχεδίασε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα ο Γερμανός Μολιέ, δεν είναι παρά μια γραφική απεικόνιση της κατάστασης στην οποία βρίσκεται ο αέρας σε μια δεδομένη στιγμή. Έτσι πάνω στο χάρτη περιγράφονται τα παρακάτω χαρακτηριστικά του αέρα.

- *Θερμοκρασία Ξηρού Βολβού* αέρα είναι η θερμοκρασία που μετράμε με ένα κλασικό θερμόμετρο. Είναι δηλαδή η θερμοκρασία που έχει ο αέρας, στις συγκεκριμένες συνθήκες που επικρατούνε στην ατμόσφαιρα εκείνη την στιγμή. Στον ψυχομετρικό χάρτη αυτή η τιμή φαίνεται στον οριζόντιο άξονα.

- *Θερμοκρασία Υγρού Βολβού* είναι η θερμοκρασία που μετράμε με ένα κλασικό θερμόμετρο στον βολβό του οποίου έχουμε τοποθετήσει ένα φυτίλι του οποίου η άλλη άκρη είναι βυθισμένη σε νερό. Η ένδειξη που δείχνει το θερμόμετρο, καθώς εξατμίζεται το νερό, είναι η υγρή θερμοκρασία του αέρα. Η υγρή θερμοκρασία είναι πάντα πιο μικρή από την ξηρή θερμοκρασία. Η μόνη περίπτωση που η ξηρή με την υγρή θερμοκρασία είναι ίσες είναι όταν ο αέρας βρίσκεται σε κορεσμό, δηλαδή έχει σχετική υγρασία 100%.

▫ *Ενθαλπία* είναι το μέτρο της ενέργειας που βρίσκεται στον αέρα. Η μέτρηση της ενθαλπίας γίνεται με σχετικό τρόπο. Δηλαδή η περιεχόμενη ενέργεια στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από το σημείο αναφοράς ή από το σημείο που έχουμε επιλέξει ως μηδέν. Η ενθαλπία στον ψυχομετρικό χάρτη φαίνεται στην γραμμική κλίμακα που βρίσκεται στην αριστερή μεριά του ψυχομετρικού χάρτη.

▫ *Σχετική Υγρασία* είναι το ποσοστό υγρασίας που υπάρχει στον αέρα, σε σχέση με την μέγιστη υγρασία που μπορεί να συγκρατήσει. Η ποσότητα υγρασίας που μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας εξαρτάται από την ξηρή του θερμοκρασία. Συγκεκριμένα όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία του αυξάνει και η μέγιστη ποσότητα νερού που μπορεί να συγκρατήσει. Επίσης όταν αναφερόμαστε στην σχετική υγρασία του αέρα θα πρέπει να αναφέρουμε και την ξηρή θερμοκρασία του. Η σχετική υγρασία φαίνεται στον ψυχομετρικό χάρτη στις καμπύλες που ξεκινάνε από την κάτω αριστερή μεριά του και καταλήγουν στην πάνω δεξιά. Κάθε καμπύλη δείχνει και διαφορετική τιμή σχετικής υγρασίας αυξάνοντας από κάτω προς τα πάνω.

▫ *Σημείο Δρόσου* είναι το σημείο εκείνο στο οποίο ο αέρας δεν μπορεί να κρατήσει άλλη ποσότητα υγρασίας, γίνεται δηλαδή κορεσμένος. Η πλεονάζουσα υγρασία θα συμπυκνωθεί και θα μετατραπεί σε νερό το οποίο θα εναποτεθεί σε κάποια επιφάνεια. Επίσης αν κάποια ποσότητα αέρα, στην οποία διατηρούμε σταθερή την ποσότητα υγρασίας που περιέχει, αρχίσουμε να μειώνουμε την θερμοκρασία θα φτάσουμε κάποια στιγμή στο σημείο δρόσου. Το σημείο δρόσου φαίνεται στον ψυχομετρικό χάρτη πάνω στην γραμμή κορεσμού (σχετική υγρασία 100%).

3.4.1 Σύστημα υδρονέφωσης

Με το σύστημα τεχνητής ομίχλης επιτυγχάνεται μετατροπή της αισθητής θερμότητας, που οφείλεται στην προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, σε λανθάνουσα, με εξάτμιση νερού που ψεκάζεται στον αέρα του θερμοκηπίου. Τα συστήματα δροσισμού με τεχνητή ομίχλη χωρίζεται σε συστήματα 1) υψηλής και 2) χαμηλής πίεσης. Τα υψηλής πίεσης λειτουργούν με πίεση περίπου 60 bar και ψεκάζουν σταγονίδια νερού της τάξης των μερικών δεκάδων μm, δημιουργώντας ομίχλη.

Τα χαμηλής πίεσης συστήματα λειτουργούν στα 5 bar και ψεκάζουν μεγαλύτερες σταγόνες (200 μm), διαβρέχοντας την καλλιέργεια. Έτσι η εξάτμιση γίνεται πλέον στα φύλλα.

Τα κυριότερα μέρη του συστήματος τεχνητής ομίχλης είναι :

- ⇒ Η αντλία παροχής νερού,
- ⇒ Ένα δίκτυο σωλήνων για την διανομή του νερού,
- ⇒ Τα ακροφύσια τα οποία ψεκάζουν με μικρή ή μεγάλη πίεση το νερό και
- ⇒ Ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου που βασίζεται στη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του θερμοκηπίου.

Το σύστημα τεχνητής ομίχλης διαφέρει από το σύστημα με την υγρή παρειά και τον ανεμιστήρα στο ότι η εξάτμιση του νερού πραγματοποιείται σε όλο τον όγκο του θερμοκηπίου και επιτρέπουν τη δημιουργία ομοιογενών συνθηκών (Montero et al. 1990). Αντίθετα μειονέκτημά της είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης και στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί σύστημα χαμηλής πίεσης, μέρος της εξάτμισης θα γίνει στο φύλλωμα της καλλιέργειας πράγμα μη επιθυμητό.

Τέλος η απόδοση των συστημάτων αυτών είναι πολύ ικανοποιητικές όταν γίνεται καλή διαχείριση του αερισμού και όταν στο περιβάλλον επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλή υγρασία.

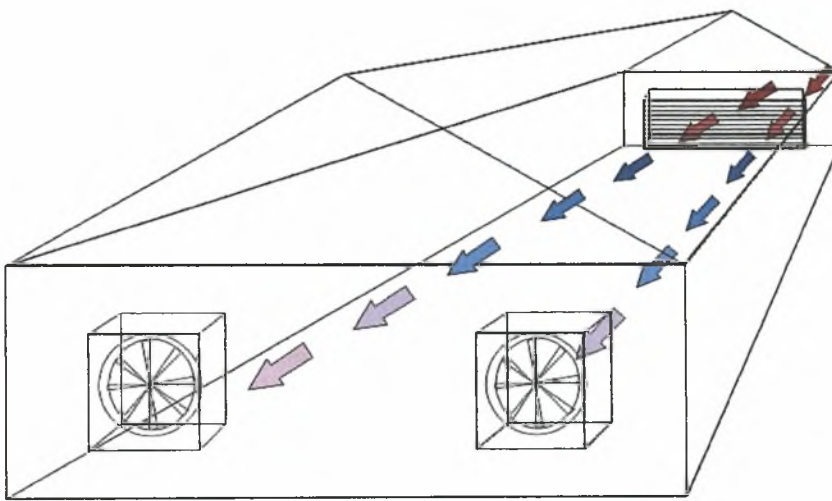


Εικόνα 6. Σύστημα δροσισμού με τεχνητή ομίχλη.

3.4.2 Σύστημα υγρής παρειάς – ανεμιστήρων.

Ο δροσισμός με εξάτμιση είναι μια διαδικασία η οποία μειώνει τη θερμοκρασία αέρος με την εξάτμιση νερού μέσα στο ρεύμα αέρα το οποίο δημιουργείται μεταξύ της υγρής παρειάς και των ανεμιστήρων. Καθώς τα σταγονίδια του νερού εξατμίζονται, χάνεται ενέργεια από τον αέρα, κάτι που προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας.

Όπως αναφέρθηκε και πριν για να πετύχουμε τη δημιουργία ρεύματος αέρα χρησιμοποιούμε το σύστημα υγρής παρειάς-ανεμιστήρων (pad and fan system) όπως αυτό φαίνεται στην Εικόνα 7.



Εικόνα 7. Απεικόνιση λειτουργίας συστήματος υγρής παρειάς – ανεμιστήρων.

Έτσι στη μια πλευρά του θερμοκηπίου τοποθετούνται οι ανεμιστήρες και από την άλλη η παρειά με ένα σύστημα κυκλοφορίας νερού μέσω του οποίου υγραίνεται.

Για τη σωστή λειτουργία και καλύτερη απόδοση του συστήματος απαιτείται καλή μόνωση του θερμοκηπίου, καλή συντήρηση και οπωσδήποτε καλή διαχείριση του υπάρχοντος υλικού.

Το σύστημα βεβαίως δεν λειτουργεί όλη μέρα και κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες αλλά υπάρχουν θερμοστάτες και μετρητές υγρασίας, με τη βοήθεια των οποίων ρυθμίζουμε το κλίμα. Έτσι όταν επικρατούν οι συνθήκες που έχουν οριστεί ανοίγουν οι εξαεριστήρες ώστε να δημιουργηθεί ρεύμα αέρα ενώ παράλληλα λειτουργεί και η αντλία νερού ώστε να υγρανθεί η παρειά.

3.4.2.1 Περιγραφή του συστήματος

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται το σύστημα είναι :

- τις παρειές,
- τους ανεμιστήρες,
- τις δεξαμενές αποθήκευσης του νερού,
- τις αντλίες μεταφοράς και παροχής του νερού από τις δεξαμενές στην κορυφή των παρειών και
- τις υδρορροές συλλογής του νερού που περνά από τις παρειές, δεν εξατμίζεται και επαναχρησιμοποιείται.

Κάθε ένα από αυτά πρέπει να πληρεί κάποιες προδιαγραφές έτσι ώστε το σύστημα να λειτουργεί κανονικά και να έχει ικανοποιητικές αποδόσεις.

3.4.2.1.1 Η υγρή παρειά.

Η παρειά αποτελείται από ένα φίλτρο πάχους 5-30 cm, και είναι έτσι φτιαγμένη ώστε να έχει πολύ μεγάλη επιφάνεια εξάτμισης ανά τετραγωνικό μέτρο (40-60 m²/m²). Τοποθετείται συνήθως κάθετα προς το έδαφος, 60 cm πάνω από την επιφάνειά του και σε όλο το μήκος της πλευράς. Δύο είναι τα κύρια υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των υγρών τοιχωμάτων, η *κυτταρίνη* και οι *ίνες ξύλου*, ενώ υπάρχουν και άλλα υλικά όπως ίνες αλουμινίου, ίνες γυαλιού και πλαστικό.



Εικόνα 8. Αποψη υγρής παρειάς.

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε με την υγρή παρειά είναι ότι με την πάροδο του χρόνου, και ανάλογα με την αλατότητα του νερού που χρησιμοποιούμε, έχουμε σχηματισμό αλάτων στην παρειά με αποτέλεσμα την μείωση της απόδοσής της.

Μπορούμε να επιβραδύνουμε την εμφάνιση του προβλήματος αν διαβρέχουμε την παρειά με περισσότερο νερό από αυτό που χρειάζεται και με ανανέωση ενός μέρους του νερού που χρησιμοποιεί το σύστημα. Ένα άλλο μέτρο για να επιμηκύνουμε την περίοδο χρήσης της παρειάς, είναι όταν έχουν εναποτεθεί κάποια άλατα να εμβαπτίσουμε την υγρή παρειά σε δεξαμενή με αραιό διάλυμα υδροχλωρίου.

Πέρα από τα άλατα μπορεί να δημιουργηθεί μούχλα στην παρειά η οποία θα φράξει τις διόδους της παρειάς και θα μειώσει την αποδοτικότητά της.

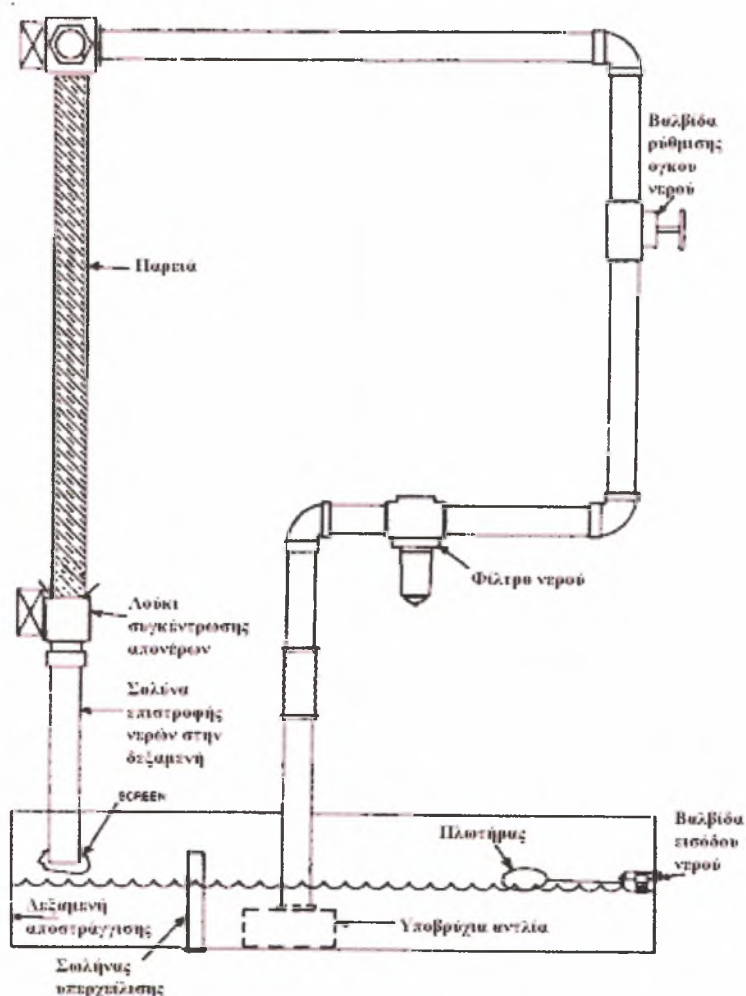
3.4.2.1.2 Σύστημα διαβροχής της παρειάς.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως είναι πολύ σημαντικό η παρειά να διαβρέχεται ομοιόμορφα. Η διαβροχή της γίνεται με ένα σωλήνα στον οποίο υπάρχουν οπές από τις οποίες εκτοξεύεται το νερό. Οι οπές είναι προσανατολισμένες προς τα επάνω και καθώς εκτοξεύεται το νερό προσκρούει σε μία κήλη επιφάνια (συνήθως είναι ένα κομμάτι ενός σωλήνα) και διασκορπίζεται. Από εκεί πέφτει πάνω σε ένα κομμάτι παρειάς ύψους 5 cm και πάχους ίδιο με αυτό της παρειάς που χρησιμοποιούμε, έτσι ώστε να γίνει ακόμα καλύτερη διανομή του νερού. Τέλος το νερό καταλήγει στην παρειά την οποία διαβρέχει.

Στο κάτω μέρος της παρειάς υπάρχει μία υδρορροή στην οποία συλλέγονται τα νερά που δεν εξατμίστηκαν στην παρειά και οδηγούνται σε μία δεξαμενή. Εκεί παραμένουν για λίγο μέχρι να ψυχθούν, έτσι ώστε να έχουμε καλύτερη απόδοση, και μετά οδηγούνται πάλι για χρήση. Στην δεξαμενή υπάρχει και ένας πλωτήρας ο οποίος ελέγχει την στάθμη του νερού στην δεξαμενή, έτσι ώστε μία ζεστή μέρα όπου θα έχουμε μεγάλη εξάτμιση, μόλις η στάθμη του νερού στην δεξαμενή πέσει κάτω από ένα επίπεδο θα αναπληρωθεί το νερό που χάθηκε για να μπορέσει να συνεχίσει να λειτουργεί σωστά το σύστημα (Εικόνα 9).

Η ποσότητα του νερού που πρέπει να κυκλοφορεί στην παρειά εξαρτάται από το είδος της παρειάς και τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν. Έτσι όσο πιο ζεστές είναι οι συνθήκες και όσο πιο παχιά η παρειά τόσο περισσότερο νερό έχει ανάγκη η παρειά, για να διατηρείται συνεχώς υγρή. Ο υπολογισμός της ποσότητας νερού που χρειάζεται ένα σύστημα για να λειτουργήσει γίνεται με βάση τις υψηλότερες απαιτήσεις του συστήματος, που παρουσιάζονται όταν η θερμοκρασία εξωτερικού αέρα είναι υψηλή.

Εδώ θα πρέπει να προσέξουμε έτσι ώστε η ποσότητα του νερού να είναι τέτοια έτσι ώστε να μην οδηγεί σε μείωση της επιφάνειας εξάτμισης, λόγω της φραγής ορισμένων πόρων της παρειάς. Από την άλλη θέλουμε να έχουμε ικανοποιητική ροή νερού έτσι ώστε να ξεπλένεται συνεχώς η παρειά από σκόνη και άλατα που μπορεί να συγκεντρωθούν.



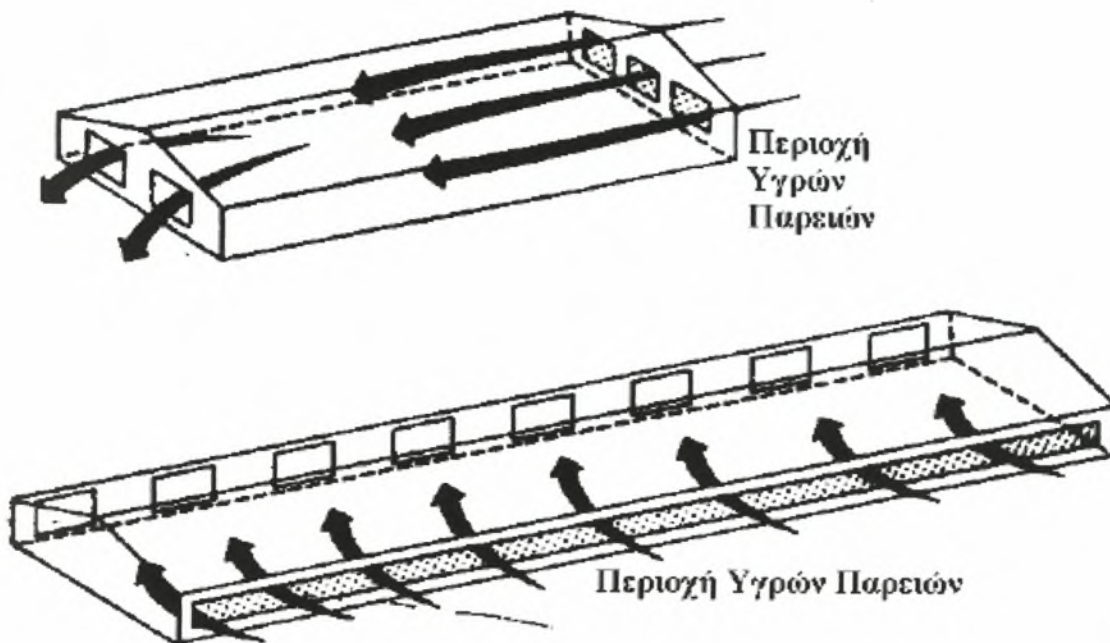
Εικόνα 9. Σύστημα διαβροχής της παρειάς.

3.4.2.1.3 Επιλογή και εγκατάσταση ανεμιστήρων.

Όσον αφορά την τοποθέτηση των ανεμιστήρων στο θερμοκήπιο, υπάρχουν κάποιες κανόνες τους οποίους πρέπει να ακολουθούμε έτσι ώστε να έχουμε υψηλή απόδοση του συστήματος. Το βασικότερο είναι οι ανεμιστήρες να τοποθετούνται στην υπήνεμη πλευρά του θερμοκηπίου. Με αυτό τον τρόπο έχει παρατηρηθεί αύξηση της απόδοσης κατά 10%. Για να έχουμε καλή λειτουργία του συστήματος θα πρέπει η απόσταση μεταξύ παρειάς και εξαεριστήρων να μην υπερβαίνει τα 40 m. Σε περίπτωση που το μήκος του θερμοκηπίου είναι μεγαλύτερο τότε τοποθετούνται οι ανεμιστήρες στην οροφή του θερμοκηπίου, στο μέσο του και δημιουργούμε δύο τοιχώματα με υγρή παρειά, ένα σε κάθε πλευρά. Η μέθοδος αυτή βέβαια προκαλεί σοβαρά προβλήματα σκίασης. Ένας άλλος τρόπος είναι να τοποθετήσουμε την παρειά και τους εξαεριστήρες στην μεγάλη πλευρά του θερμοκηπίου (Εικόνα 10).

Κάτι άλλο το οποίο θα πρέπει να προσέχουμε είναι η απόσταση μεταξύ των ανεμιστήρων στην ίδια πλευρά να μην υπερβαίνει τα 7 m. Όλοι οι ανεμιστήρες θα πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο ύψος, κατά προτίμηση στο επίπεδο των φυτών, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται μία ομοιόμορφη ροή αέρα ανάμεσα στα φυτά. Βασικό είναι να προσέξουμε ώστε στην έξοδο του ανεμιστήρα, να μην υπάρχει κάποιο εμπόδιο σε απόσταση μικρότερη από 1,5 φορές την διάμετρο του ανεμιστήρα. Επίσης σε συγκροτήματα θερμοκηπίων δεν θα πρέπει να στέλνει ο ένας εξαεριστήρας τον αέρα προς κάποιον άλλο, έκτος και αν βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από 10 m. Ακόμα δεν θα πρέπει να στέλνει τον ζεστό και υγρό αέρα προς κάποια υγρή παρειά απέναντι θερμοκηπίου, αν η απόσταση που χωρίζει τα δύο θερμοκήπια είναι μικρότερη από 15 m.

Τέλος θα πρέπει οι ανεμιστήρες να προστατεύονται από τα στοιχεία της φύσης με στέγαστρα, καθώς επίσης να έχουν προστατευτική σίτα για να αποφεύγονται τραυματισμοί.



Εικόνα 10. Τοποθέτηση παρειάς και ανεμιστήρων ανάλογα με το μήκος του θερμοκηπίου.

3.4.2.1.4 Διαστασιολόγηση του συστήματος.

▪ Παροχή αερισμού

Η απαιτούμενη παροχή αερισμού q ($\text{m}^3 \text{m}^2 \text{s}^{-1}$) ενός θερμοκηπίου εξοπλισμένου με σύστημα υγρής παρειάς προκειμένου να επιτευχθεί μια επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία δίνεται από την Σχέση 6

$$q = \frac{(1-\alpha)}{\rho c \phi} * \frac{(\tau R_{s,o})}{T_i - T_p} - \frac{U}{\rho c \phi} * \frac{T_i - T_o}{T_i - T_p} \quad (6)$$

όπου:

- $(1-\alpha)$ ο λόγος της εισερχόμενης στο θερμοκήπιο ηλιακής ενέργειας που χρησιμοποιείται για την θέρμανση του αέρα του θερμοκηπίου
- ρ , η πυκνότητα του αέρα, 1.2 kg/m^3
- c , η ειδική θερμότητα του αέρα, $1000 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

- ϕ , συντελεστής ο οποίος σχετίζεται με τη μίξη του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου
- T_P , η θερμοκρασία του αέρα αμέσως μετά την υγρή παρειά ($^{\circ}\text{C}$).

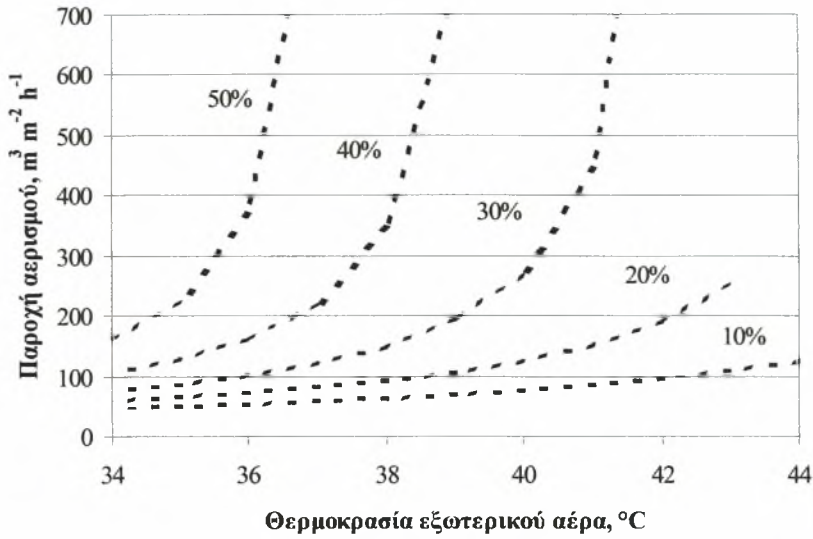
▪ Διαστάσεις υγρής παρειάς.

Η ταχύτητα του αέρα διαμέσου της υγρής παρειάς δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 1,5 m/s. Σε περιπτώσεις μεγαλύτερης ταχύτητας του αέρα προκαλείται υπερβολική πτώση πίεσης η οποία μειώνει την απόδοση των ανεμιστήρων. Έτσι σύμφωνα με αυτό υπολογίζεται η απαιτούμενη επιφάνεια της υγρής παρειάς η οποία προκύπτει από το λόγο της συνολικής παροχής (σε m^3/s) προς την επιτρεπόμενη ταχύτητα.

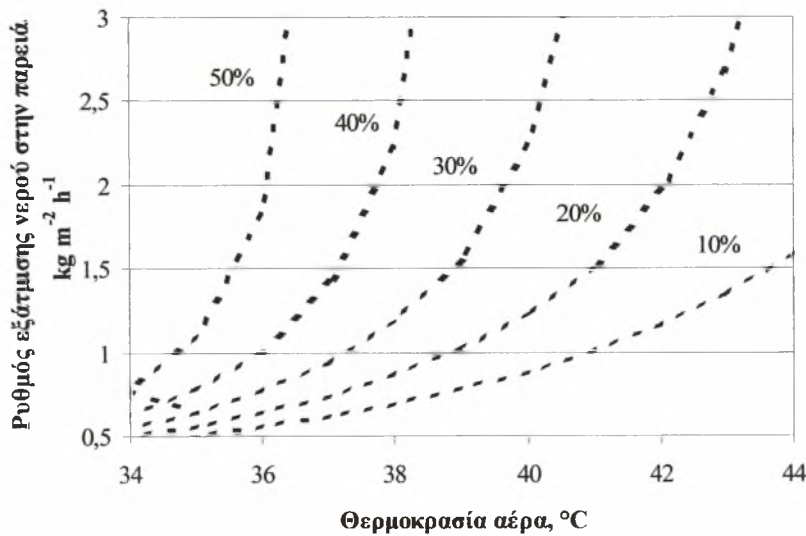
▪ Παροχή νερού στην υγρή παρειά.

Η απαιτούμενη παροχή νερού στην υγρή παρειά μπορεί να υπολογιστεί αφού πρώτα προσδιοριστεί, ανάλογα με τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες και την απόδοση της παρειάς, η ποσότητα του νερού που θα εξατμίζεται από την υγρή παρειά ανά m^3 αέρα που εισέρχεται στο θερμοκήπιο. Αφού γνωρίζουμε την παροχή αερισμού, πολλαπλασιάζουμε την ποσότητα του νερού που εξατμίζεται με την παροχή αερισμού και έτσι προκύπτει η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται από την παρειά. Για την καλή λειτουργία του συστήματος θα πρέπει η διαβροχή της παρειάς να γίνεται με κάποια μεγαλύτερη ποσότητα νερού από αυτή που εξατμίζεται. Μεγάλη η μικρότερη παροχή νερού δημιουργούν αμφότερες προβλήματα οπότε παροχή ίση με την ποσότητα του νερού που εξατμίζεται αυξημένη κατά 30 % θεωρείται ικανοποιητική.

Στη συνέχεια δίνονται, ως παράδειγμα εφαρμογής των παραπάνω, δύο διαγράμματα από τα οποία μπορεί να υπολογιστεί η απαραίτητη παροχή αερισμού (Σχήμα 3) και η ποσότητα του νερού που θα εξατμίζεται στην υγρή παρειά (Σχήμα 4) σε θερμοκήπιο εξοπλισμένο με σύστημα δυναμικού αερισμού και υγρής παρειάς προκειμένου να επιτευχθεί θερμοκρασία 30°C στο εσωτερικό του θερμοκηπίου για διάφορες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας του εξωτερικού αέρα του θερμοκηπίου. Η ένταση στις ηλιακής ακτινοβολίας για την οποία έχουν γίνει οι υπολογισμοί είναι 900 W m^{-2} η διαπερατότητα του θερμοκηπίου έχει τιμή $\tau = 0.7$, ο συντελεστής $\alpha = 0.5$ και η απόδοση του συστήματος $Eff = 80\%$.



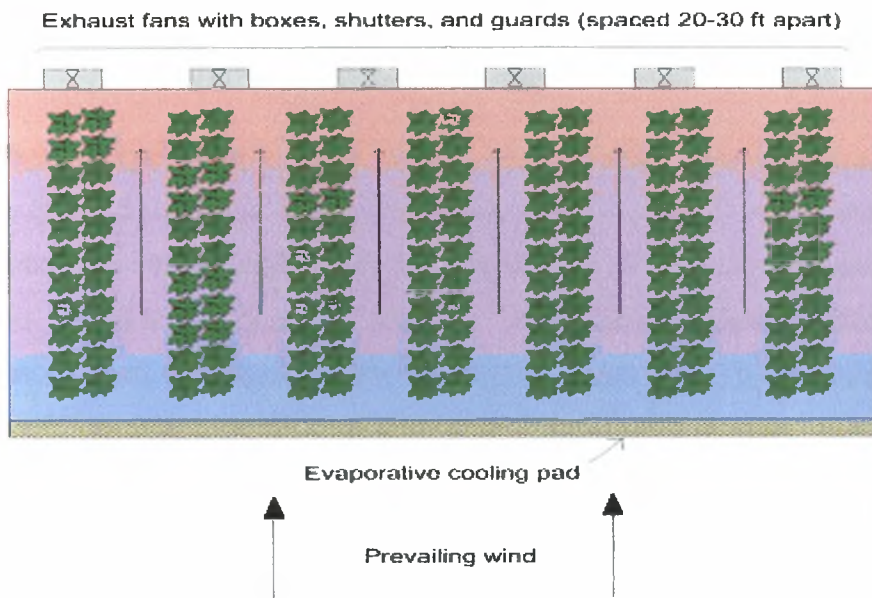
Σχήμα 3. Απαιτούμενη παροχή αερισμού για δροσίσιμό θερμοκηπίου με σύστημα υγρής παρειάς προκειμένου να επιτύχουμε στο εσωτερικό του θερμοκηπίου 30 $^{\circ}\text{C}$.



Σχήμα 4. Ποσότητα του νερού που εξατμίζεται στην υγρή παρειά αερισμού προκειμένου να επιτύχουμε στο εσωτερικό του θερμοκηπίου 30 $^{\circ}\text{C}$.

3.4.2.1.5 Πλεονεκτήματα και αδυναμίες του συστήματος.

Το σημαντικότερο ίσως πρόβλημα του συστήματος είναι η βαθμιαία αύξηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου. αύξηση αυτή δεν είναι επιθυμητή γιατί επηρεάζει την σωστή λειτουργία και ανάπτυξη του φυτού και κατ' επέκταση και την παραγωγή με οικονομικές συνέπειες. Οι κυριότερες συνέπειες από την αύξηση της θερμοκρασίας είναι η αύξηση της διαπνοής του φυτού σε μεγάλο βαθμό, μέχρι σημείου να στρεσαριστεί και να κλείσει τα στόματα με αποτέλεσμα την μείωση της φωτοσύνθεσης. Επίσης η αυξημένη υγρασία είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη γιατί μπορεί να έχουμε υγροποιήσεις και να ευνοηθεί έτσι η ανάπτυξη ασθενειών.



Εικόνα 11. Η βαθμιαία αύξηση της θερμοκρασίας φαίνεται με την αλλαγή του χρώματος κατά μήκος του θερμοκηπίου.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτό που γίνεται είναι να κρατάμε την ταχύτητα του αέρα σε όσο το δυνατόν υψηλότερα επίπεδα, χωρίς όμως να είναι αρνητικά για την καλλιέργεια, καθώς και η προοδευτική σκίαση του θερμοκηπίου έτσι ώστε να περιορίσουμε την εισερχόμενη ακτινοβολία με σκοπό την μείωση της αύξησης της θερμοκρασίας.

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του συστήματος είναι η υψηλή του αποδοτικότητα (από 80- 90%), το χαμηλό κόστος εγκατάστασης σε σχέση με ένα σύστημα υδρονέφωσης υψηλής πίεσης και το γεγονός ότι μπορεί να λειτουργεί με υψηλή απόδοση ακόμα και όταν η ποιότητα του νερού δεν είναι τόσο καλή σε αντίθεση με το σύστημα υδρονέφωσης όπου η καλή ποιότητα του νερού είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την καλή λειτουργία του συστήματος.

3.4.2.1.6 Απόδοση του συστήματος.

Η απόδοση του συστήματος μετριέται από την μείωση που προκαλείται στην θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα και δίνεται από την Σχέση 7:

$$E = (T_{dout} - T_{dpad}) / (T_{dout} - T_{wout}) \quad (7)$$

όπου T_{dout} είναι η θερμοκρασία ξηρού βολβού του εξωτερικού αέρα, T_{dpad} είναι η θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα μόλις εξέρχεται από την υγρή παρειά και T_{wout} είναι η θερμοκρασία υγρού βολβού του εξωτερικού αέρα. Από αυτή φαίνεται ότι η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από την θερμοκρασία ξηρού βολβού του εξωτερικού αέρα, από την θερμοκρασία που έχει ο αέρας μόλις βγαίνει από την παρειά και από την θερμοκρασία υγρού βολβού του εξωτερικού αέρα. Εξαρτάται δηλαδή από τη διαφορά $T_{dout} - T_{wout}$. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η διαφορά (ξηροθερμικές συνθήκες) τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση.

3.5 Σκοπός της εργασίας.

Σκοπός της εργασίας ήταν η πειραματική διερεύνηση των παραμέτρων που καθορίζουν την απόδοση του συστήματος δροσισμού θερμοκηπίων με υγρή παρειά και ανεμιστήρες. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκε πειραματικά η επίδραση των συνθηκών του περιβάλλοντος, όπως θερμοκρασία, υγρασία και ηλιακή ακτινοβολία στην απόδοση του συστήματος.

Ι Ι

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Υλικά και μέθοδοι

4.1 Τοποθεσία πειράματος – Περιγραφή του θερμοκηπίου.

Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στην περιοχή του Βελεστίνου του Νομού Μαγνησίας. Το αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ} 44'$ και μήκος $22^{\circ} 79'$. Το υψόμετρο είναι 85m και απέχει 17 km από τον Βόλο.

Το θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε είναι τροποποιημένο τοξωτό, υαλόφρακτο. Έχει πλάτος 10,3 m και μήκος 30 m, καταλαμβάνοντας 309 m^2 . Το ύψος του ορθοστάτη είναι 3 m και το ύψος του κορφιά 4,65 m. Το θερμοκήπιο είναι εξοπλισμένο με πλαϊνά ανοίγματα αερισμού διαστάσεων 1,5 m x 22,5 m και με σύστημα δροσισμού με υγρή παρειά και ανεμιστήρα.



Εικόνα 12. Το πειραματικό θερμοκήπιο.



Εικόνα 13. Παρειά και ανεμιστήρας του πειραματικού θερμοκηπίου.

4.2 Περιγραφή των οργάνων μέτρησης.

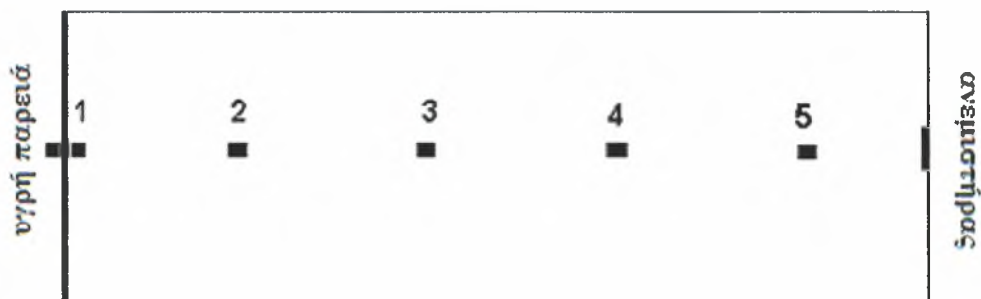
Οι μετρήσεις στο εξωτερικό του θερμοκηπίου έγιναν με τα εξής όργανα :

1. Η θερμοκρασία και η υγρασία μετρήθηκαν με τη βοήθεια ψυχομέτρων υγρού και ξηρού βολβού (Model VP1, Delta- T devises),
2. η ηλιακή ακτινοβολία (σε W/m^2) με τη βοήθεια τριών ηλιακών πυρανομέτρων (Model CM-6, Kipp και Zonen) και
3. η ταχύτητα ανέμου με ανεμόμετρα 3 κυπέλλων (Model AN1-UM-3, Delta-T devises) και η διεύθυνση με αισθητήρα διεύθυνσης ανέμου (Model WD1-UM-3, Delta -T devices).



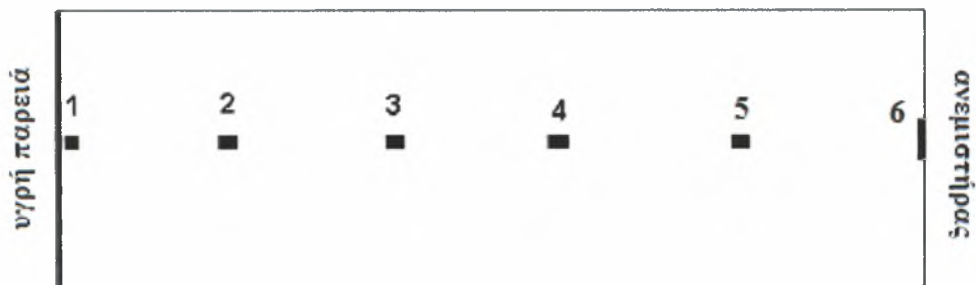
Εικόνα 14. Εξωτερικός μετεωρολογικός ιστός για την καταγραφή των εξωτερικών κλιματικών παραμέτρων.

Στο εσωτερικό του θερμοκηπίου για την καταγραφή θερμοκρασίας και υγρασίας χρησιμοποιήθηκαν ψυχρόμετρα (Model VP1, Delta- T devises). Τα όργανα μέτρησης ήταν τοποθετημένα όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.



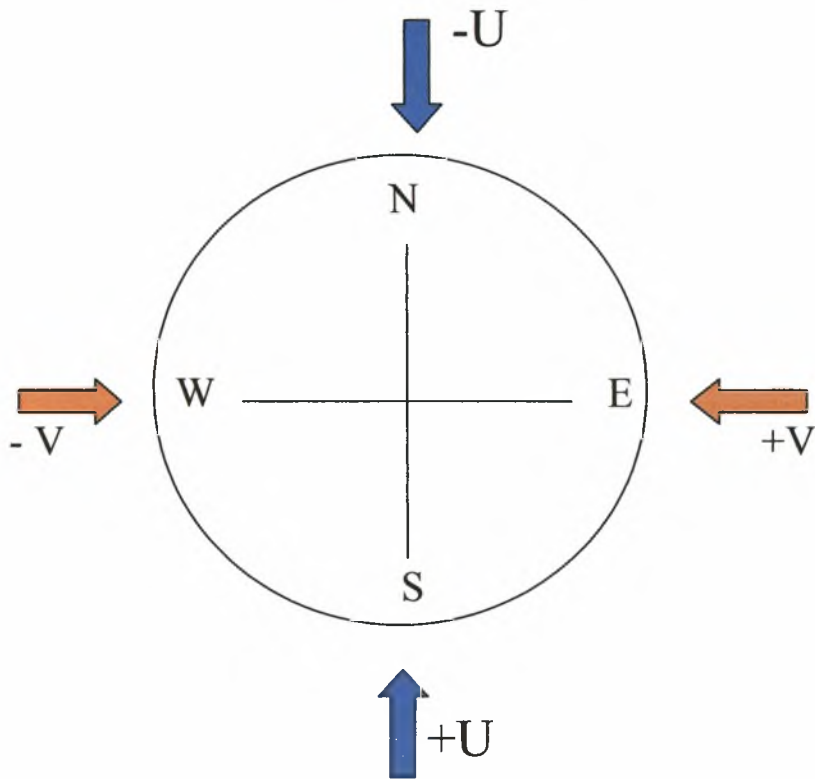
Σχήμα 5. Διάταξη οργάνων μέτρησης στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Η ταχύτητα του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μετρήθηκε με δισδιάστατο ηχητικό ανεμόμετρο (WindSonic, Gill Instruments Ltd, UK) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6. Οι μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε 1 δευτερόλεπτο και καταγραφόταν η μέση τιμή τους.



Σχήμα 6. Θέσεις μέτρησης της ταχύτητας του αέρα .

Το ανεμόμετρο δίνει μετρήσεις σε δυο άξονες, τον U και τον V, οι οποίοι είναι κάθετοι μεταξύ τους όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7. Στο πείραμά μας ο άξονας U είναι κάθετος στην παρειά.



Σχήμα 7. Πολικότητα αξόνων U και V.

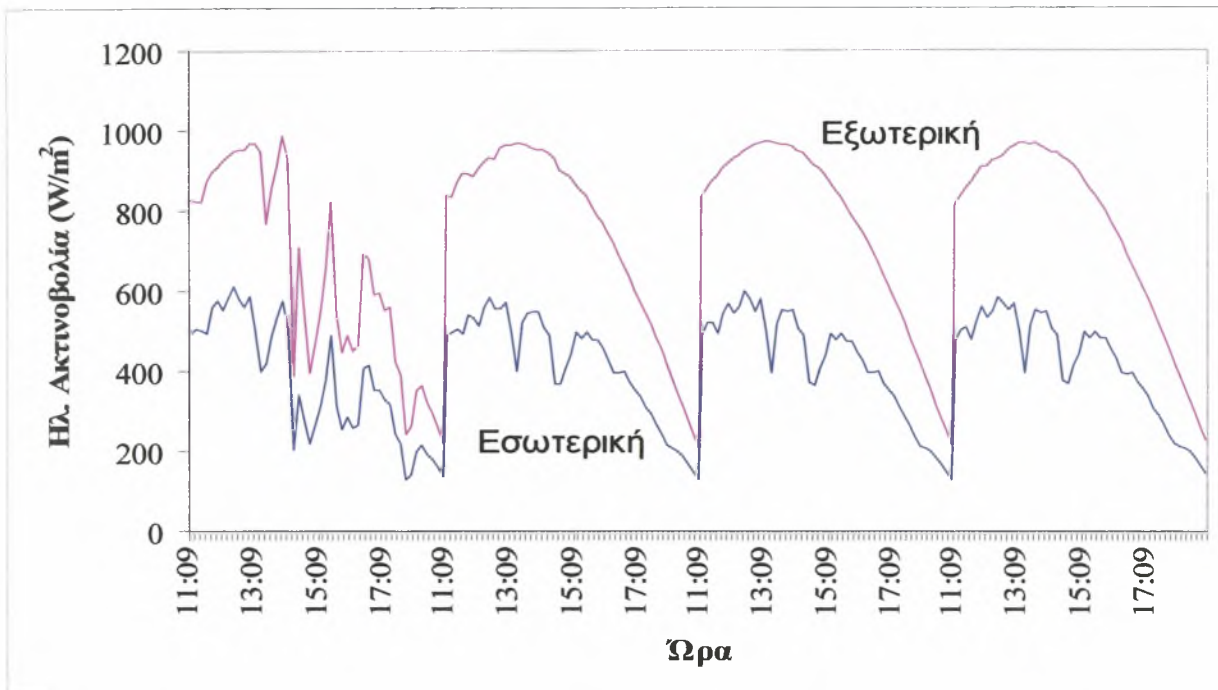
Για τη συλλογή, την αρχική επεξεργασία και την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων (DL 3000, Delta-T Devices, Cambridge, UK).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα αναφέρονται σε τέσσερις συνεχόμενες τυπικές ημέρες της περιόδου των μετρήσεων. Αυτές είναι 19 – 22/07/2005.

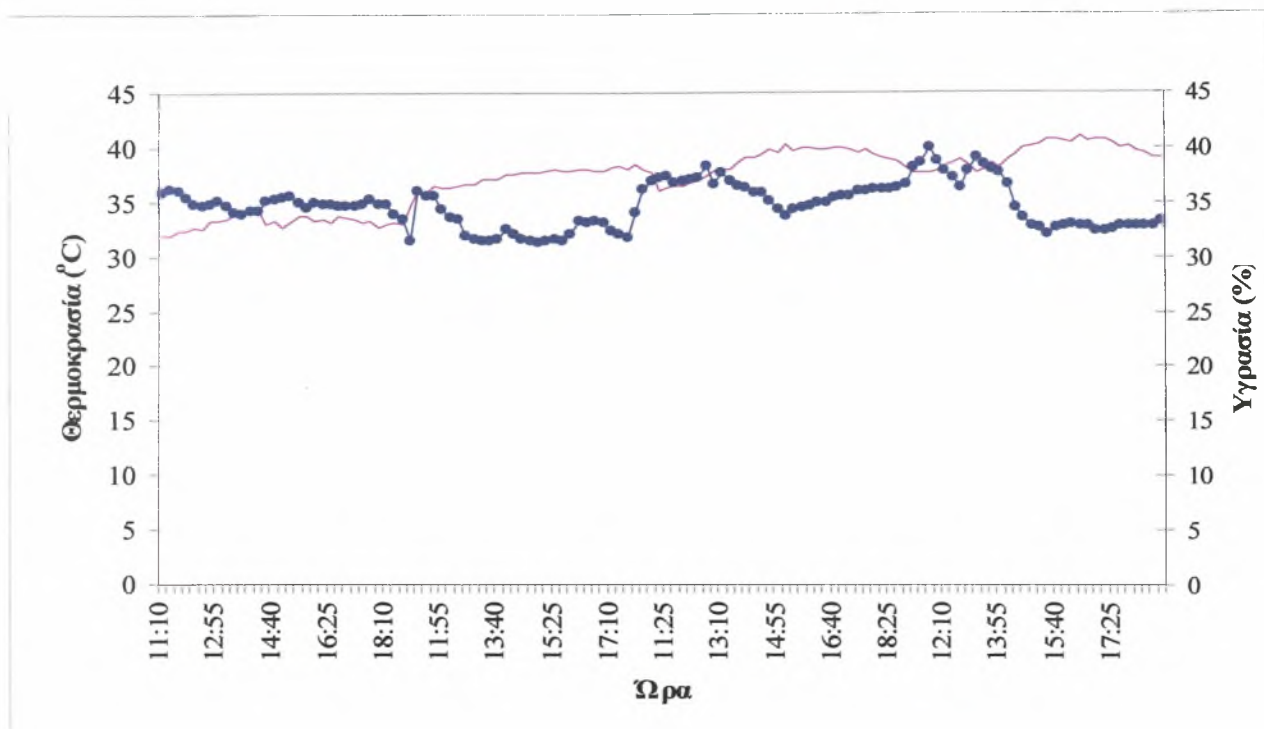
5.1 Κλιματικές συνθήκες κατά την περίοδο των μετρήσεων.



Διάγραμμα 3. Κατανομή ηλιακής ακτινοβολίας.

Όσον αφορά τις εξωτερικές συνθήκες, στο Διάγραμμα 3 βλέπουμε τη μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εξωτερικό αλλά και το εσωτερικό του θερμοκηπίου. Η μέγιστη τιμή της ακτινοβολίας στο εξωτερικό άγγιξε τα $989,8 \text{ W/m}^2$ και η ελάχιστη τα $208,2 \text{ W/m}^2$. από την άλλη στο εσωτερικό η ακτινοβολία κυμάνθηκε από $128,1 \text{ W/m}^2$ έως $612,1 \text{ W/m}^2$.

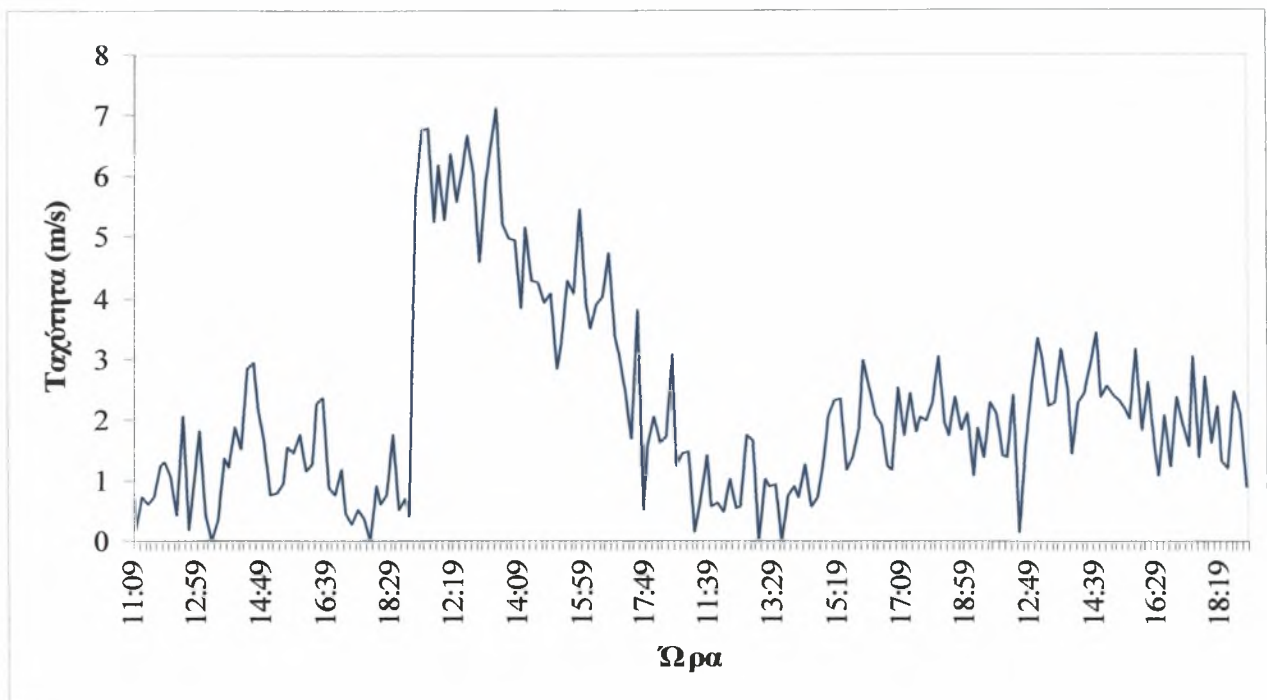
Παρατηρούμε επίσης πως υπάρχει μια ομοιομορφία στην κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας όλες της ημέρες, με αύξηση του ποσού κατά τις μεσημεριανές και μείωση κατά τις απογευματινές ώρες, πλην της πρώτης όπου υπάρχει ανομοιομορφία, λόγω ύπαρξης νεφώσεων, και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το χαμηλό ποσό ακτινοβολίας σε σχέση με τις άλλες μέρες.



Διάγραμμα 4. Κατανομή θερμοκρασίας (—) και σχετικής υγρασίας (—●—) στο περιβάλλον του θερμοκηπίου.

Στο Διάγραμμα 4 απεικονίζονται οι τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας στο περιβάλλον του θερμοκηπίου. Όπως βλέπουμε η θερμοκρασία κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα με μέγιστο τους 41 °C και ελάχιστο τους 31,9 °C. Αντίθετα οι τιμές της σχετικής υγρασίας ήταν σχετικά χαμηλές με μέγιστο 39,9 % και ελάχιστο 31,3 % κάτι που οφείλεται στις υψηλές θερμοκρασίες.

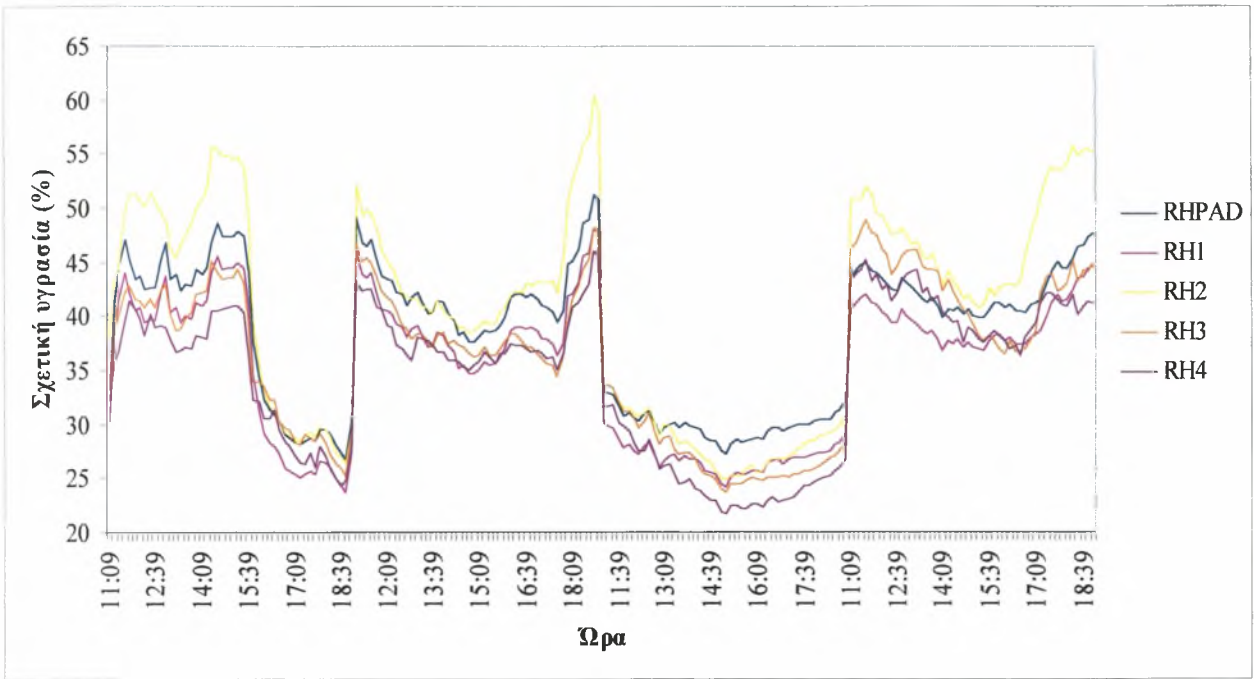
Όπως είναι λογικό οι χαμηλότερες τιμές της θερμοκρασίας παρατηρούνται τις πρωινές και απογευματινές ώρες ενώ οι υψηλότερες τις μεσημεριανές, ενώ η πιο “κρύα” μέρα είναι η πρώτη με μικρότερο μέσο όρο κάτι που οφείλεται στο χαμηλό ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας τη μέρα αυτή, όπως προαναφέρθηκε.



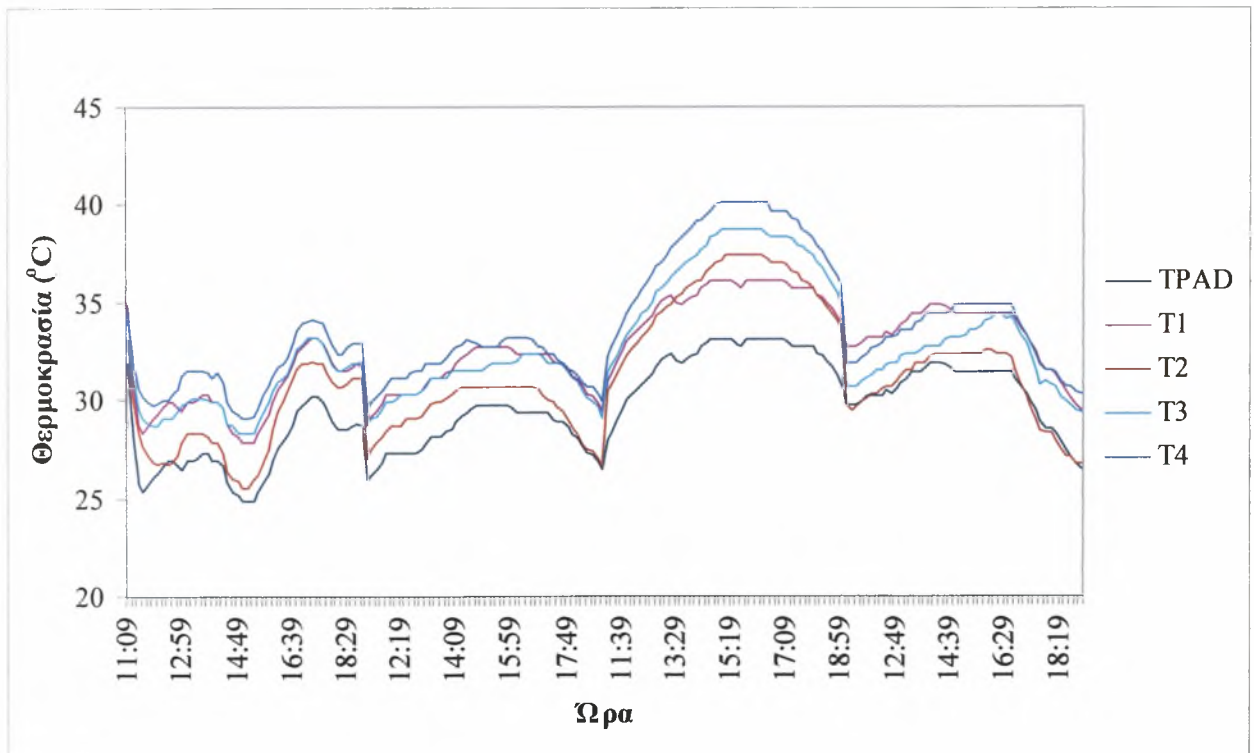
Διάγραμμα 5. Ταχύτητα εξωτερικού αέρα.

Στο Διάγραμμα 5 παρουσιάζεται η ταχύτητα του εξωτερικού αέρα η οποία κυμάνθηκε από 0 m/s έως 7,1 m/s. Γενικά όλες τις ημέρες ήταν χαμηλή πλην της δεύτερης που είχαμε μέσο όρο ταχύτητας 4,2 m/s τη στιγμή που τις άλλες μέρες ο μέσος όρος ήταν 1.5 m/s. Η αύξηση αυτή οδηγεί και στην μείωση του ποσοστού της υγρασίας τη δεύτερη μέρα όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 4.

5.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων θερμοκρασίας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας αέρα.



Διάγραμμα 6. Ημερήσια κατανομή θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

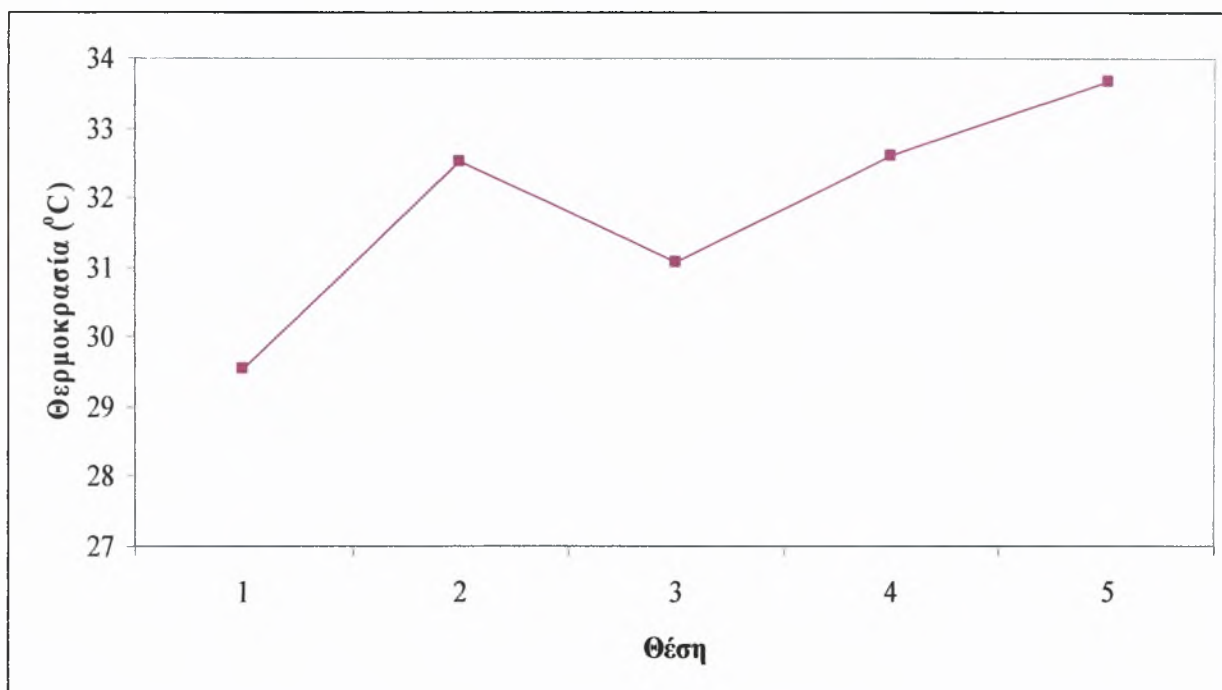


Διάγραμμα 7. Ημερήσια κατανομή υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

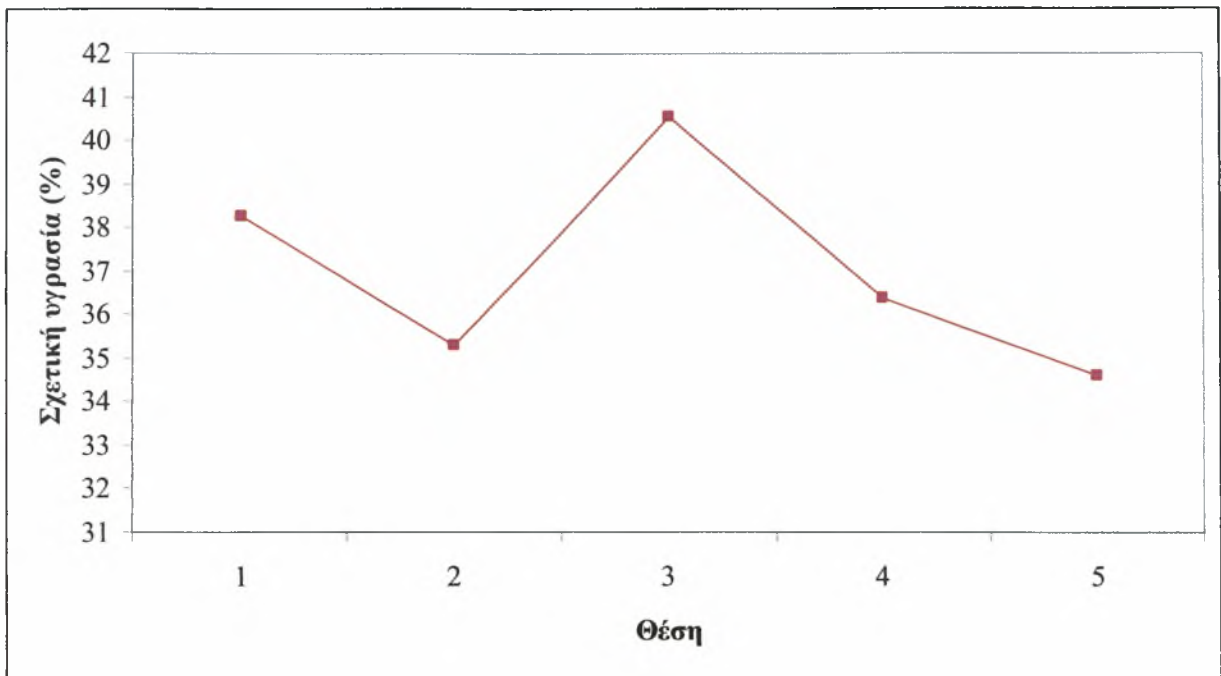
Παρόμοιες μετρήσεις έγιναν και στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, στις θέσεις 1 έως 5 όπως αυτές φαίνονται στο Σχήμα 5, και στα Διαγράμματα 6 και 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της διακύμανσης θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Τα αποτελέσματα αναφέρονται στις 4 συνεχόμενες ημέρες και αφορούν την ημερήσια κατανομή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας τις ώρες κατά τις οποίες είναι σε λειτουργία το σύστημα.

Όπως παρατηρούμε υπάρχει μια βαθμιαία αύξηση στις θερμοκρασίες όσο πλησιάζουμε τις μεσημεριανές ώρες, φθάνει στην ανώτερη τιμή της και τις απογευματινές μειώνεται πάλι σταδιακά. Η διακύμανση αυτή οφείλεται στις εξωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας και είναι ανάλογη αυτών (βλέπε Διάγραμμα 4).

Από την άλλη η σχετική υγρασία ακολουθεί αντίστροφη πορεία με τις τιμές της να μειώνονται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και όσο πλησιάζουμε το απόγευμα οι τιμές της ανεβαίνουν, απόρροια πάλι της μείωσης των τιμών της θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 8. Διακύμανση θερμοκρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου.



Διάγραμμα 9. Διακύμανση σχετικής υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου.

Στα Διαγράμματα 8 και 9 παρουσιάζεται η διακύμανση θερμοκρασίας και σχετικής υγρασία κατά μήκος του θερμοκηπίου.

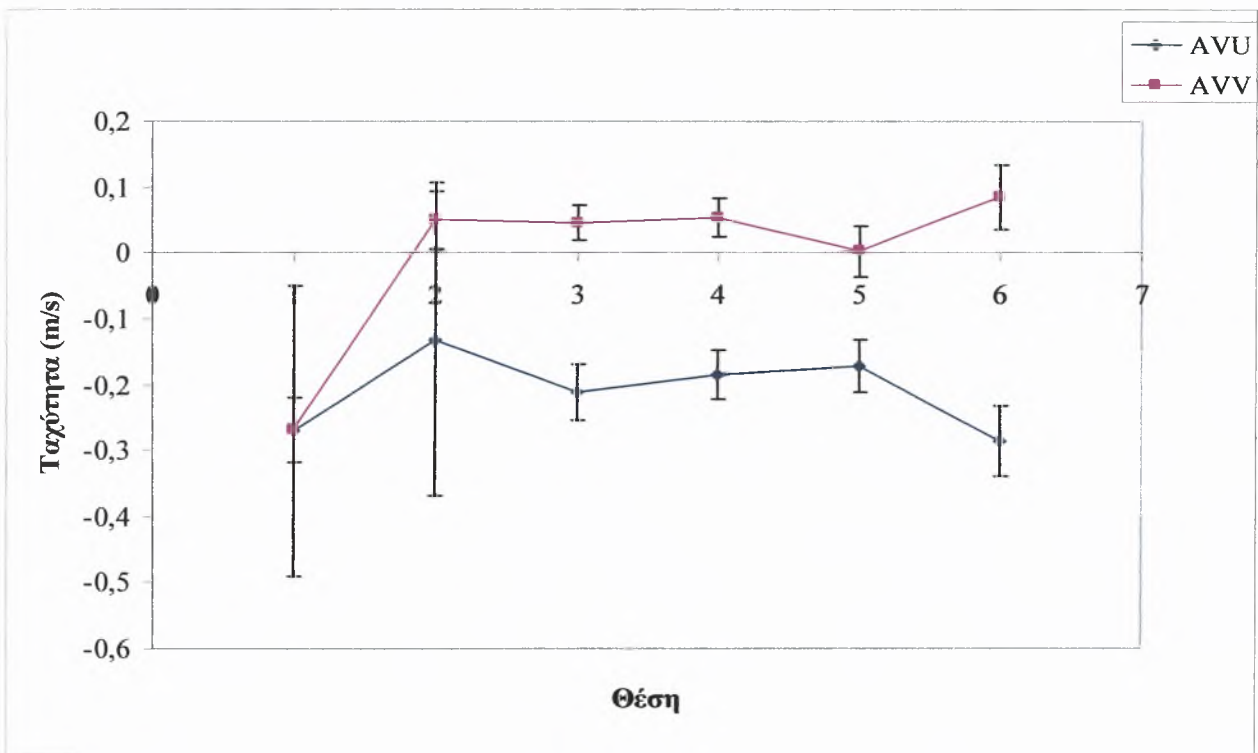
Όσον αφορά τη θερμοκρασία από την παρειά (σημείο 1) ως τον ανεμιστήρα σημείο 5) υπήρξε μια αύξηση της τάξεως του 14 %. Από τη παρειά ως το σημείο 3, όπου βρίσκεται το μέσο του θερμοκηπίου, η αύξηση ήταν 5,5 % ενώ στο δεύτερο μισό η αύξηση ήταν μεγαλύτερη και άγγιξε το 8,5 %.

Η σχετική υγρασία από την παρειά ως τον ανεμιστήρα παρουσίασε μείωση κατά 9,6 %.στο πρώτο μισό η σχετική υγρασία αυξήθηκε κατά 6 % ενώ στο δεύτερο μισό υπέστη μείωση περίπου κατά 14%.

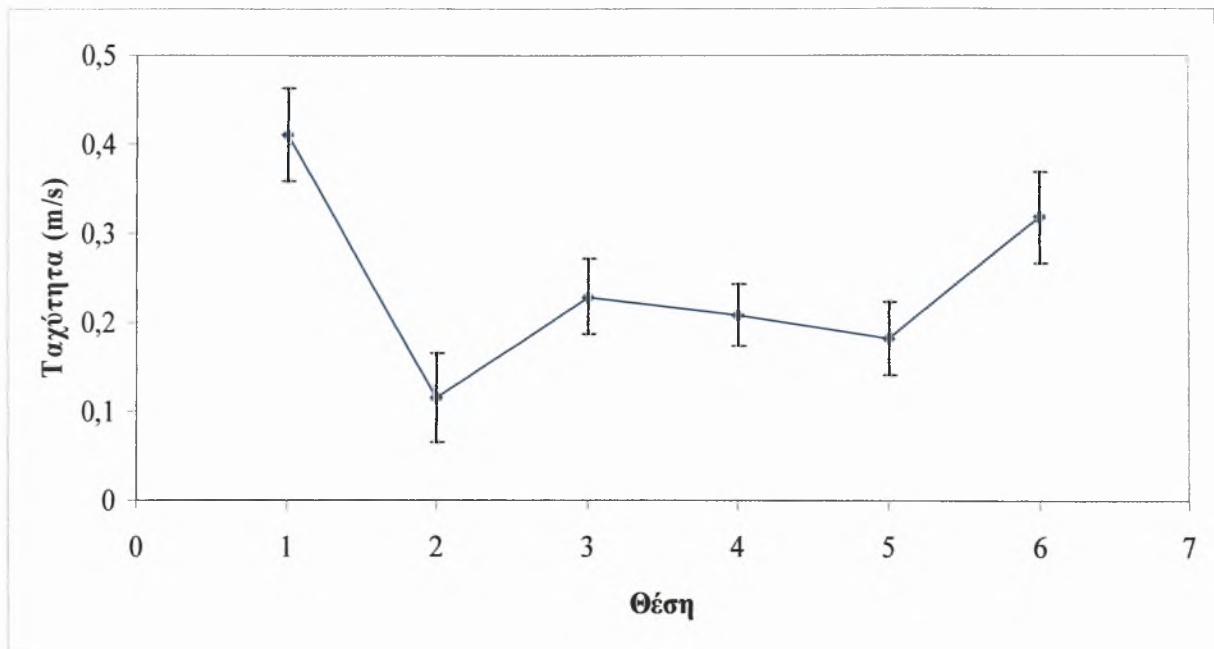
Στον Πίνακα 2 καθώς και στα Διαγράμματα 10 και 11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων και τα χαρακτηριστικά του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Πίνακας 2. Μέση ταχύτητα και ένταση τύρβης.

Θέση	Μέση ταχύτητα, m/s			Ένταση τύρβης		
	\bar{u}_x	\bar{u}_y	\bar{u}	ψ_x	ψ_y	ψ
1	-0,27	-0,27	0,41	0,81	0,18	0,13
2	-0,13	0,05	0,11	1,82	0,86	0,43
3	-0,21	0,05	0,23	0,20	0,58	0,18
4	-0,19	0,05	0,21	0,20	0,53	0,17
5	-0,17	0,02	0,18	0,23	1,58	0,23
6	-0,29	0,09	0,32	0,19	0,57	0,16



Διάγραμμα 10. Ταχύτητα αέρα και τοπική απόκλιση στους άξονες U και V κατά μήκος του θερμοκηπίου.



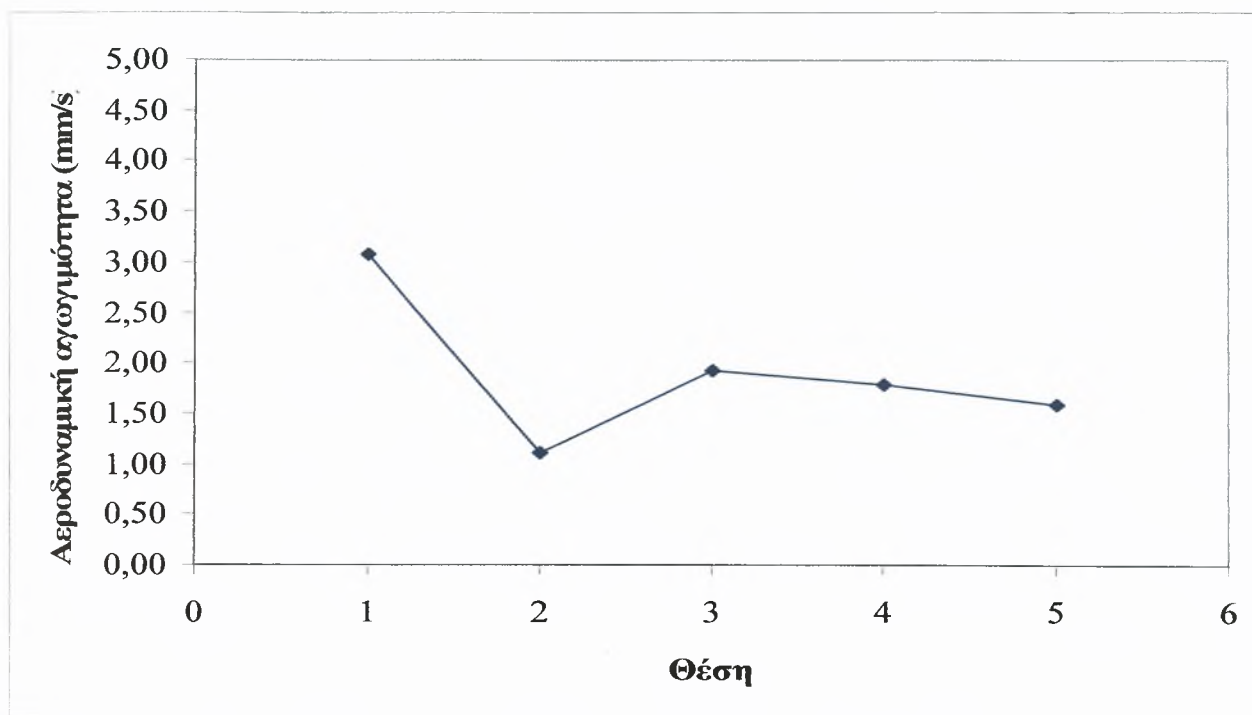
Διάγραμμα 11. Μέση ταχύτητα αέρα και τυπική απόκλιση κατά μήκος του θερμοκηπίου.

Στον Πίνακα 2 δίνονται οι μέσοι όροι στους άξονες x και y στις θέσεις 1 έως 6, η μέση ταχύτητα καθώς και η ένταση της τύρβης στις θέσεις αυτές. Η ένταση της τύρβης εκφράζει το κατά πόσο το ρεύμα αέρα είναι ομοιόμορφο ή υπάρχει αναταραχή κατά μήκος αυτού.

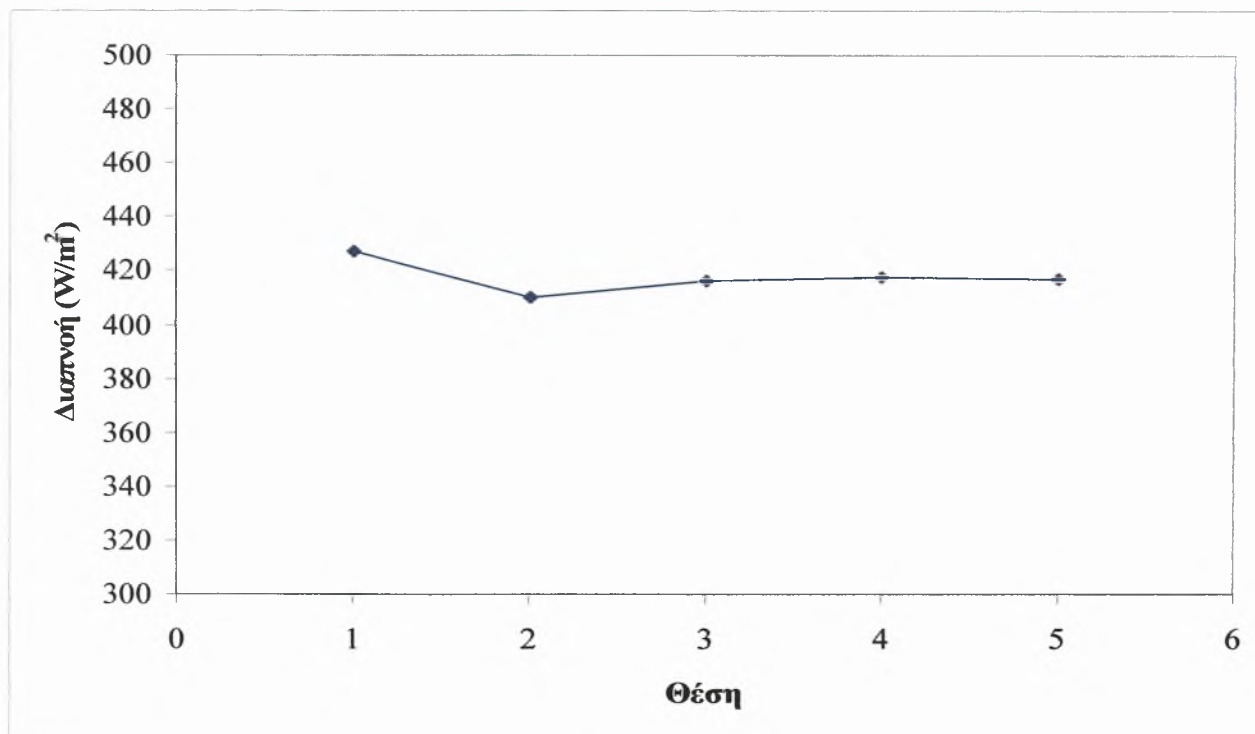
Στο Διάγραμμα 10 απεικονίζεται η ταχύτητα και η τυπική απόκλιση στους άξονες U και V. Όπως βλέπουμε η ταχύτητα U έχει αρνητικές τιμές και αυτό γιατί έχει κατεύθυνση από την παρειά προς τους ανεμιστήρες και στο πείραμά μας η παρειά αντιπροσωπεύει τον Βορρά (βλέπε Σχήμα 7). Αντίθετα η V αρνητική τιμή μόνο στην πρώτη θέση και θετική στις υπόλοιπες. Προφανώς στην θέση 1 υπήρχε ισχυρό ρεύμα αέρα από Δυτικά (βλέπε Σχήμα 7).

Στο Διάγραμμα 10 δίνεται η μέση ταχύτητα αέρα στις θέσεις 1 έως 6. Παρατηρούμε πως οι τιμές του αέρα είναι μεγαλύτερες στις θέσεις 1 (0,41 m/s) και 6 (0,31 m/s), δηλαδή μπροστά από την παρειά και πριν τον ανεμιστήρα, ενώ η μέση ταχύτητα κατά μήκος του ρεύματος είναι 0,24 m/s. Αυτό είναι λογικό γιατί η ταχύτητα του αέρα όπως είδαμε και στην Εικόνα 2 αυξάνει στα ανοίγματα και μειώνεται στο μέσο του θερμοκηπίου.

5.3. Αεροδυναμική αγωγιμότητα και Διαπνοή.



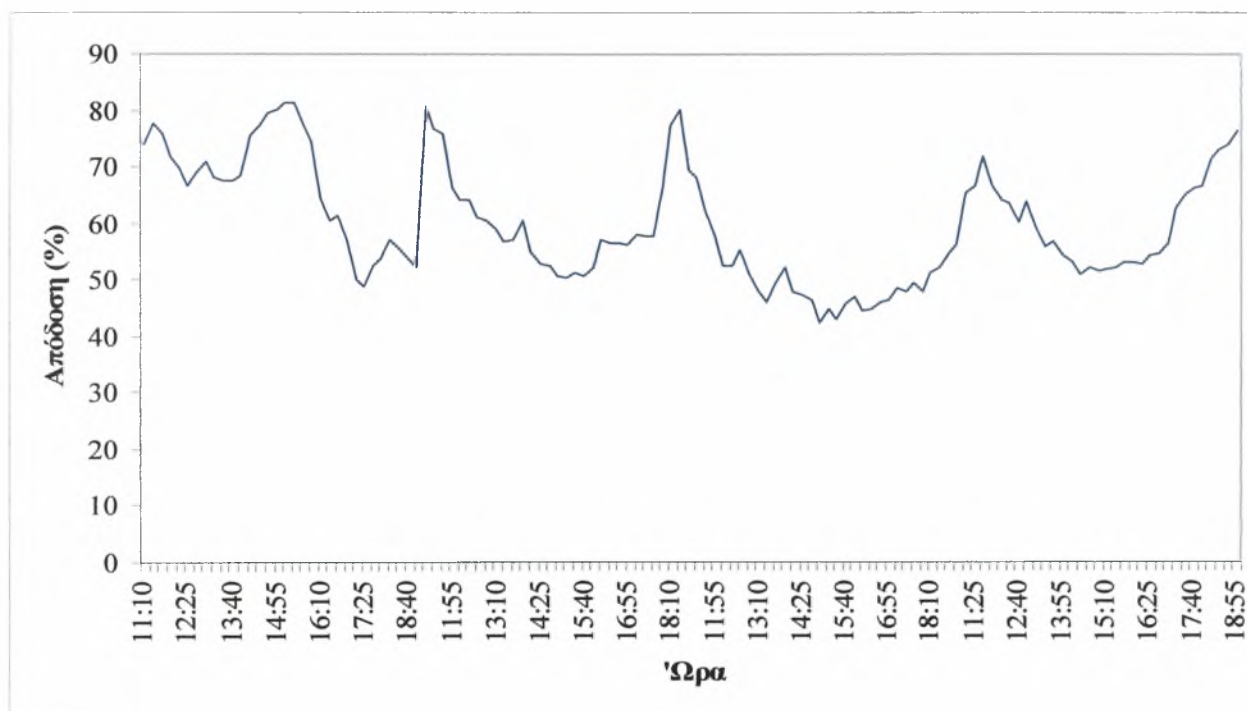
Διάγραμμα 12. Διακύμανση αεροδυναμικής αγωγιμότητας κατά μήκος του θερμοκηπίου.



Διάγραμμα 13. Διακύμανση διαπνοής κατά μήκος του θερμοκηπίου.

Στα Διαγράμματα 12 και 13 παρουσιάζονται η διακύμανση της αεροδυναμικής αγωγιμότητας και της διαπνοής. Όπως είδαμε στο εδάφιο 3.1.3, η διαπνοή εξαρτάται από την αεροδυναμική αγωγιμότητα και αυτό επαληθεύεται και στα παραπάνω διαγράμματα. Βλέπουμε πως η ανώτερη τιμή της αεροδυναμικής αγωγιμότητας άρα και της διαπνοής (427 W/m^2) εμφανίζεται στο σημείο ένα (1). Στο σημείο δυο (2) έχουμε τη μικρότερη τιμή αεροδυναμικής αγωγιμότητας και διαπνοής ($410,2 \text{ W/m}^2$) και στα υπόλοιπα σημεία παρατηρείται μια μικρή σταδιακή αύξηση.

5.4. Απόδοση συστήματος



Διάγραμμα 14. Απόδοση συστήματος.

Στο Διάγραμμα 14 απεικονίζεται ο συντελεστής απόδοσης του συστήματος παρειάς – ανεμιστήρων. Οι τιμές κυμαίνονται από 42,4 % έως 81,5 % με μέσο όρο 60,3 %. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται τις πρωινές και απογευματινές ώρες και οι χαμηλότερες τις μεσημεριανές. Ακόμη, η μεγαλύτερη μέση απόδοση ήταν την πρώτη μέρα (67 %) και η μικρότερη την τρίτη (50,5 %).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Σχολιασμός αποτελεσμάτων - Συμπεράσματα

Στο Κεφάλαιο 5 έγινε παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μετρήσεων των κλιματικών συνθηκών που επικρατούσαν στην περιοχή του Βελεστίνου κατά τη διεξαγωγή του πειράματος, των συνθηκών μέσα στο θερμοκήπιο καθώς και απεικόνιση του συντελεστή απόδοσης του συστήματος.

Όπως είδαμε το σύστημα λειτούργησε καλά και έδωσε ικανοποιητικές αποδόσεις κάποιες στιγμές, αλλά λόγω παλαιότητας και μη καλής ποιότητας του υλικού της παρειάς λόγω απόθεσης αλάτων γενικά κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα.

Ο μεγαλύτερος συντελεστής απόδοσης παρατηρήθηκε την πρώτη μέρα όπου η διαφορά $T_{\text{dout}} - T_{\text{wout}}$ είναι μεγαλύτερη και αντίστοιχα μικρότερη διαφορά και συντελεστής απόδοσης την τρίτη ημέρα. Την ημέρα όπου το σύστημα είχε την μικρότερη απόδοση, στο εσωτερικό του θερμοκηπίου παρατηρήθηκε πολύ χαμηλή υγρασία και πολύ υψηλή θερμοκρασία.

Επίσης διαπιστώθηκε αύξηση της θερμοκρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου κατά 14 % με το μεγαλύτερο ποσοστό αύξησης στο δεύτερο μισό (8,5 %). Αντίθετα η σχετική υγρασία σημείωσε μείωση κατά 9,6 %.

Τέλος ενώ η θερμοκρασία σε όλο το μήκος του θερμοκηπίου παρουσίασε αύξηση, η σχετική υγρασία στο πρώτο μισό αυξήθηκε κατά 6 % και στο δεύτερο μισό παρουσίασε αξιόλογη μείωση κατά 14 %.

Ακόμη οι μετρήσεις για τη διαπνοή των φυτών της καλλιέργειας τομάτας έδειξαν πως ήταν μεγαλύτερη στο σημείο μπροστά από την παρειά και ανήλθε στα 427 W/m^2 ενώ στα υπόλοιπα σημεία κυμάνθηκε σε χαμηλότερα επίπεδα.

Βιβλιογραφία

- **Arbel A., Yekutieli O., Barak M., 1999.** Performance of a fog system for cooling greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 72:129-136.
- **Bakker J. C., Bot G.P.A., Challa H., Van de Braak N. J., 1995.** Heating equipment. In : *Greenhouse Climate Control, an integrated approach*. Wageningen Pers.
- **Bartzanas T., Katsoulas N., Kittas C., Boulard T., Mermier M., 2005.** Effect of Vents' Configuration and Insect Screen on Greenhouse Microclimate.
- **Bartzanas T., Kittas C., 2004.** Heat and mass transfer in a large evaporative cooled greenhouse equipped with a progressive shading. *ISHS Acta Horticulturae* 691
- **Boodley J. W., 1998.** *The Commercial Greenhouse (2nd Edition)*, Delmar Publishers, 85-95.
- **Boulard T., Wang S., Haxaire R., 1999.** Mean and turbulent air flows and microclimatic patterns in an empty greenhouse tunnel. *Agricultural and Forest Meteorology* 100 (2000) 169–181.
- **Bucklin, R. A., Henley R. W., McConnell D. B., December 1993.** Fan and Pad Greenhouse Evaporative Cooling Systems. University of Florida, Circular 1135.
- **Fuchs Marcel, Dayan EHUD, Presnov Eugene, 2006.** Evaporative cooling of a ventilated greenhouse rose crop. *Agricultural and Forest Meteorology* 138 (2006) 203–215.
- **Garzoli K., 1989.** Efficient energy greenhouses. *Acta Horticulturae*, 245 : 53-62.
- **Hanan Joe J., 1998.** *GREENHOUSE Advanced Technology for Protected Horticulture*, CRC Press.
- **Kittas C., Bartzanas T., Jaffrin A., 2003.** Temperature Gradients in a Partially Shaded Large Greenhouse equipped with Evaporative Cooling Pads, *Biosystems Engineering* 85 (1), 87–94.

- ☞ **Kittas C., Bartzanas Th., Jaffrin A., 2001.** Greenhouse evaporative cooling. Measurements and Data Analysis. Transactions of the ASAE, 44(3), 683 - 689.
- ☞ **Kozai T., Sase S., Nara M., 1980.** A modeling approach to greenhouse ventilation control. Acta Horticulture. 106: 125-136.
- ☞ **Montero, J. L., Short, T., Curry, R. B., Bauerle, W. L. 1981.** Influence of evaporative cooling systems on greenhouse environment. ASAE paper no 81-4027.
- ☞ **Nelson Paul V. 2003,** Greenhouse operation & management, Pearson Education, 153-183, 93-151.
- ☞ **Sethi V.P., Sharma S.K., 2007.** Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. ScienceDirect.
- ☞ **Strobel Brian R., Stowell Richard R., Short Ted H.,** Evaporative Cooling Pads: Use in Lowering Indoor Air Temperature, Ohio State University Fact Sheet, Food, Agricultural and Biological Engineering.
- ☞ **Willits, D.H., 2003.** Cooling fan ventilated greenhouse: a modeling study. Biosystems Engineering 84 (3), 315–329.
- ☞ **Γραφιαδέλλης Μ., 1987.** Σύγχρονα θερμοκήπια, Εκδόσεις Γαρταγάνη, 2-4.
- ☞ **Κίττας, Κ., 2001.** Γεωργικές Κατασκευές & Έλεγχος Περιβάλλοντος Μονάδων Φυτικής Και Ζωικής Παραγωγής, I Θερμοκήπια. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος, 4-8.71
- ☞ **Μαυρογιαννόπουλος Γ. Ν., 1990.** Θερμοκήπια (περιβάλλον-υλικά-κατασκευή-εξοπλισμός), Εκδόσεις Σταμούλης, 17-20.
- ☞ **Μαυρογιαννόπουλος Γ. Ν., 2005.** Θερμοκήπια, Δ΄ Έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλης, 55.
- ☞ **Μπαρτζάνας Θ., 2004.** Διαχείριση της υψηλής υγραμετρίας σε Ελληνικά θερμοκήπια. Διδακτορική διατριβή, 18-30.
- ☞ **Νικήτα – Μαρτζοπούλου Χ., Μαρτζόπουλος Γ., Βασιλείου Ν., 1990,** Θερμοκήπια. Διδακτικές σημειώσεις για τους φοιτητές του τμήματος Γεωπονίας, 117-118
- ☞ http://daedalus.math.uoi.gr/agrotica/anthokomia/anth/kef/4/425.htm#Συστήματα_αερισμού



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091047