

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

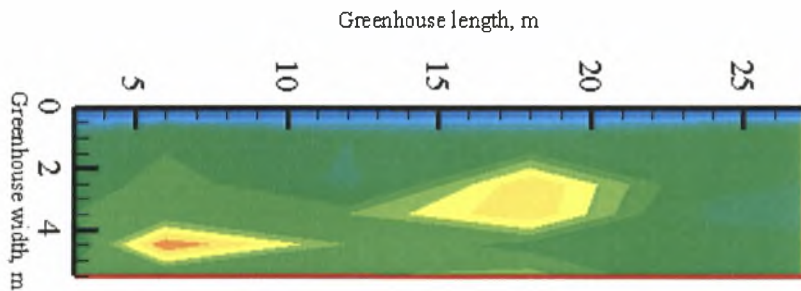
**Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού  
Περιβάλλοντος**

**Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών & Ελέγχου Περιβάλλοντος**

**«Μελέτη της κατανομής του μικροκλίματος σε θερμοκήπιο με  
σύστημα δροσισμού τεχνητής ομίχλης»**

**Πτυχιακή Διατριβή**

**Αθανασία Κατσούλα**



**Επιβλέπων Καθηγητής  
Νικόλαος Κατσούλας**

**Νέα Ιωνία, 2011**



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

Αριθ. Εισ.: 9481/1  
Ημερ. Εισ.: 04-04-2011  
Δωρεά: Συγγραφέας  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ  
2011  
ΚΑΤ

**«Μελέτη της κατανομής του μικροκλίματος σε θερμοκήπιο με σύστημα  
δροσισμού τεχνητής ομίχλης»**

**Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή**

Ν. Κατσούλας (Επιβλέπων)	Επίκουρος Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Γεωργικές Κατασκευές με έμφαση στα Θερμοκήπια
Κ. Κίττας (Μέλος)	Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Γεωργικές Κατασκευές
Σ. Φουντάς (Μέλος)	Επίκουρος Καθηγητής
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας	Γεωργική Μηχανολογία



**Κατσούλα Αθανασία**

**«Μελέτη της κατανομής του μικροκλίματος σε θερμοκήπιο με σύστημα  
δροσισμού τεχνητής ομίχλης»**



Νέα Ιωνία, 2010

LACEC ISBN no: 0002-01-1-2011



Νέα Ιωνία, 2010

**Αθανασία Κατσούλα, 2011, «Μελέτη της κατανομής του μικροκλίματος σε θερμοκηπιο με σύστημα δροσισμού τεχνητής ομίχλης», Πτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Νέα Ιωνία.**

## **Περίληψη**

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής ήταν η συλλογή, μελέτη και ανάλυση των συλλεγμένων δεδομένων καταγραφής του μικροκλίματος εντός θερμοκηπίου, με εφαρμογή του συστήματος δροσισμού της τεχνητής ομίχλης. Πιο συγκεκριμένα το αντικείμενο ερεύνης ήταν η σύγκριση και αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της επιρροής του συστήματος δροσισμού της τεχνητής ομίχλης στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου, σε σύγκριση με τον φυσικό και δυναμικό αερισμό του θερμοκηπίου, για την διεξαγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Αντικείμενα καταγραφής και μελέτης ήταν: 1.η ταχύτητα του ανέμου εντός του θερμοκηπίου, καταγεγραμμένη σε τρεις άξονες, για την σύγκριση αυτών με την ταχύτητα του ανέμου εκτός θερμοκηπίου, 2.η θερμοκρασία εντός και εκτός θερμοκηπίου, για τη σύγκριση της μείωσης της θερμοκρασίας με την εφαρμογή των συστημάτων δροσισμού, 3.το ποσοστό υγρασίας εντός θερμοκηπίου, και 4. η ομοιογένεια του μικροκλίματος και η σύγκριση του ανά σύστημα δροσισμού. Τα σημεία των μετρήσεων εντός θερμοκηπίου ήταν 30 και πάρθηκαν σε τρία επίπεδα. Οι μετρήσεις που πάρθηκαν υπόψη για τη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων αποτελούν τους μέσους όρους των δεδομένων αυτών ανά χρόνο μέτρησης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω αναλυτικότερα με τη μορφή γραφημάτων για την ευκολότερη κατανόηση των αποτελεσμάτων. Η σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ των συστημάτων δροσισμού έγιναν στο ύψος του 1 m, για την αντικειμενικότερη διεξαγωγή των αποτελεσμάτων.



## Πρόλογος και Ευχαριστίες

Μέσω αυτής της παραγράφου θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που με βοήθησαν και στήριξαν για την περάτωση αυτής της πτυχιακής διατριβής.

Για την συγγραφή αυτής της πτυχιακής διατριβή ευχαριστώ πολύ τον επίκουρο καθηγητή κ. Ν. Κατσούλα. Χωρίς την βοήθειά του αυτή η πτυχιακή εργασία δε θα γινόταν ποτέ. Τον ευχαριστώ θερμά για την σωστή καθοδήγηση και την υπομονή που υπέδειξε, κατά την συγγραφή της. Επίσης τον ευχαριστώ για την παραχώρηση όλων των απαραίτητων οργάνων, ώστε να διεκπεραιωθεί με επιτυχία η παρούσα διατριβή.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ και στον καθηγητή κ. Κ. Κίττα, ο οποίος με την εμπειρία του, τις συμβουλές του και το αστείρευτο του χιούμορ, βοήθησαν στην περαίωση αυτής της πτυχιακής εργασίας, χωρίς ένδειξη κόπωσης. Θέλω να τον ευχαριστήσω επίσης για την παροχή ευρέος φάσματος πληροφοριών όχι μόνο πάνω στο θέμα της διατριβής αλλά της γεωπονικής επιστήμης γενικότερα.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω το μέλος της εξεταστικής επιτροπής και επίκουρο καθηγητή κ. Σ. Φουντά, για την βοήθειά του στην περάτωση αυτής της διατριβής.

Τους γονείς μου Κωνσταντίνο και Ελευθερία Κατσούλα, τους ευχαριστώ θερμά για όλα. Για τις ηθικές αξίες που μου έδωσαν μεγαλώνοντας, για την ευκαιρία που μου έδωσαν να σπουδάσω και για την εμπύχωσή τους σε όλες τις δύσκολες στιγμές.





Νέα Ιωνία, 2010



## Πίνακας Περιεχομένων

1.	Κεφάλαιο 1 : Γενική Εισαγωγή .....	16
1.1.	Γενικά.....	17
1.1.1.	Το θερμοκήπιο .....	17
1.1.2.	Ο κλάδος των θερμοκηπίων διεθνώς .....	21
1.1.3.	Ο κλάδος των θερμοκηπίων στην Ελλάδα.....	22
1.1.4.	Προβλήματα στον εγχώριο κλάδο των θερμοκηπίων .....	28
1.2.	Αντικείμενο & Δομή της εργασίας .....	29
2.	Κεφάλαιο 2 : Θεωρητική ανάλυση .....	32
2.1.	Οι παράμετροι του μικροκλίματος.....	33
2.1.1.	Θερμοκρασία. ....	33
2.1.2.	Υγρασία .....	37
2.1.3.	Ταχύτητα αέρα .....	42
2.2.	Συστήματα δροσισμού .....	43
2.2.1.	Φυσικός εξαερισμός.....	43
2.2.2.	Δυναμικός εξαερισμός .....	46
2.2.3.	Υδρονέφωση .....	48
2.3.	Συμπεράσματα .....	50
3.	Κεφάλαιο 3: Υλικά και μέθοδοι .....	51
3.1.	Το πείραμα .....	52
3.2.	Το θερμοκήπιο .....	53
3.3.	Ψύξη του θερμοκηπίου .....	54
3.3.1.	Αερισμός.....	54
3.3.2.	Δροσισμός.....	56
3.3.3.	Σκίαση.....	58
3.4.	Η καλλιέργεια .....	59
3.5.	Μετρήσεις .....	60
4.	Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα .....	66
4.1.	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	67
4.1.1.	Αποτελέσματα δυναμικού αερισμού.....	67
4.1.2.	Αποτελέσματα φυσικού αερισμού .....	73
4.1.3.	Αποτελέσματα τεχνητού αερισμού .....	77



4.2.	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ .....	80
4.2.1.	Αποτελέσματα δυναμικού αερισμού.....	80
4.2.2.	Αποτελέσματα φυσικού αερισμού .....	82
4.2.3.	Αποτελέσματα τεχνητής ομίχλης.....	84
4.3.	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΕΜΟΥ .....	85
4.3.1.	Αποτελέσματα δυναμικού αερισμού.....	85
4.3.2.	Αποτελέσματα φυσικού αερισμού .....	91
4.3.3.	Αποτελέσματα τεχνητής ομίχλης.....	95
4.4.	ΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ.....	97
4.4.1.	Αποτελέσματα δυναμικού αερισμού.....	97
4.4.2.	Αποτελέσματα φυσικού αερισμού .....	98
4.4.3.	Αποτελέσματα τεχνητής ομίχλης.....	98
5.	Κεφάλαιο 5. Συζήτηση αποτελεσμάτων .....	99
6.	Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα .....	103
7.	Κεφάλαιο 7. Βιβλιογραφία .....	105



## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Διάγραμμα στατιστικών στοιχείων έκτασης θερμοκηπίων παγκοσμίως. ....	23
Εικόνα 2 Διάγραμμα στατιστικών στοιχείων έκτασης θερμοκηπίων στην Ευρώπη. ....	24
Εικόνα 3 Έκταση θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα από το 1960 έως το 2000 (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας).....	25
Εικόνα 4 Γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα σε ποσοστό της συνολικής έκτασης (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας).....	25
Εικόνα 5 Μετεωρολογικός χάρτης Ελλάδος για τις ισόθερμες του Ιανουαρίου.(Μαυρογιαννόπουλος, 2005). ....	29
Εικόνα 6 Διάγραμμα εξέλιξης της θερμοκρασίας εδάφους συναρτήσει του χρόνου και του βάθους(Μαυρογιαννόπουλος, 2005). ....	35
Εικόνα 7 Σχεδιάγραμμα ανταλλαγής ενέργειας του θερμοκηπίου με το περιβάλλον (Becket, 1998). ....	37
Εικόνα 8 Ψυχομετρικό διάγραμμα (Μαυρογιαννόπουλος, 2005). ....	40
Εικόνα 9 Σχεδιάγραμμα κυκλοφορίας του αέρα εντός θερμοκηπίου.(Becket, 1998). ...	44
Εικόνα 10 Σχεδιάγραμμα στατικής πίεσης από τον εξωτερικό άνεμο στο θερμοκήπιο (Μαυρογιαννόπουλος, 2005).....	45
Εικόνα 11 Σχεδιάγραμμα κίνησης του αέρα στο θερμοκήπιο με φυσικό αερισμό (Μαυρογιαννόπουλος, 2005). ....	45
Εικόνα 12 Διάγραμμα διακύμανσης του αέρα εντός του θερμοκηπίου με φυσικό αερισμό (Μαυρογιαννόπουλος, 2005). ....	46
Εικόνα 13 Σχεδιάγραμμα εγκατάστασης συστήματος τεχνητής ομίχλης στο θερμοκήπιο (Becket, 1998). ....	49
Εικόνα 14. Εξωτερική άποψη του πειραματικού θερμοκηπίου. (Ο θάλαμος στον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις είναι ο δεύτερος από αριστερά) .....	53
Εικόνα 15. Εξωτερική άποψη των παραθύρων οροφής του θερμοκηπίου .....	55
Εικόνα 16. Άποψη του εσωτερικού του θερμοκηπίου με το σύστημα δροσισμού σε λειτουργία.....	57
Εικόνα 17. Άποψη του εσωτερικού του θερμοκηπίου με το σύστημα δροσισμού εκτός λειτουργίας. ....	57
Εικόνα 18. Καλλιέργεια τριανταφυλλιάς στο θερμοκήπιο .....	59
Εικόνα 19. Όργανα μετρήσεων μετεωρολογικών δεδομένων (α) έξω από και (β) μέσα στο θερμοκήπιο .....	60



Εικόνα 20 Σχεδιάγραμμα των διαφόρων τμημάτων του Sonic anemometre.....	62
Εικόνα 21. Πειραματικό θερμοκήπιο και διάταξη των μετεωρολογικών οργάνων. 1, 2 και 3 αεριζόμενα ψυχρόμετρα σε ύψος 0.3, 0.8 και 1.8 m από το έδαφος αντίστοιχα, 4 και 5 ραδιόμετρα πάνω και κάτω από την καλλιέργεια αντίστοιχα και 6 και 7 πυρανόμετρα πάνω και κάτω α.....	63
Εικόνα 22. Πειραματικό θερμοκήπιο και μετρητικές διατάξεις.....	64

### Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Πίνακας γεωγραφικής κατανομής των εγκαταστάσεων στην Ελλάδα θερμοκηπίων και καλλιέργειών, σε στρέμματα. Στοιχεία Υπουργείου Γεωργίας για το έτος 2003. ....	26
Πίνακας 2 Πίνακας γεωγραφικής κατανομής των εγκαταστάσεων στην Ελλάδα θερμοκηπίων στο σύνολο σε στρέμματα. Στοιχεία Υπουργείου Γεωργίας για το έτος 2003. ....	27

### Κατάλογος Σχημάτων

<b>Σχήμα 2.</b> Εικονική κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, όπως μετρήθηκαν στον εξωτερικό μετεωρολογικό ιστό και απεικόνισή τους στα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα οποία γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα την αντίστοιχη χρονική στιγμή. ....	68
<b>Σχήμα 3.</b> Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της θερμοκρασίας (διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα) σε ύψος 0.4 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.....	69
<b>Σχήμα 4</b> Κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.....	70
<b>Σχήμα 5</b> Εικονική κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, όπως μετρήθηκαν στον εξωτερικό μετεωρολογικό ιστό και απεικόνισή τους στα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα οποία γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα την αντίστοιχη χρονική στιγμή. ....	70
<b>Σχήμα 6</b> Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της θερμοκρασίας (διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα) σε ύψος 1 m από την	



επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.....	71
<b>Σχήμα 7</b> Κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.....	72
<b>Σχήμα 8</b> Εικονική κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, όπως μετρήθηκαν στον εξωτερικό μετεωρολογικό ιστό και απεικόνισή τους στα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα οποία γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα την αντίστοιχη χρονική στιγμή. ....	72
<b>Σχήμα 9</b> Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της θερμοκρασίας (διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα) σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.....	73
<b>Σχήμα 10</b> Κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα φυσικού αερισμού σε λειτουργία. ....	74
<b>Σχήμα 11</b> Εικονική κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, όπως μετρήθηκαν στον εξωτερικό μετεωρολογικό ιστό και απεικόνισή τους στα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα οποία γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα την αντίστοιχη χρονική στιγμή. ....	74
<b>Σχήμα 12</b> Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της θερμοκρασίας (διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα) σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα φυσικού αερισμού σε λειτουργία.....	75
<b>Σχήμα 13</b> Κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα φυσικού αερισμού σε λειτουργία .....	76
<b>Σχήμα 14</b> Εικονική κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, όπως μετρήθηκαν στον εξωτερικό μετεωρολογικό ιστό και απεικόνισή τους στα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα οποία γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα την αντίστοιχη χρονική στιγμή .....	76
<b>Σχήμα 15</b> Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της θερμοκρασίας (διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα) σε ύψος 2 m από την	



επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα φυσικού αερισμού σε λειτουργία.....	77
<b>Σχήμα 16</b> Κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα τεχνητής ομίχλης σε λειτουργία.....	78
<b>Σχήμα 17</b> Εικονική κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, όπως μετρήθηκαν στον εξωτερικό μετεωρολογικό ιστό και απεικόνισή τους στα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα οποία γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα την αντίστοιχη χρονική στιγμή.....	78
<b>Σχήμα 18</b> Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της θερμοκρασίας (διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα) σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα τεχνητής ομίχλης σε λειτουργία.....	79
<b>Σχήμα 19</b> Κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 0,4 m. από την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.....	81
<b>Σχήμα 20</b> Κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 1 m .από την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.....	81
<b>Σχήμα 21</b> Κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 2 m .από την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.....	82
<b>Σχήμα 22</b> Κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 1 m. από την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του φυσικού αερισμού σε λειτουργία.....	83
<b>Σχήμα 23</b> Κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 2 m .από την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του φυσικού αερισμού σε λειτουργία.....	83
<b>Σχήμα 24</b> Κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 1 m. από την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα της τεχνητής ομίχλης σε λειτουργία.....	84



- Σχήμα 25** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $u$  στο εσωτερικό του θερμοκήπιου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $0,4 m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία... 86
- Σχήμα 26** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $v$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $0,4 m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.... 86
- Σχήμα 27** Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου (λόγος της ταχύτητας του ανέμου στο θερμοκήπιο προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου) σε ύψος  $0,4 m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία ..... 87
- Σχήμα 28** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $u$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $1 m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.... 88
- Σχήμα 29** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $v$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $1 m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία..... 88
- Σχήμα 30** Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου (λόγος της ταχύτητας του ανέμου στο θερμοκήπιο προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου) σε ύψος  $1 m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία... ..... 89
- Σχήμα 31** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $u$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $2 m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.... 90
- Σχήμα 32** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $v$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $2 m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία..... 90
- Σχήμα 33** Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου (λόγος της ταχύτητας του ανέμου στο θερμοκήπιο προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου) σε ύψος  $2 m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία... ..... 91



- Σχήμα 34** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $u$  στο εσωτερικό του θερμοσκοπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $1\ m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του φυσικού αερισμού σε λειτουργία ..... 92
- Σχήμα 35** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $v$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $1\ m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του φυσικού αερισμού σε λειτουργία. .... 92
- Σχήμα 36** Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου (λόγος της ταχύτητας του ανέμου στο θερμοκήπιο προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου) σε ύψος  $1\ m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα φυσικού αερισμού σε λειτουργία..... 93
- Σχήμα 37** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $u$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $2\ m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του φυσικού αερισμού σε λειτουργία. .... 94
- Σχήμα 38** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $v$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $2\ m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του φυσικού αερισμού σε λειτουργία. .... 94
- Σχήμα 39** Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου (λόγος της ταχύτητας του ανέμου στο θερμοκήπιο προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου) σε ύψος  $2\ m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα φυσικού αερισμού σε λειτουργία..... 95
- Σχήμα 40** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $u$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $1\ m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα της τεχνητής ομίχλης σε λειτουργία ..... 96
- Σχήμα 41** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $v$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $1\ m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα της τεχνητής ομίχλης σε λειτουργία ..... 96
- Σχήμα 42** Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου (λόγος της ταχύτητας του ανέμου στο θερμοκήπιο προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου) σε ύψος  $1\ m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα της τεχνητής ομίχλης σε λειτουργία ..... 97





## 1. Κεφάλαιο 1 : Γενική Εισαγωγή



## 1.1. Γενικά

### 1.1.1. Το θερμοκήπιο

Με την πάροδο των χρόνων και την βιομηχανική εξέλιξη, δημιουργήθηκε ευρωστία κοινωνικο-πολιτικο-οικονομική με φυσικό ακόλουθο την αύξηση του πληθυσμού και των απαιτήσεων του σε τροφή. Η αυξημένη ζήτηση έφερε ως αποτέλεσμα την βιομηχανοποίηση του αγροτικού πρωτογενή τομέα. Κυριότερο όπλο της αγροτικής βιομηχανοποίησης είναι το θερμοκήπιο.

Πιο συγκεκριμένα το θερμοκήπιο είναι ένας περιφραγμένος και στεγασμένος χώρος που χρησιμεύει για την προστασία των φυτών από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Οι πλευρές και οι στέγες των θερμοκηπίων αποτελούνται από διαφανές υλικό, στην χώρα μας κυρίως πλαστικό, για να απορροφούν τα φυτά και το ελάχιστο του φωτός του ηλίου. Στο εσωτερικό των θερμοκηπίων διατηρείται ένας συγκεκριμένος βαθμός θερμοκρασίας και υγρασίας, ο οποίος καθορίζεται από τον καλλιεργητή, αναλόγως του τι ζητείται από το φυτό ανά βλαστική περίοδο. Στην χώρα μας τα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται κατά πρώτων για παραγωγή οπωροκηπευτικών και δευτερευόντως για την παραγωγή καλλωπιστικών.

Τα θερμοκήπια μπορεί να είναι εξοπλισμένα με συμβατικό σύστημα θέρμανσης ή όχι. Διαφέρουν από άλλες παρόμοιες κατασκευές, όπως π.χ. τα χαμηλά σκέπαστρα, τα σπορεία και τα θερμοσπορεία, στο ότι είναι αρκετά υψηλά και ευρύχωρα, έτσι ώστε να μπορεί ο άνθρωπος να εργάζεται μέσα σ' αυτά. Δηλαδή το θερμοκήπιο προσφέρει και προστασία των εργαζομένων μέσα σ' αυτό από αντίξοες καιρικές συνθήκες.

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

- 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 ακτινοβολίας, της θερμότητας, της υγρασίας και του διοξειδίου του άνθρακα, με αρκετή ακρίβεια.
- Παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της ρίζας των φυτών, όπως: της υγρασίας, του οξυγόνου, της θερμότητας, των ανόργανων



θρεπτικών στοιχείων και του pH, που με τη χρήση κατάλληλων εδαφικών υποστρωμάτων ή υδροπονικών καλλιεργειών, μπορούν να φθάσουν με ακρίβεια τις απαιτήσεις των φυτών.

- Παρέχεται η δυνατότητα αποτελεσματικότερης φυτοπροστασίας από ασθένειες και έντομα, λόγω περιορισμένου χώρου και εξειδικευμένου εξοπλισμού. Επιπλέον, σ' ένα θερμοκήπιο που παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς ρύθμισης των συνθηκών του περιβάλλοντος έτσι ώστε να ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών, η ανάπτυξη φυτασθενειών είναι πολύ σπανιότερη απ' ότι σε συνθήκες που δεν παρέχεται τέτοια δυνατότητα.

Ένα σύγχρονο θερμοκήπιο δεν αρκεί μόνο να προσφέρει τη δυνατότητα για τη δημιουργία και διατήρηση του ευνοϊκού περιβάλλοντος για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, αλλά θα πρέπει να παρέχει και τη δυνατότητα κάθε φορά για την παραγωγή φυτικών προϊόντων με το μικρότερο δυνατό κόστος, γι' αυτό άλλωστε και χαρακτηρίζεται το θερμοκήπιο και ως βιομηχανική μονάδα, καθώς για να είναι βιώσιμο ένα θερμοκήπιο ακολουθεί από την αρχή της λειτουργίας του ένα επιχειρηματικό σχέδιο.

### ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Από τους Έλληνες συγγραφείς του 5ου π.χ. αιώνα και ιδιαίτερα από τον Πλάτωνα, γνωρίζουμε ότι σε ειδικές λατρευτικές περιπτώσεις, που αναφέρονται ως «Κήποι του Άδωνη», αναπτύσσονταν φυτά με ταχύτατο ρυθμό σε ειδικούς χώρους. Οι σπόροι και τα μοσχεύματα που φυτεύονταν σ' αυτούς τους χώρους, σε μια βδομάδα είχαν τέτοια ανάπτυξη όση χρειαζόταν μήνες στους ανοιχτούς αγρούς. Ο Θεόφραστος (372-287 π.Χ.) αναφέρει ότι για την καλλιέργεια φυτών εκτός εποχής χρησιμοποιούνταν δοχεία που βρίσκονταν σε καρότσι και μεταφέρονταν τη νύχτα στο περιστύλιο για προστασία από το κρύο. Τα δοχεία αυτά στη βάση τους περιείχαν μισοχωνευμένη κοπριά, η οποία ζυμώμενη αύξανε τη θερμοκρασία της ρίζας αλλά και των πλησίον του υποστρώματος φύλλων.

Τον 1ο μ.Χ. αιώνα είναι γνωστό (Columella 63 μ.Χ.) ότι οι Ρωμαίοι καλλιεργούσαν φρούτα και κηπευτικά σε θερμοσπορεία. Ο κηπουρός του Τιβέριου Καίσαρα, για να προσφέρει καθημερινά σαλάτα με αγγούρι στον Καίσαρα, χρησιμοποιούσε μεγάλα δοχεία, που σκεπάζονταν με διαφανείς επιφάνειες του ορυκτού μίκα. Η κάλυψη αυτή διατηρούσε τη ζέση που προήρχετο από τη ζύμωση



της κοπριάς κοντά στην κόμη και ταυτόχρονα επέτρεπε την είσοδο του φωτός στο χώρο του φυτού.

Στην αρχαία Κίνα αναφέρεται ότι στη νότια πλευρά του τοίχου που κατασκευαζόταν από τούβλα (θερμαινόταν κατά τη διάρκεια της ημέρας από την ηλιακή ακτινοβολία), τοποθετούσαν υπό γωνία 30-40° στηρίγματα από καλάμια που τα κάλυπταν με λαδόχαρτο. Στο χώρο μεταξύ τοίχου και λαδόχαρτου αναπτυσσόταν η καλλιέργεια, η οποία τη νύχτα επωφελείτο από την αποθηκευμένη θερμότητα στον τοίχο.

Στην Πομπηία βρέθηκαν μεγάλες κατασκευές, που φαίνεται πως καλύπτονταν με ένα είδος πρωτόγονου γυαλιού. Τα δοχεία των φυτών τοποθετούνταν σε τραπέζια με διάτρητη επιφάνεια, κάτω από τα οποία υπήρχε η δυνατότητα να τοποθετηθούν αναμμένα κάρβουνα, έτσι ώστε ο θερμός αέρας που ανερχόταν να θερμαίνει τα δοχεία με τα φυτά.

Τα θερμοκήπια εμφανίστηκαν πάλι τον 17ο αιώνα μ.Χ. Σε όλη τη διάρκεια του Μεσαίωνα το θερμοκήπιο φαίνεται ότι ήταν άγνωστο.

Τον 16ο μ.Χ. αιώνα οι έμποροι και οι εξερευνητές αρχίζουν να μεταφέρουν εξωτικά φυτά, που δεν μπορούσαν εύκολα να επιζήσουν στο κλίμα της Β. Ευρώπης. Για την παρατήρηση αυτών των εξωτικών φυτών με τα θαυμάσια αρώματα και τους χυμώδεις καρπούς, δημιουργήθηκαν ειδικοί Βοτανικοί Κήποι, στην αρχή στην Ιταλία και μετά στην Ολλανδία και Αγγλία.

Η Βοτανική μόλις τότε ξεκινούσε σαν επιστήμη και πάρα πολλές μελέτες και έρευνες είχαν κατεύθυνση στην περιγραφή και καλλιέργεια των εξωτικών φυτών.

Το 17ο αιώνα τα εξωτικά φυτά, εκτός από το βοτανικό και φαρμακευτικό ενδιαφέρον που παρουσίαζαν, άρχισαν να χρησιμοποιούνται από την αριστοκρατία της Βόρειας Ευρώπης και ως φυτά διακόσμησης, καθώς και παραγωγής. Από τα καρποφόρα πολύ δημοφιλή ήταν τα εσπεριδοειδή, των οποίων η καλλιέργεια ήταν σχετικά εύκολη, μιας και δεν απαιτείτο θέρμανση, παρά μόνο προστασία από τον παγετό. Η προστασία γινόταν σε μεγάλα δωμάτια, που είχαν σόμπα θέρμανσης που άναβε τις ημέρες παγετού. Τα εσπεριδοειδή, φυτεμένα σε μεγάλα δοχεία, μεταφέρονταν και παρέμεναν για 6 μήνες το χειμώνα σ' αυτά τα δωμάτια, ενώ τους υπόλοιπους μήνες ήταν στο ύπαιθρο.

Το 18ο αιώνα είχε πλήρως αναγνωριστεί η αξία του καλού φωτισμού στην υγιή ανάπτυξη των φυτών. Στις κατασκευές των θερμοκηπίων που γίνονταν με ξύλινο



σκελετό και υαλοπίνακες άρχισε να λαμβάνεται υπόψη ο υπολογισμός της γωνίας κλίσης των υαλοπινάκων, ώστε να επιτευχθεί ο καλύτερος φωτισμός στο χώρο του θερμοκηπίου. Ο Boerhaave (1710) προτείνει οι υαλοπίνακες να έχουν κάθετη κατεύθυνση στις ακτίνες του ήλιου το μεσημέρι κατά τη χειμερινή περίοδο, ώστε να εισέρχεται η μεγαλύτερη ποσότητα φωτισμού στο χώρο όπου βρίσκονται τα φυτά. Οι Ολλανδοί ήταν μεταξύ των πρώτων που χρησιμοποίησαν στέγη με κεκλιμένες επιφάνειες από γυαλί. Εισήγαγαν επίσης τη χρησιμοποίηση της θερμοκουρτίνας κατά τη διάρκεια της νύχτας και σε πρώτο στάδιο την κατασκευή του διπλούτοιχώματος, χρησιμοποιώντας το λαδόχαρτο σαν δεύτερο κάλυμμα (Clegg P. and Watkins D., 1980). Οι συνήθειες καλλιέργειες ήταν τα πρώιμα σταφύλια και τα εσπεριδοειδή. Δυο από τους πιο φημισμένους και τεχνικά προηγμένους Βοτανικούς Κήπους στον κόσμο ήταν αυτοί του Πανεπιστημίου του Leyden στην Ολλανδία και του Gilfford στην Αγγλία, όπου δούλεψε ο μεγάλος φυσιολόγος Λινναίος.

Η θέρμανση, όπου υπήρχε, γινόταν με θερμάστρες. Γύρω στο 1790 εμφανίστηκε η πρώτη θέρμανση με ατμό, που έδωσε μεγαλύτερη καθαριότητα, απόδοση, ευκολία, δυνατότητα επίτευξης υψηλότερης θερμοκρασίας και αποφυγής των αερίων καύσης από το χώρο των φυτών.

Με το τέλος του 18ου μ.Χ. αιώνα η τέχνη της ανάπτυξης των φυτών έγινε μια Επιστήμη.

Το 19ο μ.Χ. αιώνα το θερμοκήπιο εξελίχθηκε αρκετά, ενώ μερικοί νεωτερισμοί της εποχής εκείνης χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα. Ο πρώτος αυτόματος μηχανικός θερμοστάτης χρησιμοποιήθηκε το 1816 για τον εξαερισμό του θερμοκηπίου. Ο ενδιαφέρων νεωτερισμός κατασκευής πολλαπλών θερμοκηπίων με κορυφές και υδρορρόδες αναπτύχθηκε αυτόν τον αιώνα. Το παραδοσιακό θερμοκήπιο κατασκευάζεται από ξύλο και γυαλί, αλλά τότε προτείνεται για πρώτη φορά (London J.C 1838) ο σίδηρος και το γυαλί για την κατασκευή θερμοκηπίου.

Τον 20ό αιώνα υπάρχει συνεχής εξέλιξη του θερμοκηπίου από πλευράς υλικών κατασκευής. Κατασκευάζονται σκελετοί θερμοκηπίων από ξύλο, γαλβανισμένο σίδηρο και αλουμίνιο. Η επαναστατική αλλαγή όμως έγινε στα υλικά κάλυψης, όπου, εκτός από το γυαλί, χρησιμοποιούνται τα εύκαμπτα φύλλα πλαστικού και τα σκληρά φύλλα πλαστικού. Η χρησιμοποίηση αυτών των υλικών έδωσε τη δυνατότητα κατασκευής φθηνών θερμοκηπίων, γεγονός που επέτρεψε τη γρήγορη εξάπλωσή τους. Επίσης, η αύξηση των γνώσεων σχετικά με την επίδραση των διάφορων



συνδυασμών των παραγόντων του περιβάλλοντος στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, καθώς και η εξέλιξη της ηλεκτρονικής και του ηλεκτρονικού υπολογιστή, επέτρεψαν την ανάπτυξη πολλών αυτοματισμών που ρυθμίζουν το επιθυμητό περιβάλλον στο χώρο του θερμοκηπίου με μεγάλη ακρίβεια και «έξυπνο» τρόπο.

Σήμερα η εφαρμογή των γνώσεων της φυσιολογίας των φυτών, των δυνατοτήτων της ακριβούς ρύθμισης του περιβάλλοντος, και η χρησιμοποίηση φυτών βελτιωμένων ποικιλιών και υβριδίων στο θερμοκήπιο, έχει ως αποτέλεσμα την πολύ μεγάλη αύξηση της παραγωγής.

### 1.1.2. Ο κλάδος των θερμοκηπίων διεθνώς

Ο κλάδος των θερμοκηπίων παρουσιάζει ιδιαίτερη άνθηση στον διεθνή χώρο. Θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και ως δείκτης πολιτισμού για κάθε χώρα, καθώς τόσο ο εξοπλισμός και τρόπος παραγωγής των προϊόντων όσο και το ίδιο το προϊόν (η παραγωγή καλλωπιστικών σε αντίθεση με την παραγωγή οπωροκηπευτικών δηλώνει υψηλότερο βιοτικό επίπεδο του πληθυσμού της εκάστοτε χώρας), μπορούν να καθρεφτίσουν την οικονομικο-κοινωνικο-πολιτική ανάπτυξη μιας χώρας. Η επιλογή των υλικών κάλυψης ποικίλη ανά γεωγραφικό πλάτος και εκάστοτε επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες (π.χ. στην Ελλάδα αποφεύγεται το γυαλί λόγω έντονης ηλιοφάνειας και χαλαζοπτώσεων).

Πιο συγκεκριμένα παρακάτω αναλύονται τα αποτελέσματα του διαγράμματος 1. Η παγκόσμια έκταση το 2002 είναι 15.000.000 στρέμματα ή περίπου 2 m<sup>2</sup>/κάτοικο της γης.

Κίνα: 12.500.000 στρ. ή 83,3% της παγκόσμια καλυπτόμενης με θερμοκήπια έκτασης, κυρίως απλές πλαστικές κατασκευές (πιθανόν περιλαμβάνονται και τα χαμηλά σκέπαστρα, για τα οποία δεν υπάρχουν επαρκή στοιχεία).

Ευρωπαϊκή Ένωση: 1.200.000 στρ. ή 8% των θερμοκηπιακών εκτάσεων παγκοσμίως (300.000 στρ. από αυτά είναι υαλόφρακτα).

Ιαπωνία: 450.000 στρ. ή 3% των θερμοκηπιακών εκτάσεων παγκοσμίως (25.000 από αυτά είναι υαλόφρακτα).

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



από τα οποία τα 650.000 στρ. είναι υαλόφρακτα και τα 1.850.000 στρ. είναι με κάλυψη πλαστικού.

Σε σχέση με το συνολικό αριθμό θερμοκηπίων παγκόσμια (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 άλλες 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% και οι άλλες χώρες με μικρότερα 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 7η θέση, ενώ έχει πολύ ευνοϊκές εδαφοκλιματικές συνθήκες για την παραγωγή θερμοκηπιακών προϊόντων.

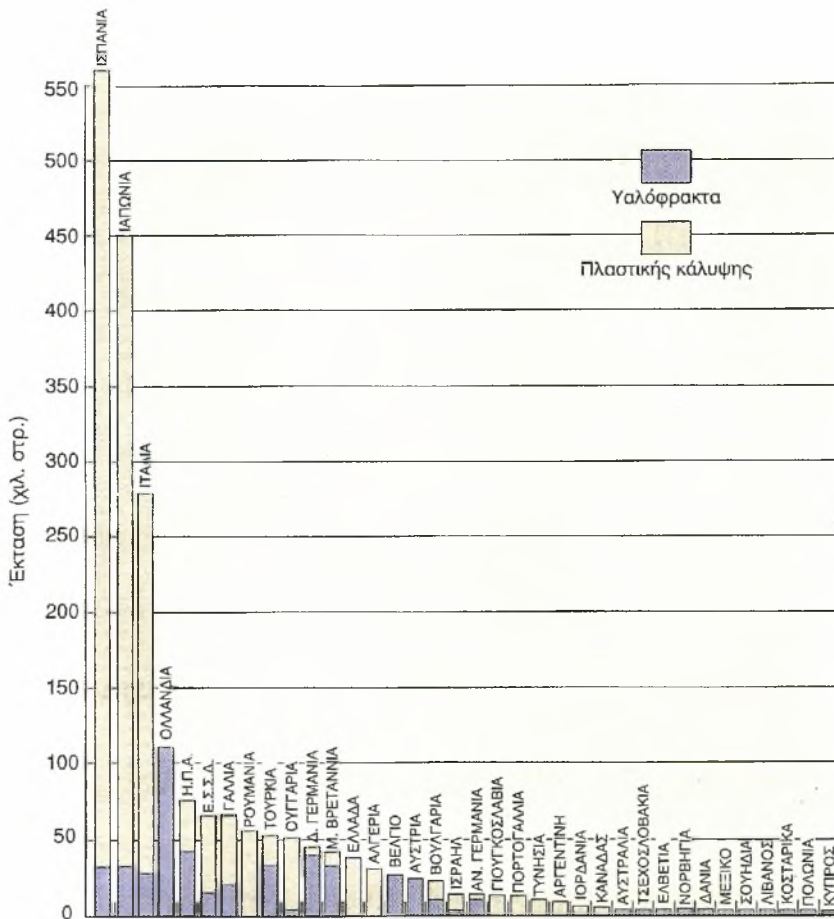
Σχετικά με την προσφορά θερμοκηπιακών προϊόντων στις χώρες της Ε.Ε. σημειώνουμε ότι, γενικά, το χειμώνα υπάρχει έλλειψη θερμοκηπιακών προϊόντων και γίνονται σημαντικές εισαγωγές από άλλες χώρες (κυρίως μεσογειακές), ενώ το καλοκαίρι πλεόνασμα, το οποίο εξάγεται.

### 1.1.3. Ο κλάδος των θερμοκηπίων στην Ελλάδα

Στη χώρα μας οι πρώτες συστηματικές εγκαταστάσεις θερμοκηπίων ξεκίνησαν το 1955 και αποτελούνταν από υαλόφρακτα θερμοκήπια για παραγωγή καλλωπιστικών φυτών. Η σημαντική όμως εξάπλωσή τους αρχίζει μετά το 1961, με τη χρησιμοποίηση του πλαστικού φύλλου πολυαιθυλενίου (πλαστικό) ως υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων. Η ευκολία προσαρμογής του υλικού αυτού σε οποιοδήποτε σχήμα σκελετού και η χαμηλή του τιμή επέτρεψαν στους προοδευτικούς καλλιεργητές (σε περιοχές με πρώιμες καλλιέργειες) να κατασκευάσουν μόνοι τους θερμοκήπια για παραγωγή πρώιμων καλλωπιστικών, χωρίς να χρειάζονται μεγάλα



κεφάλαια. Αργότερα δημιουργήθηκαν και αρκετές βιοτεχνίες κατασκευής θερμοκηπίων, οι οποίες βελτίωσαν σημαντικά τις κατασκευές. Έτσι παρατηρήθηκε μια σημαντική ανάπτυξη των θερμοκηπίων, τα οποία έφθασαν στα 46.441 στρέμματα το 2003.



**Διάγραμμα 1**  
Εκτάσεις θερμοκηπίων στον κόσμο

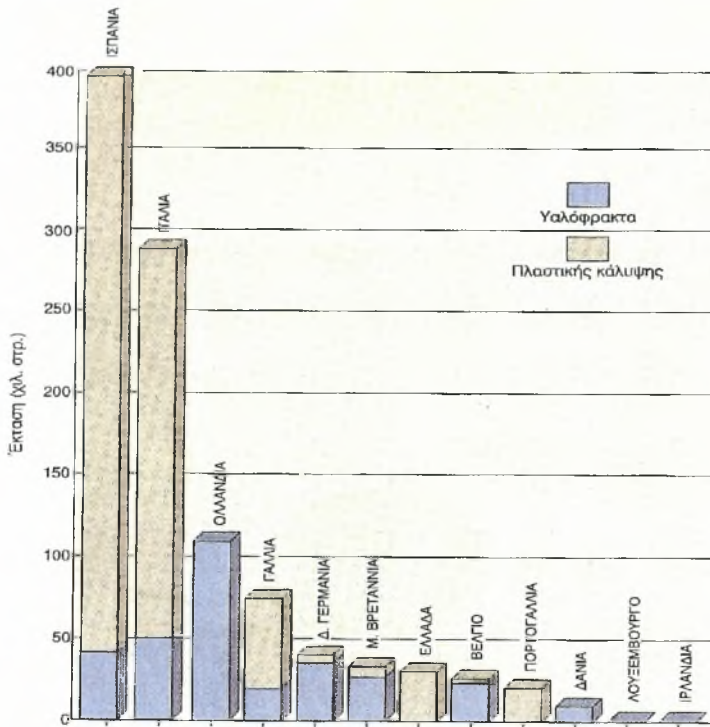
Εικόνα 1 Διάγραμμα στατιστικών στοιχείων έκτασης θερμοκηπίων παγκοσμίως.

Στην Ελλάδα, η οποία καλύπτει το 1.4% της παγκόσμιας έκτασης σε θερμοκήπια, η αύξηση των θερμοκηπιακών εκτάσεων ήταν ιδιαίτερα εντυπωσιακή την εικοσαετία 1960-1980 (Σχήμα 1.2.α). Κατά τη δεκαετία του '80 η αύξηση συνεχίστηκε αλλά με χαμηλότερους ρυθμούς, ενώ κατά την τελευταία δεκαετία οι ρυθμοί ήταν ακόμη χαμηλότεροι. Εν τούτοις, σε απόλυτα νούμερα, οι θερμοκηπιακές εκτάσεις στην Ελλάδα δεν έχουν γνωρίσει την ανάπτυξη που θα δικαιολογούσαν οι ευνοϊκοί





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

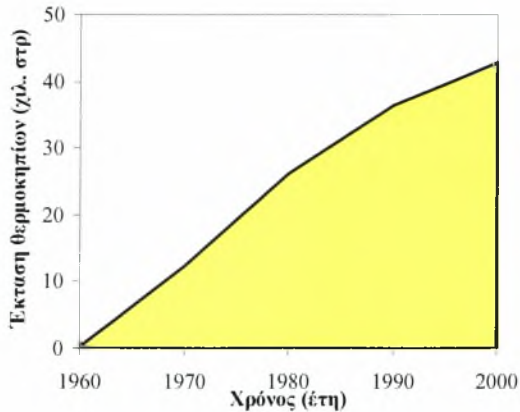


**Διάγραμμα 2**  
Εκτάσεις θερμοκηπίων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης<sup>(12)</sup>

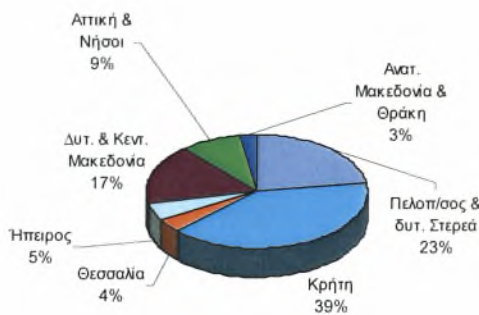
Εικόνα 2 Διάγραμμα στατιστικών στοιχείων έκτασης θερμοκηπίων στην Ευρώπη.

Στην Ελλάδα, η Κρήτη κατέχει το μεγαλύτερο τμήμα της καλυμμένης έκτασης σε θερμοκήπια με ποσοστό περίπου 39%, όπως φαίνεται παρακάτω.





Εικόνα 3 Έκταση θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα από το 1960 έως το 2000 (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας).



Εικόνα 4 Γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα σε ποσοστό της συνολικής έκτασης (Πηγή: Υπουργείο Γεωργίας).

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που συνετέλεσαν στην αύξηση των θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα είναι:

- Οι εδαφοκλιματικές συνθήκες της χώρας.
- Το ήπιο κλίμα που επικρατεί σε πολλές περιοχές είναι ευνοϊκό και παρέχει τη δυνατότητα καλλιέργειας σε πολύ απλές κατασκευές χωρίς ακριβό εξοπλισμό.
- Η ανάγκη εξασφάλισης υψηλότερου εισοδήματος από μικρής έκτασης γεωργικό έδαφος (εντατικοποίηση των καλλιεργειών).
- Η αύξηση της ζήτησης των θερμοκηπιακών προϊόντων στην εσωτερική αγορά.



- Η γεωργική πολιτική του κράτους που ενθάρρυνε την προώθηση των καλλιεργειών αυτών με τη θέσπιση οικονομικών κινήτρων και την εκτέλεση αρδευτικών και άλλων έργων.

Η γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπίων και καλλιεργειών στη χώρα μας παρουσιάζεται στον Πίνακα 1:

*Πίνακας 1 Πίνακας γεωγραφικής κατανομής των εγκαταστάσεων στην Ελλάδα θερμοκηπίων και καλλιεργειών, σε στρέμματα. Στοιχεία Υπουργείου Γεωργίας για το έτος 2003.*

Περιοχές Χώρας	Κηπευτικά				Ανθοκομικά			
	Πλαστικά	Υαλόφρακτα	Σύνολο	Ποσοστό (%)	Πλαστικά	Υαλόφρακτα	Σύνολο	Ποσοστό (%)
Κρήτη	19.623	177	19.800	46,4	409	412	821	21,7
Πελοπόννησος	6.298	49	6.347	14,9	87	202	289	7,6
Κεντρική Μακεδονία	6.424	8	6.432	15,1	74	297	371	9,8
Λοιπές περιοχές	9.975	104	10.079	23,6	692	1.610	2.302	60,9
<b>Σύνολο χώρας</b>	<b>42.320</b>	<b>338</b>	<b>42.658</b>	<b>100,00</b>	<b>1.262</b>	<b>2.521</b>	<b>3.783</b>	<b>100,00</b>
Ποσοστό (%)	99,2	0,8	100		33,4	66,6	100	



Πίνακας 2 Πίνακας γεωγραφικής κατανομής των εγκαταστάσεων στην Ελλάδα θερμοκηπίων στο σύνολο σε στρέμματα. Στοιχεία Υπουργείου Γεωργίας για το έτος 2003.

Περιοχές Χώρας	Σύνολο			
	Πλαστικά	Υαλόφρακτα	Σύνολο	Ποσο-στο (%)
Κρήτη	20.032	589	20.621	44,4
Πελοπόννησος	6.385	251	6.636	14,3
Κεντρική Μακεδονία	6.498	305	6.803	14,6
Λοιπές περιοχές	10.667	1.714	12.381	26,7
<b>Σύνολο χώρας</b>	<b>43.582</b>	<b>2.859</b>	<b>46.441</b>	<b>100,00</b>
Ποσοστό (%)	93,8	6,2	100	

Ιδιαιτερότητες του τομέα των θερμοκηπίων της Νοτίου Ελλάδος σε σχέση με τα θερμοκήπια της Βορείου Ευρώπης:

Κλιματικοί παράγοντες: Τα θερμοκήπια στην Ελλάδα συγκεντρώνονται σε περιοχές χωρίς υπερβολικά ψυχρό χειμώνα και με άφθονη ηλιακή ενέργεια. Η Κρήτη, η Πελοπόννησος και τα νησιά του Νοτίου Αιγαίου είναι οι περιοχές όπου συγκεντρώνεται το 65% των θερμοκηπίων της χώρας. Οι μέσες θερμοκρασίες Ιανουαρίου στις περιοχές αυτές κυμαίνονται από 10-13°C και οι μέσες ελάχιστες από 6,4 έως 9,5 °C. Η ηλιακή ακτινοβολία κυμαίνεται από 1750 Wh m<sup>-2</sup> και ημέρα ως 2300 Wh m<sup>-2</sup> και ημέρα. Η μέση θερμοκρασία αυξάνεται στους 16°C τον Απρίλιο και η ηλιακή ακτινοβολία πάνω από 4700 Wh m<sup>-2</sup> και ημέρα (Μαυρογιαννόπουλος, 2005). Το κλίμα επομένως της Νοτίου Ελλάδος συνήθως επιτρέπει την παραγωγή γεωργικών προϊόντων και σε μη θερμαινόμενα θερμοκήπια, κάτι που είναι αδύνατον στη Β. Ευρώπη. Στη νότιο Ελλάδα λόγω της σχετικά υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας τη χειμερινή περίοδο το δυναμικό παραγωγής την περίοδο αυτή είναι αντίστοιχα υψηλό και συχνά ευνοϊκό για τη χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας στη θέρμανση του θερμοκηπίου.



Η παραγωγική περίοδος κηπευτικών προϊόντων στη Νότιο Ελλάδα αρχίζει από το Νοέμβριο και συνήθως τελειώνει τον Ιούνιο. Η παραγωγική περίοδος μπορεί να επεκταθεί και κατά τους θερινούς μήνες, αρκεί να εξασφαλιστεί καλός εξαερισμός του θερμοκηπίου ή και δροσισμός. Στη Βόρειο Ευρώπη η παραγωγική περίοδος στα ίδια προϊόντα περιλαμβάνει την άνοιξη, το θέρος και το φθινόπωρο.

Οικονομικοί παράγοντες: Η ελληνική οικονομία τις περασμένες δεκαετίες χαρακτηριζόταν από υψηλό σχετικά πληθωρισμό και επομένως υψηλό κόστος χρήματος που καθιστούσε τις κατασκευές πολύ καλών προδιαγραφών ασύμφορες, γι' αυτό η πλειοψηφία των παλιών κατασκευών στη χώρα μας είναι μικρού κόστους θερμοκήπια με ξύλινο σκελετό και ελάχιστο εξοπλισμό. Στη Β. Ευρώπη η πλειοψηφία των θερμοκηπίων είναι μεταλλικού σκελετού θερμοκήπια που φέρουν πλήρη εξοπλισμό σύγχρονης τεχνολογίας.

Αγορά: Στην ελληνική αγορά γενικά, για τα περισσότερα κηπευτικά θερμοκηπίου δεν υπάρχει διαφοροποίηση τιμών στις ποιότητες Extra, A και B κι έτσι το πλεονέκτημα της παραγωγής καλύτερης ποιότητας προϊόντων όταν θερμαίνεται το θερμοκήπιο δεν οδηγεί πάντα σε οικονομικό όφελος για τον παραγωγό. Στη Β. Ευρώπη υπάρχει υποχρεωτικός διαχωρισμός ποιοτήτων και επομένως διαφοροποίηση τιμών στις διάφορες ποιότητες.

Στην Ελλάδα η μεγάλη απόσταση από τα κέντρα κατανάλωσης της Β. Ευρώπης επιβαρύνει τα εξαγόμενα προϊόντα με υψηλό κόστος μεταφοράς.

#### **1.1.4. Προβλήματα στον εγχώριο κλάδο των θερμοκηπίων**

Παρόλη την "ευνοϊκή" γεωγραφική θέση που κατέχει η χώρα μας για την ανάπτυξη του κλάδου των θερμοκηπίων, υστερεί σε σχέση με τις υπόλοιπες μεσογειακές χώρες, οι οποίες έχουν πάρει ζεστά την θερμοκηπιακή καλλιέργεια. Όπως παρουσιάστηκε παραπάνω η Ελλάδα κατέχει μικρό κλήρο θερμοκηπίων σε σχέση με τις λοιπές μεσογειακές χώρες που κατέχουν τα πρωτεία στον Ευρωπαϊκό χώρο.

Εμπόδιο αποτελούν το υψηλό κόστος εγκατάστασης και η παραπάνω εργασία των αγροτών. Καθώς η θερμοκηπιακή καλλιέργεια συγκρίνεται με τις μεγάλες καλλιέργειες (π.χ. σιτάρι, βαμβάκι, κ.τ.λ.), κυρίως στο χώρο της Θεσσαλίας, οι



οποίες καλλιέργειες απαιτούν λιγότερο χρόνο απασχόλησης σε σχέση με τις θερμοκηπιακές.



Σχήμα 1

Ισόθερμες Ιανουαρίου στον ελλαδικό χώρο

Εικόνα 5 Μετεωρολογικός χάρτης Ελλάδος για τις ισόθερμες του Ιανουαρίου. (Μαυρογιαννόπουλος, 2005).

Για την προώθηση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών υπάρχουν επιδοτήσεις κρατικές καθώς και ειδικά αγροτικά δάνεια γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο.

Από κλιματικής άποψης το υψηλό θερμοκρασιακά καλοκαίρι, αποτελεί έναν ανασταλτικό παράγοντα. Σε πολλές περιοχές μάλιστα (π.χ. Κρήτη ) το καλοκαίρι σταματά η παραγωγή προϊόντων, λόγω ακριβώς αυτών των ακραίων θερμοκρασιακών συνθηκών.

## 1.2. Αντικείμενο & Δομή της εργασίας

Η διατήρηση της θερμοκρασίας που έχουν ανάγκη τα φυτά για την ανάπτυξή τους είναι η καρδιά του ελέγχου του κλίματος στο θερμοκήπιο. Τα διάφορα φυτά έχουν ανάγκη διαφορετικών θερμοκρασιών και ο καλλιεργητής συνήθως στοχεύει στη διατήρηση της άριστης θερμοκρασίας για τα φυτά της εκάστου καλλιέργειας. Αυτή η



θερμοκρασία δεν θα είναι η ελάχιστη, καθώς τα φυτά μπορούν να επιβιώσουν στην ελάχιστη, όμως δεν θα ευδοκιμήσουν. Ο έλεγχος αυτός επιτυγχάνεται με τεχνητές ή φυσικές πηγές θέρμανσης ή με τον συνδυασμό αυτών, με εξοπλισμό εξαερισμού και μεθόδους σκίασης, αποβολή θερμότητας και υγρασίας. Δεν είναι πάντα εύκολο να εξασφαλιστούν αυτοί οι παράγοντες σε ημέρες με ψυχρούς ανέμους ή καυτό ήλιο. Υπάρχουν επίσης κι άλλοι παράγοντες, όπως η ένταση του φωτός, η υγρασία και τα αέρια ρεύματα, που μπορεί να είναι καθοριστικοί για μερικά φυτά.

Η εργασία αυτή πραγματεύεται τη διερεύνηση της επίδρασης του σύστημα δροσισμού της τεχνητής υδρονέφωσης, στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου, όπου όπως αναφέρθηκε παραπάνω αποτελεί την κύρια τροποποίηση ανά καλλιέργεια. Με την ρύθμιση της θερμοκρασίας μπορεί να επέλθει προγραμματισμός της καλλιέργειας, σπρώχνοντας την χρονικά μπροστά ή πίσω, ανάλογα με τη ζήτηση της αγοράς.

Η διερεύνηση της αλλαγής της θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα, εκτός από τις πλέον λογικές και αναμενόμενες επιπτώσεις όπου θα υπάρξουν στον προγραμματισμό της εργασίας, μπορεί να συντελέσει και σε μεγάλο βαθμό στην εξάπλωση ασθενειών εντός του θερμοκηπίου. Κύριος παράγοντας της εξάπλωσης ασθενειών αποτελεί και ο αέρας εντός του θερμοκηπίου, γι' αυτό καταγράφεται και η ταχύτητα και κίνηση του εντός του θερμοκηπίου, καθώς επίσης και το ποσοστό της υγρασίας.

Προκειμένου τα αποτελέσματα της εργασίας να είναι αντικειμενικά μελετάται και το σύστημα δροσισμού με φυσικό και δυναμικό αερισμό. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται μεταξύ τους, ώστε να διεξαχθούν σωστά αποτελέσματα.

Για τον καλλιεργητή είναι απαραίτητη η ομοιομορφία του μικροκλίματος εντός του θερμοκηπίου, ώστε να επιτευχθεί και ομοιογενής παραγωγή. Στην Ελλάδα το κλίμα το καλοκαίρι είναι θερμό ξηρό, δύο παράγοντες που προσπαθεί να απαλείψει ο παραγωγός με τη χρήση των συστημάτων δροσισμού. Η εργασία αυτή αποσκοπεί στην διερεύνηση των διαφορών των κλιματικών παραγόντων όχι μόνο εντός και εκτός θερμοκηπίου αλλά και μεταξύ των συστημάτων δροσισμού.

Ανάλογες έρευνες έχουν γίνει κατά καιρούς παγκοσμίως, χωρίς όμως να περικλείουν και τα τρία συστήματα δροσισμού. Πιο συγκεκριμένα ο Teitel (2007) στην εργασία του αναφέρει την επίδραση που επιφέρει το δίχτυ στα παράθυρα, στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου με το σύστημα δροσισμού του φυσικού αερισμού. Οι Κατσούλας κ.α. (2009) στην εργασία τους αναφέρονται στην επίδραση του



συστήματος δροσισμού της τεχνητής ομίχλης στο φυτό της μελιτζάνας, καθώς επίσης και στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Οι Garcia et. al. (2011) συγκρίνουν το μικροκλίμα του θερμοκηπίου, υπό την εφαρμογή σκίασης του θερμοκηπίου και του συστήματος δροσισμού της τεχνητής ομίχλης. Οι Κατσούλας κ.α. (2006) στην εργασία τους αναφέρουν τις επιπτώσεις στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και στην παραγωγή της πιπεριάς, η εφαρμογή του συστήματος δροσισμού της τεχνητής ομίχλης.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφής η ανάγκη μιας έρευνας για την σύγκριση των επιπτώσεων στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου, που επιφέρει το κάθε σύστημα δροσισμού.





## **2. Κεφάλιο 2 : Θεωρητική ανάλυση**



## 2.1. Οι παράμετροι του μικροκλίματος

### 2.1.1. Θερμοκρασία.

Ο κυριότερος παράγοντας που καθορίζει το θερμικό περιβάλλον του θερμοκηπίου είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Το κάλυμμα απορροφά ένα μικρό μέρος της ακτινοβολίας αυτής, ένα άλλο μέρος ανακλάται, ενώ το υπόλοιπο περνά στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, όπου ένα μέρος του απορροφάται από τις επιφάνειες όπου προσπίπτει (έδαφος, φυτά, σκελετικά στοιχεία κ.λπ.) και ένα άλλο ανακλάται για να ξαναπέσει σε άλλες επιφάνειες ή να βγει εκτός θερμοκηπίου. Εκτός από την ηλιακή ακτινοβολία (μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία), σημαντικό ρόλο στις ανταλλαγές ενέργειας του θερμοκηπίου με τον περιβάλλοντα χώρο παίζει η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, ιδιαίτερα στα θερμοκήπια με κάλυψη από φύλλα πολυαιθυλενίου, που είναι μερικώς περατά στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία. Η ακτινοβολία αυτή ανταλλάσσεται μεταξύ του ουρανού και του καλύμματος, ή στην περίπτωση του πολυαιθυλενίου, (μέσω του καλύμματος) μεταξύ ουρανού και κάθε επιφάνειας μέσα στο θερμοκήπιο, καθώς και μεταξύ των διάφορων επιφανειών μέσα στο θερμοκήπιο. Οι ανταλλαγές αυτές καθορίζονται ποσοτικά από τη θερμοκρασία, την εκπεμπτικότητα των επιφανειών, καθώς και από τους γεωμετρικούς παράγοντες ακτινοβολίας.

Η ροή θερμότητας στο έδαφος γίνεται με αγωγή. Με αγωγή επίσης γίνεται μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής πλευράς του υλικού κάλυψης.

Η ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ του εξωτερικού αέρα και της εξωτερικής πλευράς του καλύμματος, καθώς και του εσωτερικού αέρα και της εσωτερικής πλευράς του καλύμματος γίνεται με συναγωγή. Επίσης, με συναγωγή γίνεται μεταξύ του εσωτερικού αέρα και της επιφάνειας του εδάφους του θερμοκηπίου και μεταξύ της επιφάνειας των φύλλων και του εσωτερικού αέρα.

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

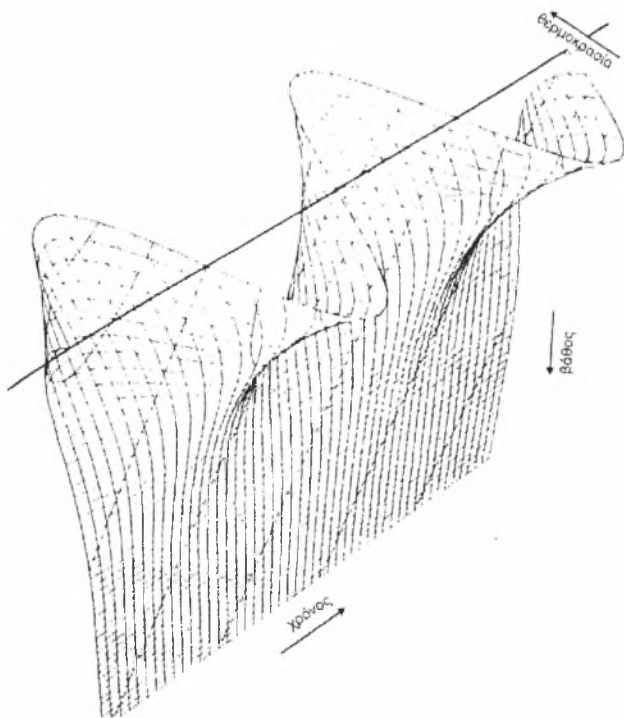


φαινόμενο του κλειστού χώρου, οφείλεται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό η ανύψωση θερμοκρασίας του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Ένα άλλο φαινόμενο που συμμετέχει σημαντικά στην αύξηση της θερμοκρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου είναι αυτό που αποκαλείται το «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Αυτό οφείλεται στο γεγονός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

Από τη θερμή επιφάνεια της γης μεταφέρεται θερμότητα με συναγωγή στον αέρα. Επίσης μεταφέρεται θερμότητα με αγωγιμότητα στα βαθύτερα στρώματα του εδάφους. Δηλαδή ο ατμοσφαιρικός αέρας δε θερμαίνεται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία (παρά σε ασήμαντο ποσοστό, που εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε σκόνη, υγρασία κ.ά.) αλλά έμμεσα από την επιφάνεια της γης.

Το μέγιστο της θερμοκρασίας συμβαίνει όταν υπάρχει η μέγιστη θερμότητα στο σημείο της μέτρησης. Στην επιφάνεια του εδάφους αυτό συμβαίνει τη στιγμή που δέχεται το μέγιστο της προσπίπτουσας σ' αυτό ακτινοβολίας. Ο χρόνος που εμφανίζεται η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας στον αέρα σε κάποια απόσταση από το έδαφος είναι καθυστερημένος, λόγω των αντιστάσεων μεταφοράς της θερμότητας και της θερμοχωρητικότητας του αέρα. Σε βάθος στο έδαφος το μέγιστο της θερμοκρασίας εμφανίζεται πολύ πιο καθυστερημένα, γιατί το έδαφος έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από αυτήν του αέρα. Επίσης, όσο απομακρυνόμαστε από την επιφάνεια, μειώνεται η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας, επειδή τα πλησιέστερα στρώματα αποθηκεύουν μια ποσότητα θερμότητας και επομένως μικρότερη ποσότητα περνά στα επόμενα. Σε φυσικό έδαφος, βάθους 50 cm, η ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας εξασθενεί πάρα πολύ. Σε βάθος 2,20 m η ετήσια μεταβολή είναι περίπου  $\pm 3,5^{\circ}\text{C}$  και η μέση θερμοκρασία σ' αυτό το βάθος είναι περίπου ίση με τη μέση ετήσια θερμοκρασία της επιφάνειας. Σε βάθος 9-18 m η θερμοκρασία θεωρείται σταθερή όλο το χρόνο.





Εικόνα 6 Διάγραμμα εξέλιξης της θερμοκρασίας εδάφους συναρτήσει του χρόνου και του βάθους(Μαυρογιαννόπουλος, 2005).

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

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

- το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής,
- την εποχή του έτους,
- τη διάρκεια της ηλιοφάνειας,
- τον προσανατολισμό του και την κλίση του, καθώς και
- το χρώμα του.

Σημαντική επίσης επίδραση στη θερμοκρασία του εδάφους έχει και η βροχή ή η άρδευση. Η θερμοκρασία του νερού που προορίζεται για άρδευση μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά τη θερμοκρασία του εδάφους στην περιοχή του ριζοστρώματος.



Η επιφάνεια της γης δε δέχεται μόνο την ηλιακή ακτινοβολία (που είναι κατά 98% μικρού μήκους κύματος), αλλά ακτινοβολεί κι αυτή συνεχώς προς το διάστημα μεγάλου, όμως, μήκους κύματος ακτινοβολία. Έτσι, κατά τη διάρκεια της νύχτας που δε δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, ψύχεται συνεχώς, ψύχοντας συγχρόνως και τον ατμοσφαιρικό αέρα που έρχεται σ' επαφή μ' αυτήν.

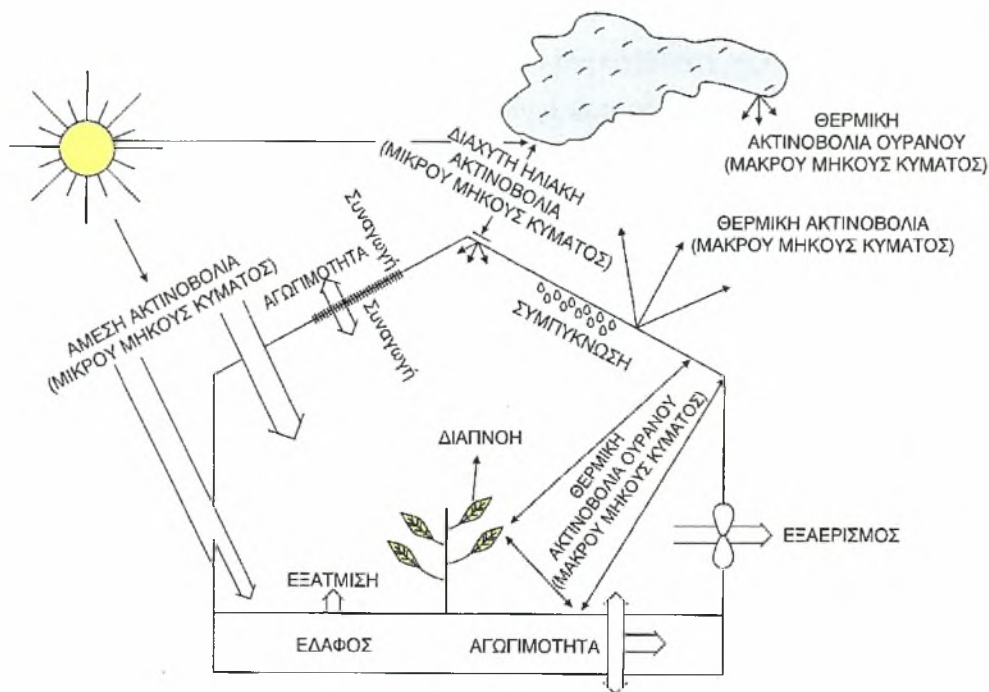
Ο ατμοσφαιρικός αέρας απορροφά ελάχιστη από τη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία που εκπέμπει η γη. Απορρόφηση γίνεται κυρίως από τους υδρατμούς και το CO<sub>2</sub>. Ο ξηρός αέρας επομένως δεν είναι δυνατό να εμποδίσει την ψύξη της επιφάνειας της γης. Τα σύννεφα όμως με την υγρασία που περιέχουν, περιορίζουν την απώλεια μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας στο διάστημα και ένα σημαντικό μέρος της επανακτινοβολείται στη γη, εμποδίζοντας έτσι τη γρήγορη ψύξη.

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

Η συμμετοχή των φυτών στο ενεργειακό ισοζύγιο του θερμοκηπίου είναι πολύ σημαντική, μέσω της διαπνοής τους. Η διαπνοή των φυτών εξαρτάται κυρίως από το ισοζύγιο ακτινοβολίας (μικρού και μεγάλου μήκους κύματος) και από το έλλειμμα κορεσμού υδρατμών, όπως αυτό καθορίζεται από τις θερμοκρασίες των φύλλων και του αέρα.

Στην κλιματική περιοχή που βρίσκεται η χώρα μας, το ευνοϊκό περιβάλλον θερμοκρασιών στο θερμοκήπιο για την ανάπτυξη των διάφορων φυτών δεν είναι πάντα δυνατό να δημιουργηθεί με μόνη την παθητική λειτουργία του θερμοκηπίου. Συνήθως είναι απαραίτητη η προσθήκη ενέργειας, που σήμερα γίνεται με κατανάλωση συμβατικών καυσίμων.





**Σχήμα 5**

*Ανταλλαγές ενέργειας του θερμοκηπίου με το περιβάλλον*

*Εικόνα 7 Σχεδιάγραμμα ανταλλαγής ενέργειας του θερμοκηπίου με το περιβάλλον (Becket, 1998).*

### 2.1.2. Υγρασία

Η υγρασία και η ενέργεια στο χώρο του θερμοκηπίου είναι αλληλένδετα συνδεδεμένες. Οι ανταλλαγές υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο συνδυάζονται με τη μεταφορά θερμότητας με την εξάτμιση και τη συμπύκνωση του νερού, παίρνοντας και δίνοντας θερμότητα αντίστοιχα υπό μορφή λανθάνουσας θερμότητας. Επιπλέον, η θερμοκρασία και η κίνηση του αέρα στο χώρο του θερμοκηπίου και επομένως η ακτινοβολία και η συναγωγή που τα προκαλούν, επηρεάζουν πολύ τις φυσικές διεργασίες και τις καταστάσεις του νερού. Η ακτινοβολία, με την αύξηση της θερμοκρασίας που δημιουργεί στην επιφάνεια του φύλλου, ρυθμίζει και το ρυθμό της διαπνοής (εξάτμισης νερού στα φύλλα).

Η πυκνότητα των υδρατμών στο χώρο του θερμοκηπίου είναι μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της ημέρας, γιατί τότε ο ρυθμός εξάτμισης/διαπνοής είναι μεγαλύτερος από τη



νύχτα, η σχετική υγρασία όμως είναι μικρότερη κατά τη διάρκεια της ημέρας, γιατί τότε η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη και συνήθως λειτουργεί ο εξαερισμός.

Υπάρχουν σημαντικές διαφορές στον τρόπο που εξελίσσεται ο κύκλος του νερού στο θερμοκήπιο συγκριτικά με τον ανοιχτό αγρό. Ρυθμίζοντας σ' ένα θερμοκήπιο τη θερμοκρασία με τη θέρμανση, τον εξαερισμό και τη σκίαση ή την κίνηση του αέρα με τον αερισμό ή τη σχετική υγρασία του χώρου με την υδρονέφωση ή την αφύγρανση, τροποποιούμε τη διαπνοή και επομένως μπορούμε να ελέγχουμε τον κύκλο του νερού στο φυτό.

Στο χώρο ενός θερμοκηπίου, όταν έχει επέλθει ισορροπία, η απόλυτη υγρασία είναι περίπου ίδια σε όλο τον ενιαίο χώρο του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία όμως στα διάφορα σημεία του χώρου δεν είναι ομοιόμορφη (π.χ. κοντά στο κάλυμμα είναι συνήθως χαμηλότερη), επομένως η σχετική υγρασία του αέρα, συνήθως, δεν έχει την ίδια τιμή σε όλα τα σημεία του χώρου του θερμοκηπίου.

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

Ατμοσφαιρική πίεση είναι η πίεση που ασκείται από μια στήλη αέρα σε  $1\text{m}^3$  επιφάνειας της γης. Στην κορυφή ενός βουνού η στήλη του αέρα έχει μικρότερο μήκος, επομένως και η ατμοσφαιρική πίεση είναι μικρότερη. Η ατμοσφαιρική πίεση στη περιοχή μας κυμαίνεται μεταξύ 95 και 105 kPa. Στους συνήθεις υπολογισμούς συνήθως χρησιμοποιούμε τη μέση τιμή 101,3 kPa (1013 mbar). Η ατμοσφαιρική πίεση προέρχεται από το άθροισμα των πιέσεων όλων των αερίων που περιέχονται στον αέρα.

$$P_{\text{tot}} = P_{\text{O}_2} + P_{\text{CO}_2} + \dots + P_{\text{υδρατμών}}$$

Η πίεση που ασκεί κάθε αέριο εξαρτάται από την συγκέντρωσή του και είναι ανεξάρτητη από την πίεση των άλλων αερίων. Η πίεση του ξηρού αέρα μπορεί να θεωρηθεί ότι δε μεταβάλλεται πολύ. Η συγκέντρωση των υδρατμών μεταβάλλεται πολύ με την εξάτμιση και τη συμπύκνωση, η πίεση των υδρατμών επομένως μεταβάλλεται ανάλογα με τη συγκέντρωσή των υδρατμών. Οι υδρατμοί στο χώρο του θερμοκηπίου κινούνται από τις



συγκέντρωσης), σε περιοχές χαμηλής πίεσης (χαμηλής συγκέντρωσης), έως ότου εξισωθεί η πίεση υδρατμών (οι συγκεντρώσεις) σε όλα τα σημεία του χώρου και δημιουργηθεί μια ισορροπία. Η διαφορά πίεσης υδρατμών επομένως είναι η κινητήρια δύναμη για τη μεταφορά των υδρατμών από μια ελεύθερη επιφάνεια νερού ή την επιφάνεια των φύλλων (υψηλή πίεση) στον αέρα του θερμοκηπίου (χαμηλή πίεση).

Την ποσότητα των υδρατμών που περιέχεται σε 1 kg αέρα, σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση την ονομάζουμε απόλυτη υγρασία ( $\text{g kg}^{-1}$  αέρα). Όσο υψηλότερη θερμοκρασία έχει ο αέρας τόσο μεγαλύτερη ποσότητα υδρατμών μπορεί να συγκρατήσει, γιατί αυξάνει η κινητική ενέργεια των μορίων του.

Συχνά χρησιμοποιείται ο όρος πυκνότητα υδρατμών που αφορά την ποσότητα των υδρατμών που περιέχεται σε  $1 \text{ m}^3$  αέρα και εκφράζεται σε  $\text{g m}^{-3}$  αέρα.

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

Σχετική υγρασία λέμε το λόγο της ποσότητας των υδρατμών που περιέχει ο αέρας, σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση, προς την ποσότητα των υδρατμών που θα περιείχε ο αέρας αν ήταν κορεσμένος, με την ίδια θερμοκρασία και πίεση. Η σχετική υγρασία εκφράζεται επί τοις %. Η σχετική υγρασία είναι 0 για τον ξηρό αέρα και 100 για τον κορεσμένο.

Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγουμε, αν ορίσουμε ως σχετική υγρασία το λόγο της πίεσης των υδρατμών του αέρα προς αυτήν του κορεσμένου αέρα, στην ίδια θερμοκρασία και πίεση.

Έλλειμμα κορεσμού υδρατμών λέμε τη διαφορά της απόλυτης υγρασίας του αέρα από την ποσότητα υδρατμών που θα είχε ο αέρας αν στην ίδια θερμοκρασία και πίεση ήταν κορεσμένος, εκφράζεται σε  $\text{g kg}^{-1}$  αέρα. Το έλλειμμα κορεσμού υδρατμών επομένως εκφράζει την ποσότητα των υδρατμών που ο αέρας μιας συγκεκριμένης θερμοκρασίας και πίεσης μπορεί ακόμα να απορροφήσει.

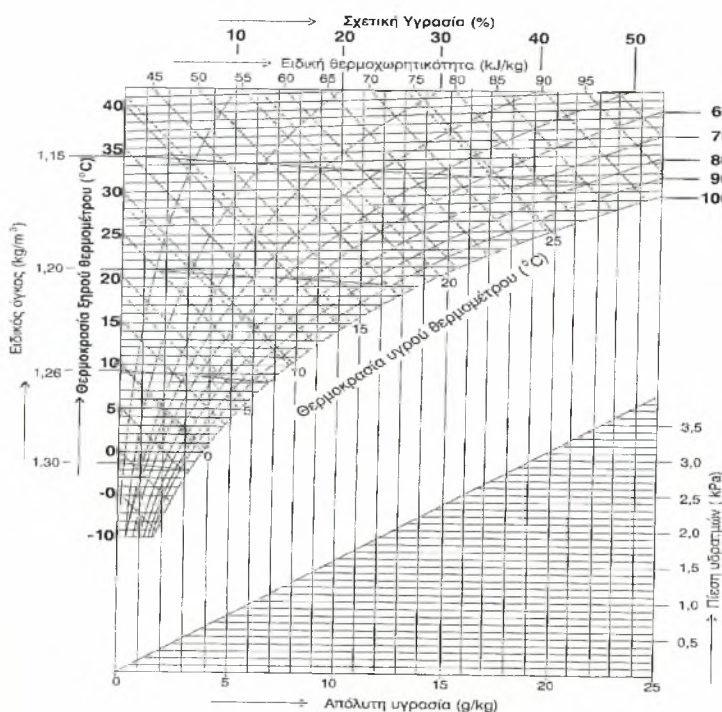
Όσο μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα, τόσο μικρότερη ποσότητα υδρατμών μπορεί να συγκρατήσει, γιατί μειώνεται η κινητική ενέργεια των μορίων του και οι υδρατμοί υγροποιούνται. Θερμοκρασία σημείου δρόσου είναι η θερμοκρασία στην οποία ο αέρας, όταν ψυχθεί χωρίς να μεταβληθεί η περιεκτικότητά του σε υδρατμούς, γίνεται κορεσμένος.





Σε αέρα μιας συγκεκριμένης θερμοκρασίας, όσο αυξάνει η περιεκτικότητά του σε υδατμούς (χωρίς να μεταβάλλεται η θερμοκρασία του), τόσο η θερμοκρασία του σημείου δρόσου πλησιάζει προς αυτήν του αέρα. Το αντίθετο συμβαίνει, όταν μειώνεται η περιεκτικότητά του σε υδατμούς.

Όσο χαμηλώνει η θερμοκρασία του αέρα που περιέχει μια συγκεκριμένη ποσότητα υδατμών, τόσο η θερμοκρασία του σημείου δρόσου πλησιάζει περισσότερο σ' αυτήν του αέρα, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει όταν αυξάνει η θερμοκρασία του.



**Διάγραμμα 20**  
Ψυχομετρικό διάγραμμα ή διάγραμμα Υγρασίας ή διάγραμμα Mollier  
(για βαρομετρική πίεση 101,3 kPa)

*Εικόνα 8 Ψυχομετρικό διάγραμμα (Μαυρογιαννόπουλος, 2005).*

Η θερμοκρασία του σημείου δρόσου μπορεί να προσδιοριστεί εύκολα από το ψυχομετρικό διάγραμμα ή διάγραμμα υγρασίας ή, όπως λέγεται διεθνώς, διάγραμμα Mollier (Εικόνα 8). Π.χ. έχουμε αέρα θερμοκρασίας 25 °C και σχετικής υγρασίας 80%, ο οποίος ψύχεται χωρίς να μεταβληθεί η ποσότητα των υδατμών που περιέχει. Για να βρούμε τη θερμοκρασία στην οποία ο αέρας θα γινόταν κορεσμένος, δηλαδή τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου, βρούμε πρώτα την τομή της οριζόντιας ευθείας που ξεκινά από τη θερμοκρασία του θερμομέτρου (25°C) με την καμπύλη



της σχετικής υγρασίας (80%). Από εκεί φέρεται μια κατακόρυφη ευθεία και στο σημείο όπου η ευθεία αυτή τέμνει την καμπύλη 100% σχετικής υγρασίας (την πρώτη καμπύλη αρχίζοντας από κάτω) φέρεται μια οριζόντια ευθεία, που στον κατακόρυφο άξονα των θερμοκρασιών δείχνει τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου 21,5°C (ψύξη με σταθερή απόλυτη υγρασία). Το σημείο στο οποίο η επέκταση της πρώτης κατακόρυφης ευθείας συναντά τον κάτω οριζόντιο άξονα δείχνει την απόλυτη υγρασία του αέρα 15,8 g kg<sup>-1</sup>. Αν στο σημείο τομής με την υποτείνουσα του κάτω τριγώνου φέρουμε μια οριζόντια ευθεία, το σημείο στο οποίο συναντά τον δεξιό κατακόρυφο άξονα δείχνει την πίεση υδρατμών 2,55 kPa.

Αν στο προηγούμενο παράδειγμα από το σημείο τομής με την καμπύλη σχετικής υγρασίας φέρουμε παράλληλο προς τις διαγώνιες, στο σημείο που τέμνει την κλίμακα του υγρού θερμομέτρου έχουμε  $T_w$  22,3 °C και από εκεί με κατακόρυφη προέκταση βλέπουμε την απόλυτη υγρασία στον κορεσμό 17,2 g kg<sup>-1</sup>. Αυτό σημαίνει ότι σε ένα ιδανικό εξατμιστή η θερμοκρασία του αέρα, από τον οποίο αποσπάται η απαιτούμενη θερμότητα για την εξάτμιση και μετατρέπεται σε λανθάνουσα θερμότητα, θα έφθανε, υπό αυτές τις συνθήκες, στη θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου 22,3°C (ψύξη με σταθερή συνολική ενέργεια στο αέρα).

Η σχέση μεταξύ απόλυτης υγρασίας και διαφοράς θερμοκρασίας υγρού και ψυχρού θερμομέτρου δίνεται και από τη σχέση:

$$W_u = W_{uw} - \gamma (T_a - T_w)$$

όπου:  $w_u$  είναι η απόλυτη υγρασία του αέρα [g kg<sup>-1</sup>].

$w_{uw}$  είναι η απόλυτη υγρασία του κορεσμένου αέρα θερμοκρασίας  $T_w$  [g kg<sup>-1</sup>],

$\gamma$  (=  $C_p/\lambda$ ) ορίζεται ως θερμοδυναμική ψυχομετρική σταθερά. Η τιμή της εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση (στους 20 °C και πίεση 100 kPa = 0.594 g kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>).

$C_p$  είναι η ειδική θερμότητα του αέρα [J g<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>],

$\lambda$  η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού [J kg<sup>-1</sup>].

$T_a$ ,  $T_w$  η θερμοκρασία ξηρού και υγρού θερμομέτρου, αντίστοιχα [K].



### 2.1.3. Ταχύτητα αέρα

Κατά τη διάρκεια του πειράματος καταγράφηκε η ταχύτητα και διεύθυνση του αέρα σε τρεις κατευθύνσεις, με σκοπό τη δημιουργία διανύσματος για την καταγραφή της κίνησης του αέρα εντός του θερμοκηπίου.

Πιο συγκεκριμένα η καταγραφή των συγκεκριμένων δεδομένων γίνεται για την έμμεση επίδραση της ταχύτητας του αέρα στα φυτά. Για την κίνηση του αέρα θα πρέπει να υπάρξουν συγκεκριμένες συνθήκες. Η δημιουργία αυτών των συνθηκών επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες:

- Κατά τη διάρκεια της ημέρας, που τα φύλλα των φυτών δέχονται την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και αποκτούν θερμοκρασία υψηλότερη αυτής του αέρα, προσθέτουν με τη διαπνοή υγρασία στο χώρο, αυξάνοντας τη σχετική υγρασία γύρω τους και επιπλέον καταναλώνουν  $\text{CO}_2$  με τη φωτοσύνθεση, μειώνοντας έτσι τη συγκέντρωση  $\text{CO}_2$  γύρω τους.

- Κατά τη διάρκεια της νύχτας η απώλεια θερμότητας της επιφάνειας των φύλλων με ακτινοβολία, προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας τους, η οποία μπορεί να λάβει τιμή μικρότερη αυτής του περιβάλλοντος αέρα. Δημιουργείται επίσης στρωματοποίηση των θερμοκρασιών μέσα στο θερμοκήπιο, που οφείλεται στη μικρότερη πυκνότητα του ζεστού αέρα που έτσι ανεβαίνει και τη μεγαλύτερη πυκνότητα του ψυχρού αέρα που κατεβαίνει στα χαμηλότερα επίπεδα. Η κίνηση του αέρα συμβαίνει, γιατί ο ζεστός-υγρός αέρας είναι ελαφρότερος από τον κρύο ξηρό αέρα. Στο θερμοκήπιο ο υγρός αέρας που βρίσκεται στην περιοχή των φυτών ανέρχεται με φυσικό τρόπο και αντικαθίσταται από ξηρότερο αέρα.  $1\text{ m}^3$  αέρας θερμοκρασίας  $15^\circ\text{C}$  έχει βάρος  $1,23\text{kg}$ , ενώ  $1\text{ m}^3$  αέρας θερμοκρασίας  $25^\circ\text{C}$  έχει βάρος  $1,18\text{kg}$ . Έτσι, ο αέρας που έρχεται σε επαφή με μια θερμή επιφάνεια λόγω διαφοράς βάρους ανέρχεται και αντικαθίσταται από αέρα χαμηλότερης θερμοκρασίας. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας, τόσο και η ροή είναι μεγαλύτερη· για τις συνήθειες όμως θερμοκρασίες του θερμοκηπίου ο ρυθμός αυτός είναι σχετικά μικρός.

- Από πειραματικές μελέτες γνωρίζουμε ότι μέσα σ' ένα θερμοκήπιο που θερμαίνεται, με ένα σύστημα θέρμησης, και παράλληλα αναδεύεται συνεχώς ο αέρας του με δυναμικά μέσα στο επίπεδο των φυτών, διατηρούνται



θερμοκρασίες πιο ομοιόμορφες, και το σύστημα θέρμανσης καταναλίσκει λιγότερη ενέργεια. Επίσης, η σχετική υγρασία του χώρου είναι μικρότερη, απ' ό,τι μέσα σ' ένα θερμοκήπιο που θερμαίνεται μόνο, χωρίς δυναμική κίνηση του αέρα.

ο Σε χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες η αναγκαστική κίνηση του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο αυξάνει τη συμπύκνωση υγρασίας επάνω στις ψυχρές επιφάνειες του καλύμματος με αποτέλεσμα τη μείωση της σχετικής υγρασίας του χώρου.

## 2.2. Συστήματα δροσισμού

### 2.2.1. Φυσικός εξαερισμός

Ο φυσικός εξαερισμός αποκτάται από ανοίγματα (παράθυρα) στην οροφή και τις πλευρές του θερμοκηπίου. Ο ζεστός εσωτερικός αέρας περνά από τα ανοίγματα οροφής με συνδυασμό ελεύθερης και βεβιασμένης συναγωγής και αντικαθίσταται από ψυχρότερο εξωτερικό αέρα που εισέρχεται από τα πλευρικά ανοίγματα. Η βεβιασμένη συναγωγή προέρχεται από τον άνεμο και επομένως η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου σ' ένα δεδομένο θερμοκήπιο επηρεάζει πάρα πολύ το ρυθμό εξαερισμού. Η διαφορά πίεσης που δημιουργεί ο άνεμος στις διάφορες επιφάνειες του θερμοκηπίου είναι η κινητήρια δύναμη για τον εξαερισμό, στην περίπτωση που υπάρχει άνεμος κάποιας ταχύτητας.

Οποσδήποτε, η έκταση και το γεωμετρικό σχήμα των ανοιγμάτων (παραθύρων) του θερμοκηπίου επηρεάζουν σημαντικά την αντίσταση ροής και επομένως το ρυθμό εξαερισμού. Τα παράθυρα της υπήνεμης πλευράς, που βρίσκονται σε αρνητική πίεση σε σχέση με τη βαρομετρική, είναι ασφαλέστερο ν' ανοίγουν πρώτα.

Πιο συγκεκριμένα οι δυνάμεις που επενεργούν στη λειτουργία του παθητικού εξαερισμού είναι:

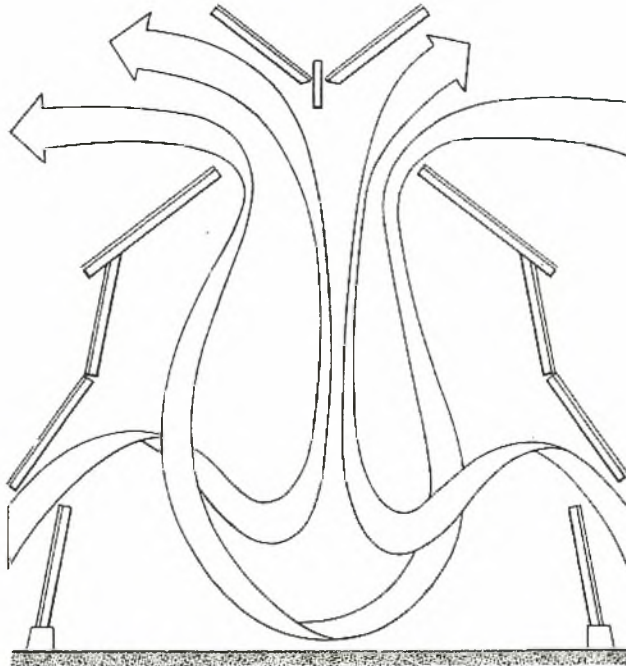
1. η διαφορά στατικής πίεσης που δημιουργείται από τον άνεμο στις διάφορες πλευρές του θερμοκηπίου,

2. η συνεχής μεταβολή της πίεσης που δημιουργείται από τη μεταβολή της στιγμιαίας ταχύτητας του ανέμου και



3. η διαφορά πίεσης που δημιουργείται από τη διαφορά θερμοκρασίας του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο.

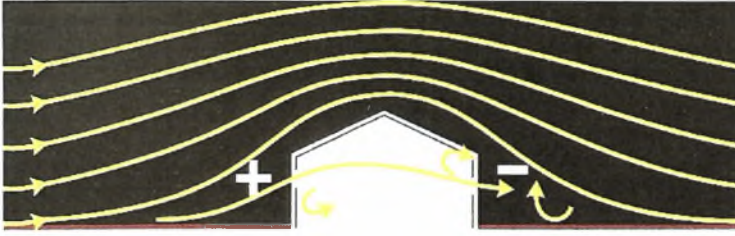
### Κυκλοφορία του αέρα



Οι εξαεριστήρες στις δυο πλευρές της στέγης και στις πλευρές επιτρέπουν πλήρη κυκλοφορία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Τα ανοίγματα της στέγης μπορούν να δράσουν επίσης ως αεραντλίες σε ζεστό καιρό.

Εικόνα 9 Σχεδιάγραμμα κυκλοφορίας του αέρα εντός θερμοκηπίου. (Becket, 1998).

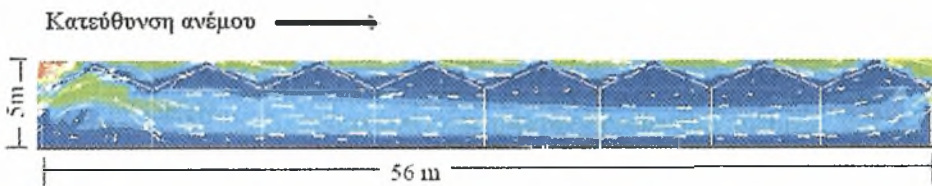




**Σχήμα 65**

Η διαφορά στατικής πίεσης που δημιουργείται από τον άνεμο στις διάφορες πλευρές του θερμοκηπίου, ως κινητήρια ενέργεια για τον εξαερισμό.

Εικόνα 10 Σχεδιάγραμμα στατικής πίεσης από τον εξωτερικό άνεμο στο θερμοκήπιο (Μαυρογιαννόπουλος, 2005).

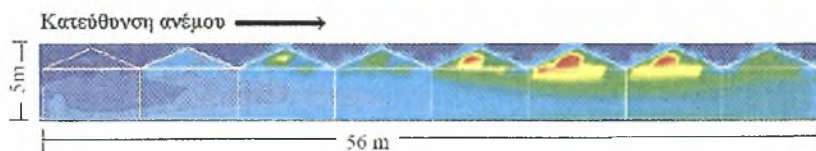


**Σχήμα 66**

Κίνηση του αέρα κατά τον εξαερισμό ενός κενού αμφικλινούς θερμοκηπίου, όταν επικρατεί άνεμος σχετικά χαμηλής ταχύτητας.

Εικόνα 11 Σχεδιάγραμμα κίνησης του αέρα στο θερμοκήπιο με φυσικό αερισμό (Μαυρογιαννόπουλος, 2005).





**Σχήμα 67**

Θερμοκρασίες του αέρα κατά τον εξαερισμό ενός κενού αμφικλινούς θερμοκηπίου, όταν επικρατεί άνεμος σχετικά χαμηλής ταχύτητας. Το κόκκινο χρώμα υποδηλώνει την υψηλότερη θερμοκρασία.

Εικόνα 12 Διάγραμμα διακόμανσης του αέρα εντός του θερμοκηπίου με φυσικό αερισμό (Μαυρογιαννόπουλος, 2005).

### 2.2.2. Δυναμικός εξαερισμός

Σε θερμές περιοχές, όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή, για να επιτευχθεί μια διαφορά θερμοκρασιών μέσα-έξω  $4-6^{\circ}\text{C}$  ( $T$  εσωτερική -  $T$  εξωτερική =  $6^{\circ}\text{C}$ ) απαιτούνται περίπου 60 αλλαγές του αέρα την ώρα. Για να επιτευχθούν οι αλλαγές αυτές, στον φυσικό εξαερισμό, απαιτείται να υπάρχουν αρκετά υψηλές ταχύτητες ανέμου ή να χρησιμοποιηθούν μηχανικά μέσα ανανέωσης του αέρα. Να χρησιμοποιηθεί δηλαδή δυναμικός εξαερισμός.

Με εξαεριστήρες ικανοποιητικής παροχής η θερμοκρασία του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, και στην περίπτωση της άπνοιας, μπορεί εύκολα να κρατηθεί μόνο  $4^{\circ}\text{C}$  έως  $6^{\circ}\text{C}$  πάνω από τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα.

Η χρησιμοποίηση όμως του δυναμικού εξαερισμού, σε πολλές περιπτώσεις, αποδεικνύεται αντιοικονομική και μερικές φορές επικίνδυνη, π.χ:

- ❖ Σε περιοχές όπου το μεγαλύτερο διάστημα του χρόνου επαρκεί ο φυσικός εξαερισμός, η χρήση του δυναμικού εξαερισμού έχει ως αποτέλεσμα τη σπατάλη σημαντικής ποσότητας ενέργειας.
- ❖ Σε θέσεις που διακόπτεται συχνά η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο (τα θερμοκήπια βρίσκονται συνήθως σε απομακρυσμένες θέσεις), υπάρχει σημαντικός κίνδυνος να καταστραφεί η παραγωγή.

Ο δυναμικός εξαερισμός χρησιμοποιείται πολύ σε μικρού κόστους θερμοκηπιακές κατασκευές, στις οποίες ή δεν είναι δυνατό να εγκατασταθεί ένα αξιόπιστο σύστημα φυσικού εξαερισμού ή η εγκατάσταση του αυξάνει πολύ το συνολικό κόστος της



κατασκευής. Χρησιμοποιείται, επίσης, όταν επιδιώκεται η ρύθμιση της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου σε χαμηλά επίπεδα, σε περιοχές που επικρατεί συνήθως άπνοια κατά τη θερμή περίοδο.

Ο εξαερισμός ενός θερμοκηπίου με συνδυασμό δυναμικού και παθητικού συστήματος είναι μια πολύ ακριβή λύση και για να είναι αποδοτική απαιτεί πολλή προσοχή στο σχεδιασμό της, άλλως κινδυνεύει να έχει χειρότερα αποτελέσματα, από την επιλογή μόνο του φυσικού ή μόνο του δυναμικού συστήματος.

Ο δυναμικός εξαερισμός επιτυγχάνεται με τη χρήση ανεμιστήρων που τοποθετούνται στο τοίχωμα του θερμοκηπίου. Οι ανεμιστήρες αναρροφούν και εξάγουν τον εσωτερικό αέρα, ο οποίος αναπληρώνεται με εξωτερικό αέρα που εισέρχεται μέσω ανοιγμάτων που βρίσκονται στην απέναντι πλευρά. Οποσδήποτε, ο αέρας που εισέρχεται, κατά τη διαδρομή του μέσα στο θερμοκήπιο θερμαίνεται κι έτσι παρατηρείται μια βαθμιαία άνοδος της θερμοκρασίας από την είσοδο μέχρι τους ανεμιστήρες, από όπου εξέρχεται. Η διαφορά αυτή της θερμοκρασίας μπορεί να μειωθεί με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα, η οποία όμως, όταν είναι μεγάλη, θα έχει σημαντική επίπτωση στο κόστος λειτουργίας και τη μεγάλη αύξηση της διαπνοής των φυτών.

Κατά τη χειμερινή περίοδο το άνοιγμα εισόδου του αέρα είναι μικρότερης έκτασης και βρίσκεται στα υψηλότερα σημεία της απέναντι πλευράς, ή χρησιμοποιείται πλαστικός σωλήνας κατανομής του αέρα από ψηλά, έτσι ώστε ο κρύος εξωτερικός αέρας να αναμειγνύεται με το θερμό του θερμοκηπίου, πριν φθάσει στα φυτά. Κατά τη θερμή περίοδο του έτους το άνοιγμα εισόδου του αέρα είναι συνεχές σ' όλο το πλάτος του θερμοκηπίου, περίπου στη μέση του ύψους της πλευράς.

Ο απαιτούμενος χρόνος εξαερισμού κατά τη διάρκεια ενός έτους εξαρτάται από την επιθυμητή θερμοκρασία για την καλλιέργεια, τη μέση μέγιστη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, τη θερμή περίοδο.

Μια τυπική εγκατάσταση απαιτεί ισχύ ηλεκτρικής εγκατάστασης  $5-15 \text{ W m}^{-2}$  εξαρτώμενη από τον τύπο του εξαεριστήρα που χρησιμοποιείται. Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ  $15-50 \text{ M J m}^{-2}$ .

Ένα σύστημα δυναμικού εξαερισμού, σε περιοχές με συχνές διακοπές της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, είναι απαραίτητο να συνοδεύεται και από εφεδρική γεννήτρια





(εκτός αν υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις), ώστε να αποφευχθεί καταστροφή της φυτείας σε περίπτωση διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος.

Γενικά, ένα αποτελεσματικό σύστημα εξαερισμού πρέπει να πληροί τους παρακάτω κανόνες:

- Έχει ικανοποιητική ισχύ, έτσι που με τη λειτουργία του να αλλάζει τον αέρα του θερμοκηπίου σε τέτοιο βαθμό που να ελαχιστοποιεί την αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο κατά τις ηλιόλουστες και θερμές ώρες.
- Δημιουργεί ομοιομορφία συνθηκών μέσα σ' όλη την περιοχή καλλιέργειας των φυτών.
- Είναι αυτόματο και απαιτεί όσο το δυνατό μικρότερη συντήρηση.
- Είναι αξιόπιστο και απλό, ώστε να απαιτεί ελάχιστες επεμβάσεις και να μπορεί να συντηρηθεί από το συνηθισμένο εργατικό προσωπικό των θερμοκηπίων.
- Είναι φθινό ως προς την αγορά, την εγκατάσταση και τη λειτουργία.

### 2.2.3. Υδρονέφωση

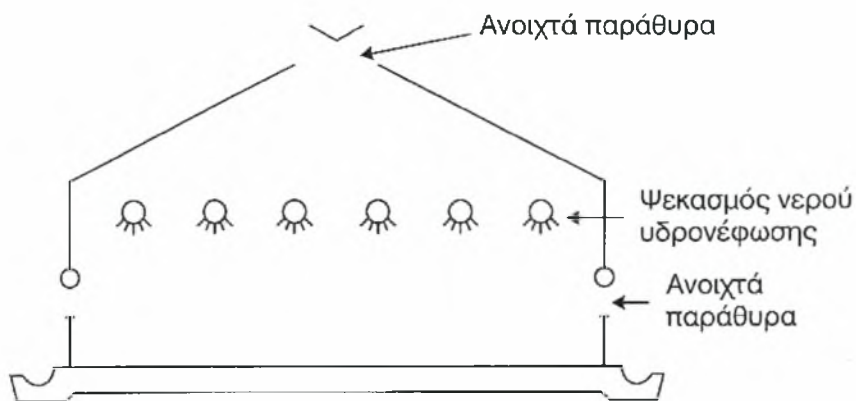
Είναι το συνηθέστερα συναντώμενο σύστημα ψύξης του θερμοκηπίου. Στο σύστημα αυτό γίνεται ψύξη και αύξηση της υγρασίας του αέρα με εκτόξευση νερού υπό μορφή λεπτών σταγόνων, στο χώρο του θερμοκηπίου. Χρησιμοποιείται σε μικρές και μεγάλες θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις και θεωρείται το οικονομικότερο από τα συστήματα ψύξης που μπορούν να αυτοματοποιηθούν. Εφαρμόζεται συνήθως σε θερμοκήπια εξοπλισμένα με φυσικό εξαερισμό.

Στο σύστημα αυτό το νερό ψεκάζεται στον αέρα επάνω από τα φυτά, με υψηλές πιέσεις και με εκτοξευτήρες συνήθως μικρής παροχής, 2-3 lit h<sup>-1</sup>, ένας για κάθε 25 m<sup>2</sup> θερμοκηπίου. Δημιουργούν σταγόνες διαμέτρου της τάξεως 5 μικρών, που εξατμίζονται εύκολα, πριν φθάσουν στην επιφάνεια των φυτών. Για την πίεση χρησιμοποιούνται αντλίες ή τουρμπίνες σταθερής πίεσης.

Σε μερικά συστήματα υδρονέφωσης το σύστημα τροφοδοτείται με νερό και αέρα, ώστε να επιτυγχάνεται ταχεία εξάτμιση με τον ψεκάσμο.

Γενικά, η λεπτότητα των σταγόνων και ο συνδυασμός ενός ρεύματος αέρα σχετικά χαμηλής σχετικής υγρασίας εξασφαλίζουν την εξάτμιση του νερού χωρίς προβλήματα σταγόνων επάνω στα φυτά (ή τουλάχιστον χωρίς σοβαρά προβλήματα).





**Σχήμα 80**  
Ψύξη του θερμοκηπίου με υδρονέφωση

*Εικόνα 13 Σχεδιάγραμμα εγκατάστασης συστήματος τεχνητής ομίχλης στο θερμοκήπιο (Becket, 1998).*

Το σύστημα αυτό λειτουργεί και αποδίδει, όσο υπάρχει χαμηλή σχετική υγρασία (μεγάλη διαφορά μεταξύ ξηρού και υγρού θερμομέτρου). Γι' αυτό τα παράθυρα του θερμοκηπίου θα πρέπει να είναι ανοιχτά. Το σύστημα αυτοματισμού ενεργοποιεί τον ψεκασμό, όταν η θερμοκρασία του χώρου υπερβεί το επιθυμητό επίπεδο και τον διακόπτει, όταν η σχετική υγρασία υπερβεί το προσδιορισμένο όριο. Μπορεί να εξασφαλιστούν διαφορές θερμοκρασίας 5-14 °C σε σύγκριση με θερμοκήπιο που εξαερίζεται μόνο.

Το νερό πρέπει να είναι πολύ καλής ποιότητας, ώστε να αποφεύγονται τα φραξίματα στους ψεκαστές.

Η ταυτόχρονη λειτουργία του συστήματος εξαερισμού (φυσικού ή δυναμικού) είναι απαραίτητη κατά τη διάρκεια του ψεκασμού.

Σε πολύ μεγάλου μεγέθους θερμοκήπια το σύστημα αυτό, όταν έχει σχεδιασθεί σωστά, παρέχει καλύτερη ομοιομορφία συνθηκών στο χώρο, από αυτή που επιτυγχάνεται με το σύστημα «δυναμικός εξαερισμός και υγρό τοίχωμα» (fan and pad), κατά τις θερμότερες ώρες της ημέρας.



### 2.3. Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται πόσο σημαντικό κεφάλαιο στο θερμοκήπιο αποτελούν τα συστήματα δροσισμού, αλλά και θέρμανσης, με απώτερο σκοπό την απόκτηση του επιθυμητού μικροκλίματος για την θερμοκηπιακή καλλιέργεια. Αυτός ήταν και ο κύριος λόγος της περαίωσης του συγκεκριμένου πειράματος.

Μετά από τη διευκρίνιση των βασικών όρων καθώς και των χρησιμοποιούμενων τακτικών δροσισμού, μπορούμε πλέον να εισέλθουμε στα βασικά μέρη του πειράματος, χωρίς να δημιουργούνται απορίες και αναπάντητα ερωτήματα σχετικά με το θεωρητικό μέρος του πειράματος



### **3. Κεφάλαιο 3: Υλικά και μέθοδοι**



Νέα Ιωνία, 2010

### 3.1. Το πείραμα

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση του δροσισμού και του αερισμού των θερμοκηπίων στο μικροκλίμα και έγιναν μετρήσεις κατά τη διάρκεια του έτους 2000 σε περιόδους όπου χρησιμοποιούνταν το ένα ή το άλλο σύστημα (δροσισμός με τεχνητή ομίχλη, φυσικός αερισμός, δυναμικός αερισμός) ή συνδυασμός δύο συστημάτων (σκίαση και δροσισμός, σκίαση και φυσικός αερισμός, σκίαση και δυναμικός αερισμός) για τον έλεγχο του κλίματος των θερμοκηπίων.

Τα πειράματα έγιναν σε πολλαπλό αμφίρρικτο θερμοκήπιο του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο αγρόκτημα του Βελεστίνου. Το αγρόκτημα βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος  $39^{\circ} 44'$  και γεωγραφικό μήκος  $22^{\circ} 79'$ , το υψόμετρο της περιοχής είναι 85 m, και απέχει 17 km από το Βόλο. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια, με μέση μέγιστη θερμοκρασία κατά το θερμότερο μήνα περίπου  $37^{\circ}\text{C}$  και από ήπιους χειμώνες με μέση ελάχιστη θερμοκρασία κατά τον ψυχρότερο μήνα  $4^{\circ}\text{C}$ . Οι επικρατούντες άνεμοι της περιοχής έχουν κατεύθυνση είτε από Νοτιοανατολικά προς Βορειοδυτικά (συνήθως τις πρωινές ώρες), είτε από Βορειοδυτικά προς Νοτιοανατολικά (συνήθως τις απογευματινές ώρες).



### 3.2. Το θερμοκήπιο

Το θερμοκήπιο στο οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις κατασκευάστηκε το 1994, με σκελετό από γαλβανισμένο χάλυβα και κάλυψη από γυαλί και αποτελείτο από πέντε ξεχωριστούς θαλάμους. Η συνολική έκταση του θερμοκηπίου ήταν 1000 m<sup>2</sup>, ενώ ο θάλαμος που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις κάλυπτε συνολικά 200 m<sup>2</sup>. Εξωτερική άποψη του θερμοκηπίου παρουσιάζεται στην *Εικόνα 3.1*. Το θερμοκήπιο είχε προσανατολισμό Βορρά-Νότο με απόκλιση του άξονά του από το Βορρά περίπου 34° ανατολικά.



*Εικόνα 14. Εξωτερική άποψη του πειραματικού θερμοκηπίου. (Ο θάλαμος στον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις είναι ο δεύτερος από αριστερά)*

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου ήταν: μήκος 31 m, πλάτος 6.5 m, ύψος ορθοστάτη 2.9 m, ύψος κορυφιά 4 m, γωνία κλίσης οροφής 20°, είχε όγκο 690 m<sup>3</sup>, ενώ η κάθετη τομή του θερμοκηπίου κάλυπτε επιφάνεια 28 m<sup>2</sup>.

Το έδαφος του θερμοκηπίου ήταν πλήρως καλυμμένο με τσιμέντο.



### 3.3. Ψύξη του θερμοκηπίου

#### 3.3.1. Αερισμός

Ο αερισμός του θερμοκηπίου ήταν είτε φυσικός είτε δυναμικός. Ο φυσικός αερισμός γινόταν με τη βοήθεια ενός συνεχόμενου παραθύρου οροφής το οποίο ήταν τοποθετημένο από τη μία πλευρά της οροφής του θερμοκηπίου (δυτική πλευρά), με μέγιστη επιφάνεια ανοίγματος περίπου  $26 \text{ m}^2$  ( $30.5 \text{ m} * 0.85 \text{ m}$ ) (Εικόνα 3.2). Ο έλεγχος ανοίγματος του παραθύρου γινόταν με θερμοστάτη τοποθετημένο στο μέσο του θερμοκηπίου. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων με φυσικό ή δυναμικό αερισμό το παράθυρο οροφής βρισκόταν στο μέγιστο άνοιγμα. Κατά το υπόλοιπο διάστημα το παράθυρο άνοιγε όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ξεπερνούσε τους  $24^\circ\text{C}$ .

Ο δυναμικός αερισμός γινόταν με τη βοήθεια τεσσάρων ανεμιστήρων, οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι ανά δύο στις μετώπες του θερμοκηπίου. Ο αέρας εισέρχονταν στο θερμοκήπιο με υπερπίεση από τους ανεμιστήρες και εξέρχονταν από το άνοιγμα αερισμού της οροφής (παράθυρο οροφής ανοιχτό στο μέγιστο). Η παροχή του κάθε ανεμιστήρα ήταν περίπου  $4000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Με παράλληλη λειτουργία των ανεμιστήρων και του παραθύρου οροφής, ήταν δυνατό να επιτευχθούν 50 περίπου ανανεώσεις του αέρα του θερμοκηπίου ανά ώρα, ενώ με φυσικό αερισμό επιτυγχάνονταν, ανάλογα με την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου, από 5 έως 30 περίπου ανανεώσεις του αέρα του θερμοκηπίου ανά ώρα. Ο δυναμικός αερισμός γενικά, ετίθετο σε λειτουργία εμπειρικά και με βάση την εξωτερική θερμοκρασία κατά τη διάρκεια ημερών όπου θεωρούνταν ότι ο φυσικός αερισμός δεν ήταν επαρκής για την ψύξη του θερμοκηπίου. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με δυναμικό αερισμό, το σύστημα ετίθετο σε λειτουργία από νωρίς το πρωί μέχρι αργά το απόγευμα.





*Εικόνα 15. Εξωτερική άποψη των παραθύρων οροφής του θερμοκηπίου*





### 3.3.2. Δροσισμός

Για το δροσισμό του θερμοκηπίου υπήρχε εγκατεστημένο σύστημα τεχνητής ομίχλης υψηλής πίεσης. Το σύστημα περιελάμβανε δύο μονάδες με ανεμιστήρες και σύστημα ψεκασμού του νερού με κάλυψη  $100 \text{ m}^2$  η κάθε μία. Οι ανεμιστήρες, σε κατακόρυφη θέση, χρησιμοποιούνταν ταυτόχρονα για τη διασπορά στο χώρο των σταγονιδίων του νερού και την ανακύκλωση του αέρα στο θερμοκήπιο. Η διανομή του νερού γινόταν από ένα κυκλικό δακτύλιο με 8 ακροφύσια, τοποθετημένο πάνω από την έξοδο του ρεύματος του αέρα του ανεμιστήρα. Κάθε μονάδα ανεμιστήρα-ψεκαστήρα είχε συνολική παροχή περίπου  $45 \text{ l h}^{-1}$  στην πίεση λειτουργίας (50 bar). Σύμφωνα με τον προγραμματισμό λειτουργίας του συστήματος, το σύστημα δροσισμού λειτουργούσε 48 δευτερόλεπτα ανά λεπτό. Επομένως, το νερό που διοχετεύονταν μέσω του συστήματος δροσισμού στο θερμοκήπιο ήταν  $36 \text{ lit h}^{-1}$  ανά  $100 \text{ m}^2$  εδάφους ή  $10^{-4} \text{ lit s}^{-1} \text{ m}^{-2}$  εδάφους του θερμοκηπίου. Αν όλο το νερό που παρέχονταν από το σύστημα στο θερμοκήπιο εξατμίζονταν, τότε η ισοδύναμη ποσότητα της αισθητής ενέργειας που θα δεσμευόταν θα αντιπροσώπευε το δυναμικό ψύξης του συστήματος. Αυτό μπορεί να υπολογιστεί αν πολλαπλασιάσουμε την ποσότητα του νερού που διοχετεύονταν από το σύστημα δροσισμού στο θερμοκήπιο με τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού. Στην προκειμένη περίπτωση, το δυναμικό ψύξης του συστήματος ήταν  $245 \text{ W m}^{-2}$  (εδάφους θερμοκηπίου), δηλαδή με τη χρήση του συστήματος τεχνητής ομίχλης ήταν δυνατή η μετατροπή  $245 \text{ W m}^{-2}$  αισθητής ενέργειας σε λανθάνουσα. Η λειτουργία του συστήματος ελεγχόταν από αισθητήριο υγρασίας τοποθετημένο στο μέσο του θερμοκηπίου και το σύστημα λειτουργούσε όταν η σχετική υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου ήταν μικρότερη από 75%. Παράλληλα, κατά την περίοδο λειτουργίας του συστήματος δροσισμού, το παράθυρο του θερμοκηπίου ήταν ανοιχτό στο 20% του συνολικού ανοίγματος.

Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος και λόγω της υψηλής πίεσης του νερού, δημιουργούνταν σταγονίδια τα οποία έτειναν να παραμένουν στον αέρα, δημιουργώντας έτσι ομίχλη στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.





*Εικόνα 16. Αποψη του εσωτερικού του θερμοκηπίου με το σύστημα δροσισμού σε λειτουργία.*



*Εικόνα 17. Αποψη του εσωτερικού του θερμοκηπίου με το σύστημα δροσισμού εκτός λειτουργίας.*



### 3.3.3. Σκίαση

Η σκίαση του θερμοκηπίου γινόταν με άσπρισμα της οροφής του θερμοκηπίου.

Προκειμένου να ασπριστεί η οροφή του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκε ασβέστης και η εφαρμογή έγινε με ψεκασμό διαλύματος ασβέστη, με πυκνότητα παρόμοια με αυτή που εφαρμόζουν οι παραγωγοί της περιοχής (περίπου 8 kg CaO ανά 100 kg νερό).

Το θερμοκήπιο ήταν ασπρισμένο από τις 15 Ιουνίου για το 1998 και από τις 7 Ιουλίου για το 1999 με μέση μείωση της διαπερατότητας 40% και 59% αντίστοιχα για τα δύο έτη. Η απομάκρυνση του ασβέστη γινόταν κοντά στο τέλος του Σεπτεμβρίου.



### 3.4. Η καλλιέργεια

Στο θερμοκήπιο υπήρχε εγκατεστημένη υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς (*Rosa hybrida* cv. First Red) σε υπόστρωμα περλίτη. Η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε το Μάρτιο του 1997 σε σάκους περλίτη μήκους 1 m, πλάτους 0.3 m και χωρητικότητας 48 lit. Η πυκνότητα φύτευσης ήταν 6 φυτά  $m^{-2}$ , ενώ η απόσταση μεταξύ των γραμμών ήταν 1 m.

Η άρδευση και λίπανση της καλλιέργειας (Κατσούλας και συνεργάτες 2000) γινόταν αυτόματα, κάθε ώρα από τις 6:00 έως τις 21:00, με σύστημα ελεγχόμενο από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ο ρυθμός απορροής ήταν κοντά στο 40% (Lorenzo *et al.* 1993), όπως συνηθίζεται και από τους παραγωγούς, προκειμένου να διατηρούνται άριστες συνθήκες ανάπτυξης των φυτών.



Εικόνα 18. Καλλιέργεια τριανταφυλλιάς στο θερμοκήπιο



### 3.5. Μετρήσεις

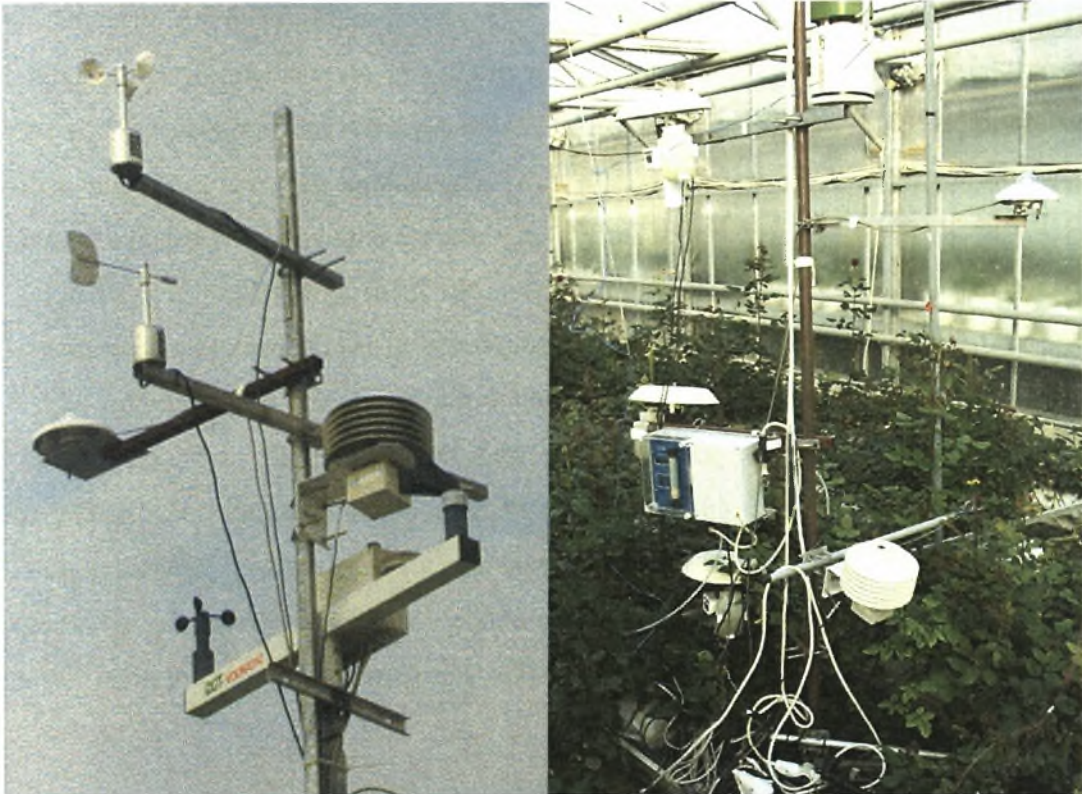
Οι μετρήσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων αφορούσαν κυρίως τους κλιματικούς παράγοντες μέσα και έξω από το θερμοκήπιο, τη διαπνοή και τη φυλλική επιφάνεια των φυτών.

Αναλυτικότερα έξω από το θερμοκήπιο καταγραφόταν α):

η θερμοκρασία ( $T_o$ , °C) και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα ( $D_o$ , kPa) με αεριζόμενο ψυχρόμετρο τύπου Assman (τύπος VP1, Delta-T Devices, Cambridge, UK). Το έλλειμμα κορεσμού του αέρα υπολογιζόταν από μετρήσεις της θερμοκρασίας του υγρού και ξηρού θερμομέτρου.

η ηλιακή ακτινοβολία ( $G_o$ ,  $W m^{-2}$ ) με πυρανόμετρο (τύπος CM-6B, Kipp and Zonen, Delft, The Netherlands),

η ταχύτητα ( $u$ ,  $m s^{-1}$ ) του ανέμου με ανεμόμετρο κυπέλλων (τύπος AN1-UM-3, Delta-T Devices, Cambridge, UK) και διεύθυνση του ανέμου με ανεμοδείκτη (τύπος WD1-UM-3, Delta-T Devices, Cambridge, UK).



Εικόνα 19. Όργανα μετρήσεων μετεωρολογικών δεδομένων (α) έξω από και (β) μέσα στο θερμοκήπιο



Στο εσωτερικό του θερμοκηπίου καταγραφόταν

Η θερμοκρασία ( $T_i$ , °C) και το έλλειμμα κορεσμού του αέρα ( $D_i$ , kPa) σε διάφορα επίπεδα, με αεριζόμενα ψυχρόμετρα τύπου Assman (τύπος VPI, Delta-T Devices, Cambridge, UK). Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων για τη μελέτη του αερισμού η θερμοκρασία και έλλειμμα κορεσμού του αέρα καταγραφόταν σε 3 διαφορετικά επίπεδα: στο επίπεδο των λυγισμένων βλαστών (0.3 m) ( $T_{i,0.3}$ ,  $D_{i,0.3}$ ), στο επίπεδο των ανθοφόρων βλαστών (0.8 m) ( $T_{i,0.8}$ ,  $D_{i,0.8}$ ) και στο επίπεδο πάνω από τους ανθοφόρους βλαστούς 1.8 m ( $T_{i,1.8}$ ,  $D_{i,1.8}$ ). Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων για τη μελέτη της σκίασης η θερμοκρασία και έλλειμμα κορεσμού του αέρα καταγραφόταν στα 0.5 m ( $T_{i,0.5}$ ,  $D_{i,0.5}$ ) και στα 1.8 m, ενώ κατά τη διάρκεια των μετρήσεων για τη μελέτη του δροσισμού και της φυλλικής επιφάνειας καταγραφόταν στα 0.5 m.

η ακτινοβολία πάνω ( $G_a$ ,  $W m^{-2}$ ) και κάτω ( $G_b$ ,  $W m^{-2}$ ) από την καλλιέργεια με πυρανόμετρα (τύπος CM-6B, Kipp and Zonen, Delft, The Netherlands),

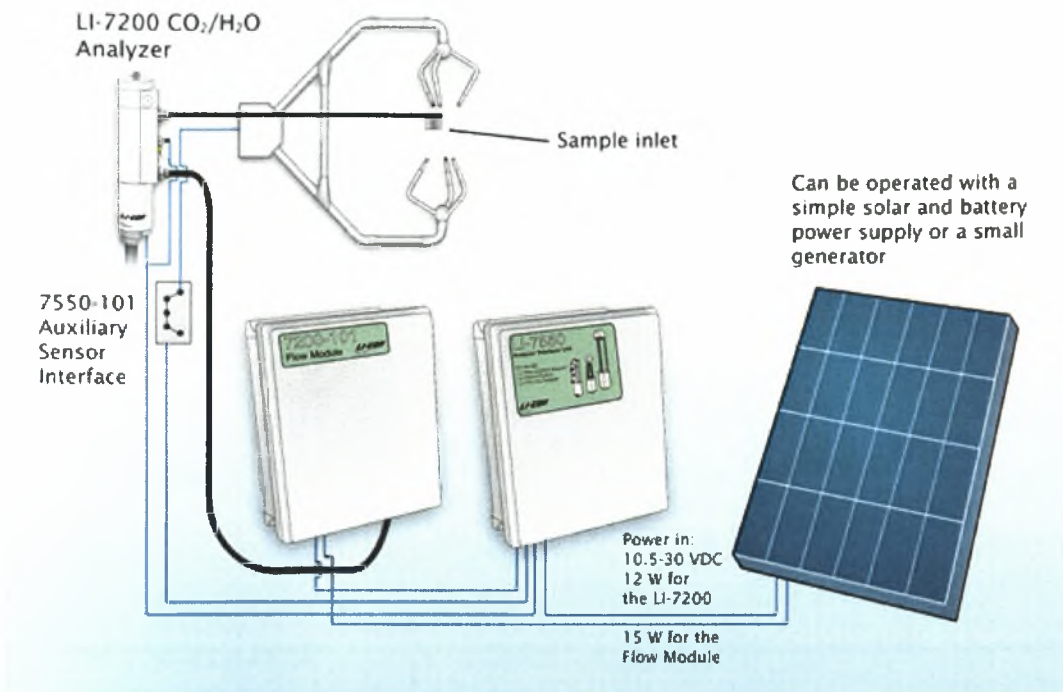
η καθαρή ακτινοβολία πάνω ( $R_{n,a}$ ,  $W m^{-2}$ ) και κάτω ( $R_{n,b}$ ,  $W m^{-2}$ ) από την καλλιέργεια με ραδιόμετρα (τύπος Q-7, REBS, Seattle, Washington). (Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων για τη μελέτη του δροσισμού η καθαρή ακτινοβολία κάτω από την καλλιέργεια δεν καταγραφόταν). Από τη διαφορά των δύο ραδιομέτρων, πάνω και κάτω από την καλλιέργεια ( $R_{n,a} - R_{n,b}$ ) υπολογιζόταν η απορροφούμενη καθαρή ενέργεια από την καλλιέργεια  $R_{n,int}$  ( $W m^{-2}$ ).

Για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιήθηκε το Sonic anemometer system, το οποίο καταγράφει τα διανύσματα του αέρα εντός του θερμοκηπίου.

Πιο συγκεκριμένα παράγει ένα τρισδιάστατο δίκτυο διανυσμάτων του αέρα εντός του θερμοκηπίου, δημιουργημένο από τις μετρήσεις ταχύτητας καθώς και την κατεύθυνση του ανέμου, καταγραμμένο σε τρεις κατευθύνσεις.

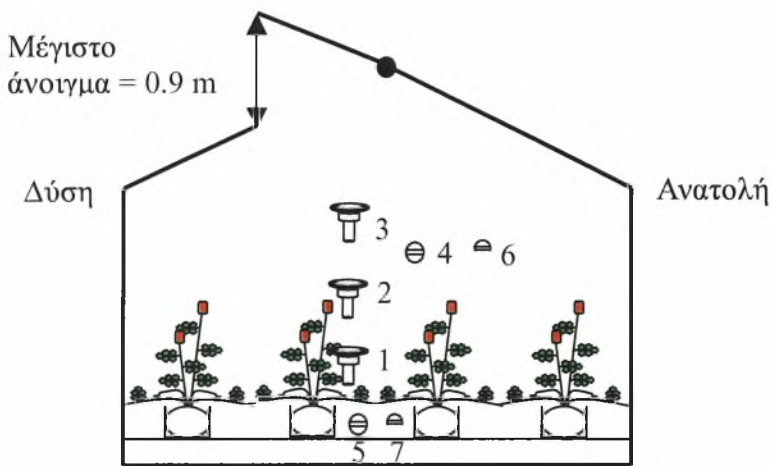
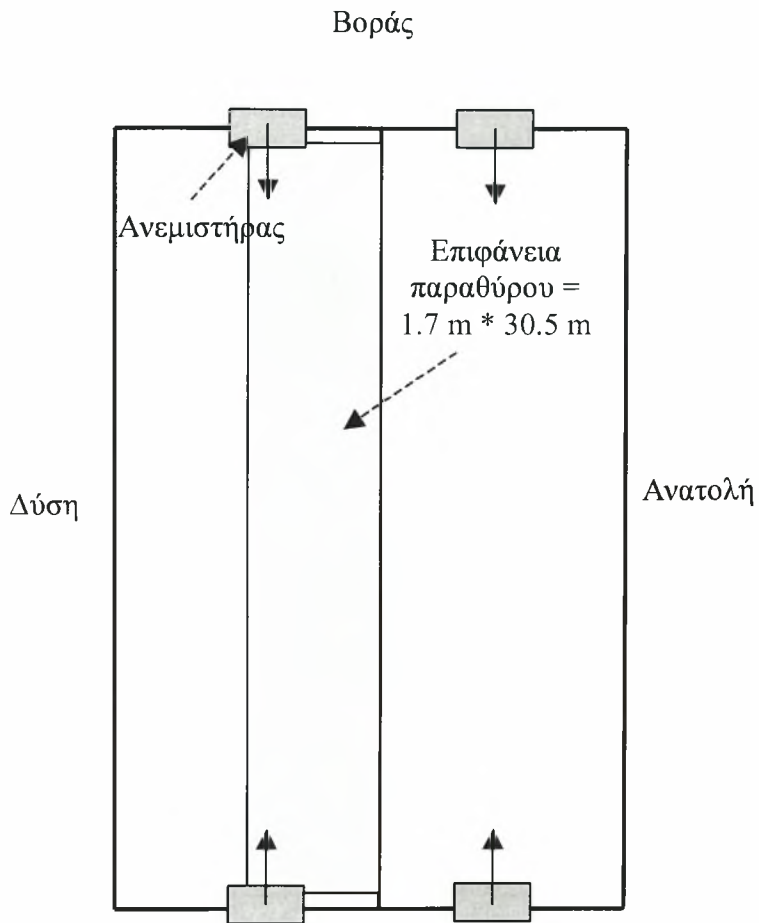
Οι μετρήσεις γίνονται με την έκλυση υπερήχων και μέτρηση του χρόνου που κάνουν να μετακινηθούν. Με τον τρόπο αυτό καταγράφεται η ταχύτητα του ανέμου καθώς είναι ίση με την ταχύτητα των εκλυόμενων υπερήχων.





Εικόνα 20 Σχεδιάγραμμα των διαφόρων τμημάτων του Sonic anemometre.

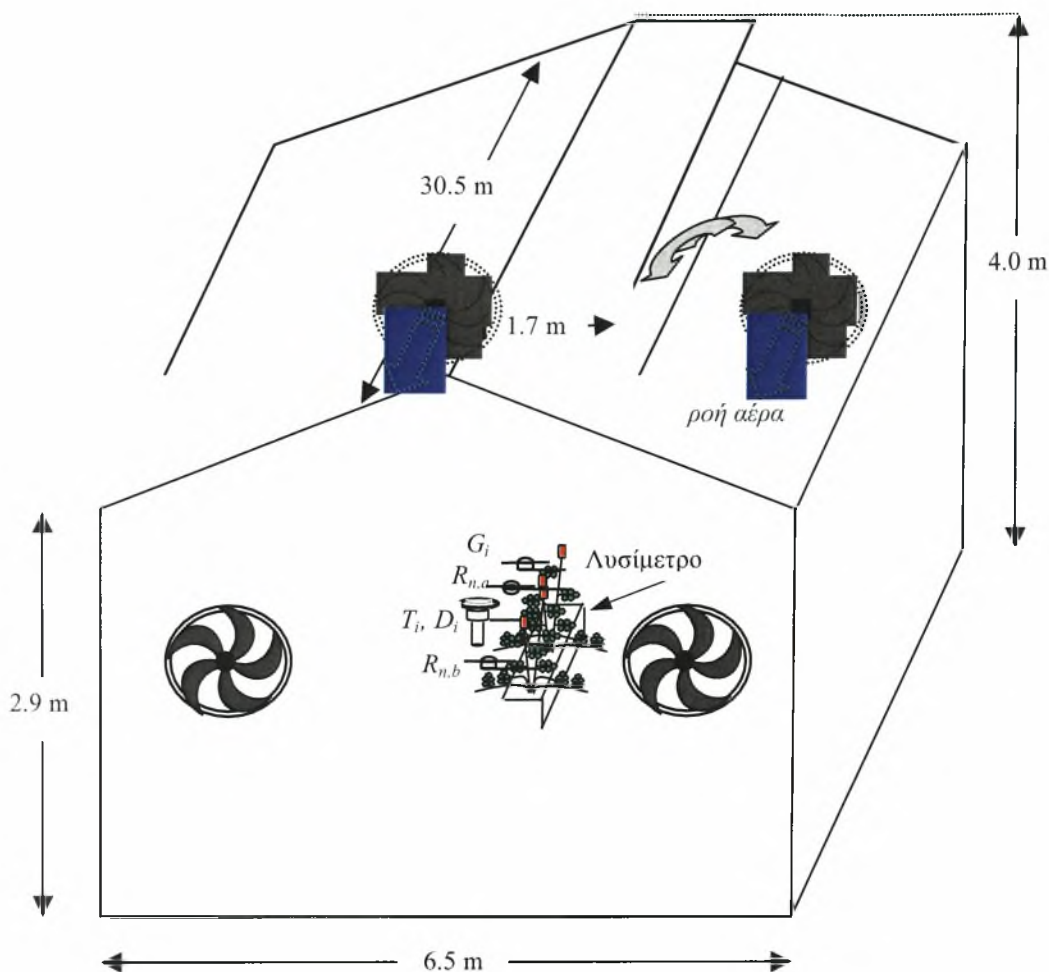




Εικόνα 21. Πειραματικό θερμοκήπιο και διάταξη των μετεωρολογικών οργάνων. 1, 2 και 3 αεριζόμενα ψυχρόμετρα σε ύψος 0.3, 0.8 και 1.8 m από το έδαφος αντίστοιχα, 4 και 5 ραδιόμετρα πάνω και κάτω από την καλλιέργεια αντίστοιχα και 6 και 7 πυρανόμετρα πάνω και κάτω από την καλλιέργεια αντίστοιχα.







Εικόνα 22. Πειραματικό θερμοκήπιο και μετρητικές διατάξεις

Για τη συλλογή, την αρχική επεξεργασία και την καταγραφή των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε σύστημα συλλογής και καταγραφής δεδομένων (DL 3000, Delta-T Devices, Cambridge, UK). Οι μετρήσεις λαμβάνονταν κάθε 30 δευτερόλεπτα και κάθε 10 λεπτά καταγραφόταν η μέση τιμή όλων των παραμέτρων.

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας  $I_{LA}$  ( $m^2$  φύλλων  $m^{-2}$  εδάφους) υπολογίζονταν από μετρήσεις του μήκους των φύλλων ( $L$ , m). Μετά από μετρήσεις της φυλλικής επιφάνειας ( $S$ ,  $m^2$ ) και του μήκους των φύλλων στο εργαστήριο, προέκυψε μια απλή σχέση συσχέτισης του μήκους των φύλλων με τη φυλλική επιφάνεια:

$$S = 0.76 L^2 \quad (3.1)$$



Κατά την περίοδο των μετρήσεων του 1998 η τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας με αναφορά στη συνολική επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου  $I_{LA,g}$ , υπολογίστηκε ίση με 2, ενώ η τιμή του δείκτη με αναφορά στην καλυμμένη με καλλιέργεια επιφάνεια  $I_{LA,c}$ , υπολογίστηκε ίση με 4. Κατά την περίοδο του 1999 οι αντίστοιχες τιμές των  $I_{LA,g}$  και  $I_{LA,c}$  ήταν 1.1 και 2.2. Στη συνέχεια, ο ρυθμός διαπνοής της καλλιέργειας  $\lambda E_c$ , εκφράζεται με αναφορά στην καλυμμένη με καλλιέργεια επιφάνεια του θερμοκηπίου  $A_c$  ( $A_c = 100 \text{ m}^2$ ).



#### 4. Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα



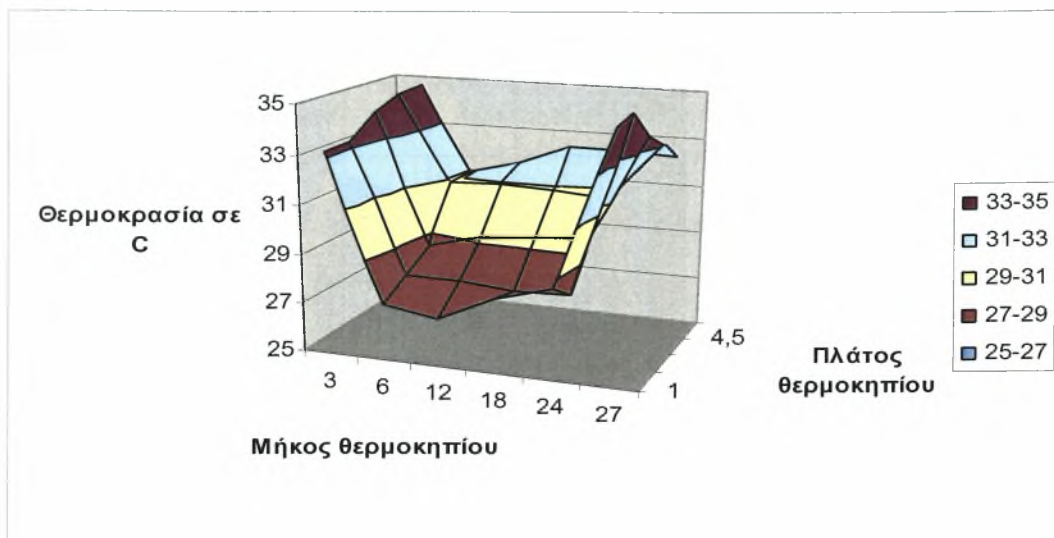
Νέα Ιωνία, 2010

## 4.1. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

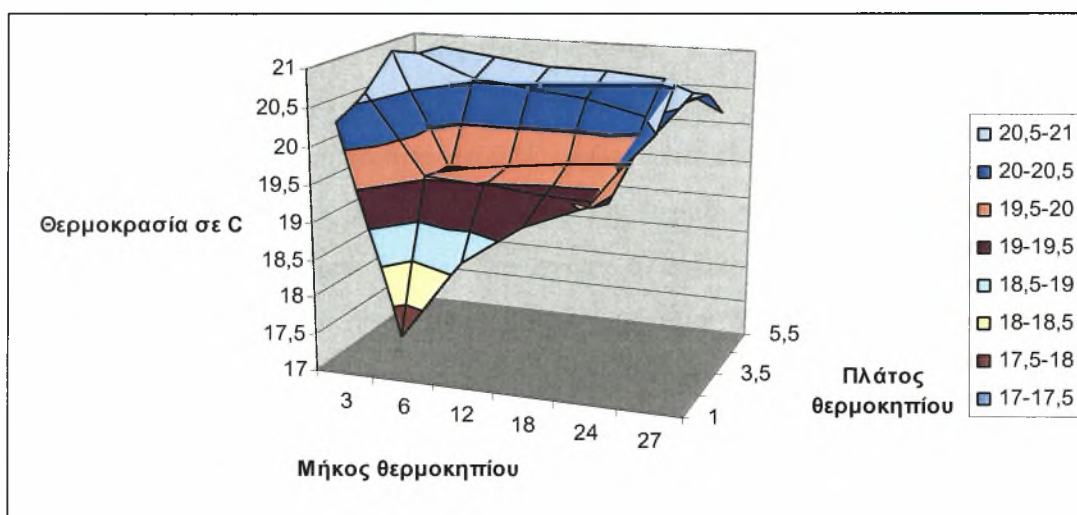
### 4.1.1. Αποτελέσματα δυναμικού αερισμού

Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα στα διάφορα σημεία μέτρησης στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 0.4 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία. Φαίνεται ότι η θερμοκρασία στο κέντρο του θερμοκηπίου είναι μικρότερη σε σχέση με αυτή στις μετώπες του θερμοκηπίου. Η μέση θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου είναι 30,9°C, ενώ η μέση τιμή της εξωτερικής θερμοκρασίας είναι 20,1°C. Καθώς οι μετρήσεις στα διάφορα σημεία του θερμοκηπίου δεν έγιναν ταυτόχρονα αλλά διαφορετικά χρονικά διαστήματα, είναι πιθανό οι διαφορές που εμφανίζονται στη θερμοκρασία να οφείλονται σε διαφορές της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα.. Για το σκοπό αυτό, στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η τιμή της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα για τα αντίστοιχα χρονικά διαστήματα. Προκειμένου να αναιρεθεί η επίδραση της διαφοράς των θερμοκρασιών του εξωτερικού αέρα στη θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, γίνεται αδιαστασιοποίηση των παραπάνω μετρήσεων και υπολογίζεται για το κάθε σημείο η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα η κατανομή των τιμών της οποίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3. Στο Σχήμα 3 εμφανίζεται εντονότερη διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας περιμετρικά του θερμοκηπίου. Έντονη διαφορά θερμοκρασίας εμφανίζεται στο τυφλό σημείο μεταξύ των δύο ανεμιστήρων. Ενώ στο κέντρο που ο αερισμός είναι σωστός η διαφορά θερμοκρασίας είναι μικρή.



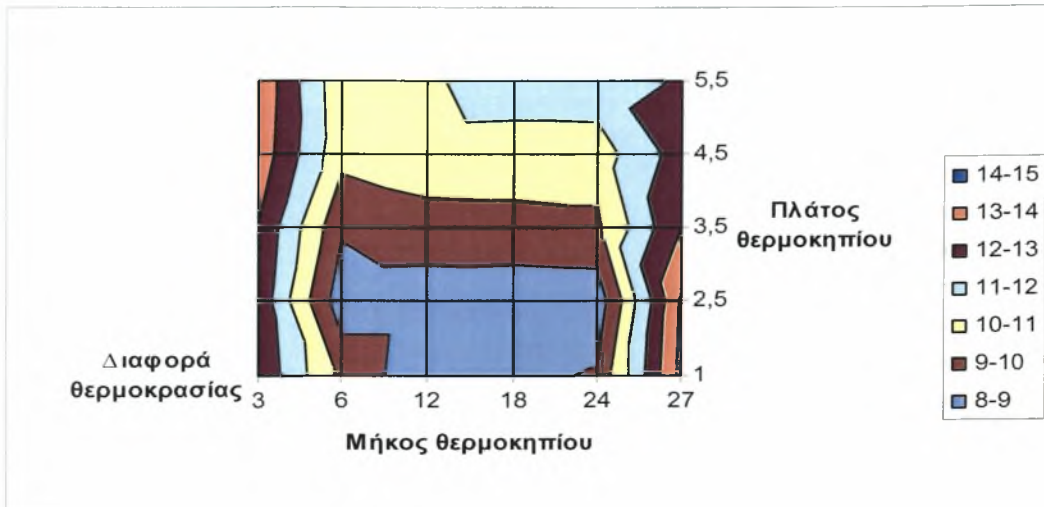


*Σχήμα 1. Κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 0.4 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία..*



*Σχήμα 1. Εικονική κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, όπως μετρήθηκαν στον εξωτερικό μετεωρολογικό ιστό και απεικόνισή τους στα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα οποία γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα την αντίστοιχη χρονική στιγμή.*

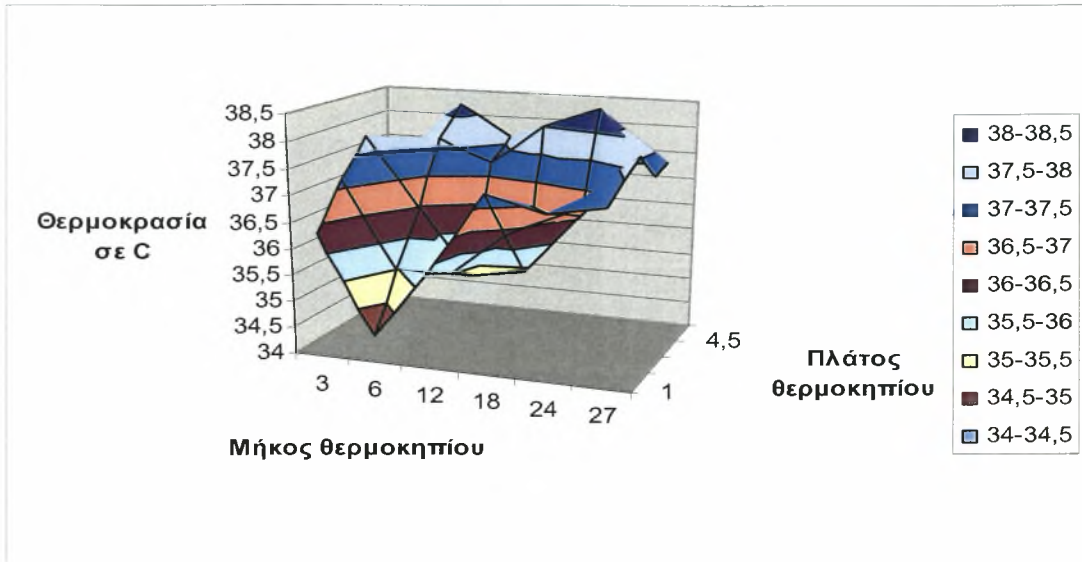




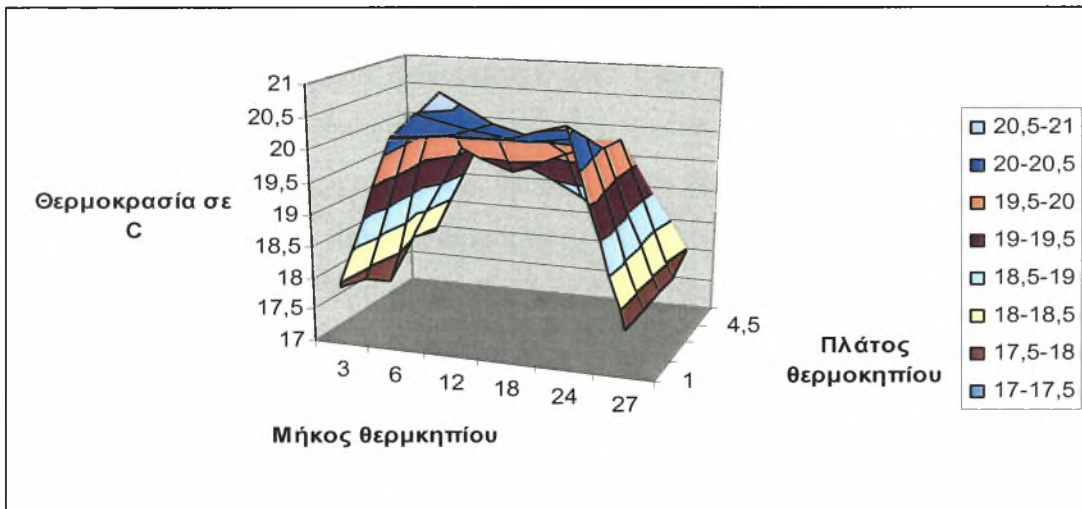
*Σχήμα 2. Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της θερμοκρασίας (διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα) σε ύψος 0.4 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.*

Ακολουθούν τα γραφήματα της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου με σύστημα δροσισμού του δυναμικού αερισμού. Οι μετρήσεις έγιναν στο ύψος του 1 m, η μέση θερμοκρασία στο θερμοκήπιο ήταν 36,9 °C, ενώ η μέση εξωτερική θερμοκρασία ήταν 19,1 °C. Τα σημεία των μετρήσεων εντός του θερμοκηπίου ήταν τα ίδια με τις μετρήσεις στο προηγούμενο ύψος. Στο σχήμα 5 απεικονίζονται οι μετρήσεις της θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου, με σύστημα δροσισμού του δυναμικού αερισμού. Ενώ στο σχήμα 6 απεικονίζεται η θερμοκρασία έξω του θερμοκηπίου. Από το γράφημα γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες εντός του θερμοκηπίου βρίσκονται στο κέντρο αυτού. Προκειμένου να βγούν αντικειμενικότερα αποτελέσματα παρουσιάζεται το σχήμα 7, στο οποίο γίνεται αδιαστασιοποίηση του παράγοντα της εξωτερικής θερμοκρασίας. Στο σχήμα 7 φαίνεται εντονότερη η διαφορά στο διάστημα μεταξύ των ανεμιστήρων καθώς εκείνο το σημείο φέρει τη μεγαλύτερη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο όπως έγινε φανερό στο παραπάνω γράφημα.



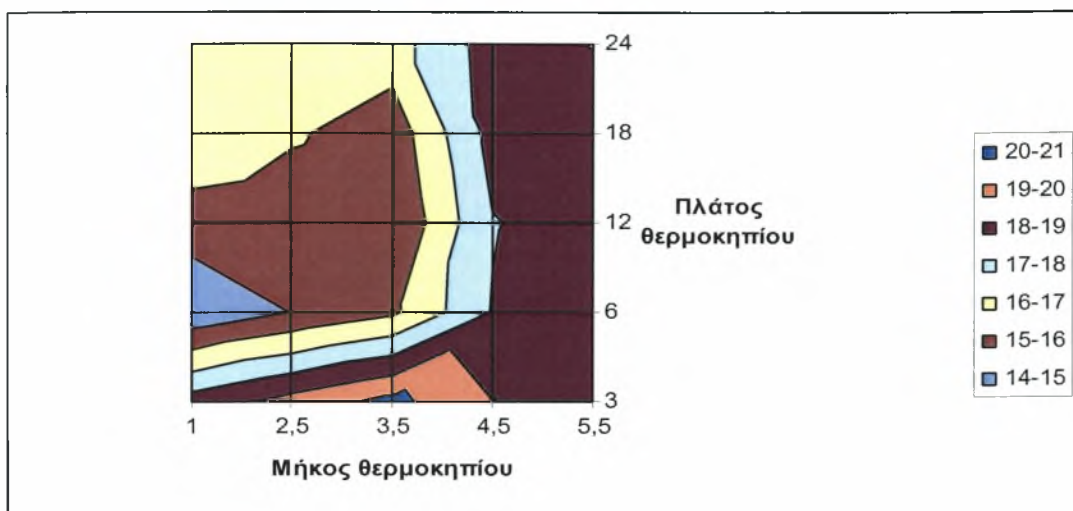


*Σχήμα 3 Κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.*



*Σχήμα 4 Εικονική κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, όπως μετρήθηκαν στον εξωτερικό μετεωρολογικό ιστό και απεικόνισή τους στα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα οποία γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα την αντίστοιχη χρονική στιγμή.*





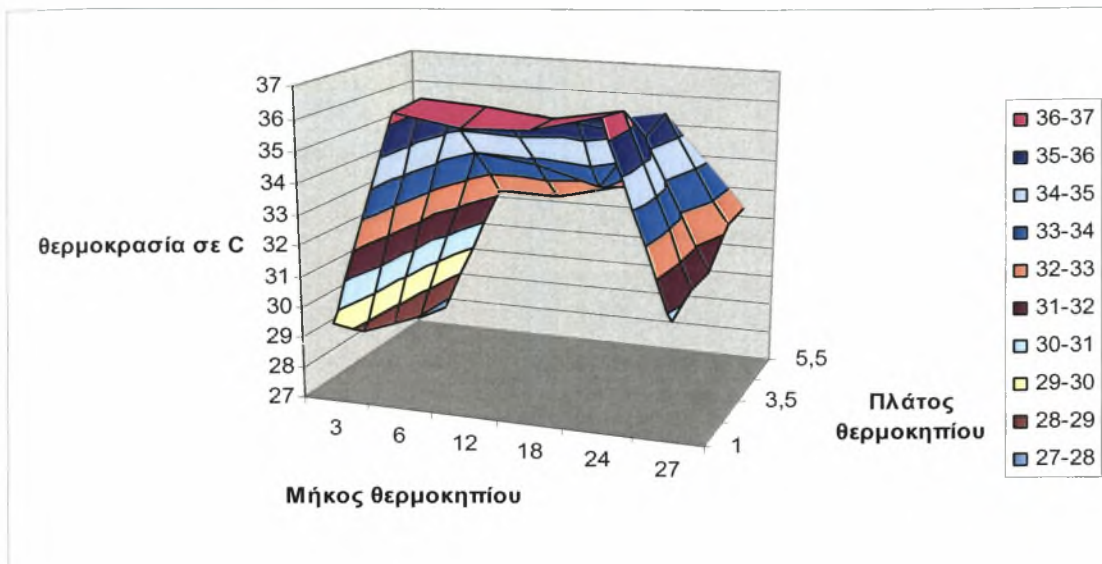
*Σχήμα 5 Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της θερμοκρασίας (διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα) σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.*

Τέλος κατά την εφαρμογή δυναμικού αερισμού έγιναν μετρήσεις και στο ύψος των 2 m. Τα σημεία μετρήσεων παραμένουν ίδια. Όταν έγιναν οι μετρήσεις η μέση θερμοκρασία στο θερμοκήπιο ήταν 33,3 °C, ενώ η μέση εξωτερική θερμοκρασία ήταν 18,4 °C. Το γράφημα της εσωτερικής θερμοκρασίας δείχνει ξεκάθαρα την αυξημένη θερμοκρασία στο κέντρο του θερμοκηπίου.

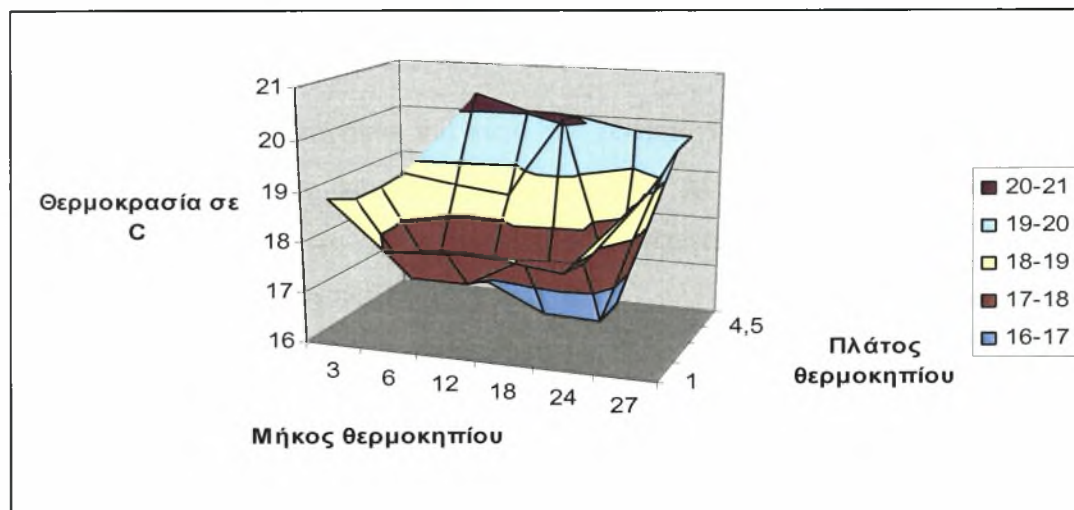
Στο σχήμα 8 απεικονίζεται η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου, γίνεται αμέσως φανερό ότι η θερμοκρασία στο κέντρο του θερμοκηπίου έχει τις υψηλότερες τιμές. Στο σχήμα 9 παρουσιάζεται εξωτερική θερμοκρασία, όπως μετρήθηκε ταυτόχρονα με την θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου. Η διαφορά της θερμοκρασίας απεικονίζεται αναλυτικότερα στο σχήμα 10. Αμέσως γίνεται εμφανής ότι η διαφορά μεταξύ των δύο θερμοκρασιών είναι υψηλότερη στο κέντρο του θερμοκηπίου, καθώς σε εκείνο το σημείο η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου είναι στα υψηλότερα επίπεδά της, ενώ η εξωτερική θερμοκρασία στα χαμηλότερα επίπεδα αυτής.





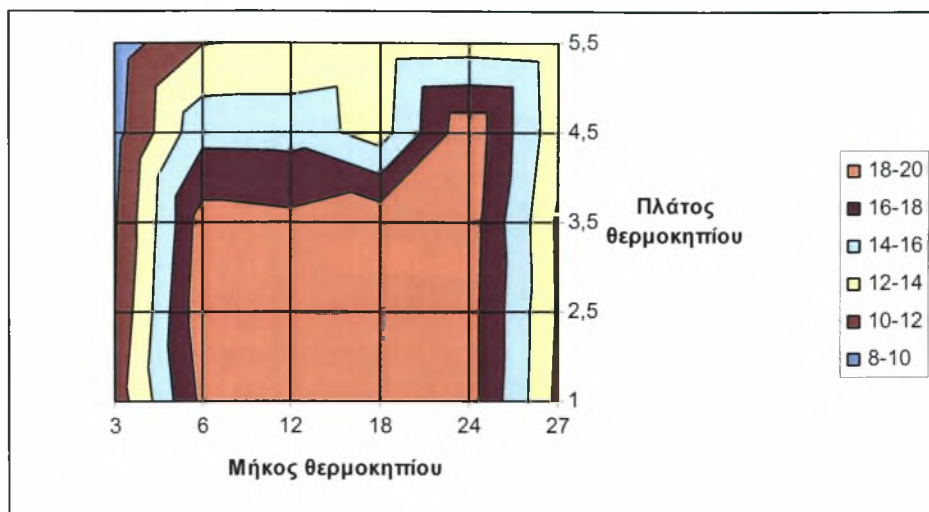


*Σχήμα 6 Κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.*



*Σχήμα 7 Εικονική κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, όπως μετρήθηκαν στον εξωτερικό μετεωρολογικό ιστό και απεικόνισή τους στα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα οποία γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα την αντίστοιχη χρονική στιγμή.*





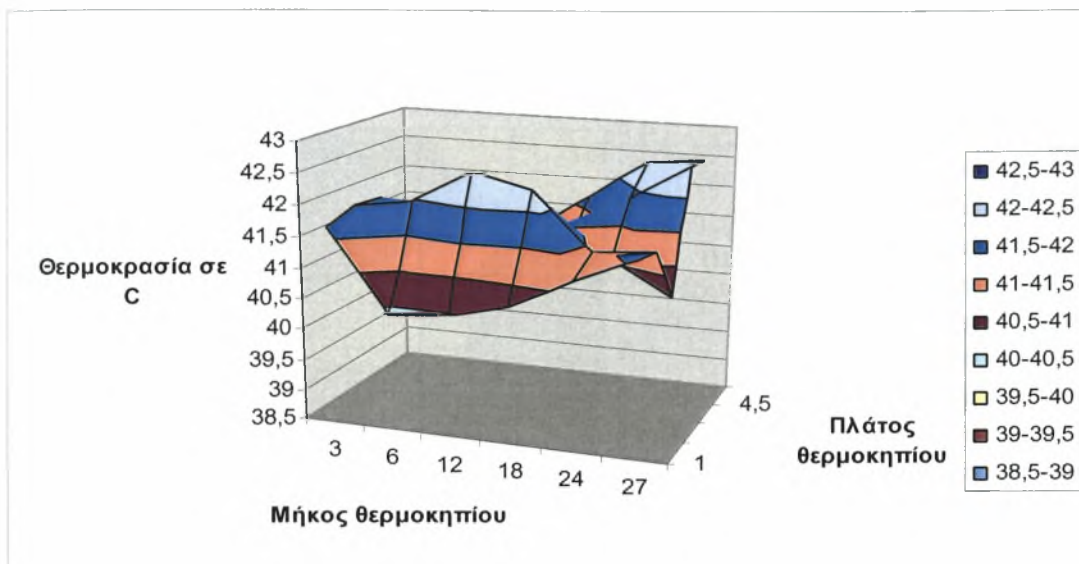
*Σχήμα 8 Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της θερμοκρασίας (διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα) σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.*

#### 4.1.2. Αποτελέσματα φυσικού αερισμού

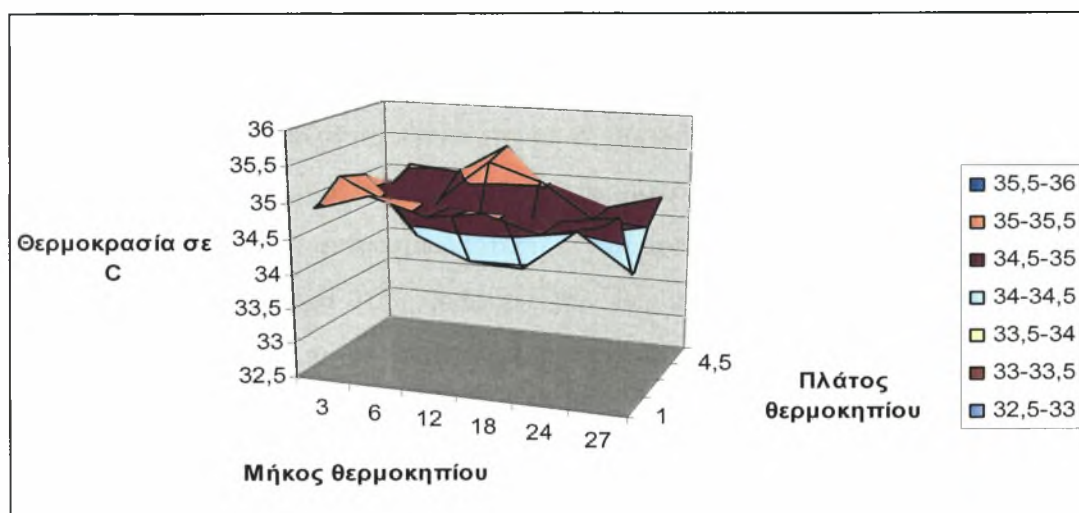
Οι ίδιες μετρήσεις πάρθηκαν και κατά την εφαρμογή του φυσικού αερισμού. Οι μετρήσεις που πάρθηκαν στο ύψος του 1 m, είχαν μέσο όρο θερμοκρασίας εντός θερμοκηπίου 41,3 °C και μέση θερμοκρασία εξωτερικού χώρου 34,8 °C. Τα αποτελέσματα των οποίων εκτίθενται παρακάτω.

Στο σχήμα 10 παρουσιάζεται η κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες τιμές βρίσκονται στο κέντρο του θερμοκηπίου και περιφερειακά κοντά στα ανοίγματα των παραθύρων η θερμοκρασία βρίσκεται στα κατώτερα επίπεδα της. Στο σχήμα 11 παρουσιάζεται η θερμοκρασία έξω από το θερμοκήπιο. Η διαφορά της θερμοκρασίας εντός και εκτός του θερμοκηπίου, απεικονίζεται αναλυτικότερα στο σχήμα 12. Στο σχήμα 13 γίνεται εμφανές ότι η μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας εμφανίζεται στο πίσω μέρος του θερμοκηπίου.



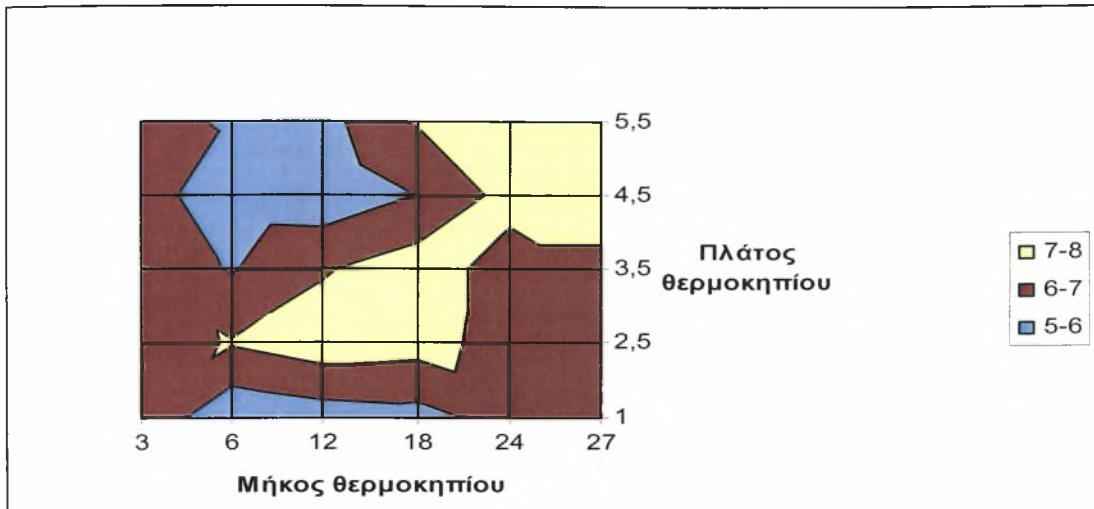


*Σχήμα 9 Κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα φυσικού αερισμού σε λειτουργία.*



*Σχήμα 10 Εικονική κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, όπως μετρήθηκαν στον εξωτερικό μετεωρολογικό ιστό και απεικόνισή τους στα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα οποία γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα την αντίστοιχη χρονική στιγμή.*



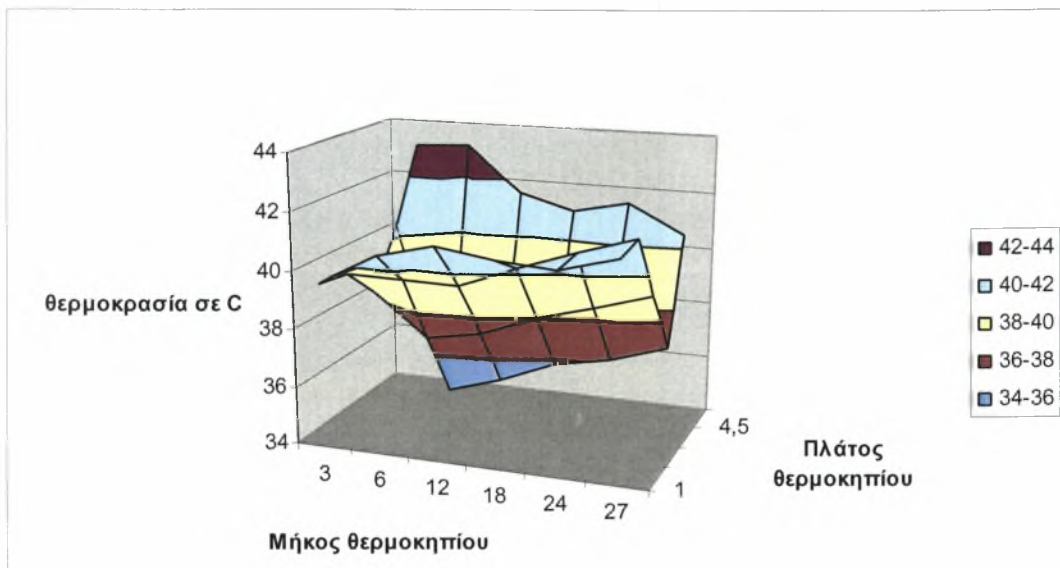


**Σχήμα 11** Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της θερμοκρασίας (διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα) σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα φυσικού αερισμού σε λειτουργία.

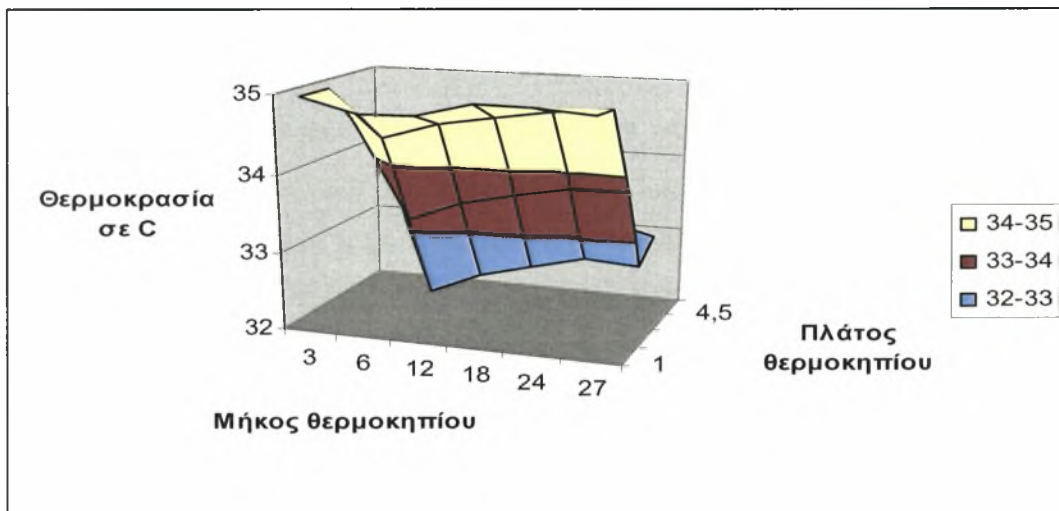
Επίσης μετρήσεις πάρθηκαν και στο ύψος των 2 m, είχαν μέσο όρο θερμοκρασίας θερμοκηπίου 39,8 °C και μέσο όρο εξωτερικής θερμοκρασίας 34 °C. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω με τη μορφή γραφήματος.

Στο σχήμα 15 παρουσιάζεται η εξωτερική θερμοκρασία του θερμοκηπίου. Για την αναλυτικότερη και αντικειμενικότερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται στο σχήμα 16 η διαφορά των θερμοκρασιών εντός και εκτός του θερμοκηπίου. Στο σχήμα 16 φαίνονται τα ακριβή σημεία και οι διαφορές στις συγκρινόμενες θερμοκρασίες.



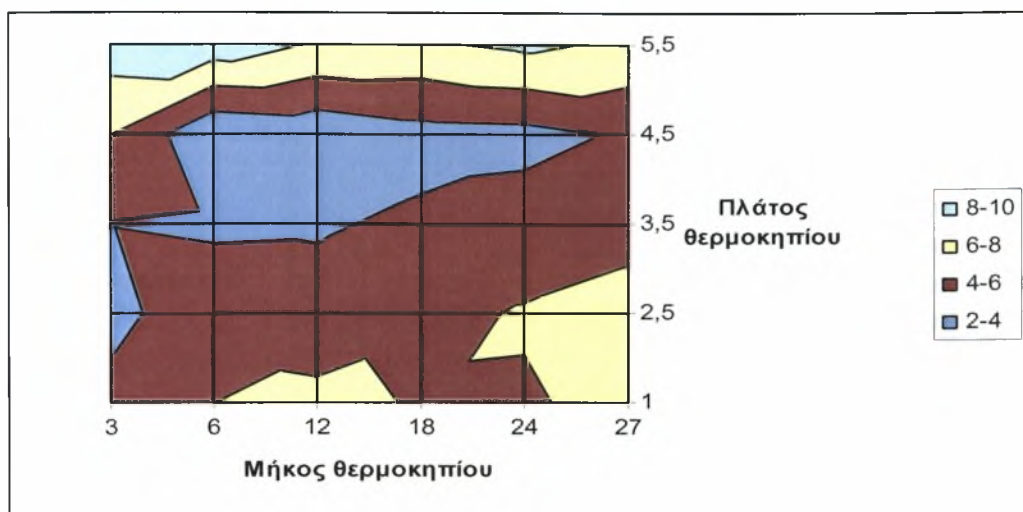


*Σχήμα 12 Κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα φυσικού αερισμού σε λειτουργία*



*Σχήμα 13 Εικονική κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, όπως μετρήθηκαν στον εξωτερικό μετεωρολογικό ιστό και απεικόνισή τους στα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα οποία γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα την αντίστοιχη χρονική στιγμή*





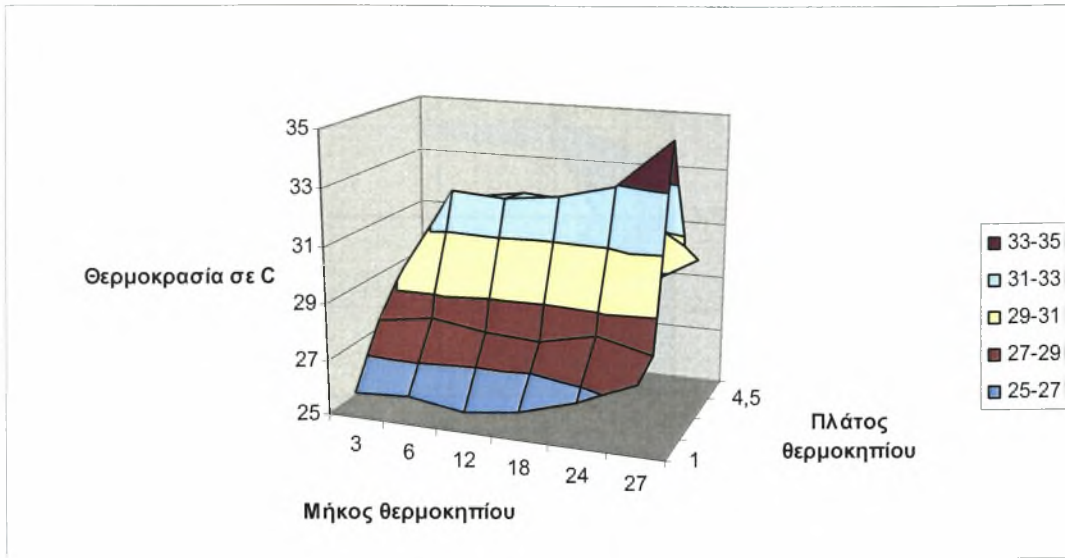
*Σχήμα 14 Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της θερμοκρασίας (διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα) σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα φυσικού αερισμού σε λειτουργία*

#### 4.1.3. Αποτελέσματα τεχνητής ομίχλης

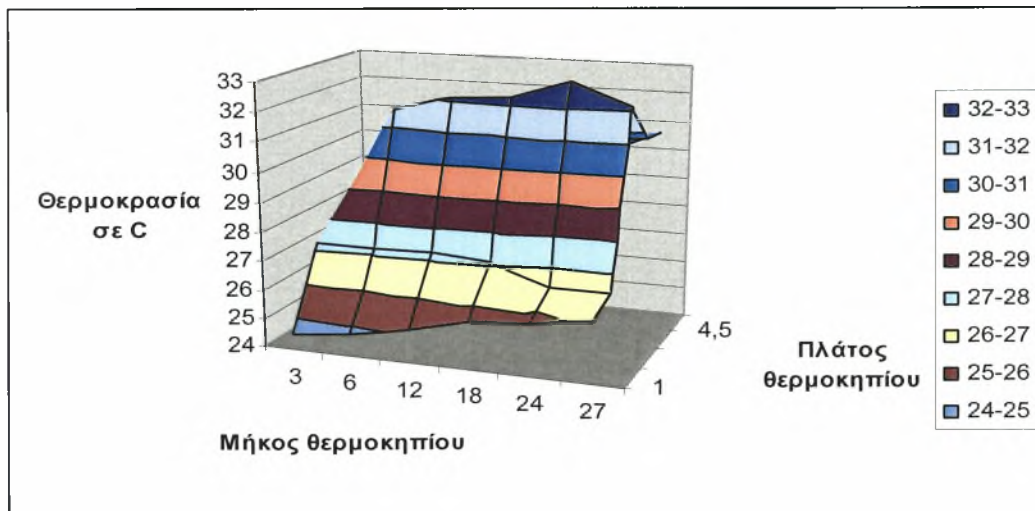
Μετρήσεις θερμοκρασίας επίσης πάρθηκαν και κατά την διάρκεια δροσισμού του θερμοκηπίου με το σύστημα τεχνητής ομίχλης ( fog ). Οι μετρήσεις πάρθηκαν στο ύψος του 1 m. Εξωτερικά η μέση θερμοκρασία κυμαινόταν στους 28,7°C, ενώ εντός του θερμοκηπίου η θερμοκρασία κυμαινόταν στους 29,4°C. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με μορφή γραφημάτων για την καλύτερη κατανόηση αυτών.

Στο σχήμα 16 παρουσιάζεται η θερμοκρασία εντός θερμοκηπίου, κατά την εφαρμογή του συστήματος δροσισμού της τεχνητής ομίχλης. Γίνεται εμφανές ότι το σημείο που αντιστοιχεί σε αυτό με την υψηλότερη θερμοκρασία είναι και το σημείο στο οποίο δεν υπάρχει ακροφύσιο, γεγονός που αιτιολογεί απολύτως το υψηλό της θερμοκρασίας. Μετρήσεις επίσης πάρθηκαν παράλληλα με της εσωτερικής θερμοκρασίας και για την εξωτερική θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο σχήμα 17. ενώ στο σχήμα 18 απεικονίζεται η διαφορά των θερμοκρασιών.



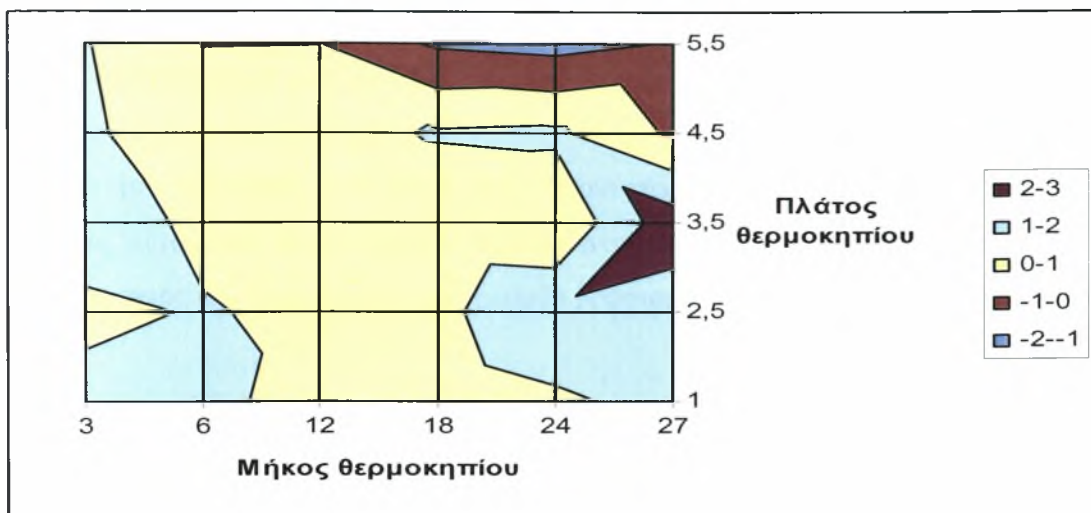


*Σχήμα 15 Κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα τεχνητής ομίχλης σε λειτουργία*



*Σχήμα 16 Εικονική κατανομή των τιμών της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα, όπως μετρήθηκαν στον εξωτερικό μετεωρολογικό ιστό και απεικόνισή τους στα σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα οποία γινόταν μέτρηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα την αντίστοιχη χρονική στιγμή*





*Σχήμα 17* Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της θερμοκρασίας (διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα) σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα τεχνητής ομίχλης σε λειτουργία.





## 4.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

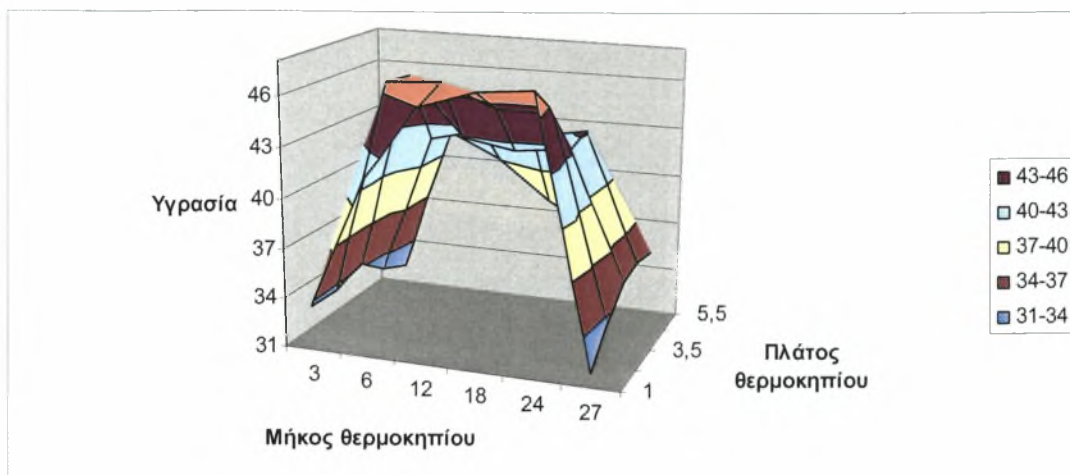
Κατά την διεξαγωγή του πειράματος πάρθηκαν μετρήσεις και για τα επίπεδα υγρασίας εντός του θερμοκηπίου, προκειμένου να καταγραφεί η διασπορά της υγρασίας εντός του θερμοκηπίου ανά μέθοδο δροσισμού.

### 4.2.1. Αποτελέσματα δυναμικού αερισμού

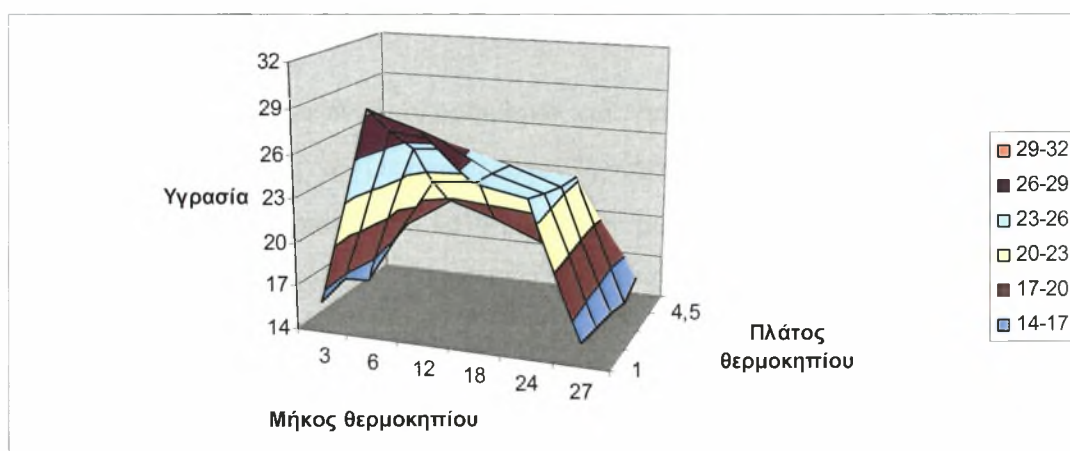
Στον δυναμικό αερισμό πάρθηκαν μετρήσεις σε τρία επίπεδα-ύψη. Οι μετρήσεις έγιναν στο ύψος των 0,4, 1 και 2 m. Τα σημεία των μετρήσεων είναι διάσπαρτα καθ' όλη την επιφάνεια του θερμοκηπίου. Παρακάτω τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή γραφημάτων ανά επίπεδο.

Στο σχήμα 20, στο ύψος των 0,4 m παρατηρείται ότι η υγρασία είναι αρκετά αυξημένη στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, σε αντίθεση με τις πλευρές των προσόψεων οι οποίες φέρουν τις χαμηλότερες τιμές υγρασίας. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη καλλιέργειας στο θερμοκήπιο. Στο σχήμα 21 στο επίπεδο του 1 m παρατηρείται αυξημένη υγρασία στην μπροστά πλευρά του θερμοκηπίου. Αυτό το φαινόμενο αιτιολογείται με το γεγονός ότι το συγκεκριμένο σημείο βρίσκεται ανάμεσα στην βάση των ανεμιστήρων. Στο σχήμα 22, στο επίπεδο των 2 m παρατηρείται πάλι το ίδιο φαινόμενο των υψηλών επιπέδων υγρασίας στο σημείο μεταξύ των ανεμιστήρων. Σημαντικό είναι επίσης το γεγονός ότι στο κέντρο του θερμοκηπίου τα επίπεδα της υγρασίας είναι πολύ πιο χαμηλά, προφανώς λόγω της ύπαρξης καλλιέργειας.



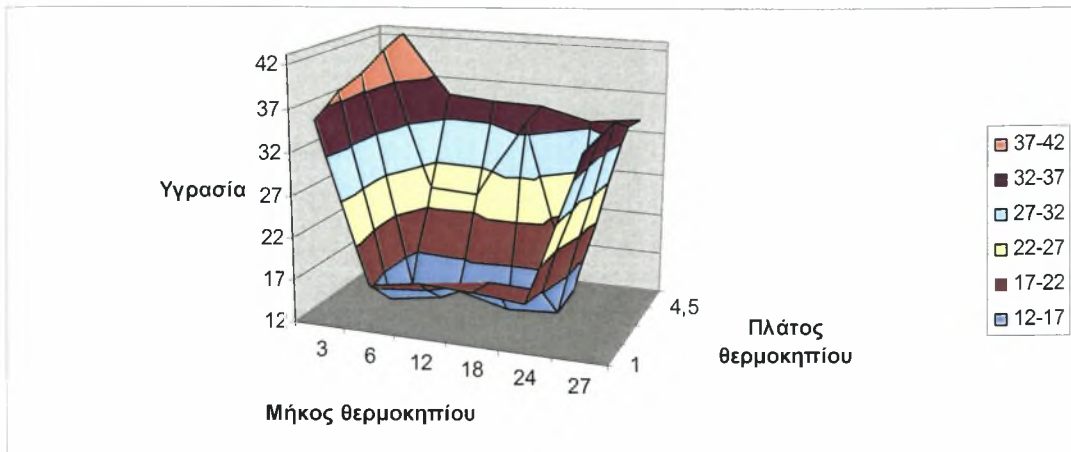


*Σχήμα 18 Κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 0,4 m. από την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία*



*Σχήμα 19 Κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.*





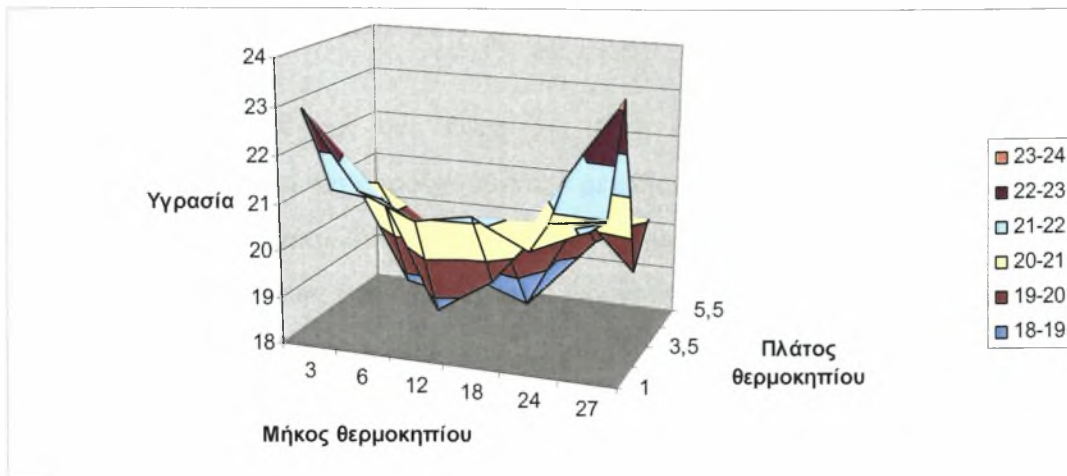
*Σχήμα 20 Κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία*

#### 4.2.2. Αποτελέσματα φυσικού αερισμού

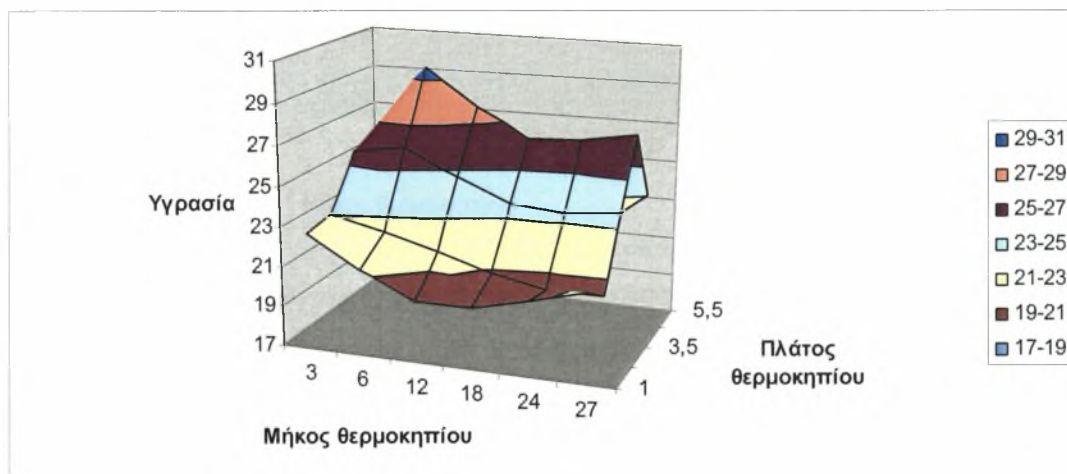
Το ίδιο μοτίβο μετρήσεων ακολουθήθηκε και για το σύστημα δροσισμού του φυσικού αερισμού. Όμως οι μετρήσεις στον φυσικό αερισμό πάρθηκαν σε δύο επίπεδα, στο ύψος του 1 και 2 m. Τα σημεία των μετρήσεων παραμένουν τα ίδια, διάσπαρτα μέσα στο θερμοκήπιο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω με τη μορφή γραφημάτων.

Στο σχήμα 22 διαπιστώνεται το μειωμένο ποσοστό υγρασίας στο κέντρο του θερμοκηπίου, στο ύψος του 1 m. Προφανώς αυτό αποδίδεται στην ύπαρξη καλλιέργειας. Σε αντίθεση με το σχήμα 22, στο σχήμα 23 διαπιστώνεται πως στο ύψος των 2 m, το ποσοστό της υγρασίας αυξάνεται στο κέντρο. Το φαινόμενο αυτό θεωρείται λογικό για το συγκεκριμένο ύψος και σύστημα δροσισμού





*Σχήμα 21 Κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 1 m. από την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του φυσικού αερισμού σε λειτουργία*

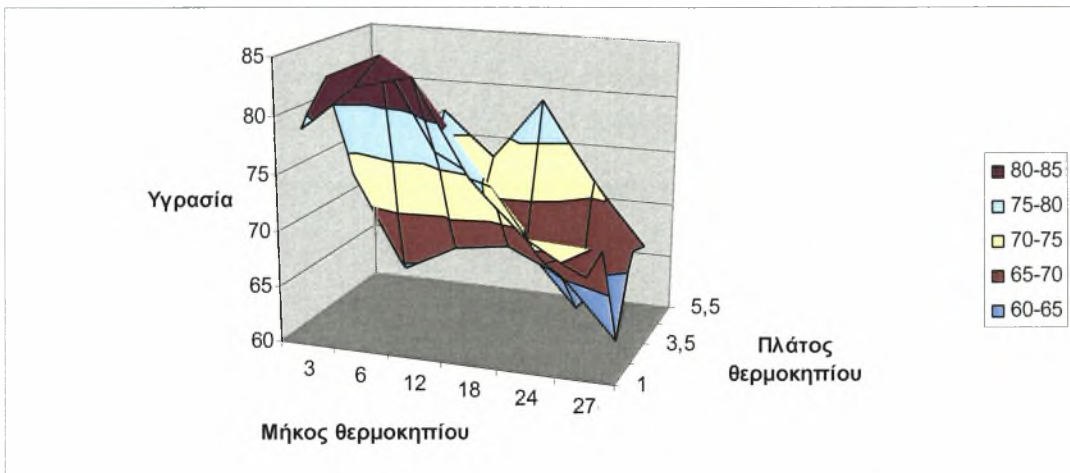


*Σχήμα 22 Κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του φυσικού αερισμού σε λειτουργία*



### 4.2.3. Αποτελέσματα τεχνητής ομίχλης

Οι μετρήσεις πάρθηκαν στο ύψος του 1 m και τα σημεία των μετρήσεων παραμένουν ίδια με τις προηγούμενες μετρήσεις. Τα αποτελέσματα αυτών παρουσιάζονται με το ακόλουθο γράφημα. Στο σχήμα 24 διαπιστώνεται η υπερβολικά υψηλή τιμή της υγρασίας στο σημείο όπου δεν υπάρχει ακροφύσιο. Από κέντρο του θερμοκηπίου διαπιστώνεται μία πιο ομαλή αύξηση, προς τις πλευρές του θερμοκηπίου.



*Σχήμα 23 Κατανομή της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε ύψος 1 m. από την επιφάνεια του εδάφους κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα της τεχνητής ομίχλης σε λειτουργία.*



### 4.3. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΕΜΟΥ

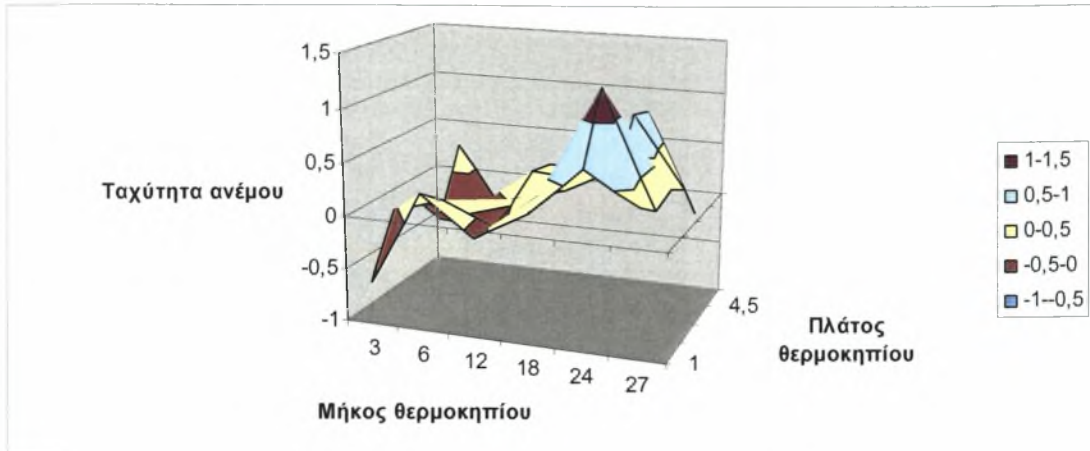
Κατά τη διάρκεια του πειράματος πάρθηκαν μετρήσεις στην ταχύτητα του ανέμου σε δύο κατευθύνσεις ( $u$ (m/s),  $v$ (m/s) ), καθώς και στην ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου ( $W$ (m/s)).

#### 4.3.1. Αποτελέσματα δυναμικού αερισμού

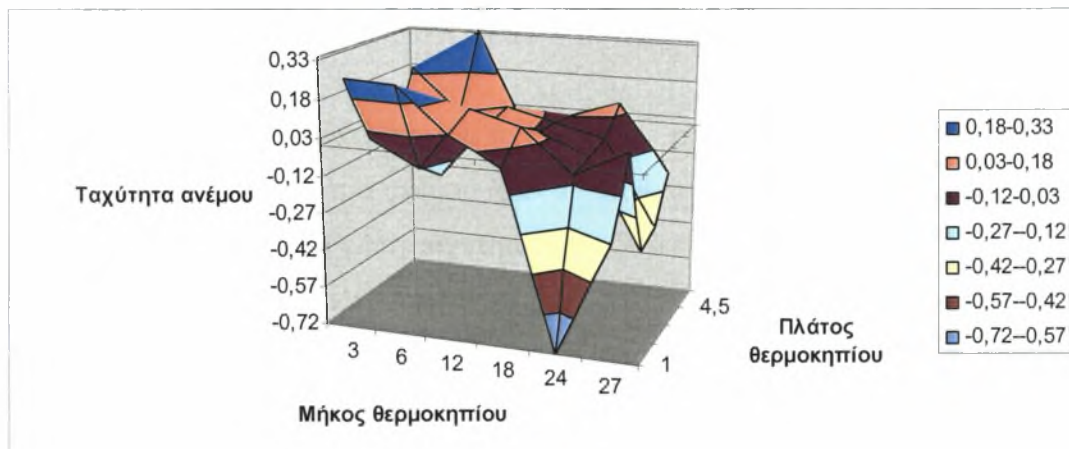
Οι πρώτες μετρήσεις έγιναν στο ύψος των 0,4 m, με την ταχύτητα του ανέμου εντός του θερμοκηπίου να έχει μέση τιμή  $u=0,14$  m/s και  $v=-0,04$  m/s, ενώ ο εξωτερικός άνεμος φτάνει τα  $W=1,89$  m/s. Τα σημεία των μετρήσεων ήταν 30 μέσα στο θερμοκήπιο και ήταν τα ίδια σημεία με τις προηγούμενες μετρήσεις.

Στο σχήμα 26 διαπιστώνεται επιρροή του ανέμου  $u$  εντός του θερμοκηπίου από τους ανεμιστήρες, καθώς στα υψηλότερα σημεία των τιμών του ανέμου υπάρχουν ανεμιστήρες. Στο σχήμα 27 παρουσιάζει την ταχύτητα του ανέμου  $v$ , η οποία και αυτή όπως και η προηγούμενη, επηρεάζεται από τους ανεμιστήρες, καθώς υπάρχουν έντονες κλιμακωτές αλλαγές στα σημεία όπου είναι εγκατεστημένοι οι ανεμιστήρες. Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων θα πρέπει να μηδενιστεί ο παράγοντας της ταχύτητας του εξωτερικού ανέμου. Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο παρουσιάζεται το σχήμα 27, που παρουσιάζεται στην ουσία η επιρροή του ανέμου από τον δυναμικό αερισμό. Όπως φαίνεται τα σημεία παρουσίας μεγαλύτερης επιρροής των ανεμιστήρων στον άνεμο είναι και τα σημεία εγκατάστασης αυτών.



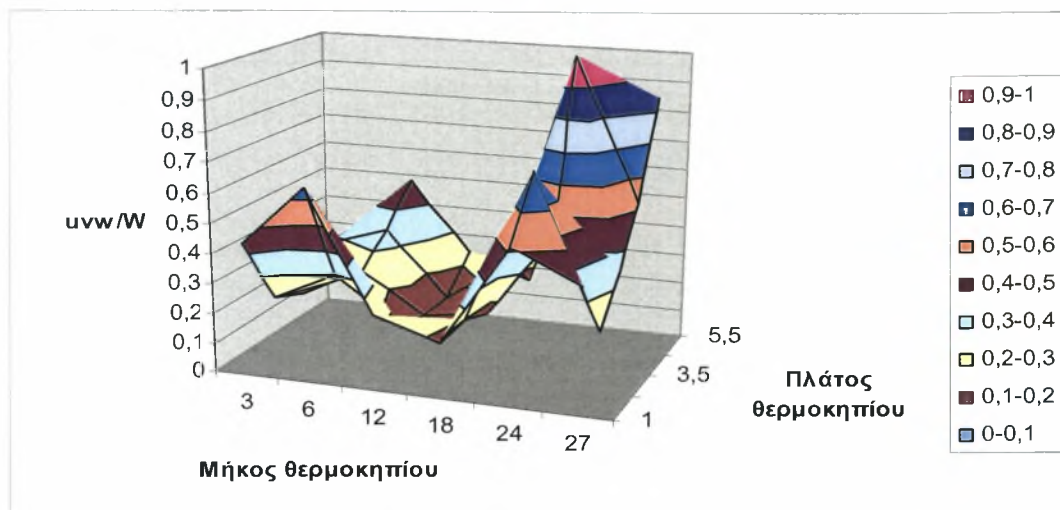


*Σχήμα 24 Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $u$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $0,4 m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία*



*Σχήμα 25 Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $v$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $0,4 m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.*





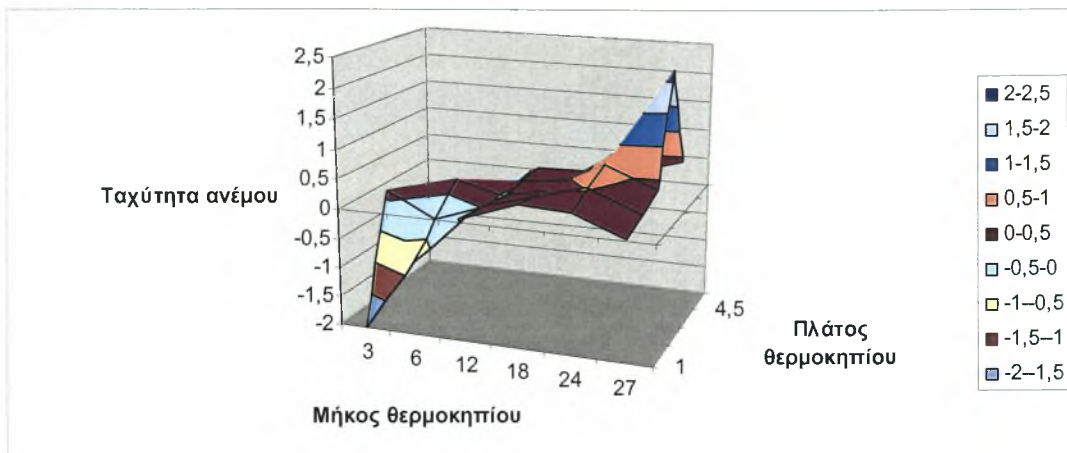
*Σχήμα 26 Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου (λόγος της ταχύτητας του ανέμου στο θερμοκήπιο προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου) σε ύψος 0,4 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία*

Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν και για το ύψος του 1 m. Ακολουθήθηκε το ίδιο μοτίβο μετρήσεων. Η μέση ταχύτητα ανέμου ήταν  $u = 0,04$  m/s, η μέση ταχύτητα του ανέμου  $v$  ήταν  $v = 0,04$  m/s, και η μέση ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου ήταν  $W = 0,41$  m/s. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

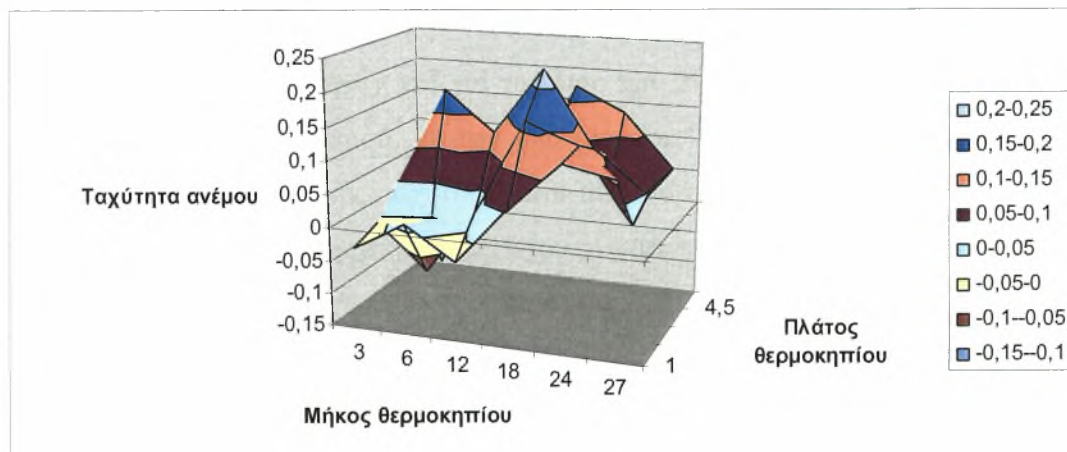
Το σχήμα 28 παρουσιάζει την ταχύτητα του ανέμου  $u$  εντός θερμοκηπίου με δυναμικό αερισμό. Γίνεται εύκολα αντιληπτή η θέση των ανεμιστήρων εντός του θερμοκηπίου, καθώς εκεί η ταχύτητα αποκτά τις ακραίες της τιμές. Το σχήμα 29 παρουσιάζει την ταχύτητα του ανέμου  $v$  σε m/s καθ' όλη την επιφάνεια του θερμοκηπίου. Έτσι γίνεται ευκολότερα αντιληπτή η διακύμανση της ταχύτητας εντός του θερμοκηπίου. Εδώ φαίνεται η αύξηση των τιμών της ταχύτητας στο κέντρο του θερμοκηπίου. Όμως για την αντικειμενικότερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων αφαιρέθηκε ο παράγοντας της ταχύτητας του εξωτερικού ανέμου. Το σχήμα 30 παρουσιάζει τον λόγο της ταχύτητας του ανέμου εντός του θερμοκηπίου προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου. Από το σχήμα 30 γίνεται εμφανής η διαφοροποίηση του ανέμου εντός του θερμοκηπίου, καθώς η ταχύτητα του ανέμου παίρνει τις ανώτερες τιμές αυτής στα σημεία που είναι εγκατεστημένοι οι ανεμιστήρες.





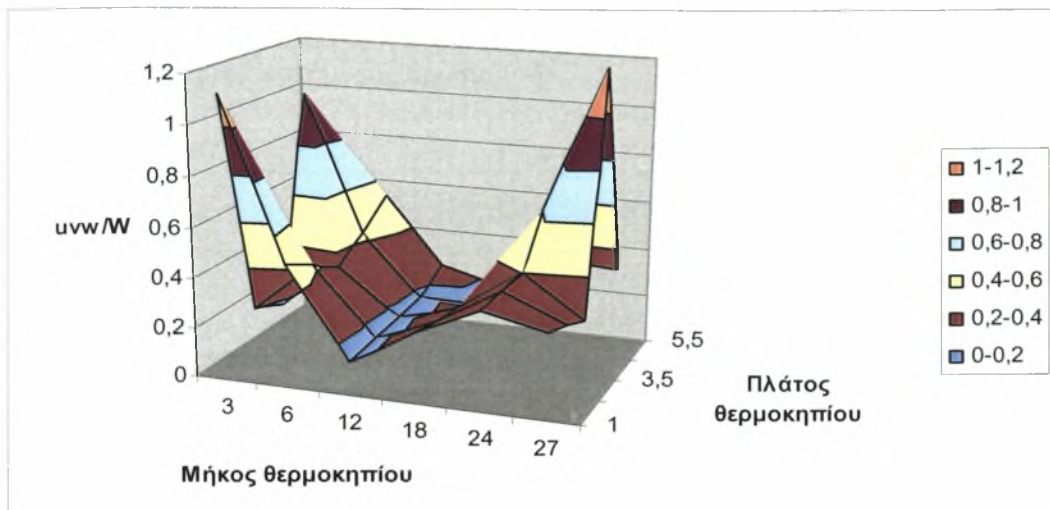


*Σχήμα 27 Κατανομή της ταχύτητας ανέμου u στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε m/s, σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία.*



*Σχήμα 28 Κατανομή της ταχύτητας ανέμου v στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε m/s, σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία..*





*Σχήμα 29 Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου (λόγος της ταχύτητας του ανέμου στο θερμοκήπιο προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου) σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία..*

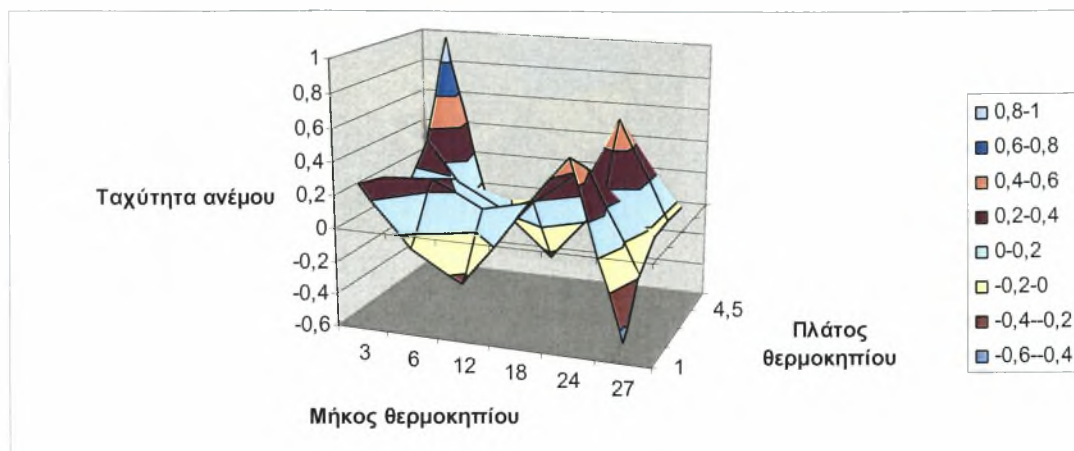
Τέλος μετρήσεις πάρθηκαν και για το ύψος των 2 m, στο ίδιο θερμοκήπιο με το σύστημα δυναμικού αερισμού, με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου  $u$  εντός του θερμοκηπίου ήταν  $u=0,09$  m/s, η μέση τιμή της ταχύτητας  $v$  του ανέμου εντός του θερμοκηπίου ήταν  $v=-0,09$  m/s και η ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου  $W$  ήταν  $W=0,24$  m/s.

Από τις μετρήσεις αυτές προκύπτουν τα εξής γραφήματα.

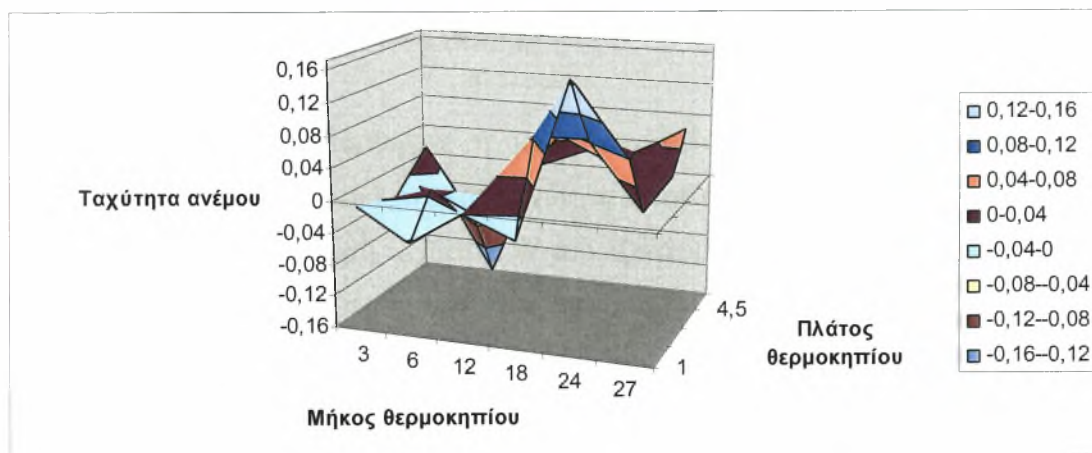
Το σχήμα 31 παρουσιάζει την ταχύτητα  $u$  του ανέμου εντός του θερμοκηπίου, με σύστημα δροσισμού δυναμικό αερισμό. Από τα αποτελέσματα φαίνονται τα σημεία στα οποία η ταχύτητα αποκτά τις ακραίες τις τιμές. Τα σημεία αυτά αντιστοιχούν και στα σημεία που είναι τοποθετημένοι οι ανεμιστήρες. Το σχήμα 32 παρουσιάζει την ταχύτητα  $v$  του ανέμου εντός του θερμοκηπίου. Πάλι ξεχωρίζουν τα σημεία που είναι εγκατεστημένοι οι ανεμιστήρες, καθώς εκεί οι τιμές της ταχύτητας βρίσκονται στα υψηλότερα επίπεδα τους. Για την αντικειμενικότερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων στο σχήμα 33 παρουσιάζεται ο λόγος των ταχυτήτων του ανέμου εντός και εκτός θερμοκηπίου. Αυτό το γράφημα στην ουσία παρουσιάζει την ταχύτητα του ανέμου εντός του θερμοκηπίου, χωρίς τον παράγοντα του εξωτερικού ανέμου. Στο παραπάνω γράφημα επομένως παρουσιάζεται λεπτομερώς η ταχύτητα του ανέμου εντός του θερμοκηπίου, χωρίς την ύπαρξη του παράγοντα του εξωτερικού ανέμου. Πάλι



εμφανίζεται η ταχύτητα του ανέμου αυξημένη στα σημεία που είναι εγκατεστημένοι οι ανεμιστήρες του συστήματος δροσισμού.

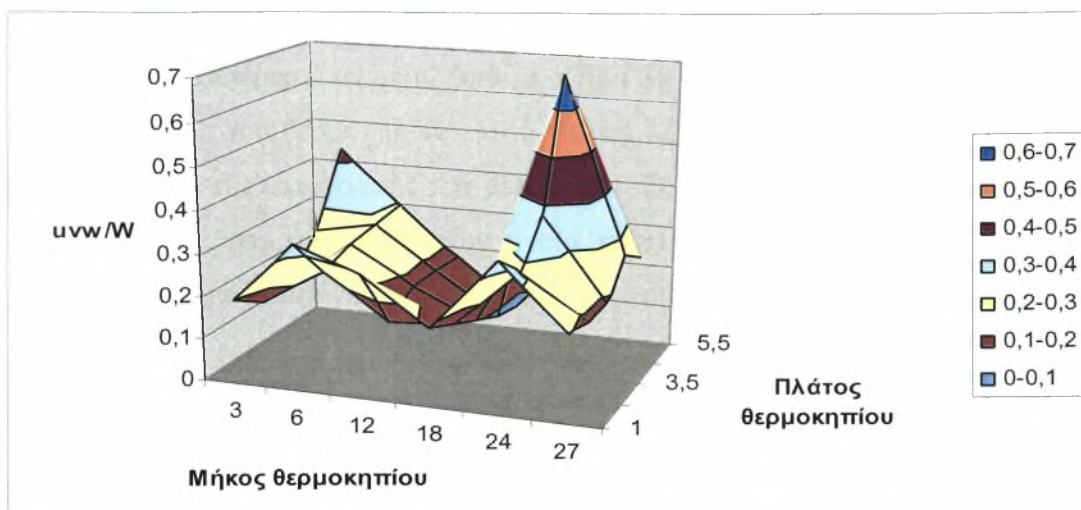


**Σχήμα 30** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $u$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία



**Σχήμα 31** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $v$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του δυναμικού αερισμού σε λειτουργία..





**Σχήμα 32** Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου (λόγος της ταχύτητας του ανέμου στο θερμοκήπιο προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου) σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα δυναμικού αερισμού σε λειτουργία..

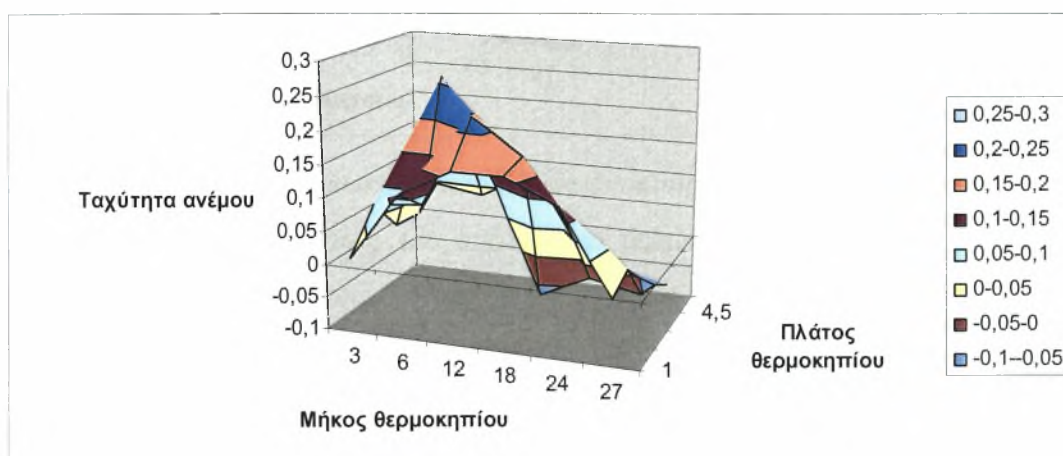
#### 4.3.2. Αποτελέσματα φυσικού αερισμού

Όταν οι μετρήσεις πάρηκαν η μέση ταχύτητα  $u$  του ανέμου εντός του θερμοκηπίου ήταν  $u=0,05$  m/s, η μέση ταχύτητα  $v$  του ανέμου εντός του θερμοκηπίου ήταν  $v= 0,05$  m/s και η μέση ταχύτητα  $W$  του εξωτερικού ανέμου ήταν  $W=2,57$  m/s. Οι πρώτες μετρήσεις πάρηκαν στο ύψος του 1 m, με τον ίδιο τρόπο όπως και στο σύστημα δροσισμού του δυναμικού αερισμού.

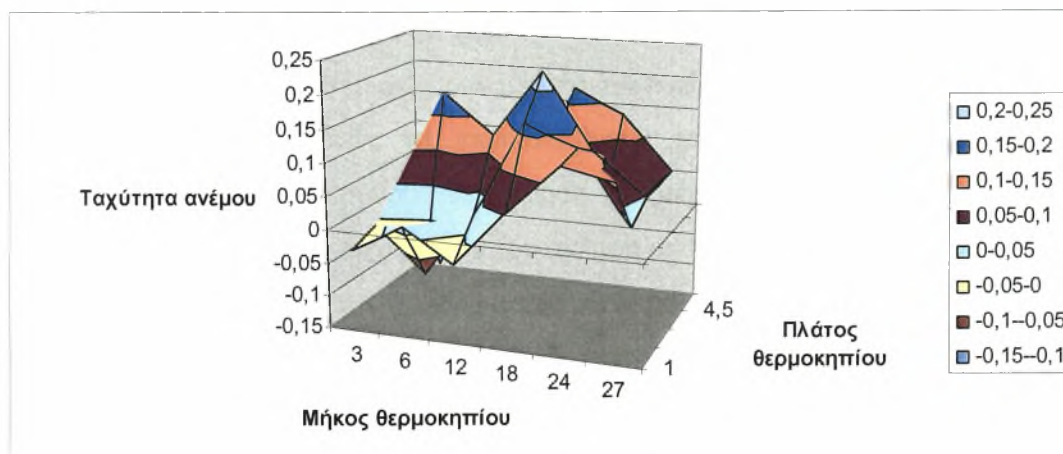
Στο σχήμα 34 παρουσιάζεται η ταχύτητα  $u$  του ανέμου εντός του θερμοκηπίου, που εφαρμόζεται φυσικός αερισμός. Κατά την διάρκεια των μετρήσεων φυσούσε ανατολικός άνεμος με αποτέλεσμα μετά την εισχώρησή του στο θερμοκήπιο, ο άνεμος να προσκρούει στο νότιο τοίχωμα του θερμοκηπίου και μετά να διοχετεύεται στο βόρειο. Μέσα από το γράφημα αυτό γίνεται αντιληπτή η διοχέτευση του ανέμου κοντά στο βόρειο τοίχωμα του θερμοκηπίου. Στο σημείο που καταγράφεται η υψηλότερη τιμή της ταχύτητας του ανέμου, υπάρχει άνοιγμα οροφής. Από το σχήμα 35 φαίνεται, όπως και στο προηγούμενο γράφημα, η διοχέτευση του αέρα προς τα ανώτερα επίπεδα του θερμοκηπίου, όπου υπάρχει ανοιχτό παράθυρο οροφής. Για την διεξαγωγή ασφαλέστερων αποτελεσμάτων παρουσιάζεται παρακάτω και το σχήμα 36



του λόγου της ταχύτητας εντός του θερμοκηπίου με φυσικό αερισμό, προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου. Από το σχήμα 36 φαίνεται η διοχέτευση του αέρα στο νότιο τμήμα του θερμοκηπίου. Αυτό γίνεται λόγω του ανατολικού ανέμου που φυσάει την ώρα της καταγραφής των μετρήσεων. Ο λόγος των τιμών της εσωτερικής προς την εξωτερική ταχύτητα, στην ουσία κάνει απόσβεση του παράγοντα του εξωτερικού ανέμου, αφήνοντας μόνο την ταχύτητα του εσωτερικού ανέμου για μελέτη.

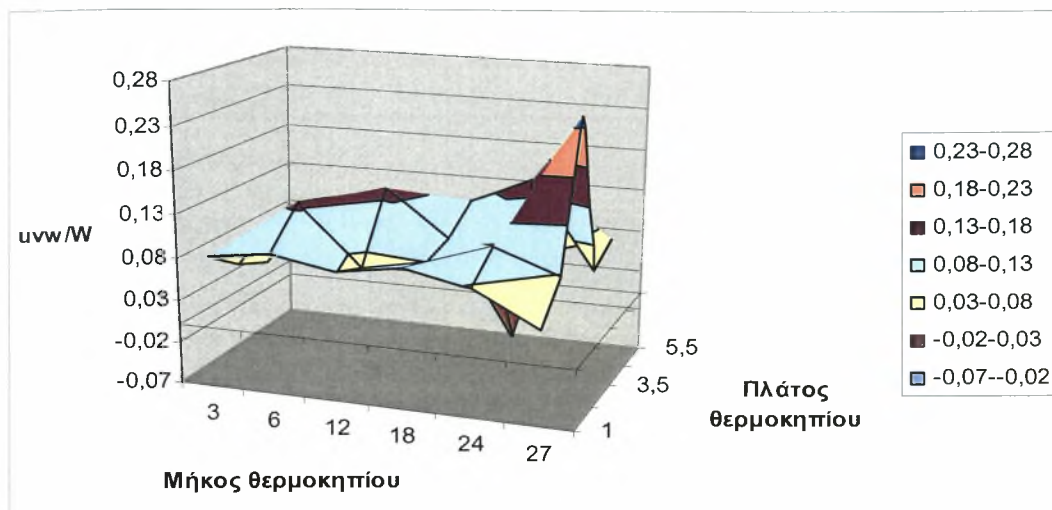


**Σχήμα 33** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $u$  στο εσωτερικό του θερμοσκοπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $1\ m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του φυσικού αερισμού σε λειτουργία



**Σχήμα 34** Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $v$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $1\ m$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του φυσικού αερισμού σε λειτουργία.





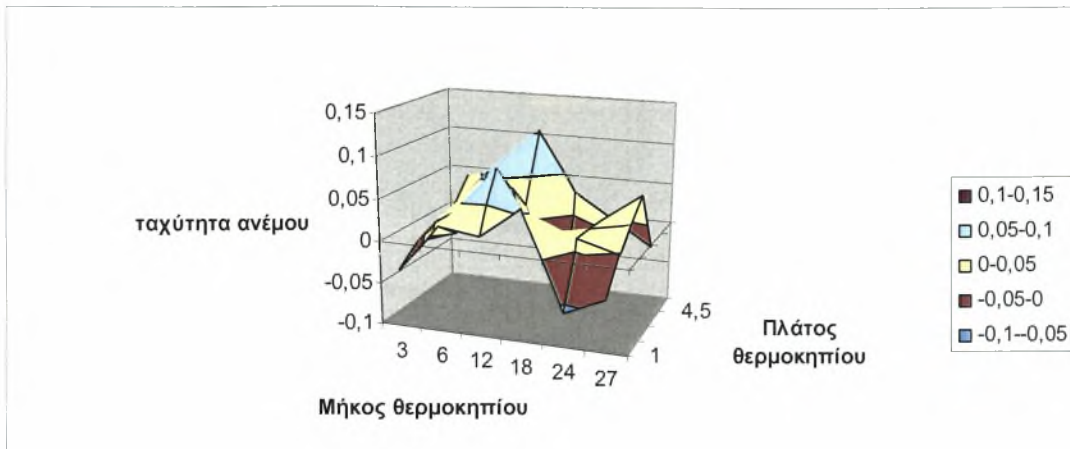
*Σχήμα 35 Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου (λόγος της ταχύτητας του ανέμου στο θερμοκήπιο προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου) σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα φυσικού αερισμού σε λειτουργία.*

Μετρήσεις επίσης πάρθηκαν και στα 2 m, όπως και προηγουμένως. Η μέση ταχύτητα  $u$  του ανέμου εντός του θερμοκηπίου ήταν  $u=0,01$  m/s, η μέση ταχύτητα  $v$  του ανέμου εντός θερμοκηπίου ήταν  $v=0,01$  m/s και η μέση ταχύτητα  $W$  του ανέμου εκτός θερμοκηπίου ήταν  $W=3,90$  m/s. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

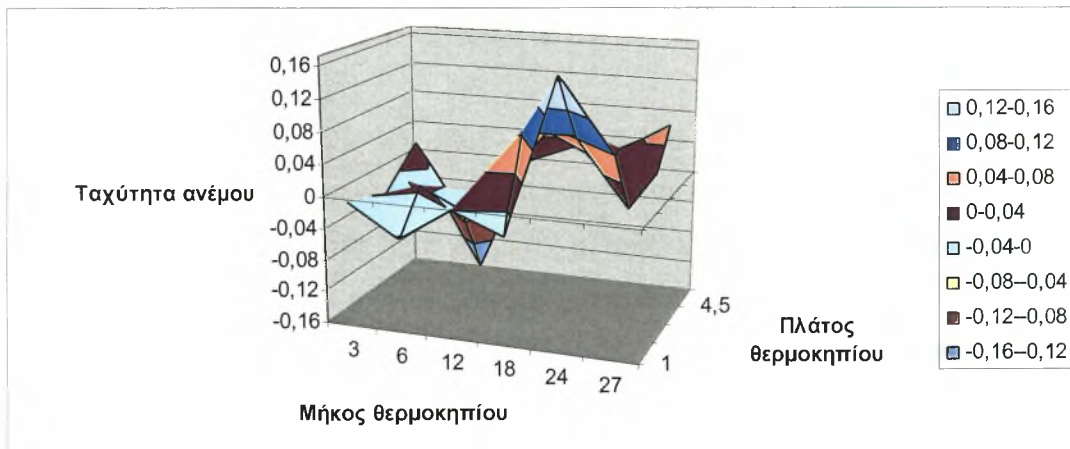
Το σχήμα 37 παρουσιάζει την ταχύτητα του ανέμου  $u$  εντός του θερμοκηπίου. Κατά τη διάρκεια της καταγραφής των μετρήσεων ο εξωτερικός άνεμος που φυσούσε ήταν ανατολικός. Επομένως τα απεικονιζόμενα αποτελέσματα είναι απολύτως αναμενόμενα, καθώς ακολουθούν την κίνηση του αέρα εντός του θερμοκηπίου. Το σχήμα 38 παρουσιάζει την ταχύτητα  $v$  του ανέμου σε θερμοκήπιο που εφαρμόζεται ο φυσικός αερισμός. Κατά την διάρκεια της καταγραφής των μετρήσεων όπως και προηγουμένως φυσούσε ανατολικός άνεμος. Επομένως τα αποτελέσματα είναι τα αναμενόμενα. Για την διεξαγωγή ασφαλέστερων αποτελεσμάτων παρουσιάζεται και το σχήμα 39, το γράφημα του λόγου της εσωτερικής προς την εξωτερική ταχύτητα του ανέμου. Στο σχήμα 39 παρατηρείται η ταχύτητα του ανέμου εντός του θερμοκηπίου, χωρίς την επιρροή του παράγοντα της εξωτερικής ταχύτητας του



ανέμου. Το σημείο που εμφανίζεται η υψηλότερη τιμή του λόγου είναι το ανοιχτό παράθυρο της οροφής.

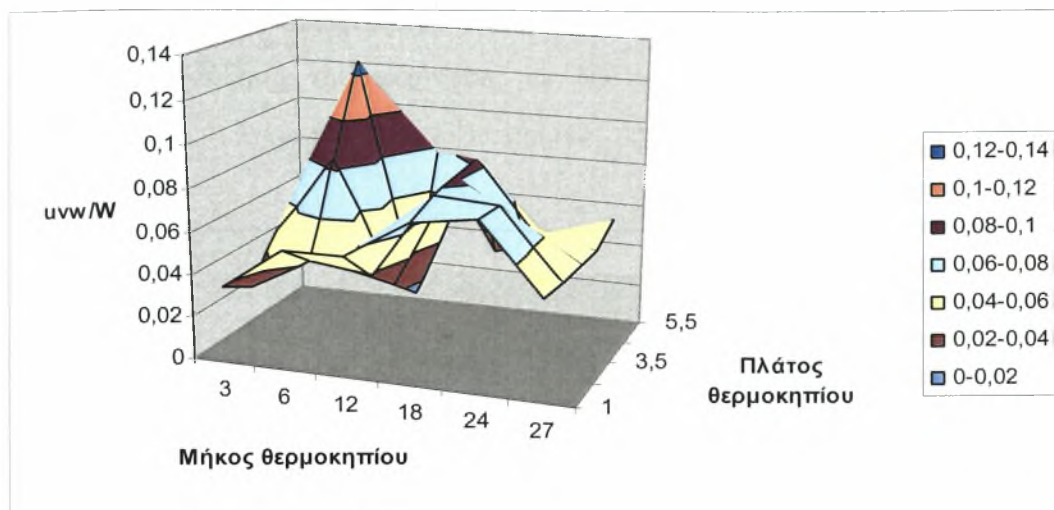


*Σχήμα 36 Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $u$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του φυσικού αερισμού σε λειτουργία.*



*Σχήμα 37 Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $v$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα του φυσικού αερισμού σε λειτουργία.*





*Σχήμα 38 Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου (λόγος της ταχύτητας του ανέμου στο θερμοκήπιο προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου) σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα φυσικού αερισμού σε λειτουργία.*

#### 4.3.3. Αποτελέσματα τεχνητής ομίχλης

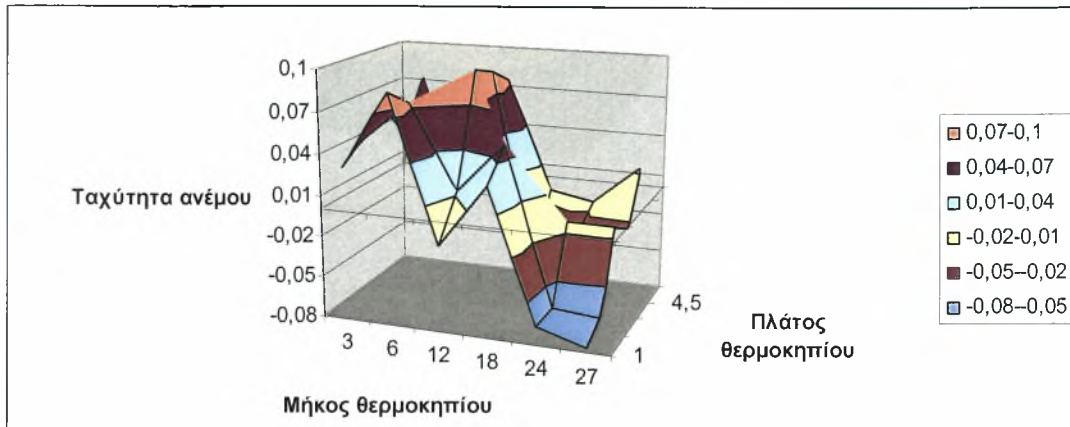
Η καταγραφή των μετρήσεων με το σύστημα τεχνητής ομίχλης, έγιναν στο ύψος του 1 m, μετρήσεις πάρθηκαν σε 30 σημεία εντός του θερμοκηπίου, χρησιμοποιώντας τα ίδια σημεία όπως και στις προηγούμενες μετρήσεις. Η μέση τιμή της ταχύτητας  $u$  εντός θερμοκηπίου ήταν  $u=0,01$  m/s, η μέση τιμή της ταχύτητας  $v$  εντός του θερμοκηπίου ήταν  $v=-0,07$  m/s. Η μέση τιμή του ανέμου  $W$  εκτός θερμοκηπίου όπως μετρήθηκε ήταν  $W=1,14$  m/s

Στο σχήμα 40 απεικονίζεται η ταχύτητα  $u$  του εσωτερικού του θερμοκηπίου. Παρατηρείται πως η ταχύτητα αυξάνει στα σημεία που υπάρχουν οι ανεμιστήρες. Στο σχήμα 41 απεικονίζεται η ταχύτητα  $v$  του ανέμου εντός του θερμοκηπίου, κατά τη διάρκεια εφαρμογής του συστήματος δροσισμού της τεχνητής ομίχλης. Για τη διεξαγωγή ασφαλέστερων αποτελεσμάτων παρακάτω παρουσιάζεται το σχήμα 42, το γράφημα του λόγου της εσωτερικής προς την εξωτερική ταχύτητα του ανέμου. Με αυτόν τον τρόπο ο παράγοντας του εξωτερικού ανέμου απαλείφεται και παρουσιάζονται μόνο τα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου εντός του θερμοκηπίου. Στο σχήμα 42 παρουσιάζεται στην οριζόντια άξονα η ταχύτητα του ανέμου εντός του

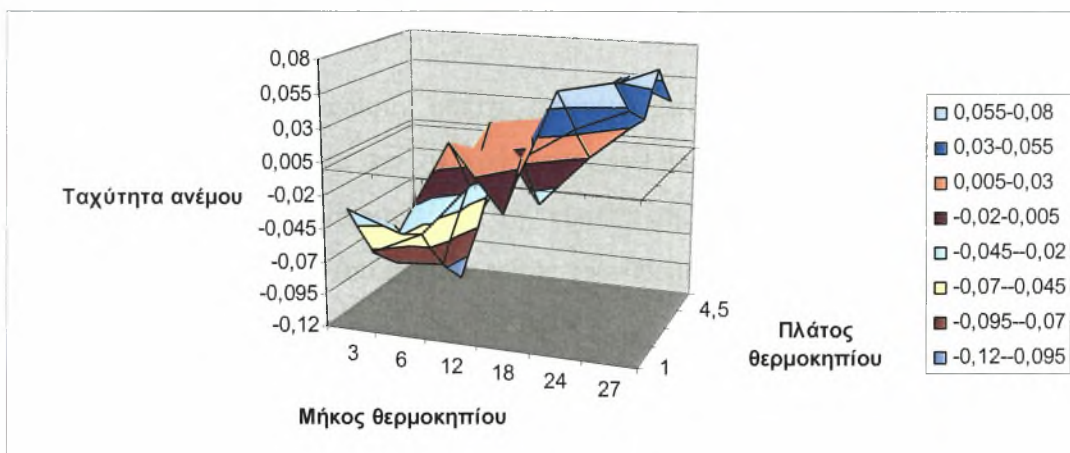




θερμοκηπίου, καθώς εφαρμόζεται το σύστημα δροσισμού της τεχνητής ομίχλης. Παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας σε δύο σημεία. Στα σημεία αυτά είναι εγκατεστημένοι οι ανεμιστήρες του συστήματος τεχνητής ομίχλης.

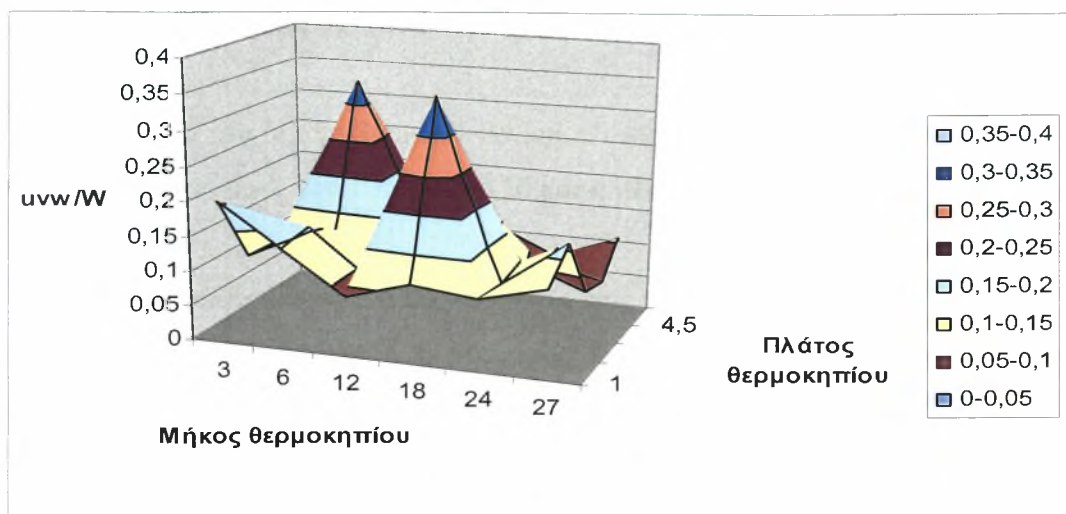


*Σχήμα 39 Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $u$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $1\text{ m}$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα της τεχνητής ομίχλης σε λειτουργία*



*Σχήμα 40 Κατανομή της ταχύτητας ανέμου  $v$  στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μετρούμενη σε  $m/s$ , σε ύψος  $1\text{ m}$  από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων με το σύστημα της τεχνητής ομίχλης σε λειτουργία*





*Σχήμα 41* Γραφική απεικόνιση των αδιαστασιοποιημένων τιμών της ταχύτητας του ανέμου (λόγος της ταχύτητας του ανέμου στο θερμοκήπιο προς την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου) σε ύψος 1 m από την επιφάνεια του εδάφους, κατά τη διάρκεια μετρήσεων με το σύστημα της τεχνητής ομίχλης σε λειτουργία

#### 4.4. ΟΜΟΙΟΓΕΝΕΙΑ ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑΤΟΣ

Προκειμένου να διεξαχθούν σωστά αποτελέσματα, στην παράγραφο αυτή θα παρουσιαστή η ομοιογένεια του μικροκλίματος ανά μεταχείριση και ύψος μετρήσεων. Ο δείκτης που θα χρησιμοποιηθεί για την εύρεση της ομοιογένειας είναι ο Standard deviation της ταχύτητας του ανέμου εντός του θερμοκηπίου και θα παρουσιαστούν μόνο οι μέσες τιμές ανά μεταχείριση και ύψος.

##### 4.4.1. Αποτελέσματα δυναμικού αερισμού

Η μέση τιμή του δείκτη Standard deviation της ταχύτητας του ανέμου εντός του θερμοκηπίου στο ύψος των 0,4 m είναι 0,30, η μέση τιμή του δείκτη στο ύψος του 1 m είναι 2,40 και η μέση τιμή του δείκτη στο ύψος των 2 m είναι 3,09.

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι το μικροκλίμα στον δυναμικό αερισμό είναι πιο ομοιογενές στο ύψος των 0,4 m, καθώς ο μέσος όρος του δείκτη Standard deviation είναι μικρότερος στο συγκεκριμένο ύψος.



#### 4.4.2. Αποτελέσματα φυσικού αερισμού

Η μέση τιμή του δείκτη Standard deviation της ταχύτητας του ανέμου εντός του θερμοκηπίου στο ύψος του 1 m είναι 0,10 και η μέση τιμή του δείκτη στο ύψος των 2 m είναι 0,09.

Από τα παραπάνω δεδομένα παρατηρείται πως το μικροκλίμα είναι πιο ομοιογενές στο ύψος των 2 m, καθώς ο μέσος όρος του δείκτη Standard deviation είναι μικρότερος σε αυτό το ύψος.

#### 4.4.3. Αποτελέσματα τεχνητής ομίχλης

Η μέση τιμή του δείκτη Standard deviation της ταχύτητας του ανέμου εντός του θερμοκηπίου στο ύψος του 1 m είναι 0,06.



## 5. Κεφάλαιο 5. Συζήτηση αποτελεσμάτων



Νέα Ιωνία, 2010

Από τα αποτελέσματα του πειράματος γίνεται φανερό πως:

- A. Από τα τρία συστήματα δροσισμού παρατηρείται μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας εντός και εκτός του θερμοκηπίου στο σύστημα του δυναμικού αερισμού. Καθώς η διαφορά της εσωτερικής από την εξωτερική θερμοκρασία φτάνει μέχρι και τους  $21^{\circ}\text{C}$ . Ενώ η μικρότερη διαφορά θερμοκρασίας λαμβάνει χώρα στο σύστημα τεχνητής ομίχλης.
- B. Η σύγκριση των υγρασιών των συστημάτων δροσισμού του θερμοκηπίου αναδεικνύει πρώτο το σύστημα της τεχνητής ομίχλης, με το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας, που φτάνει έως και το 85%. Ενώ το σύστημα με το μικρότερο ποσοστό υγρασίας είναι ο φυσικός αερισμός, που φτάνει έως και το 24%.
- C. Η μεγαλύτερη ταχύτητα του ανέμου εντός του θερμοκηπίου καταγράφηκε όπως ήταν αναμενόμενο στο σύστημα του δυναμικού αερισμού, που το κλάσμα  $u_{nw}/W$  είχε ως υψηλότερη τιμή το 1,2. Ενώ η μικρότερη τιμή ανήκει στο σύστημα του φυσικού αερισμού και είναι μόλις 0,23.
- D. Όσον αφορά της μετρήσεις της ομοιογένειας του μικροκλίματος του θερμοκηπίου διαπιστώνεται πως το σύστημα της τεχνητής ομίχλης παρουσιάζει την υψηλότερη ομοιογένεια καθώς φέρει την μικρότερη τιμή του μέσου δείκτη της Standard deviation της ταχύτητας εντός του θερμοκηπίου, η οποία είναι μόλις 0,06.

Οι Κίττας κ.α. (2008) καταγράφουν στο πείραμά τους, με την εφαρμογή φυσικού αερισμού στο θερμοκήπιο και την εφαρμογή εντομοπροστατευτικού δίκτυ στα παράθυρα, ότι η διαφορά θερμοκρασία εντός και εκτός θερμοκηπίου φτάνει τους  $3,5^{\circ}\text{C}$  και με το άνοιγμα των παραθύρων και από τις δύο πλευρές η διαφορά φτάνει τους  $1,2^{\circ}\text{C}$ . Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος στις μετρήσεις του φυσικού αερισμού ήταν, μέσος όρο θερμοκρασίας εντός θερμοκηπίου  $41,3^{\circ}\text{C}$  και μέση θερμοκρασία εξωτερικού χώρου  $34,8^{\circ}\text{C}$ .

Πείραμα που πραγματοποιείται τη θερμοκρασία του θερμοκηπίου με το σύστημα δροσισμού της τεχνητής ομίχλης έχουν γίνει από τους Κατσούλα κ.α. (2006), όπου καταγράφηκε μέση θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου  $28,7^{\circ}\text{C}$ . Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου ήταν  $29,4^{\circ}\text{C}$ , επομένως δε διαπιστώνεται η μεγάλη διαφορά μεταξύ των θερμοκρασιών



των δύο πειραμάτων. Επίσης οι Meca et. al. (2006), καταγράφουν μέση θερμοκρασία εντός θερμοκηπίου ίση με  $31^{\circ}\text{C}$ . Οι Garcia et. al. (2011), στα αποτελέσματα του πειράματος τους αναφέρουν τη μέση θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου να είναι  $30^{\circ}\text{C}$ . Συμπληρωματικά οι Κατσούλα κ. α. (2006) στο πείραμά τους καταγράφουν μείωση θερμοκρασίας του θερμοκηπίου  $2,5-3,5^{\circ}\text{C}$ , σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία, ενώ η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ήταν ίση με  $28,3^{\circ}\text{C}$ . Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος δε διαφέρουν αισθητά καθώς η διαφορά θερμοκρασίας εντός και εκτός θερμοκηπίου φτάνει τους  $2-3^{\circ}\text{C}$ .

I. Τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις της υγρασίας εμφανίζονται στα ίδια επίπεδα με αυτά που βρήκαν οι Κατσούλας κ. α. (2008), καθώς κατέγραψαν την τιμή της υγρασίας με το σύστημα της τεχνητής ομίχλης στο 80%, ενώ στο παρόν πείραμα έφτασε και στο 85%.

Οι Σαπουνάς κ. α. (2007) εφάρμοσαν στο πείραμά τους το σύστημα δροσισμού του δυναμικού αερισμού σε συνδυασμό με το σύστημα δροσισμού της υγρής παρειάς. Ο μέσος όρος της καταγεγραμμένης υγρασίας εντός του θερμοκηπίου ήταν 58,33%. Τα αποτελέσματα του παρόντος πειράματος δείχνουν την υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου να φτάνει το 42% στο ύψος των 2 m.

II. Τα αποτελέσματα της καταγεγραμμένης ταχύτητας του ανέμου εντός του θερμοκηπίου με την εφαρμογή του δυναμικού αερισμού από του Σαπουνάς (2007) κυμαινόταν στα επίπεδα  $0,05-0,1$  m/s. Επομένως με τα δεδομένα του παρόντος πειράματος όπου η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου εντός του θερμοκηπίου ήταν  $0,09$  m/s, διαπιστώνεται πως η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι εντός φυσιολογικών ορίων.

Οι Κίττας κ. α. (2008), όπου στο πείραμά τους καταγράφονται η ταχύτητα  $u$  του ανέμου εντός του θερμοκηπίου, η οποία φτάνει τα  $0,02$  m/s με την ύπαρξη του δίκτυ στα παράθυρα. Ενώ όταν ανοίγουν και τα δύο πλαϊνά παράθυρα, η ταχύτητα του ανέμου φτάνει στα  $0,39$  m/s. Οι μετρήσεις πάρθηκαν σε θερμοκήπιο με σύστημα δροσισμού τον φυσικό αερισμό και την χρησιμοποίηση εντομοαπωθητικού δίκτυ. Στο παρόν πείραμα οι μετρήσεις που πάρθηκαν κατά την εφαρμογή του φυσικού αερισμού ήταν  $u=0,01$  m/s., αρκετά μικρότερη της τιμής των Κίττας κ. α.(2008).



III. Τα αποτελέσματα της ομοιογένειας του μικροκλίματος εντός του θερμοκηπίου σύμφωνα με τον δείκτη της Standard deviation της ταχύτητας του ανέμου, βρέθηκε πως στον φυσικό αερισμό ήταν 0,10. Το αποτέλεσμα αυτό είναι αρκετά μεγαλύτερο από τα αποτελέσματα που βρήκαν οι Κίττας κ. α. (2008), καθώς η τιμή που βρέθηκε στο πείραμά τους ήταν 0,01. Αυτό προφανώς συνέβη λόγω του ανατολικού ανέμου που φυσούσε κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Παρόλα αυτά δε παύει η τιμή του δείκτη της Standard deviation κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της τεχνητής ομίχλης να παραμένει η μικρότερη, αποδεικνύοντας την μεγαλύτερη ομοιογένεια του μικροκλίματος εντός του θερμοκηπίου.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι με το σύστημα τεχνητής ομίχλης το θερμοκήπιο έχει τα μεγαλύτερα ποσοστά ομοιογένειας του μικροκλίματος. Το αποτέλεσμα αυτό συμβάλλει και στην ομοιογένεια της παραγωγής.



## **6. Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα**



Νέα Ιωνία, 2010



Από τα παρουσιασμένα δεδομένα της έρευνας προκύπτει ότι:

- A. από τα τρία συστήματα δροσισμού παρατηρείται μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας εντός και εκτός του θερμοκηπίου στο σύστημα του δυναμικού αερισμού. Καθώς η διαφορά της εσωτερικής από την εξωτερική θερμοκρασία φτάνει μέχρι και της 21°C. Ενώ η μικρότερη διαφορά θερμοκρασίας λαμβάνει χώρα στο σύστημα τεχνητής ομίχλης.
- B. η σύγκριση των υγρασιών των συστημάτων δροσισμού του θερμοκηπίου αναδεικνύει πρώτο το σύστημα της τεχνητής ομίχλης, με το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας, που φτάνει έως και το 85%. Ενώ το σύστημα με το μικρότερο ποσοστό υγρασίας είναι ο φυσικός αερισμός, που φτάνει έως και το 24%.
- C. η μεγαλύτερη ταχύτητα του ανέμου εντός του θερμοκηπίου καταγράφηκε της ήταν αναμενόμενο στο σύστημα του δυναμικού αερισμού, που το κλάσμα  $u_{nw}/W$  είχε ως υψηλότερη τιμή το 1,2. Ενώ η μικρότερη τιμή ανήκει στο σύστημα του φυσικού αερισμού και είναι μόλις 0,23.
- D. όσον αφορά της μετρήσεις της ομοιογένειας του μικροκλίματος του θερμοκηπίου διαπιστώνεται πως το σύστημα της τεχνητής ομίχλης παρουσιάζει την υψηλότερη ομοιογένεια καθώς φέρει την μικρότερη τιμή του μέσου δείκτη της Standard deviation της ταχύτητας εντός του θερμοκηπίου, η οποία είναι μόλις 0,06.

Επομένως διαπιστώνεται με ευκολία ότι ενώ το σύστημα δροσισμού του δυναμικού αερισμού μειώνει αισθητά την θερμοκρασία του θερμοκηπίου, το σύστημα δροσισμού της τεχνητής ομίχλης είναι αυτό το οποίο προσφέρει την μεγαλύτερη ομοιογένεια του μικροκλίματος.



## 7. Κεφάλαιο 7. Βιβλιογραφία



Νέα Ιωνία, 2010

- A. Anton, J. I. Montero and P. Munoz. 2006. Environmental of greenhouse cooling system in Southern Spain. *Acta Horticulturae*. 719. 211-214.
- M. L. Garcia, E. Medrano, M. C. Sanchez-Guerrero, P. Lorenzo. 2011. Climate effects of two cooling systems in greenhouse in the Mediterranean area: External mobile shading and fog system. *Biosystems Engineering*. 108. Issue 2. 133-143.
- A. J. Heber, C. R. Boon, M. W. Peugh. 1996. Air patterns and turbulence in an experimental livestock building. *Silsoe Research Intitude*. 0021-8634/96/070209-18.
- M. Ishii, S. Sase and H. Moriyama. 2006. The effect of evaporative fog cooling in a naturally ventilated greenhouse on air and leaf temperature relative humidity and water use in a semiarid climate. *Acta Horticulturae*. 719. 491-495.
- N. Katsoulas, A. Baille, C. Kittas. 2000. Effect of misting on transpiration and conductances of a greenhouse rose canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*. 106. Issue 3. 233-247.
- N. Katsoulas, E. Kitta, and C. Kittas. 2006. Greenhouse cooling by a fog system: effects on microclimate an on production and quality of a soilless pepper crop. *Acta Horticulturae*. 719. 455-461.
- N. Katsoulas, C. Kittas, I. L. Tsirogiannis, E. Kitta, D. Savvas. 2007. Greenhouse microclimate and soilless pepper crop production and quality as effected by a fog evaporative cooling system. *American society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 001-2351*. 50 (6). 1831-1840.
- N. Katsoulas, D. Savvas, I. Tsirogiannis, O. Merkouris, C. Kittas. 2008. Response of an eggplant crop grown under Mediterranean summer conditions to greenhouse fog cooling. *Scienta Horticulturae*. 123. Issue 1. 90-96.
- C. Kittas, N. Katsoulas, A. Beille. 2001. Influence of greenhouse ventilation regime on the microclimate and energy partitioning of a *Journal of Agricultural Engineering-Research*. 79. Issue 3. 349-360.
- C. Kittas, N. Katsoulas, T. Bartolinas, M. Mermier, T. Boulard. 2008. The impact of insect screens on ventilation openings of the greenhouse



- microclimate. *Americans society of Agricultural and biological engineers* ISSN 0001-2351. 51 (6). 2151-2165.
- D. Meca, J. C. Lopez, J. C. Gazquez, E. Baeza, J. Perez-Parra and G. Zaragoza. 2006. Evaluation of two cooling systems in parral type greenhouses with pepper crops: Low pressure fog system versus whitening. *Acta Horticulturae*. 719. 515-520.
  - A. A. Sapounas, Ch. Nikita-Martzopoulou, and G. Martzopoulou. 2007. Numerical and experimental study of fun and pad evaporative cooling system with tomato crop. *Acta Horticulturae*. 801. Vol. 2. 987-994.
  - M Teitel. 2007. The effect of screened openings on greenhouse microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*. 143. Issues 3-4. 159-175.
  
  - Becket Kenneth A., 1998, Θερμοκήπια, εκδόσεις Ψύχαλος, σελ. 6, 32-36, 41
  - Ελλαδικά εγκυκλοπαίδεια, 1993, εκδόσεις Γιάννη Ρίζου και Σία, τόμος 6, σελ.163
  - Ελλαδικά εγκυκλοπαίδεια, 1993, εκδόσεις Γιάννη Ρίζου και Σία, τόμος 14, σελ. 7
  - Κ. Κιττας, 2001, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας, σελ.27
  - Μαυρογιαννόπουλος Γεώργιος Ν., 2005, Θερμοκήπια, εκδόσεις Σταμούλης Α. Ε., σελ. 34-40



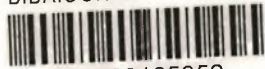
ΛΗΞΗ	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΔΑΝΕΙΖΟΜΕΝΟΥ

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ**

Τηλ.: 24210 ~~7460~~ 93141



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000105352