

124.

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ & ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Αριθ. Πρωτοκ. 124
Ημερομηνία 28-10-1999

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

*ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ
ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ*

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΤΙΤΛΟ:

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ
ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΕΝΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ
ΕΞΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ ΜΕ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΕΣ ΚΑΙ
ΥΓΡΗ ΠΑΡΕΙΑ**

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ

ΑΝΤΩΝΙΑΣ Γ. ΖΑΧΑΡΟΥΛΗ

ΒΟΛΟΣ

1999



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

Αριθ. Εισ.: 51/1

Ημερ. Εισ.: 26-08-2003

Δωρεά:

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΓΦΖΠ

1999

ZAX

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000070109

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΙΤΤΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Κ. ΚΙΤΤΑΣ, καθηγητής
Θ. ΓΕΜΤΟΣ, Αν. καθηγητής
Μ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ καθηγήτρια

ΒΟΛΟΣ 1999

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΙΤΤΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Κ. ΚΙΤΤΑΣ, καθηγητής
Θ. ΓΕΜΤΟΣ, Αν. καθηγητής
Μ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ καθηγήτρια

ΒΟΛΟΣ 1999

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Κο Κωνσταντίνο Κίττα, Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το γνωστικό αντικείμενο καθώς και για την καθοδήγηση και την επιστημονική υποστήριξη που μου παρείχε καθ'όλη τη διάρκεια της πραγματοποίησης της παρούσας διατριβής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τον Κο Θεοφάνη Γέμτο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας καθώς και την Κα Μαρία Σακελλαρίου, Καθηγήτρια του Τμήματος Γεωπονίας για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Ευχαριστώ επίσης θερμά τον Κο Θωμά Μπαριζάνα, Υποψήφιο Διδάκτορα του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Τμήματος Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την πολύτιμη βοήθεια του στην εκπόνηση του πειραματικού μέρους και στη διαμόρφωση της διατριβής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΤΑ ΤΗ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

1.1 ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ.....3

-ΤΥΠΟΙ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

1.2.1 Φυσικός αερισμός.....3

1.2.2 Δυναμικός αερισμός.....4

1.2 ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ.....4

1.2.1 Το σύστημα ψύξης με υγρή παρειά (cooling system).....5

1.2.2 Υδρονέφωση.....5

1.2.3 Σκίαση.....5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ

2.1 Γενικά.....7

2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ ΑΕΡΑ.....7

2.2.1 Αισθητή ψύξη.....8

2.2.2 Ψύξη μέσω εξάτμισης (evaporative cooling).....9

2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΕΞΑΤΜΙΣΗ

ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ.....10

-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΒΡΕΓΜΕΝΗΣ ΠΑΡΕΙΑΣ.....10

2.3.1 Μελέτη του εισερχόμενου αέρα.....	10
2.3.2 Χαρακτηριστικά της κίνησης του εισερχόμενου αέρα.....	13
2.3.3 Επιλογή και εγκατάσταση ανεμιστήρων.....	14
2.3.4 Υγρή παρειά.....	16
2.3.4.1 Τύποι υγρών τοίχων και περιγραφή της παρειάς κυτταρίνης με κάθετες αυλακώσεις.....	17
2.3.4.2 Παροχή και κατανάλωση νερού στην υγρή παρειά.....	18
2.3.4.3 Συντήρηση των υγρών τοίχων.....	19
2.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	22
3.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ..	25
3.2.1 Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας.....	25
3.2.2 Κατανομή των θερμοκρασιών.....	26
3.2.3 Κατανομή των υγρασιών.....	28
3.2.4 Αποδοτικότητα της υγρής παρειάς.....	30
3.2.5 Μέτρηση της διαπερατότητας.....	31
3.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΑΛΥΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	32
3.3.1 Διακύμανση της θερμοκρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου.....	32
3.3.2 Διακύμανση της υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο.....	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	35
-----------------------------	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για την παραγωγή ανταγωνιστικών θερμοκηπιακών προϊόντων στις, ελληνικές συνθήκες, είναι απαραίτητη η χρήση συστημάτων δροσισμού από τα μέσα της άνοιξης. Τα συστήματα ψύξης με εξάτμιση είναι από τα πλέον αποδοτικά και χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις κατά τις οποίες τα συστήματα φυσικού αερισμού κρίνονται ανεπαρκή. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η αποδοτικότητα ενός συστήματος ψύξης με βρεγμένη παρειά (fan and pad cooling system) καθώς και οι κατανομές της θερμοκρασίας και υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Οι μετρήσεις των απαραίτητων παραμέτρων έγιναν για δύο καλοκαίρια (1998 και 1999) σε ένα τροποποιημένο πλαστικό θερμοκήπιο με καλλιέργεια τριαντάφυλλου στην περιοχή της Καρδίτσας. Για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται ένα αναλυτικό μοντέλο το οποίο προβλέπει τις κατανομές της θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου. Η αποδοτικότητα του συστήματος υπολογίστηκε τόσο από τις πειραματικές μετρήσεις όσο και με τη βοήθεια του αναλυτικού μοντέλου. Μεταξύ των δύο ετών παρατηρήθηκε μείωση της απόδοσης του συστήματος λόγω συσσώρευσης αλάτων στην παρειά αλλά κυρίως λόγω της μεγαλύτερης σχετικής υγρασίας του εξωτερικού αέρα τη δεύτερη χρονιά. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το σύστημα βρεγμένης παρειάς ήταν ικανό, από μόνο του, να διατηρήσει την εσωτερική θερμοκρασία στα επιθυμητά επίπεδα. Επίσης η αύξηση της θερμοκρασίας στο πρώτο μισό του θερμοκηπίου ήταν διπλάσια αυτής στο δεύτερο λόγω της διαφορετικής σκίασης. Τέλος παρατηρήθηκε μειωμένη διαπνοή και υγροποιήσεις στην επιφάνεια του εδάφους στο πρώτο μισό του θερμοκηπίου.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το θερμοκήπιο είναι ένα αγροτικό κτίριο που επιτρέπει την απομόνωση ενός καλλιεργημένου τμήματος γης με τη βοήθεια ενός διαφανούς στην ηλιακή ακτινοβολία υλικού κάλυψης. Εκ κατασκευής λοιπόν το θερμοκήπιο αποτελεί έναν ηλιακό συλλέκτη ο οποίος με το συνδυασμό της παγίδευσης της ηλιακής ακτινοβολίας και του περιορισμού των ανταλλαγών θερμότητας με συναγωγή, οδηγεί σε θερμοκρασιακές ανυψώσεις στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Οι θερμοκρασίες αυτές γίνονται υπερβολικές όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη και ο έλεγχος της θερμοκρασίας καθίσταται απαραίτητος.

Ο κλιματισμός των θερμοκηπίων κατά τη θερινή περίοδο είναι πρόβλημα που γίνεται όλο και πιο σοβαρό σε ζώνες μεσογειακού κλίματος όπως η Ελλάδα, η Νότια Γαλλία, η Ισπανία, η Ιταλία και οι χώρες της Βόρειας Αφρικής. Οι περιοχές αυτές τον τελευταίο καιρό γνώρισαν μεγάλη ανάπτυξη στον τομέα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, χάρη στις κλιματολογικές συνθήκες του χειμώνα, οι οποίες είναι πολύ πιο ευνοϊκές από αυτές που επικρατούν στις βορειότερες χώρες, όπως η Ολλανδία.

Το πρόβλημα έγκειται στη συμπεριφορά αυτών των θερμοκηπίων κατά τις περιόδους μεγάλης ζέστης: οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες που έχουν παρατηρηθεί, συνδυαζόμενες συχνά με ανεπαρκή υγρασία αναγκάζουν πολλούς καλλιεργητές να σταματούν τις καλλιέργειες από τις πρώτες κιόλας ζέστες, ή να τις συνεχίζουν σε συνθήκες που δεν ευνοούν την παραγωγή προϊόντων ποιότητας.

Στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες, οι ανάγκες για εξαερισμό είναι μεγάλες από νωρίς την άνοιξη έως αργά το φθινόπωρο. Ακόμη και το χειμώνα, που με απλή ανάδευση του αέρα επιδιώκεται βασικά η ομοιομορφία της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο, υπάρχουν περιπτώσεις που απαιτείται εξαερισμός για μείωση της θερμοκρασίας ιδιαίτερα στις νότιες περιοχές τις ηλιόλουστες ημέρες.

Ένας καλός κλιματισμός κατά την θερινή περίοδο είναι λοιπόν απαραίτητος, αλλά απαιτεί επενδύσεις, μικρότερες ή μεγαλύτερες ανάλογα με τις απαιτήσεις της καλλιέργειας. Είναι προφανές ότι είναι πολύ πιο δύσκολο να ψυχθεί ένα θερμοκήπιο το καλοκαίρι από το να θερμανθεί το χειμώνα. Η καθαρή ακτινοβολία στο θερμοκήπιο το καλοκαίρι φτάνει, στη μέγιστη τιμή, τα 500 ως 600 W·m² από τα οποία πρέπει να αφαιρεθούν 200 ως 250 Wm² αισθητής θερμότητας.

Ο φυσικός αερισμός χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον έλεγχο των υπερθερμάνσεων στο εσωτερικό των θερμοκηπίων, λόγω της απλής εφαρμογής του και της οικονομικότητάς του. Παρόλα αυτά όμως, το σύστημα δεν είναι αποτελεσματικό σε περιοχές που επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες, έντονη ηλιακή ακτινοβολία και χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Κάτω από τέτοιες συνθήκες η ψύξη του θερμοκηπίου και άλλες ή με συνδυασμό άλλων μεθόδων όπως το COOLING, η τεχνική ομίχλη, η σκίαση ή συνδυασμούς περισσότερων του ενός από αυτά τα συστήματα. (Baille, 1988, Cohen et al, 1983, Montero et al, 1990, Lagier 1990).

Υπάρχουν και άλλες διαθέσιμες τεχνολογίες για τη ψύξη όπως αντλίες θερμότητας, εναλλάκτες κ.α..., όμως λόγω του υψηλού τους κόστους δεν χρησιμοποιούνται σε θερμοκήπια. Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος όσον αφορά την τεχνογνωσία των συστημάτων ψύξης. Η επίδραση των διαφόρων συστημάτων αερισμού στο εσωτερικό περιβάλλον έχει μελετηθεί από αρκετούς ερευνητές (Fernandez J.E. and Bailey B.J., 1994). Πειραματικά δεδομένα του ρυθμού ανταλλαγής μέσω του αερισμού στα θερμοκήπια είναι διαθέσιμα, με αποτέλεσμα να γίνονται κατανοητοί οι μηχανισμοί και οι παράγοντες οι οποίοι οδηγούν στη μεταφορά ενέργειας μεταξύ θερμοκηπίου και εξωτερικού περιβάλλοντος, (Kittas, Draoui and Boulard, 1995). Τα δεδομένα αυτά επιτρέπουν την ανάπτυξη και τη βαθμονόμηση προσομοιωμάτων για τον υπολογισμό του ρυθμού αερισμού αλλά και για τον καλύτερο σχεδιασμό των ανοιγμάτων αερισμού. Ο αερισμός με ανοίγματα

οροφής μπορεί να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός σε θερμοκήπια κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής ακτινοβολίας, (Brun and Lagier, 1985) και η αύξηση του ύψους των κατασκευών μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τον αερισμό. Η εγκατάσταση, όμως, ανοιγμάτων οροφής δεν είναι εύκολη σε τέτοιες κατασκευές. Ορισμένες πρωτότυπες λύσεις για αερισμό οροφής έχουν προταθεί πρόσφατα από τους Montero and Sevilla, (1992).

Η ψύξη με εξάτμιση, είναι χωρίς αμφιβολία, η αποτελεσματικότερη μέθοδος (Montero et al., 1990), ιδιαίτερα εάν η εξωτερική θερμοκρασία είναι ξηρή. Η τεχνολογία για τη χρήση τέτοιων συστημάτων είναι διαθέσιμη, αλλά η τεχνική απαιτεί νερό πολύ καλής ποιότητας. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος της περιορισμένης χρήσης του συστήματος υδρονέφωσης με υψηλή πίεση (fog-system). Ελάχιστες είναι οι προσπάθειες που έγιναν για την πλήρη περιγραφή των συστημάτων αυτών αλλά κυρίως για την αλληλεπίδρασή τους με το εσωτερικό μικροκλίμα του θερμοκηπίου. Ο Landsberg (1979) πρότεινε μια θεωρητική ανάλυση της αποτελεσματικότητας της ψύξης με εξάτμιση κάτω από διαφορετικές εξωτερικές συνθήκες και διαφορετικούς ρυθμούς ανανέωσης του αέρα στο θερμοκήπιο. Το κυριότερο όμως μειονέκτημα του μοντέλου είναι ότι ο λόγος της αισθητής προς τη λανθάνουσα θερμότητα δεν υπολογίζεται από τη συμπεριφορά της καλλιέργειας αλλά υποθετικά, καθώς επίσης και το ότι δεν πιστοποιείται με πειραματικά δεδομένα.

Η σκίαση είναι η έσχατη λύση για να ψύξουμε ένα θερμοκήπιο, γιατί η ψύξη με αυτόν τον τρόπο επηρεάζει την παραγωγή σύμφωνα με τους Cockshull et al. (1992). Εντούτοις, σε ορισμένες περιπτώσεις, με τη σκίαση μπορούμε να πετύχουμε καλύτερη ποιότητα. Περισσότερη γνώση σχετικά με την επίδραση της σκίασης στην παραγωγή και ποιότητα καρπών και ανθέων πρέπει να αποκτηθεί ώστε να προσδιορισθεί η κατάλληλη σκίαση.

Στην εργασία αυτή αρχικά περιγράφονται, με τη βοήθεια ενός απλοποιημένου ενεργειακού ισοζυγίου του θερμοκηπίου, οι παράγοντες που οδηγούν σε θερμοκρασιακές ανυψώσεις υπό κάλυψη και επισημαίνονται οι τρόποι μείωσης των εσωτερικών θερμοκρασιών καθώς και οι κυριότερες τεχνικές ψύξης των θερμοκηπίων. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στην ψύξη του θερμοκηπίου με το σύστημα της βρεγμένης παρειάς.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων που έγιναν σε θερμοκήπιο εξοπλισμένο με σύστημα βρεγμένης παρειάς και προοδευτική σκίαση. Τα αποτελέσματα, τέλος, συγκρίνονται με αυτά που προβλέπει ένα αναλυτικό μοντέλο το οποίο περιγράφει το θερμοκήπιο ως εναλλάκτη θερμότητας. Το μοντέλο αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να κατανοήσουμε καλύτερα τα διαφορετικά προφίλ θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος της κίνησης του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΤΑ ΤΗ ΘΕΡΙΝΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

Τα βασικότερα συστήματα μείωσης της θερμοκρασίας μέσα σε ένα θερμοκήπιο κατά τη θερινή περίοδο είναι:

1.1 ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Οι ανταλλαγές αέρα μεταξύ του εσωτερικού ενός θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος συνιστούν μια διαδικασία που επηρεάζει σημαντικά το κλίμα του θερμοκηπίου. Η ανανέωση του αέρα επιδρά όχι μόνο στο ενεργειακό ισοζύγιο (και κατά συνέπεια στη θερμοκρασία και υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου) αλλά και στην συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και άλλων αερίων που ίσως υπάρχουν.

Γενικά, ο αερισμός ενός θερμοκηπίου καθορίζεται με βάση τον ρυθμό ωριαίας ανανέωσης N , δηλαδή το πόσες φορές ο όγκος του θερμοκηπίου ανανεώνεται σε μία ώρα (h^{-1}). Από συγκριτική άποψη είναι προτιμότερο να εκφράζεται ο αερισμός ως ροή όγκου αέρος ή μάζα αέρος που αντιστοιχεί στην επιφάνεια του ανοίγματος στην επιφάνεια του θερμοκηπίου. Η μονάδα που χρησιμοποιείται θα είναι λοιπόν το $\text{m}^3/\text{m}^2\text{min}$ ή το $\text{kg}/\text{m}^2\text{min}$.

Η θέση σε κίνηση του αέρα προϋποθέτει διαφορά δυναμικής ενέργειας, ενώ η ποσότητα της μετακινούμενης μάζας του εξαρτάται από τη διατομή μέσω της οποίας θα περάσει η μάζα.

Μεγάλη σημασία για τον αερισμό έχουν οι ακόλουθοι γενικοί νόμοι των ρευστών:

-Το ειδικό βάρος ενός αερίου ποικίλλει σημαντικά ακόμη και με μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας ή της πίεσης. Έτσι, δύο όγκοι αερίων στο ίδιο ύψος και με την ίδια πίεση έχουν ενέργεια βαρύτητας πολύ διαφορετική αν οι θερμοκρασίες τους διαφέρουν.

-Σε κατάσταση ισορροπίας η ανάμειξη των αερίων είναι ομοιογενής. Κάθε ένα από τα αέρια συμπεριφέρονται σαν να κάλυπτε μόνο του όλο τον όγκο και η παρατηρούμενη πίεση είναι το άθροισμα των επί μέρους πιέσεων.

ΤΥΠΟΙ ΑΕΡΙΣΜΟΥ

Γενικά διακρίνουμε στην πράξη δύο μεγάλες κατηγορίες αερισμού, το φυσικό ή στατικό αερισμό, όπου η κίνηση του αέρα οφείλεται στις διαφορές πίεσης λόγω στιγμιαίων φυσικών συνθηκών και το δυναμικό αερισμό, όπου οι διαφορές πίεσης δημιουργούνται από ειδικές τεχνητές συνθήκες.

1.1.1. Ο φυσικός αερισμός

Γίνεται με ανοίγματα στα πλάγια και στην οροφή των θερμοκηπίων.

Οι ανταλλαγές του αέρα μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου επιτυγχάνονται με τους ακόλουθους τρόπους:

A) με τη διαφορά πίεσης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, που οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας,

B) με τη διαφορά πίεσης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, που οφείλεται στη διαφορά ταχύτητας.

Στην πράξη, μέσα στο θερμοκήπιο υπάρχουν πάντα θέσεις όπου οι θερμοκρασίες είναι διαφορετικές. Έτσι για παράδειγμα, αν στα κατώτερα στρώματα η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τα ανώτερα στρώματα, κάτω από την κάλυψη θα δημιουργηθεί μια κίνηση επαγωγής με τα θερμά ρεύματα να ανέρχονται και τα ψυχρά να κατέρχονται.

Διακρίνουμε λοιπόν δύο περιπτώσεις:

-Όταν εφαρμόζουμε τεχνητή θέρμανση, το θερμοκήπιο είναι κλειστό και έχουμε μόνο ανακύκλωση του αέρα.

-Όταν το θερμοκήπιο φέρει ανοίγματα έχουμε και ανανέωση του αέρα μαζί με την ανακύκλωση. Σε αυτή την περίπτωση ο εσωτερικός αέρας θερμαίνεται και μεταβάλλει το ειδικό του βάρος (επομένως και τη θέση του) ανεβαίνοντας προς τις ψυχρές επιφάνειες, όπου ψύχεται και κατέρχεται μαζί με τον ψυχρό εξωτερικό αέρα που μπαίνει από τα ανοίγματα. Για τη μείωση των διαφορών θερμοκρασίας στα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες μικρής ισχύος.

Παρόλα αυτά, ο φυσικός αερισμός, για τα γεωγραφικά πλάτη της Μεσογείου, δεν αρκεί παρά μόνο μέχρι τα μέσα της άνοιξης, αφού στα πλάτη αυτά παρατηρούνται πολύ υψηλές τιμές θερμοκρασιών με μέγιστη εξωτερική θερμοκρασία που μπορεί να ξεπερνά τους 25°C στις αρχές του δευτέρου μισού της άνοιξης. Πέρα από την περίοδο αυτή για την επίτευξη των επιθυμητών επιπέδων θερμοκρασίας απαιτούνται συστήματα δυναμικού αερισμού, σκίασης ή δροσισμού.

1.1.2 Δυναμικός αερισμός

Με το δυναμικό αερισμό επιτυγχάνεται τεχνητή διαφορά πίεσης μέσω ηλεκτροκίνητων ανεμιστήρων ή εξαεριστήρων. Ανάλογα με τη θέση του ανεμιστήρα, εάν δηλαδή βρίσκεται στην είσοδο ή την έξοδο του αέρα, ο χώρος τίθεται σε υπερπίεση ή υποπίεση. Συνηθέστερες σήμερα είναι οι εγκαταστάσεις αερισμού με υποπίεση.

Η είσοδος του αέρα γίνεται από πλάγια παράθυρα και όσο περισσότερα είναι τα σημεία εισόδου τόσο περισσότερο ομοιογενής είναι ο αερισμός. Η ομοιογένεια αερισμού είναι απαραίτητη στο θερμοκήπιο γιατί έτσι εξασφαλίζεται η ομοιογένεια της θερμοκρασίας, υγρασίας και κατανομής CO₂. Επίσης με την ομοιογένεια επιτυγχάνεται η αναγκαία ταχύτητα του αέρα που κινείται μέσω του φυλλώματος των φυτών, γεγονός που παίζει σπουδαίο ρόλο στην άμυνα κατά των κρυπτογαμικών ασθενειών, λόγω της παρεμπόδισης σχηματισμού υγρασίας. Εάν όμως ο αέρας που κινείται μέσω του φυλλώματος είναι ισχυρός, τότε είναι δυνατό να προκαλέσει μάρανση των φυτών και επομένως μόνο οι ταχύτητες από 0,2-1,2 m/sec είναι αποδεκτές.

Με το δυναμικό αερισμό είναι δυνατό να επιτύχουμε ρυθμούς ανανέωσης του αέρα μεγαλύτερους των 40 h⁻¹ κάτι που δεν επιτυγχάνεται με τα συστήματα φυσικού αερισμού. Προς τούτο γίνεται χρήση ανεμιστήρων που τοποθετούνται στο τοίχωμα του θερμοκηπίου. Οι ανεμιστήρες αναρροφούν τον αέρα και εξάγουν τον εσωτερικό αέρα που εισέρχεται από ανοίγματα που βρίσκονται στην απέναντι πλευρά. Για τον υπολογισμό ενός συστήματος δυναμικού αερισμού θα πρέπει να υπολογίζονται:

- Η απαιτούμενη παροχή αερισμού
- Ο απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων
- Η απαιτούμενη επιφάνεια ανοιγμάτων
- Η απαιτούμενη ισχύς των ανεμιστήρων

1.2 ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Όπως είδαμε και στην εισαγωγή, και άλλες μέθοδοι εκτός του φυσικού ή δυναμικού δροσισμού επιτρέπουν τη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου.

Έτσι η μείωση της θερμοκρασίας του αέρα των θερμοκηπίων μπορεί να επιτευχθεί:

A) με ψύξη του εξωτερικού αέρα πριν την είσοδό του στο θερμοκήπιο. Είναι η περίπτωση του συστήματος δυναμικού αερισμού με υγρή παρειά (COOLING SYSTEM).

B) με μετατροπή σε λανθάνουσα θερμότητα της ενέργειας ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο, ώστε να μειωθεί το φορτίο αισθητής θερμότητας (σύστημα υδρονέφωσης με χαμηλή πίεση και υδρονέφωση με υψηλή πίεση ή FOG-SYSTEM).

1.2.1 Το σύστημα ψύξης με υγρή παρειά (Cooling system)

Η αρχή του συστήματος αυτού βασίζεται κυρίως στην ψύξη, λόγω κορεσμού σε υγρασία, του εξωτερικού αέρα που εισέρχεται στο θερμοκήπιο. Αυτό πραγματοποιείται με τη διέλευση, με μικρή ταχύτητα, του αέρα από μία υγρή παρειά.

Ο δροσισμός μέσω εξάτμισης με υγρή παρειά είναι η πιο ανέξοδη μέθοδος μείωσης της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο. Παρ'όλα αυτά αυξάνει την υγρασία κάτι που συχνά είναι ανεπιθύμητο. Επίσης η μη ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα ανάμεσα στην παρειά και τον ανεμιστήρα είναι συχνό φαινόμενο και επηρεάζεται από τις διαστάσεις του θερμοκηπίου. Μια υπερβολική άνοδος της θερμοκρασίας συμβαίνει σε αποστάσεις μεταξύ παρειάς-ανεμιστήρα μεγαλύτερες των 20, 30 μέτρων. Εξάλλου η αποτελεσματικότητα του συστήματος περιορίζεται από τις δυνατότητες διύγρανσης του αέρα του περιβάλλοντος. Η μέγιστη θεωρητική δυνατότητα ψύξης του αέρα ισοδυναμεί με τη διαφορά μεταξύ της ξηρής και της υγρής θερμοκρασίας του αέρα. Σε μέρες με υψηλή σχετική υγρασία η υγρή θερμοκρασία μπορεί να γίνει σχεδόν ίση με την ξηρή και έτσι να περιορίσει το δυναμικό δροσισμού.

1.2.2 Υδρονέφωση

Η αρχή της ψύξης με την τεχνική της υδρονέφωσης βασίζεται στην μετατροπή της προσπίπτουσας ενέργειας ακτινοβολίας σε λανθάνουσα θερμότητα με εξάτμιση των σταγονιδίων νερού που εκτοξεύονται από τις συσκευές υδρονέφωσης χαμηλής και υψηλής πίεσης (Fog-system).

Προκειμένου για υδρονέφωση χαμηλής πίεσης τα σταγονίδια νερού είναι μεγέθους μεγαλύτερου των 200 μm, τα οποία και πέφτουν κατά ένα μέρος στο έδαφος και στα φυτά, απ'όπου εξατμίζονται ανάλογα με τη θερμοκρασία αυτών των επιφανειών και με τις συνθήκες περιβάλλοντος.

Προκειμένου όμως, για το FOG-SYSTEM ή υδρονέφωση υψηλής πίεσης, τα σταγονίδια του νερού είναι της τάξης μερικών δεκάδων μm και παραμένουν αιωρούμενα μέχρι την πλήρη εξάτμιση. Τα μικρά αυτά σταγονίδια εξατμίζονται στον αέρα κατά μεγάλο μέρος, διαβρέχοντας ελάχιστα τα όργανα (άνθη, καρπούς, φύλλα) αποφεύγοντας έτσι τα προβλήματα που δημιουργούνται από την χρήση ψεκασμού με χαμηλή πίεση (στίγματα στα φύλλα, καψίματα από το φαινόμενο του φακού από τα σταγονίδια, μηχανικές βλάβες στα ευαίσθητα όργανα, κ.τ.λ.).

1.2.3 Σκίαση

Η τρίτη δυνατότητα ψύξης του θερμοκηπίου είναι με μείωση του ποσοστού ενέργειας ακτινοβολίας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο με επέμβαση:

- είτε στη διαπερατότητα του θερμοκηπίου, κάτι που γίνεται με λεύκανση ή με τοποθέτηση σκιάστρων,
- είτε στη θερμοκρασία του τοιχώματος, κάτι που γίνεται με ψεκασμό στη στέγη, ή με κυκλοφορία νερού στη στέγη,
- είτε και στα δύο μαζί. Αυτή είναι η αρχή του ηλιακού θερμοκηπίου με γυαλί που φιλτράρει και με κυκλοφορία νερού στη στέγη (Chiapale et al., 1983).

Διακρίνουμε δύο κύριους τύπους σκίασεως:

•*Τη διαρκή σκίαση.* Γίνεται με λεύκανση των τοιχωμάτων ή με σκίαστρο σε σταθερή θέση (σκίαστρο τοποθετημένο στο εσωτερικό ή στο εξωτερικό του θερμοκηπίου).

Χάρη στο χαμηλό κόστος της, η λεύκανση είναι μια πρακτική που χρησιμοποιείται αρκετά συχνά, κυρίως σε περιπτώσεις θερμοκηπίων για άνθη ή καλλωπιστικά φυτά. Τα τοιχώματα είναι περασμένα με ένα αρκετά παχύ στρώμα προϊόντος που έχει ως βάση τον ασβέστη και την κιμωλία.

Κύριο χαρακτηριστικό αυτού του τύπου σκίασης αποτελεί το γεγονός ότι δεν είναι εκλεκτικό στην ακτινοβολία. Παρουσιάζει την ίδια διαπερατότητα σε όλο το ηλιακό φάσμα και απορροφά την ίδια ακτινοβολία τόσο στο φωτοσυνθετικά ενεργό τμήμα PAR (400-700 nm) όσο και στο υπόλοιπο του φάσματος.

Οι οπτικές ιδιότητες της λεύκανσης εξαρτώνται από τα συστατικά του μείγματος και του χρησιμοποιούμενου συγκολλητικού. Ο καλλιεργητής θερμοκηπίων συχνά δεν έχει σαφή ιδέα της μείωσης του φωτός στο θερμοκήπιο. Εξάλλου, η τοποθέτηση του επιχρίσματος στα τοιχώματα δεν είναι ποτέ ομαλή και παρατηρούμε μια μεγάλη ετερογένεια στο χώρο, και κατά συνέπεια και στη διέλευση της ακτινοβολίας.

Όσον αφορά τα σκίαστρα, την τελευταία δεκαετία εμφανίστηκε στο εμπόριο μεγάλος αριθμός υφασμάτων (από ακρυλικό, πολυπροπυλένιο, πολυεστέρα, πολυαμίδιο κ.α.). Υπάρχει λοιπόν, στη διάθεση του παραγωγού, μεγάλη ποικιλία αεροπερατότητας και διαπερατότητας στην ηλιακή ακτινοβολία.

Σήμερα υπάρχουν σκίαστρα με λεπτό στρώμα αλουμινίου, που ανακλούν μεγάλο μέρος της ακτινοβολίας στο εξωτερικό περιβάλλον και τα οποία μπορούν ακόμα και να χρησιμοποιηθούν ως θερμομονωτικές κουρτίνες για την μείωση της κατανάλωσης καυσίμων για θέρμανση τον χειμώνα. Πιο δαπανηρά, έχουν σημαντικές επιδόσεις τόσο στο επίπεδο της σκίασης όσο και στο επίπεδο της θερμικής μόνωσης.

•*Την προσωρινή σκίαση.* Γίνεται με ένα ύφασμα-κουρτίνα το οποίο ξεδιπλώνεται είτε με το χέρι, είτε αυτόματα, όταν η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

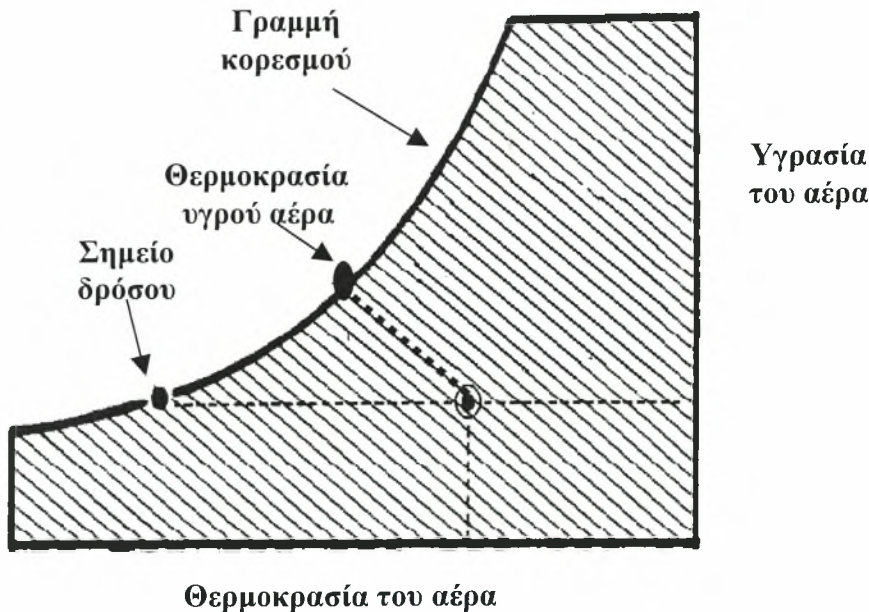
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΡΟΣΙΣΜΟΥ (Evaporative cooling system)

2.1 Γενικά

Όπως αναφέρθηκε και στο 1ο κεφάλαιο η εφαρμογή του συστήματος ψύξης με βρεγμένη παρειά ή εξατμιστική ψύξη (evaporative cooling system) συνίσταται σε περιοχές και περιόδους με υψηλή θερμοκρασία και χαμηλή σχετική υγρασία. Απαιτεί αρκετό διαθέσιμο νερό και ηλεκτρική ενέργεια, αρκετό ξηρό εξωτερικό περιβάλλον και φυσικά η καλλιέργεια να είναι τέτοια που να δικαιολογεί τη σχετική δαπάνη. Επειδή για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των συστημάτων ψύξης είναι απαραίτητη η κατανόηση των ιδιοτήτων του υγρού αέρα στην συνέχεια θα αναφερθούν ορισμένα βασικά στοιχεία για τις ιδιότητες του υγρού αέρα και τη χρήση των ψυχομετρικών διαγραμμάτων.

2.2 ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ ΑΕΡΑ.

Η βάση του συστήματος ψύξης με βρεγμένη παρειά, όπως άλλωστε και κάθε συστήματος ψύξης με εξάτμιση έγκειται στην μετατροπή του νερού σε ατμό. Για την καλύτερη κατανόηση των βαθμίδων θερμοκρασίας και υγρασίας καθώς και για την μεταξύ τους σχέση είναι αναγκαία η κατανόηση του ψυχομετρικού διαγράμματος (σχήμα 1)



Σχήμα 1. Απλοποιημένη αναπαράσταση ενός ψυχομετρικού διαγράμματος.

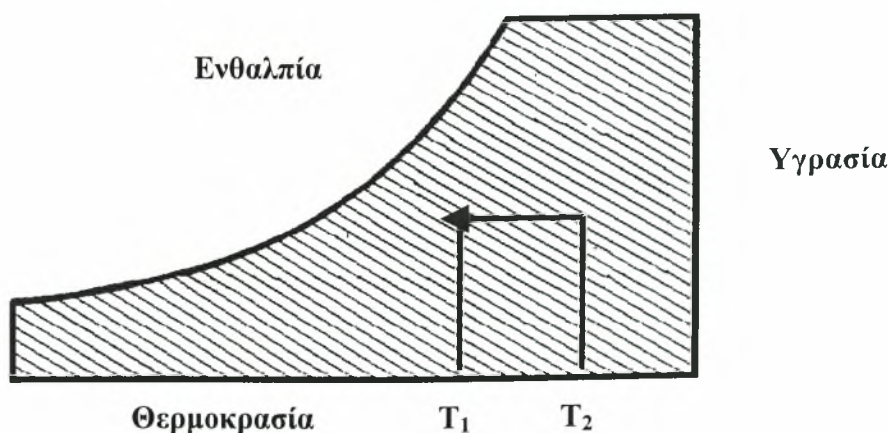
Τα ψυχομετρικά διαγράμματα δεν είναι τίποτα άλλο παρά μια γραφική αναπαράσταση της κατάστασης στην οποία βρίσκεται ο αέρας σε μια δεδομένη θέση στο χώρο. Αυτό γίνεται συσχετίζοντας τη θερμοκρασία στην οριζόντια κλίμακα με την υγρασία στην κάθετη.

Για να περιγράψουμε αυτό το μείγμα αέρα και υδρατμών θα πρέπει να αναφερθούμε σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες: την ξηρή θερμοκρασία, την υγρή και τη θερμοκρασία δρόσου. Αν η θερμοκρασία δεδομένου όγκου αέρα έχει μειωθεί στο σημείο στο οποίο δεν μπορεί να συγκρατήσει περισσότερους υδρατμούς, τότε ο αέρας καθίσταται κορεσμένος και η θερμοκρασία στο σημείο αυτό αποκαλείται σημείο δρόσου.

Η θερμοκρασία του αέρα (dry bulb temperature) που αναπαριστάται στον οριζόντιο άξονα του ψυχομετρικού διαγράμματος είναι η ξηρή θερμοκρασία και εκφράζει τις θερμοκρασίες που λαμβάνονται από ένα κοινό θερμόμετρο ή έναν κοινό θερμοστάτη. Ο κάθετος άξονας παρουσιάζει το ποσό του νερού που περιέχεται στον αέρα. Η υγρή θερμοκρασία (wet bulb temperature) μπορεί να μετρηθεί εύκολα με ένα κλασικό θερμόμετρο του οποίου ο βολβός του υδραργύρου περιβάλλεται από ένα βρεγμένο φυτίλι. Η αρχική θερμοκρασία του νερού που χρησιμοποιείται για τη διύγρανση του φυτιλιού και η ανταλλαγή θερμότητας ανάμεσα στο φυτίλι και στο περιβάλλον λόγω ακτινοβολίας είναι δύο πολύ σημαντικοί παράγοντες που καθορίζουν τη θερμοκρασία που μετράται από το θερμόμετρο αυτό. Η εξάτμιση του νερού από το φυτίλι στον περιβάλλοντα αέρα φτάνει σε ένα επίπεδο ισορροπίας στο οποίο η αισθητή θερμότητα μεταφέρεται αρκετά γρήγορα για να παραχθεί ενέργεια για εξάτμιση. Ο υγρός βολβός ψύχεται από την εξάτμιση του νερού μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τη θερμοκρασία του. Έτσι όσο μεγαλύτερη η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του υγρού και του ξηρού θερμομέτρου, τόσο μικρότερη η περιεκτικότητα του ρεύματος του αέρα σε υγρασία και ενέργεια.

2.2.1 Αισθητή ψύξη

Η αισθητή ψύξη, σε σταθερή υγρασία, είναι μια διαδικασία κατά την οποία μειώνεται η ξηρή θερμοκρασία του αέρα. Ένα παράδειγμα θα ήταν αν ο αέρας περνούσε πάνω από μια επιφάνεια με θερμοκρασία πάνω από τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου του αέρα, κάτι που θα είχε ως αποτέλεσμα μια ξηρή θερμοκρασία η οποία δεν θα μπορούσε να είναι χαμηλότερη από την αρχική θερμοκρασία δρόσου. Η αισθητή ψύξη σε σταθερή υγρασία φαίνεται στο σχήμα 2.

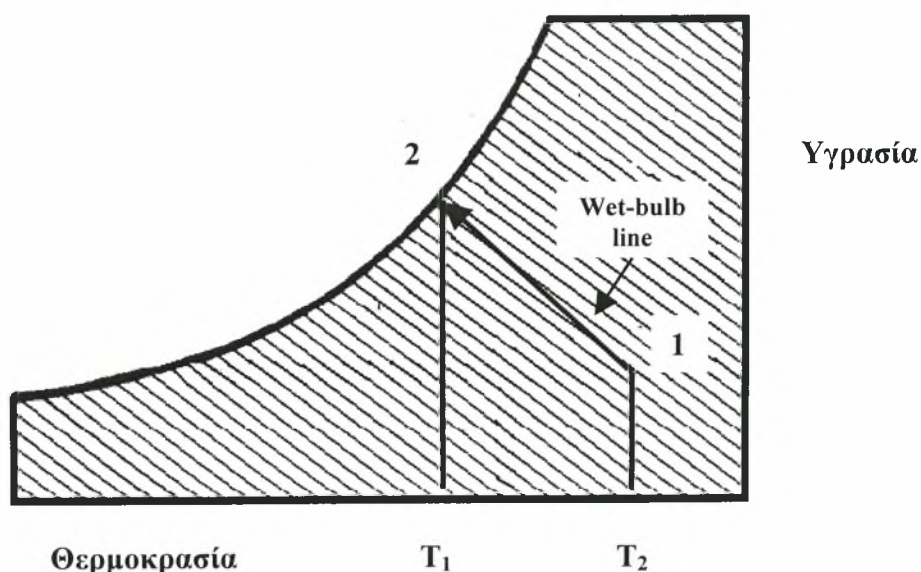


Σχήμα 2. Αισθητή ψύξη $T_1 < T_2$.

Αντιθέτως κατά την διαδικασία της αισθητής ψύξης με ταυτόχρονη αφύγρανση, μειώνεται όχι μόνο η θερμοκρασία αλλά και η υγρασία του αέρα. Βέβαια κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί μόνο όταν η θερμοκρασία της επιφάνειας είναι μικρότερη από την θερμοκρασία δρόσου (dew point) του εισερχομένου ρεύματος αέρα.

2.2.2 Ψύξη μέσω εξάτμισης (Evaporative cooling)

Η ψύξη μέσω εξάτμισης είναι μια αδιαβατική διαδικασία κορεσμού. Όταν ο ακόρεστος αέρας έρχεται σε επαφή με μια επιφάνεια, η οποία δεν έχει καθόλου υγρασία, και είναι τα δύο (ο αέρας και η επιφάνεια) θερμικά απομονωμένα από εξωτερικές πηγές θερμότητας, τότε υπάρχει μεταφορά μάζας και θερμότητας. Επειδή η πίεση των υδρατμών της ελεύθερης επιφάνειας του νερού είναι υψηλότερη από αυτή του ακόρεστου αέρα, νερό μεταφέρεται λόγω της διαφοράς δυναμικού. Η απαιτούμενη θερμότητα για αυτή την αλλαγή φάσης προέρχεται από την περιεκτικότητα του αέρα αλλά και του νερού σε αισθητή θερμότητα, με αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας και των δύο. Κατά την άμεση επαφή του αέρα και του νερού μέσα στο μείγμα παρατηρείται μια διαφορά θερμοκρασίας η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά θερμότητας καθώς το σύστημα τείνει σε θερμοδυναμική ισορροπία. Επειδή όμως, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής δεν προστέθηκε στο σύστημα εξωτερική θερμότητα από το περιβάλλον, η συνολική περιεκτικότητα σε θερμότητα είναι η ίδια. Απλά έχουμε μια αδιαβατική μετατροπή της λανθάνουσας θερμότητας σε αισθητή. Στο σχήμα 3 φαίνεται η διαδικασία ψύξης με εξάτμιση. Η εξάτμιση χαρακτηρίζεται από την μείωση της θερμοκρασίας από T_2 σε T_1 κατά μήκος μιας σταθερής υγρής θερμοκρασίας (wet bulb line).



Σχήμα 3. Ψύξη με εξάτμιση

Το ποσό της ψύξης που μπορεί να επιτευχθεί κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής εξαρτάται από την περιεκτικότητα του αέρα σε υγρασία (όσο πιο ξηρός ο αέρας, τόσο πιο μεγάλο το δυναμικό ψύξης). Παρ'όλα αυτά, ο αέρας δεν μπορεί να ψυχθεί σε θερμοκρασία μικρότερη από την υγρή του θερμοκρασία. Στην πραγματικότητα είναι η υγρή θερμοκρασία και όχι η σχετική υγρασία αυτή που

καθορίζει σε ποια θερμοκρασία θα μπορούσαμε να ψύξουμε τον αέρα με τη μέθοδο της εξάτμισης του νερού. Το απόγευμα, όταν η ξηρή θερμοκρασία λαμβάνει συνήθως τις μέγιστες τιμές της, η διαφορά μεταξύ ξηρής και υγρής θερμοκρασίας γίνεται μέγιστη. Για το λόγο αυτό, το μέγιστο δυναμικό ψύξης επιτυγχάνεται κατά τη διάρκεια της ημέρας, δηλαδή όταν χρειάζεται περισσότερο.

2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΕΞΑΤΜΙΣΗ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Όταν η αρχή της ψύξης με εξάτμιση εφαρμόζεται στο θερμοκήπιο (η περίπτωση ισχύει και για την εφαρμογή σε οποιοδήποτε άλλο κτίριο), επειδή ο αέρας που έρχεται σε επαφή με την ελεύθερη επιφάνεια του νερού έχει συνήθως πολύ χαμηλές ταχύτητες η διαδικασία είναι πολύ αργή. Ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας και μάζας μπορεί να αυξηθεί αν εξαναγκάσουμε τον αέρα να κινηθεί μέσα από μια μεγαλύτερη υγρή επιφάνεια εξάτμισης. Η κίνηση του αέρα συνήθως επιτυγχάνεται με τη χρήση ανεμιστήρων ενώ διαβρέχουμε συνεχώς την επιφάνεια εξάτμισης του νερού (υγρή παρειά) μέσω μιας αντλίας νερού. Για την αύξηση της ταχύτητας του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες τοποθετημένοι απέναντι από την υγρή παρειά. Καθώς αυτοί μπαίνουν σε λειτουργία, αέρας του θερμοκηπίου οδηγείται στο εξωτερικό περιβάλλον, δημιουργείται υποπίεση και φρέσκος αέρας εξαναγκάζεται να μπει από την απέναντι πλευρά περνώντας μέσα από το υγρό διαπερατό πέτασμα. Ο ψυχρός αέρας, όπως διέρχεται κατά μήκος του θερμοκηπίου, αφαιρεί τη θερμότητα από την περιοχή των φυτών, μειώνοντας έτσι τη θερμοκρασία του χώρου κατά 3-12 °C συγκριτικά με ένα θερμοκήπιο που έχει μόνο εξαερισμό. Η θερμοκρασία του χώρου είναι βέβαια χαμηλότερη στις περιοχές που βρίσκονται κοντά στη βρεχόμενη πλευρά και αυξάνει βαθμιαία όσο πλησιάζουμε κοντά στους εξαεριστήρες. Αυτή η διαφορά σ'ένα αποτελεσματικό σύστημα κυμαίνεται μεταξύ 3-5 °C και ποικίλει ανάλογα με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας έξω, τη σχετική υγρασία, την ταχύτητα του αέρα και το ποσοστό σκίασης του θερμοκηπίου. Το καλοκαίρι, για μια αποτελεσματική ψύξη σε θερμές περιοχές, απαιτείται και κάποια μικρή σκίαση του θερμοκηπίου. Για να είναι αποτελεσματικό το σύστημα θα πρέπει το θερμοκήπιο να έχει καλή στεγανότητα γιατί από ανοίγματα και χαραμάδες εισβάλλουν κάποιες ποσότητες θερμού αέρα μειώνοντας έτσι την αποδοτικότητα του συστήματος. Στην συνέχεια θα γίνει αναφορά στους κυριότερους παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την αποδοτικότητα του συστήματος.

Περιγραφή του εξοπλισμού του συστήματος βρεγμένης παρειάς

2.3.1 Μελέτη του εισερχόμενου αέρα

Η αναλογία εναλλαγής μπορεί να μετρηθεί σε κυβικά μέτρα ανά λεπτό (m^3/min). Συνήθως, η αναλογία εναλλαγής $2,5 m^3/minm^2$ του εδάφους του θερμοκηπίου είναι αρκετή. Αυτό ασχύει αν το θερμοκήπιο είναι κάτω από 300m υψόμετρο με εσωτερική ένταση φωτός που δεν ξεπερνά τα 53,8 Klux και ανύψωση της θερμοκρασίας μέχρι 4°C από την παρειά ως τους ανεμιστήρες.

Αν οι συνθήκες αυτές δεν ισχύουν, τότε λαμβάνονται υπόψη κάποιοι παράγοντες που ανάλογα διαφοροποιούν τις ανάγκες ανανέωσης του αέρα. Έτσι οι ανάγκες εξαερισμού θα πρέπει να καθορίζονται ανάλογα με το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται το θερμοκήπιο, την ένταση της ακτινοβολίας που εισέρχεται σ'αυτό, το επιθυμητό εύρος θερμοκρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου, καθώς και την απόσταση μεταξύ παρειάς-ανεμιστήρων.

Η αναλογία της εναλλαγής του αέρα από το θερμοκήπιο θα πρέπει να αυξάνει καθώς αυξάνει το υψόμετρο της τοποθεσίας του θερμοκηπίου αφού ανεβαίνοντας σε ύψος η πυκνότητα του εισερχόμενου αέρα μειώνεται, με αποτέλεσμα να γίνεται πιο ελαφρύς. Όμως η ικανότητά του να απομακρύνει την ηλιακή θερμότητα από το θερμοκήπιο εξαρτάται από το βάρος και τον όγκο του.

Έτσι σε υψηλά υψόμετρα, χρειάζεται μεγαλύτερη ποσότητα αέρα να αντληθεί και να εισαχθεί στο θερμοκήπιο για να επιτευχθεί ισοδύναμος δροσισμός με αυτόν σε ένα χαμηλότερο υψόμετρο.

Ο πιο κάτω πίνακας (πίνακας 1) παρουσιάζει τον παράγοντα F (Felev) ο οποίος χρησιμοποιείται για τη διόρθωση της αναλογίας εναλλαγής ανάλογα με το υψόμετρο.

Πίνακας 1.

Παράγοντας για τη διόρθωση της αναλογίας εναλλαγής αέρα για αύξηση του υψομέτρου πάνω από τη στάθμη της θάλασσας*

Κάτω από:	300	300	600	900	1,200	1,500	1,800	2,100	2,400
Μέτρα	300	300	600	900	1,200	1,500	1,800	2,100	2,400
Felev	1.00	1.04	1.08	1.12	1.16	1.20	1.25	1.30	1.36

*Από το National Greenhouse Manufacturers Assoc. (1971)

Η αναλογία εναλλαγής του αέρα εξαρτάται επίσης από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο. Όταν η ηλιακή ένταση αυξάνει, αυξάνει και η θερμότητα με αποτέλεσμα να χρειάζεται μεγαλύτερη εναλλαγή αέρα. Ο παράγοντας που διαμορφώνει την αναλογία αυτή φαίνεται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2.

Παράγοντας για τη διόρθωση της αναλογίας εναλλαγής αέρα για μέγιστη ηλιακή ένταση μέσα στο θερμοκήπιο*

Klux	43.1	48.4	53.8	59.2	64.6	70.0	75.3	80.1	86.1
Flight	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60

*Από το National Greenhouse Manufacturers Assoc. (1971)

Μια ένταση της τάξεως των 53.8 Klux είναι γενικώς αποδεκτή ως επιθυμητό επίπεδο για τις καλλιέργειες γενικά και επιτυγχάνεται με σκίαση του θερμοκηπίου με διάφορα υλικά τα οποία τοποθετούνται από γείσωμα σε γείσωμα.

Η ηλιακή ενέργεια ζεσταίνει τον αέρα κατά τη διαδρομή του από την παρειά προς τους εξαεριστήρες. Συνήθως μια αύξηση της τάξης των 4°C γίνεται ανεκτή κατά μήκος του θερμοκηπίου. Εάν είναι σημαντικό να διατηρηθεί μια πιο σταθερή θερμοκρασία κατά μήκος του, θα χρειαστεί να αυξηθεί η ταχύτητα της κίνησης του διερχόμενου αέρα. Οι παράγοντες (Ftemp)

που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση αυτή δίνονται στον πίνακα 3 για διάφορες επιτρεπτές αυξήσεις θερμοκρασιών.

Πίνακας 3.

Παράγοντας διόρθωσης της αναλογίας εναλλαγής του αέρα για δεδομένη αύξηση θερμοκρασίας από την παρειά ως τον εξαεριστήρα*

°C	5.6	5.0	4.4	3.9	3.3	2.8	2.2
Ftemp	0.70	0.78	0.88	1.00	1.17	1.40	1.75

*Από το National Greenhouse Manufacturers Assoc. (1971)

Η παρειά και οι εξαεριστήρες θα πρέπει να τοποθετούνται σε απέναντι τοίχους είτε κατά πλάτος είτε κατά μήκος του θερμοκηπίου σε αποστάσεις που είναι μεταξύ 30-60 m. Αποστάσεις μεγαλύτερες των 60 m μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την υψηλότερη αύξηση της θερμοκρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου από το επιτρεπτό όριο. Όταν η απόσταση αυτή πέφτει σε τιμές χαμηλότερες από 30 m η ταχύτητα του αέρα γίνεται μικρότερη και συχνά αναπτύσσεται μια αίσθηση υγρασίας. Η κατάσταση αυτή πρέπει να αντισταθμιστεί αυξάνοντας το μέγεθος των εξαεριστήρων δηλαδή την ταχύτητα του αέρα, κάτι που σημαίνει αύξηση του κόστους του συστήματος. Οι παράγοντες που χρησιμοποιούνται σε αυτή την περίπτωση δίνονται στον πίνακα 4.

Πίνακας 4.

Παράγοντας διόρθωσης της αναλογίας εναλλαγής του αέρα για διάφορες αποστάσεις μεταξύ παρειάς εξαεριστήρα*

Μέτρα	6.1	7.6	9.1	10.7	12.2	13.7	15.2	16.8
Fvel	2.24	2.00	1.83	1.69	1.58	1.48	1.41	1.35

Μέτρα	18.3	19.8	21.3	22.9	24.4	25.9	27.4	29.0	30.5 και πάνω
Fvel	1.29	1.24	1.20	1.16	1.12	1.08	1.05	1.02	1.00

*Από το National Greenhouse Manufacturers Assoc. (1971)

Με τους παράγοντες που παραθέτονται στους παραπάνω πίνακες γίνεται εφικτός ο υπολογισμός της αναλογίας εναλλαγής του αέρα που απαιτείται για κάθε συγκεκριμένο θερμοκήπιο. Αρχικά καθορίζεται η εναλλαγή του αέρα που απαιτείται σε συνήθεις συνθήκες με την παρακάτω εξίσωση όπου L και W αντιστοιχούν στο μήκος και το πλάτος του θερμοκηπίου.

Η εξίσωση αυτή χρησιμοποιεί την τιμή των $2.5 \text{ m}^3/\text{minm}^2$ ως συνήθη αναλογία εναλλαγής του αέρα:

$$\text{Standard m}^3/\text{min} = L \times W \times 2.5 \quad (2.1)$$

Έπειτα, διορθώνουμε τη συνήθη αναλογία πολλαπλασιάζοντάς τη με τον μεγαλύτερο από τους δύο παράγοντες F_{house} ή F_{vel} x F_{vel}

Το F_{house} υπολογίζεται ως εξής:

$$F_{\text{house}} = F_{\text{elev}} \times F_{\text{flight}} \times F_{\text{temp}} \quad (2.2)$$

Οπότε, η τελική ικανότητα εξαγωγής αέρα για τους εξαεριστήρες πρέπει να είναι:

$$\text{Συνολικό m}^3/\text{min} = \text{standard m}^3/\text{min} \times (F_{\text{house}} \text{ ή } F_{\text{temp}}) \quad (2.3)$$

2.3.2 Χαρακτηριστικά της κίνησης του εισερχόμενου αέρα

Το ύψος στο οποίο θα φτάνει η παρειά θα πρέπει να είναι λίγο παραπάνω από το ύψος των φυτών έτσι ώστε ο κρύο αέρας να εισέρχεται μέσα στα φυτά. Εξαιτίας της αντίστασης του φυλλώματος και των υλικών στήριξης των φυτών, καθώς και της αυξανόμενης θερμοκρασίας, υπάρχει μια ανύψωση του ρεύματος του αέρα κατά μία γωνία 7° . Ο εισερχόμενος αέρας σύντομα θα περάσει πάνω από τα φυτά, αφήνοντας ένα θύλακα ζεστού αέρα κάτω από την κορυφή των φυτών.

Αν ο αέρας τραβιέται κατά μήκος του θερμοκηπίου, θα ανυψωθεί. Σ' αυτή την περίπτωση, θα πρέπει να τοποθετηθούν διαφανή (πολυαιθυλένιο) κάθετα διαφράγματα στο αέτωμα του θερμοκηπίου κάθετα στο ρεύμα του αέρα για να το κατευθύνει κάτω στα φυτά. Τα διαφράγματα πρέπει να τοποθετούνται κάθε 9.2 m. Το κάτω μέρος του διαφράγματος πρέπει να είναι αρκετά πάνω από το ύψος των φυτών για να επιτρέψει το πέρασμα του αέρα

Σύμφωνα με τους Fernandez and Bailey η καλλιέργεια μειώνει την ομοιομορφία της ταχύτητας του αέρα με αναλογία μέγιστης- ελάχιστης τιμής ίση με δύο, σε άδειο θερμοκήπιο, και τιμής ίσης με επτά όταν τα φυτά είχαν ύψος 2.6 m. Υπήρξε κάποια ζημιά στα φύλλα η οποία παρατηρήθηκε στα φυτά που βρίσκονταν ακριβώς μπροστά από τους ανεμιστήρες. Κάποιες περιοχές ωστόσο παρέμειναν ανεπηρέαστες από το ρεύμα αέρα παρόλο που βρίσκονται στα χαμηλότερα σημεία της καλλιέργειας όπου η έλλειψη της κλιματικής ομοιομορφίας μπορεί να είναι λιγότερο σημαντική. Για μια ανεκτή ομοιομορφία περιβάλλοντος στο χώρο του θερμοκηπίου, θα πρέπει να μελετηθεί η ροή του εισερχόμενου, στο θερμοκήπιο, αέρα σε σχέση με την προσπίπτουσα ακτινοβολία.

Συγκεκριμένα, η ηλιακή ενέργεια ζεσταίνει τον αέρα κατά τη διαδρομή του από την παρειά προς τους εξαεριστήρες. Συνήθως μια αύξηση της τάξης των 4°C γίνεται ανεκτή κατά μήκος του θερμοκηπίου. Έτσι, εάν είναι σημαντικό να διατηρηθεί μια πιο σταθερή θερμοκρασία, θα χρειαστεί να αυξηθεί η ταχύτητα της κίνησης του διερχόμενου αέρα.. Όταν η απόσταση αυτή πέφτει σε τιμές χαμηλότερες από 30 m η ταχύτητα του αέρα γίνεται μικρότερη και συχνά αναπτύσσεται μια αίσθηση υγρασίας

Η κατάσταση αυτή πρέπει να αντισταθμιστεί αυξάνοντας το μέγεθος των εξαεριστήρων δηλαδή την ταχύτητα του αέρα, κάτι που σημαίνει αύξηση του κόστους του συστήματος. Για τον λόγο

αυτό η παρειά και οι εξαεριστήρες θα πρέπει να τοποθετούνται σε απέναντι τοίχους είτε κατά πλάτος, είτε κατά μήκος του θερμοκηπίου σε αποστάσεις που είναι μεταξύ 30-60 m. Αποστάσεις μεγαλύτερες των 60 m μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα την υψηλότερη αύξηση της θερμοκρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου από το επιτρεπτό όριο.

Η κατάσταση που παρατηρείται σε ένα θερμοκήπιο μήκους πάνω από 61 m και πλάτους λιγότερο από 30 m μπορεί να επανορθωθεί τοποθετώντας παρειές σε κάθε άκρη του θερμοκηπίου και ανεμιστήρες εξαγωγής στη στέγη στη μισή απόσταση από τα άκρα. Σ'αυτή την περίπτωση, το θερμοκήπιο δροσίζεται από το συνδυασμό των δύο συστημάτων. Όταν χρησιμοποιούνται οι ανεμιστήρες οροφής, πρέπει να τοποθετείται ένα διάφραγμα πολυαιθυλενίου περίπου 1,5 m πριν τον ανεμιστήρα και μόλις πάνω από το ύψος των φυτών για να οδηγεί το δροσερό αέρα στα φυτά

Πίνακας 5.

Σχέση μεταξύ προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας στο χώρο του θερμοκηπίου και απαιτούμενης ροής του αέρα ανά m^2 εδάφους του θερμοκηπίου και ώρα. (Μαυρογιαννόπουλος, 1990)

Ηλιακή ακτινοβολία σε Wm^{-2}	Ροή αέρα σε m^3m^{-2} εδάφους θερμοκηπίου
810	254
720	225
630	189
540	169

2.3.3 Επιλογή και εγκατάσταση ανεμιστήρων.

Η ενδεδειγμένη θέση για την τοποθέτηση των ανεμιστήρων είναι στην απάνεμη πλευρά του θερμοκηπίου και οι παρειές στις πλευρές έναντι των επικρατούντων ανέμων έτσι ώστε οι άνεμοι να βοηθούν αντί να εμποδίζουν το σύστημα δροσισμού (η απόδοση αυξάνει κατά 10% ή και περισσότερο). Όταν δύο ή περισσότερα θερμοκήπια βρίσκονται κοντά το ένα στο άλλο, παράγοντες πιο σημαντικοί από την κατεύθυνση του ανέμου υποδεικνύουν την τοποθέτηση. Οι ανεμιστήρες ενός θερμοκηπίου δεν θα πρέπει να εξάγουν θερμό υγρό αέρα προς τις παρειές ενός κοντινού θερμοκηπίου εκτός αν βρίσκεται σε απόσταση τουλάχιστον 15,2 m. Όταν γίνονται συγκροτήματα θερμοκηπίων, δεν θα πρέπει οι ανεμιστήρες του ενός να κατευθύνουν τον αέρα στους ανεμιστήρες του άλλου, ειδάλως θα πρέπει να έχουν μεταξύ τους απόσταση πάνω από 10 m. Όταν οι εξαεριστήρες είναι στη μικρή πλευρά, ο αέρας ακολουθεί το δρόμο της μικρότερης αντίστασης και γι'αυτό στα αμφικλινή θερμοκήπια, για να μην κινείται ο αέρας περισσότερο στο τρίγωνο της οροφής αλλά στο περιβάλλον των φυτών, συχνά χρησιμοποιούνται μερικά διαφανή πετάσματα, τα οποία κρεμιούνται στην οροφή για να παρουσιάζουν αντίσταση στη ροή. Όταν οι ανεμιστήρες βρίσκονται σε κοντινούς τοίχους θερμοκηπίων που βρίσκονται σε απόσταση 4,6 m το ένα από το άλλο, θα πρέπει να εναλλάσσονται έτσι ώστε να μη φυσάνε κατευθείαν ο ένας στον άλλο. Θα πρέπει να υπάρχει μια απόσταση ασφαλείας μιας και μιάμιση φοράς της διαμέτρου του ανεμιστήρα ανάμεσα στον ανεμιστήρα και τα κοντινά εμπόδια. Αν αυτό δεν είναι δυνατό, θα πρέπει να εγκατασταθούν ειδικοί ανεμιστήρες οροφής. Έτσι αποφεύγεται μεν η διαφορά θερμοκρασίας από την είσοδο και την έξοδο του αέρα. Τα συστήματα όμως αυτά έχουν μεγαλύτερο κόστος και προκαλούν σοβαρές σκιάσεις στο χώρο του θερμοκηπίου.

Για μια καλή λειτουργία του συστήματος (ταχύτητα ροής) η απόσταση μεταξύ βρεχόμενης πλευράς και εξαεριστήρων, πρέπει να είναι μεταξύ 30 και 60 m. Σε πολύ μεγάλου μήκους θερμοκήπια οι εξαεριστήρες θα πρέπει να τοποθετούνται στο μέσον του θερμοκηπίου και να δημιουργούνται δύο βρεγμένα τοιχώματα στις άκρες. Οι εξαεριστήρες δεν θα πρέπει να απέχουν μεταξύ τους πάνω από 7m. Αν δηλαδή για παράδειγμα η πλευρά του θερμοκηπίου που θα μπουν οι εξαεριστήρες έχει 18m μήκος, τότε ένας ελάχιστος αριθμός τριών εξαεριστήρων κρίνεται απαραίτητος. Οι εξαεριστήρες αυτοί θα πρέπει να τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις στο επίπεδο των φυτών αν αυτό είναι δυνατόν έτσι ώστε να εξασφαλιστεί μια ομοιόμορφη ροή αέρος ανάμεσα στα φυτά..

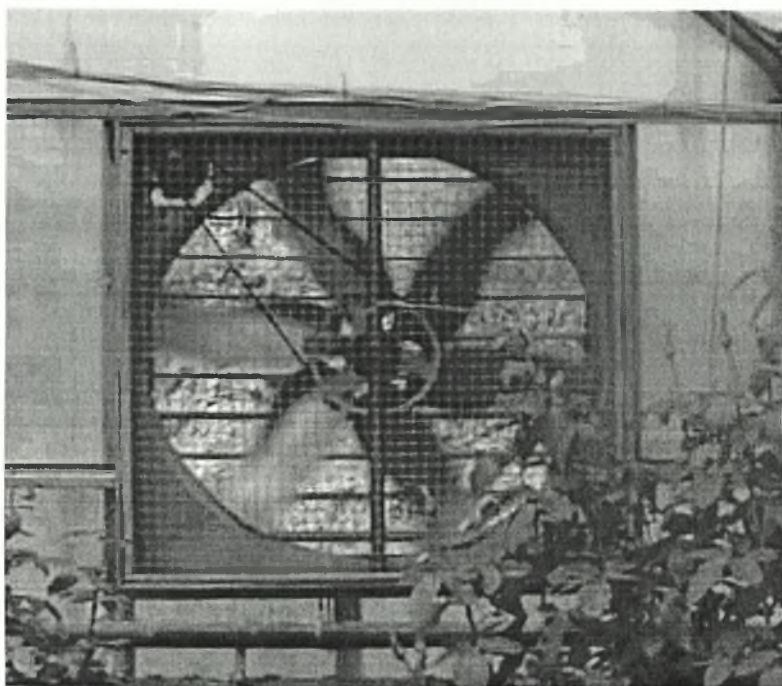
Τέλος, ένα αδιάβροχο υπόστεγο θα πρέπει να εμπεριέχει τον ανεμιστήρα για να τον προστατέψει από τα στοιχεία της φύσης και μια περσίδα που ενεργοποιείται με τον αέρα προστατεύει τη μία πλευρά. Είναι επιτακτικό να τοποθετείται ένα παραπέτασμα ή σιδηρόπλεγμα από την άλλη μεριά του ανεμιστήρα για να προστατεύει τους εργάτες και τους επισκέπτες από σοβαρούς τραυματισμούς.

Πίνακας 6

Κατηγορίες ποσοτήτων εισερχόμενου αέρα και απαιτούμενες περιοχές υγρού τοίχου για διάφορα μεγέθη εξαεριστήρων από χάλυβα*

Μέγεθος Εξαεριστήρα (cm)	Ιπποδύναμη (hp)	Εισερχόμενος αέρας (x28,316.85cm ³ στα 0.254 cm στατικής πίεσης)	Ίνες ξύλου	Επιφάνεια παρειάς ανά εξαεριστήρα (x929,03cm ²)	
				κυτταρίνη 10 cm.	15 cm
60,96	1/4	4,500	30	18	13
60,96	1/3	5,700	38	23	16
60,96	1/2	6,500	43	26	19
60,96	3/4	7,600	51	30	22
76,2	1/3	7,400	49	30	21
76,2	1/2	8,800	59	35	25
76,2	3/4	10,200	68	41	29
91,44	1/3	8,800	59	35	25
91,44	1/2	10,600	71	43	31
91,44	3/4	12,700	85	51	37
91,44	1	14,200	95	57	41
106,68	1/2	12,500	84	50	36
106,68	3/4	15,000	100	60	43
106,68	1	16,800	112	68	48
121,92	1/2	14,700	98	59	42
121,92	3/4	17,800	119	72	51
121,92	1	19,600	131	78	56
137,16	1	22,900	153	92	66
137,16	1 1/2	25,800	172	104	74

*Τα δεδομένα των τριών πρώτων στηλών προέρχονται από το Acme Engineering and Manufacturing Corp., Muskogee, OK.



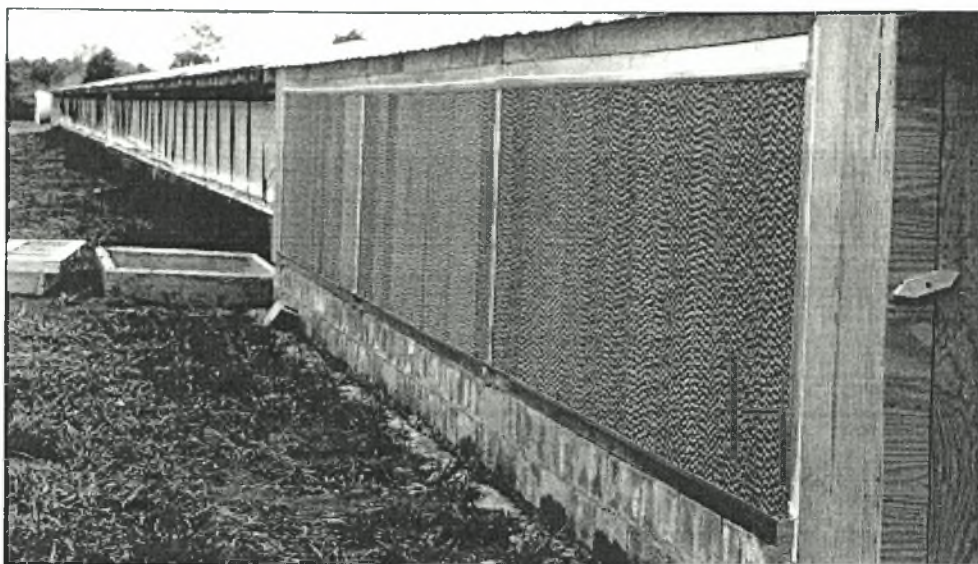
Εικόνα 1. Ανεμιστήρας.

2.3.4 Υγρή παρειά

Η υγρή παρειά διαθέτει φίλτρο πάχους 5-30cm και είναι φτιαγμένη από στρώμα υλικού με μεγάλη επιφάνεια εξάτμισης (40-60m²/m² στρώματος) όπως είναι οι κυψέλες από πεπιεσμένο χαρτί ή πλαστικό, η διογκωμένη άργιλος, συνθετικά νήματα, ρινίσματα ξύλου κ.α. Η τοποθέτηση της γίνεται κατά κανόνα κάθετα, 60cm πάνω από το έδαφος και σε όλο το μήκος της πλευράς του θερμοκηπίου. Όταν δεν λειτουργεί το σύστημα θα πρέπει εξωτερικά να καλύπτεται με πλαστικό φύλλο.

Ο πλέον διαδεδομένος τύπος είναι αυτός από πεπιεσμένο χαρτί με κυψελοειδή μορφή. Μετά από μερικά χρόνια η αποτελεσματικότητά της μειώνεται καθώς τόσο τα άλατα του νερού όσο και τα έντομα που απορροφώνται από το σύστημα ρυπαίνουν το φίλτρο, και εμποδίζουν την διέλευση του αέρα. Το υφάλμυρο νερό προκαλεί ακόμη περισσότερες ζημιές στους συνδέσμους του συστήματος.

Η πυκνότητα των οπών του υγρού τοιχώματος θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να επιτρέπει εξάτμιση τουλάχιστον 80%, με μια ταχύτητα 0,8 m/s και μια πτώση πίεσης που να μην υπερβαίνει τα 10 Pa. Η υγρή παρειά θα πρέπει να τοποθετούνται ακριβώς μέσα από τον τοίχο του θερμοκηπίου και θα πρέπει εξωτερικά του να υπάρχουν ανοίγματα που θα επιτρέπουν την είσοδο του αέρα κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου και θα κλείνουν έξω τον κρύο αέρα την άνοιξη ή τον νύχτα. Όσον αφορά το πάχος του υγρού τοιχώματος, απαιτείται ομοιομορφία. Υπάρχουν τοιχώματα που κατασκευάζονται από νήματα ξύλου λεύκης με όχι και τόσο καλή ομοιομορφία (απόδοση 91%), ή από χαρτί, με χημική επεξεργασία σε σχήμα κηρήθρας, με αρκετά καλή ομοιομορφία και μεγαλύτερη απόδοση (97%). Απαιτείται προσοχή, ώστε το υγρό τοίχωμα να είναι ομοιόμορφο σ'όλη του την επιφάνεια. Είναι γνωστό ότι, εάν η βρεχόμενη επιφάνεια έχει μια ζώνη κακής λειτουργίας πλάτους A m, θα έχουμε την δημιουργία ενός κώνου στο χώρο του θερμοκηπίου, μήκους 8*A m περίπου, που δεν θα ψύχεται. Έτσι θα πρέπει με προσοχή να αποφευχθούν στεγνές επιφάνειες ή οπές στο υγρό τοίχωμα. Στην εικόνα 1 φαίνεται η υγρή παρειά εγκατεστημένη σε θερμοκήπιο.



Εικόνα 2. Υγρή παρειά.

2.3.3.1 Τύποι υγρών τοίχων και περιγραφή της παρειάς κυτταρίνης με κάθετες αυλακώσεις

Το υλικό από το οποίο αποτελείται η παρειά είναι γενικά δύο τύπων:
-είτε πλέγμα από ίνες ξύλου σε πλαίσιο με πάχος 2.5-4 cm και ετήσια αλλαγή,
-είτε από φύλλα άσηπτης κυβελικής κυτταρίνης με κάθετες αυλακώσεις το οποίο και χρησιμοποιείται συνήθως στις μέρες μας, με διάρκεια ζωής τουλάχιστον 10 χρόνια αν διατηρηθεί σωστά.

• Παρειά από κυτταρίνη

Οι παρειές κυτταρίνης κυκλοφορούν στο εμπόριο σε μονάδες μήκους 30cm και πάχος 5, 10, 15 και 30 cm αντίστοιχα. Όσον αφορά το ύψος υπάρχουν παρειές σε ύψος 30 cm, με αυξήσεις 0.6 ως 1.5 m για την παρειά των 5 cm, αυξήσεις 0.6-1.8 m για τις παρειές των 10 και 15 cm και 0.6-1.2 m για τις παρειές των 30cm. Οι παρειές που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι συνήθως των 10 cm. Οι παρειές των 15 cm χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχει το απαιτούμενο για τις 10 cm παρειές μήκος στην πλευρά του θερμοκηπίου. Επιφάνεια 929 cm² παρειάς των 10 cm μπορεί να εισάγει 75 m³/minm² αέρα ενώ μια παρειά πάχους 15 cm μπορεί να εισάγει 105 m³/minm² αέρα. Παρειές των 30cm θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε πολύ ζεστά και υγρά κλίματα. Οι μονάδες προσανατολίζονται κάθετα ώστε κάθε μία να προσθέτει 30cm στο συνολικό μήκος του υγρού τοίχου. Η απαιτούμενη επιφάνεια για τις παρειές των 10 και 15 cm είναι μόνο το 60 και 43 % αντίστοιχα της επιφάνειας που χρειάζεται η παρειά που είναι φτιαγμένη από ίνες ξύλου.

Η απαιτούμενη επιφάνεια της παρειάς μπορεί να υπολογιστεί από τον πίνακα 5 ανάλογα με το ποσό της εναλλαγής του αέρα που χρειαζόμαστε. Το ύψος του υγρού τοίχου καθορίζεται διαιρώντας την ολική περιοχή της παρειάς δια του μήκους της. Οι παρειές θα πρέπει να τοποθετούνται ακριβώς μέσα από τον τοίχο του θερμοκηπίου και θα πρέπει εξωτερικά του να υπάρχουν ανοίγματα που θα επιτρέπουν την είσοδο του αέρα κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου και θα κλείνουν έξω τον κρύο αέρα την άνοιξη ή τον νύχτα.

Το νερό με το οποίο θα διαβρέχεται η 10 cm παρειά πρέπει να έρχεται από την κορυφή του με ρυθμό 6.2 l/min ανά μέτρο παρειάς. Για μήκος παρειών των 9.1-15.2 m είναι απαραίτητος σωλήνας διανομής νερού 32mm ενώ για μήκος 15.2-18.3 m χρειάζεται σωλήνας 38 mm. 18.3 m είναι το μεγαλύτερο μήκος σωλήνα που συνιστάται. Μία παρειά 37 m μπορεί να εφοδιαστεί με νερό αν από το μέσον του τοποθετήσουμε δύο σωλήνες των 18.3m. Στους σωλήνες αυτούς πρέπει να υπάρχουν οπές 3mm κάθε 7.6 cm.

Ο ρυθμός ροής του νερού για μία παρειά 15cm είναι 9.3 l/min/m. Ένας 32 mm σωλήνας διανομής χρησιμοποιείται για παρειές 9.1 m ενώ ένας 38 mm σωλήνας χρησιμοποιείται για 9.1-

15.2 m μήκους παρειάς. Ο μεγαλύτερος μήκος σωλήνας που προτείνεται είναι 15.2 m. Ομοίως στους σωλήνες αυτούς ανά 7.6 cm βρίσκονται οπές 3mm.

- Παρειά από ίνες ξύλου

Η παρειά από ίνες ξύλου είναι πάχους 2.5 cm. Η διάρκεια ζωής της είναι γενικά ένας χρόνος. Η παρειά εμπεριέχεται σε συρματοπλέγμα οπής 2.5 επί 5 cm για υποστήριξη. Λιγότερο πτητική επιφάνεια εμπεριέχεται μέσα σε ένα τετραγωνικό εκατοστό παρειάς με ίνες ξύλου από ότι σε μια ίση επιφάνεια με πιο χοντρή παρειά κυτταρίνης με κάθετες αυλακώσεις. Συνεπώς, μια επιφάνεια παρειάς με ίνες ξύλου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από αυτή της παρειάς κυτταρίνης με κάθετες αυλακώσεις για να επιτευχθεί η ίδια δουλειά. Η συχνότητα ροής του αέρα μέσα από 929 cm² παρειάς με ίνες ξύλου είναι 45 m³/minm² παρειάς. Αυτό είναι μόνο το 60 % της δυνατής ροής σε μια παρειά κυτταρίνης με κάθετες αυλακώσεις πάχους 10 cm.

Εξαιτίας της μεγαλύτερης περιοχής που απαιτείται για την παρειά με ίνες ξύλου, συχνά δεν χωράνε στον τοίχο, ειδικά στον τελικό τοίχο, του θερμοκηπίου. Αν η απαιτούμενη περιοχή για την παρειά πρέπει να ξεπερνά την περιοχή του τοίχου του θερμοκηπίου, είναι αναγκαίο να την τοποθετήσουμε εξωτερικά από τον τοίχο του θερμοκηπίου. Το άνοιγμα στο θερμοκήπιο θα πρέπει να είναι τουλάχιστον το μισό από την περιοχή της παρειάς. Η παρειά θα πρέπει να τοποθετηθεί πίσω από το άνοιγμα στη μισή απόσταση από την οποία η παρειά ξεπερνά σε ύψος το άνοιγμα. Ιδανικά, το παραπάνω ύψος της παρειάς θα πρέπει να χωριστεί στα ίσα πάνω και κάτω από το άνοιγμα. Είναι σημαντικό η παρειά να συνδέεται με το θερμοκήπιο στην κορυφή και στα άκρα μέσω ενός διαφανούς υλικού κάλυψης για να εξασφαλιστεί ότι ο τραβηγμένος αέρας μέσω της παρειάς εισέρχεται στο θερμοκήπιο.

Το νερό θα πρέπει να απελευθερώνεται στην κορυφή της παρειάς με ίνες ξύλου με συχνότητα 4.1 l/min για κάθε μέτρο παρειάς ανεξαρτήτως του ύψους της παρειάς. Αφού όλο το νερό θα γυρίσει στη δεξαμενή όταν το σύστημα κλείσει, απαιτείται μια χωρητικότητα δεξαμενής 19 l για κάθε μέτρο παρειάς.

- Άλλα υλικά παρειάς

Η κυτταρίνη με κάθετες αυλακώσεις και με ίνες ξύλου δεν είναι τα μόνα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι παρειές. Οι παρειές από ίνες αλουμινίου πωλούνται για εφαρμογή σε θερμοκήπια και μπορούν να βρεθούν σε αρκετές εταιρίες. Οι παρειές από ίνες γυαλιού, που χρησιμοποιούνται πολύ σε βιομηχανικές εφαρμογές, μπορούν επίσης να δοκιμαστούν σε θερμοκήπια.

Επίσης από τους καλλιεργητές δοκιμάζονται οι οριζόντιες παρειές. Ένα οριζόντιο παραπέτασμα κατασκευάζεται εξωτερικά από το θερμοκήπιο. Ένα από ποικίλα υλικά, όπως χαλίκι, βερμικουλίτης, ή ροκανίδι, τοποθετείται στο παραπέτασμα και χρησιμεύει ως πτητική επιφάνεια η οποία επιτρέπει τη διήθηση του νερού.

Σε έρευνες που έχουν γίνει για τη μελέτη της απόδοσης της παρειάς βρέθηκε ότι η λειτουργία της παρειάς επηρεάζεται από τη γωνία, το πάχος της παρειάς, η ταχύτητα του ανέμου που τη διαπερνά καθώς και η πτώση πίεσης στα άκρα (Koca et al., 1991)

2.3.3.2 Παροχή και κατανάλωση νερού στην υγρή παρειά

Στο πάνω μέρος της παρειάς, βρίσκονται οι σωληνώσεις υγράνσεως με μια υδρορροή διανομής. Στο κάτω μέρος, μια υδρορροή επανάκτησης που παίρνει το νερό που δεν έχει εξατμιστεί και το ανακυκλώνει με τη βοήθεια μιας εμβυπτιζόμενης αντλίας. Οι οπές στους σωλήνες διανομής για τις παρειές κυτταρίνης είναι τοποθετημένες προς τα πάνω και πάνω από το σωλήνα βρίσκεται ένα κάλυμμα σύγκρουσης. Το νερό εκτοξεύεται προς τα πάνω και χτυπώντας την εσωτερική πλευρά του καλύμματος σύγκρουσης διασκορπίζεται. Το μισό ενός πλαστικού σωλήνα 10cm παρέχει ένα καλό κάλυμμα σύγκρουσης. Το νερό που ανακλάται, στάζει πάνω σε μια παρειά διασποράς που

είναι 5 cm σε ύψος και έχει το πάχος της παρειάς κυτταρίνης που βρίσκεται από κάτω. Αυτή η παρειά διασπείρει περαιτέρω το νερό ώστε να διυγρανθεί καλύτερα η κορυφή του τοίχου κυτταρίνης. Είναι σημαντικό η παρειά να είναι εντελώς υγρή γιατί η αντίσταση στη ροή του αέρα είναι λιγότερη διαμέσω μιας στεγνής παρειάς και έτσι ο αέρας θα περνά από τις υγρές περιοχές και θα μειώνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Μια υδρορροή στη βάση της παρειάς συλλέγει το νερό και του επιτρέπει να φτάσει σε μια δεξαμενή από όπου αντλείται πίσω στην κορυφή της. Ανάμεσα στην υδρορροή και τη βάση της παρειάς υπάρχει ένα διάστημα το οποίο μπορεί να είναι φτιαγμένο από το μισό ενός πλαστικού σωλήνα 10 cm. Ο όγκος της δεξαμενής θα πρέπει να είναι 30.5 l ανά m² της παρειάς των 10 cm και 40.7 l ανά m² της παρειάς των 15 cm. Αυτοί οι όγκοι δεξαμενής είναι σχεδιασμένοι για επίπεδο νερού εφαρμογής το μισό του βάθους του ντεπόζιτου και θα εξασφαλίζουν χώρο για το νερό που επιστρέφει από την παρειά όταν το σύστημα είναι κλειστό.

Τέλος, είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ενός πλωτήρα που θα ελέγχει τη στάθμη του νερού δεδομένου ότι σε μια ζεστή, ξηρή μέρα μπορεί να εξατμιστούν μέχρι 0.4 l/min από 1m² παρειάς.

2.3.3.3 Συντήρηση των υγρών τοίχων

Καθώς το νερό εξατμίζεται από την επιφάνεια της παρειάς, τα άλατα του νερού μένουν πίσω. Αν αυτό συνεχιστεί για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, μια κατάθεση λευκού άλατος θα στερεοποιείται πάνω στην παρειά κάθε φορά που κλείνει το σύστημα. Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε άλατα του χρησιμοποιούμενου νερού, μπορεί να χρειαστεί να απομακρύνουμε 1-2 τις εκατό του ανακυκλούμενου νερού για να αποφύγουμε την επικάλυψη αλάτων. Μια βαλβίδα εκροής 9.5 mm μπορεί να τοποθετηθεί στο σωλήνα εκκένωσης της αντλίας. Θα πρέπει να ρυθμιστεί σε ένα επίπεδο ροής που να εξαλείφει ακόμα και τα σημάδια επικαθίσματος στην παρειά. Η επικάλυψη αλάτων σε παρειές από ίνες ξύλου δεν είναι τόσο εμφανής εφόσον η παρειά αυτή χρησιμοποιείται μόνο για μια σεζόν και το νερό χύνεται από την παρειά καθώς περνάει προς τα κάτω.

Μούχλα μπορεί να δημιουργηθεί σε παρειές κυτταρίνης με κάθετες αυλακώσεις μετά από δύο ή τρία χρόνια. Η επικάλυψη της μούχλας δεν καταστρέφει την κυτταρίνη, αλλά μπορεί να κλείσει τα περάσματα στην παρειά. Ένα διάλυμα 1% υποχλωριώδους νατρίου μπορεί να εισαχθεί στη γραμμή παροχής νερού της παρειάς. Αυτό θα παράσχει τα απαιτούμενα 3-5 ppm ελεύθερου χλωρίου. 114 l διαλύματος το μήνα αρκούν για να κρατήσουν 30m παρειάς πάχους 15cm ελεύθερο από μούχλα. Όμως το υποχλωριώδες νάτριο προκαλεί την ανύψωση του pH που δεν θα πρέπει να υπερβεί το 9.0 γιατί θα μαλακώσει η παρειά, ενώ παράλληλα δεν πρέπει να πέσει κάτω από το επίπεδο του 6.0. Μερικοί καλλιεργητές εισάγουν υπεροξειδίου του υδρογόνου στη γραμμή παροχής νερού. Αυτό δεν ανεβάζει το επίπεδο του pH. Το χλώριο και το υπεροξειδίου του υδρογόνου διασπώνται γρήγορα και πρέπει να εφαρμόζονται περιοδικά. Μικρές εταιρίες που δεν μπορούν να δικαιολογήσουν τον εξοπλισμό της εισροής μπορούν να ψεκάσουν την παρειά περιοδικά με διάλυμα χλωρίου. Βιοκτόνες ουσίες είναι επίσης διαθέσιμες για τον καθαρισμό του νερού δροσισμού σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές με πρόσθεσή τους στη δεξαμενή.

Το σύστημα της υγρής παρειάς μπορεί να είναι αυτόματο ή να λειτουργεί δια χειρός. Όταν απαιτείται δροσισμός στο αυτοματοποιημένο σύστημα, οι ανεμιστήρες εξαγωγής θα ανοίξουν και οι ανεμιστήρες πάνω από την παρειά θα ανοίξουν πρώτοι. Αν αυτό δεν ικανοποιήσει τις απαιτήσεις δροσισμού και η θερμοκρασία συνεχίσει να ανεβαίνει, θα πρέπει να ενεργοποιηθεί η αντλία που παρέχει νερό στις παρειές. Όταν ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις σε δροσισμό, το σύστημα κλείνει βήμα βήμα με την αντίθετη σειρά.

Η ρύθμιση μπορεί να γίνει:

- Είτε στον αερισμό, από θερμοστάτη χώρου,
- Είτε στην ύγρανση, από έναν θερμοστάτη.

Οι επιδόσεις του συστήματος αυτού εξαρτώνται κατά μεγάλο μέρος από τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες και κυρίως από την εξωτερική υγρασία. Ο McNeill et al. (1983) πετυχαίνουν σε κτήρια κτηνοτροφίας, μειώσεις που φτάνουν ως και τους 10°C σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία. Μέσα στο θερμοκήπιο, η διαφορά θερμοκρασίας με το εξωτερικό περιβάλλον μπορεί να στους -5°C στις καλύτερες περιπτώσεις. Εντούτοις, οι προσομοιώσεις (Van Bavel και συν., 1981) έδειξαν ότι οι θερμοκρασίες των οργάνων των φυτών (φύλλα, φρούτα) μειώνονται πολύ λιγότερο από τον αέρα.

Οι υγροί τοίχοι θα πρέπει να προστατεύονται από τη δυνατή βροχή και θα πρέπει να μετακινούνται μόνο αν είναι στεγνά. Η κυτταρίνη θα πρέπει να έχει διαβραχεί με διαλυτά αντιδιαβρωτικά άλατα, σκληρυντικά και διυγραντικούς παράγοντες για να διατηρήσει την ποιότητα, τη δύναμη και την ικανότητα διύγρανσης.

2.4 Αποτελεσματικότητα του συστήματος

Η απόδοση του συστήματος μπορεί να υπολογιστεί με δύο τρόπους: Πρώτον υπολογίζοντας την αποδοτικότητα του συστήματος που βασίζεται στον απόλυτο δροσισμό, και δεύτερον μετρώντας την ομοιομορφία της κατανομής της θερμοκρασίας του εσωτερικού αέρα.

Για να ερευνηθεί η απόδοση του συστήματος όσον αφορά τη μεταφορά θερμότητας και μάζας χρειάστηκε να διεξαχθούν μελέτες που αφορούσαν τη μηχανική των ρευστών (Chraïbi et al. 1995). Η γεωμετρία των κυματιστών τύπων παρειάς για εφαρμογές δροσισμού, είναι συγκεκριμένη (Augsburger et al. 1975): η γωνία ανάμεσα στους κυματισμούς και της εισερχόμενης ροής του αέρα είναι αντίστοιχα 30° και 60° ώστε να δημιουργείται αρκετή περιστροφή των ρευμάτων του αέρα που διαπερνά την παρειά (Amblard, 1986). Το νερό που τροφοδοτεί το σύστημα πέφτει κάθετα από την κορυφή της παρειάς και διυγραίνει όλη την επιφάνεια του προσφέροντας με τον τρόπο αυτό μεγάλη επιφάνεια αισθητής ανταλλαγής με τον αέρα που το διαπερνά (200m²/m³). Ο συντελεστής συναγωγής H_{cv} ανάμεσα στην επιφάνεια της παρειάς και του αέρα προέρχεται από τη φόρμουλα συσχέτισης του Bentounes (Bentounes et al. 1998), προσαρμοσμένη για τη γεωμετρία αυτή:

$$H_{cv}=0,455Re^{0,66}Pr^{0,33} \quad (2.1)$$

Όπου:

- Re είναι ο αριθμός Reynolds: $Re=V d/v$,
- V είναι η μέση ταχύτητα του αέρα όταν διαπερνά την παρειά,
- d είναι η υδραυλική διάμετρος και
- v είναι το κινηματικό ιξώδες του αέρα.

Οι σημερινοί τύποι παρειάς έχουν υδραυλική διάμετρο $d=1,7cm$ και δέχονται αέρα με ταχύτητα $V=1,35 m/s$.

Όταν το νερό που εφοδιάζει την παρειά έρχεται σε ισορροπία με την υγρή θερμοκρασία του αέρα, όλα τα χαρακτηριστικά των ρευστών μπορούν να θεωρηθούν αμετάβλητα.. Τότε η απόδοση της παρειάς ε, παριστάνεται με την απλή μορφή:

$$\varepsilon=1- \exp[-NUT_{\Delta x}] \quad (2.2)$$

όπου ο αριθμός των μονάδων που μεταφέρονται $NUT_{\Delta x}$ εκφράζεται ως εξής:

$$NUT_{\Delta x}= H_{cv} \cdot \Sigma \cdot \Delta x/[G \cdot Cp] \quad (2.3)$$

Όπου:

- Σ είναι η περιοχή της επιφάνειας ανταλλαγής ανά m³ (200m²/m³ για την παρούσα κατασκευή παρειάς),
- G είναι ο ρυθμός ροής της μάζας του αέρα μέσα από παρειά ενός m² (εδώ: 1,7 Kg/s),

- C_p είναι η ειδική θερμότητα του αέρα ($1 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C}$),
 Η υπολογιζόμενη απόδοση για τις συνθήκες αυτές είναι: $\epsilon=60\%$
 Εξαιτίας της αναλογίας μεταξύ της μεταφοράς της θερμότητας και της μάζας (ο αριθμός Lewis πλησιάζει τη μονάδα), η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα που ψύχεται μέσω μιας παρειάς δίνονται από παρόμοιες εξισώσεις:

$$T_{\text{pad}} = T_{\text{ext}} - (T_{\text{ext}} - T_{\text{hext}})\epsilon \quad \text{και} \quad (2.4)$$

$$W_{\text{pad}} = W_{\text{ext}} + (W_{\text{sat}} - W_{\text{ext}}) \cdot \epsilon \quad (2.5)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 Υλικά και μέθοδοι

Το θερμοκήπιο στο οποίο έγινε το πείραμα ήταν πολλαπλό τροποποιημένο τοξωτό. Κατασκευάστηκε το έτος 1990 και είχε συνολική έκταση 2,88 στρέμματα. Αποτελούνταν από 6 βάσεις με 8 μέτρα πλάτος η κάθε μία. Το μήκος του ήταν 60 μέτρα και το πλάτος του 48 μέτρα. Ο ορθοστάτης του θερμοκηπίου είχε 2,5 μέτρα ύψος και ο κορφιάς 4 μέτρα.

Το θερμοκήπιο ήταν καλυμμένο στην οροφή με διπλό πολυαιθυλένιο πάχους 180 μ. Στα πλάγια το θερμοκήπιο ήταν καλυμμένο με Polycarbonate. Ο σκελετός του θερμοκηπίου ήταν κατασκευασμένος από γαλβανισμένο χάλυβα.

Ο αερισμός γινόταν με την βοήθεια ανεμιστήρων, με αναλογία 1,5 ανεμιστήρες για κάθε μονάδα κατασκευής, που ήταν τοποθετημένοι στην μία πλευρά του θερμοκηπίου. Οι ανεμιστήρες είχαν την δυνατότητα να επιτυγχάνουν 60 αλλαγές αέρα ανά ώρα. Η είσοδος του αέρα γινόταν από την άλλη πλευρά του θερμοκηπίου, απέναντι από τους ανεμιστήρες. Στην αντίθετη πλευρά από αυτή που υπήρχαν οι ανεμιστήρες και από την οποία γινόταν η είσοδος του αέρα υπήρχε υγρό τοίχωμα (υγρή παρειά). Ο εξωτερικός αέρας διαπερνούσε μια επιφάνεια 61m^2 μιας υγρής παρειάς κυτταρίνης που ήταν τοποθετημένη στη νότια μικρή πλευρά του θερμοκηπίου, απέναντι από τους ανεμιστήρες.

Στο θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε για το πείραμα και το οποίο περιγράφηκε πιο πάνω καλλιεργούνταν τριαντάφυλλα. Η καλλιέργεια γινόταν σε απλές γραμμές και τα φυτά στηριζόταν από σύρματα που βρισκόταν κατά μήκος στα πλάγια των φυτών.

Οι μετρήσεις του πειράματος έγιναν για δύο καλοκαίρια, το 1998 και το 1999. Για την συγκέντρωση και αποθήκευση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό σύστημα (Data logger) με μνήμη ξηρού τύπου μεγάλης χωρητικότητας. Γινόταν μία σάρωση για κάθε παράμετρο ανά 10 δευτερόλεπτα. Καταγραφόταν ο μέσος όρος μετρήσεων κάθε μισή ώρα για όλες τις παραμέτρους. Έτσι συνολικά καταγραφόταν σαράντα οκτώ τιμές για κάθε παράμετρο ανά εικοσιτετράωρο.

Οι παράμετροι που μελετήθηκαν και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν αναλυτικά ήταν:

- Η ταχύτητα του ανέμου η οποία μετρήθηκε με ανεμόμετρο κυπέλλων.
 - Η θερμοκρασία του αέρα σε τρία σημεία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (στην υγρή παρειά, στους ανεμιστήρες και στο μέσο).
 - Η θερμοκρασία του αέρα έξω από το θερμοκήπιο.
- Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν ψυχρόμετρα.
- Η σχετική υγρασία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου στα ίδια σημεία που μετρήθηκε και η θερμοκρασία,
 - Η σχετική υγρασία του αέρα έξω από το θερμοκήπιο (RH_0), [%]

Η μέτρηση της σχετικής υγρασίας έγινε σε όλες τις περιπτώσεις με ψυχρόμετρα.

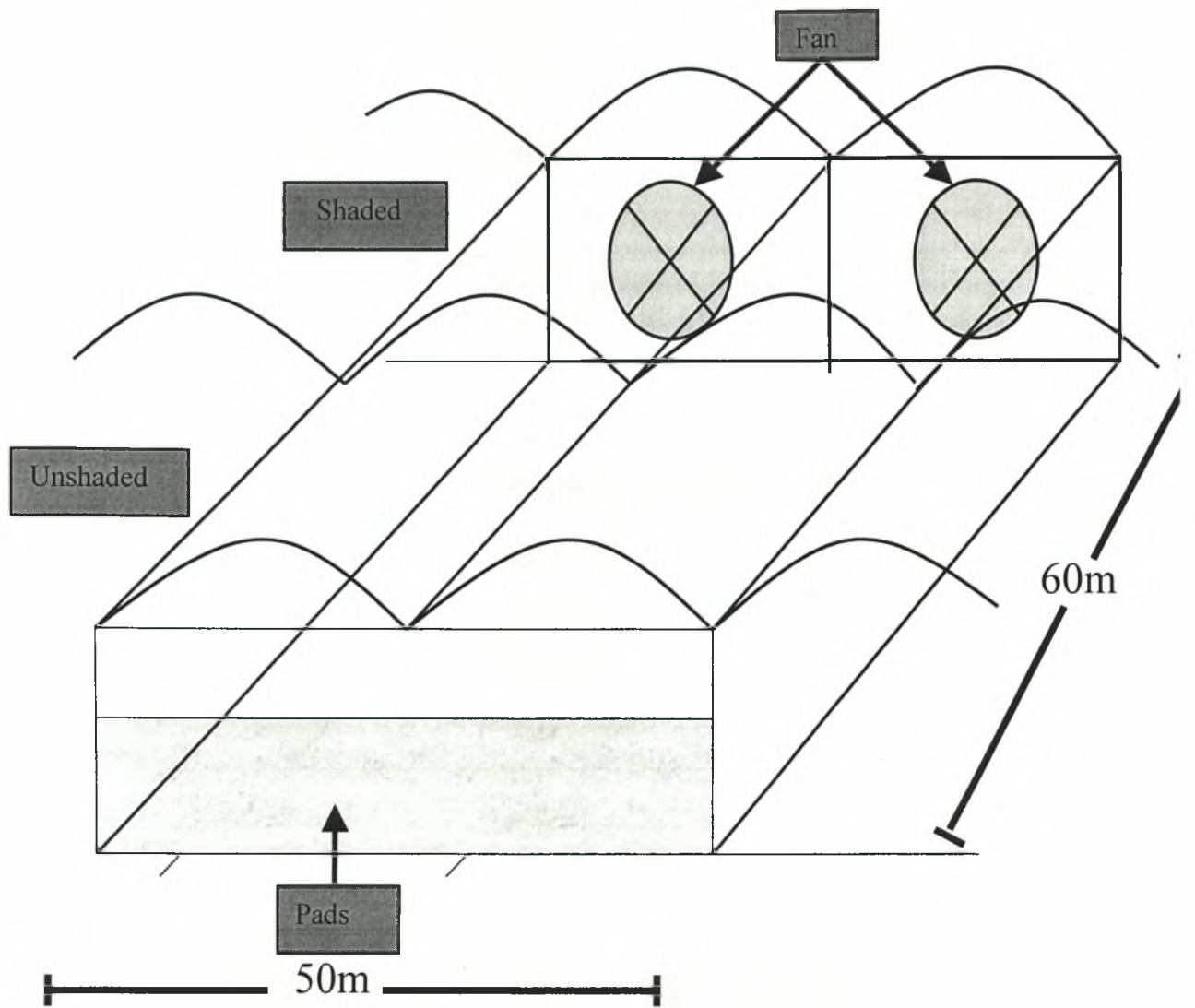
Ακόμη καταγραφόταν:

- Η ολική ηλιακή ακτινοβολία μέσα στο θερμοκήπιο.
 - Η ολική ηλιακή ακτινοβολία έξω από το θερμοκήπιο.
- Για τη μέτρησή τους χρησιμοποιήθηκαν πυρανόμετρα Kipp & Zonen.
- Η καθαρή θερμική ακτινοβολία μέσα στο θερμοκήπιο.
 - Η καθαρή θερμική ακτινοβολία έξω από το θερμοκήπιο.
- Η μέτρηση της καθαρής ακτινοβολίας έγινε με Net Radiometer.

Το δεύτερο καλοκαίρι του 1999 καταγραφόταν τα ίδια στοιχεία με την διαφορά ότι υπήρχαν περισσότερα σημεία για την καταγραφή των τιμών θερμοκρασίας, υγρασίας. Πιο συγκεκριμένα οι τιμές αυτές καταγραφόταν στα ίδια σημεία με το 1998 αλλά και στα δύο μισά των δύο διαφορετικών επιπέδων σκίασης.

Το θερμοκήπιο ήταν εξοπλισμένο και με σύστημα προοδευτικής σκίασης 40% διαπερατότητα στο δεύτερο μισό (από το κέντρο του θερμοκηπίου έως και τους ανεμιστήρες) και 60% διαπερατότητα στο πρώτο μισό. Για την ακριβή διαπίστωση της διαπερατότητας έγιναν μετρήσεις τόσο με φορητό σπεκτροραδιόμετρο (LI-1800), όσο και με πυρανόμετρο αναφοράς (CM11).

Μια σχηματική άποψη του θερμοκηπίου δίνεται στο σχήμα 4



Σχήμα 4. Σχηματική άποψη του θερμοκηπίου.

3.2 Παρουσίαση των πειραματικών αποτελεσμάτων.

3.2.1 Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η μείωση της ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ήταν αποτέλεσμα της προοδευτικής σκίασης στα δύο μισά του θερμοκηπίου. Η κατανομή της στην διάρκεια μιας ημέρας φαίνεται στο σχήμα 5 α (για το 1998) και β (για το 1999) ενώ στον πίνακα 7 φαίνονται οι μέσες ημερήσιες τιμές της,

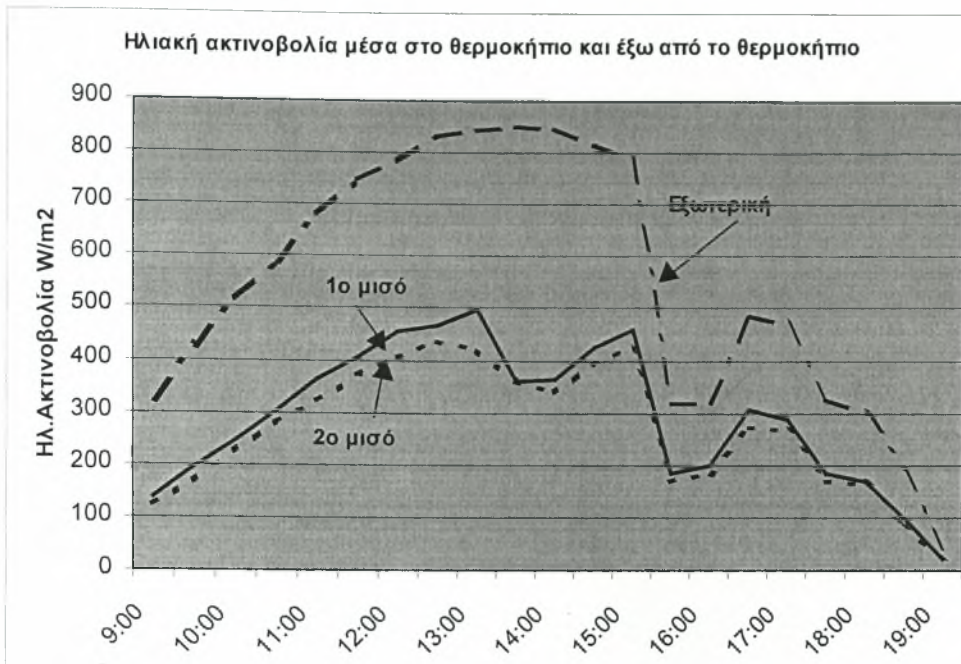


Σχήμα 5α. Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα και έξω από το θερμοκήπιο.



Πίνακας 7. Μέσες ημερήσιες τιμές ακτινοβολίας (Τιμές σε W/m^2)

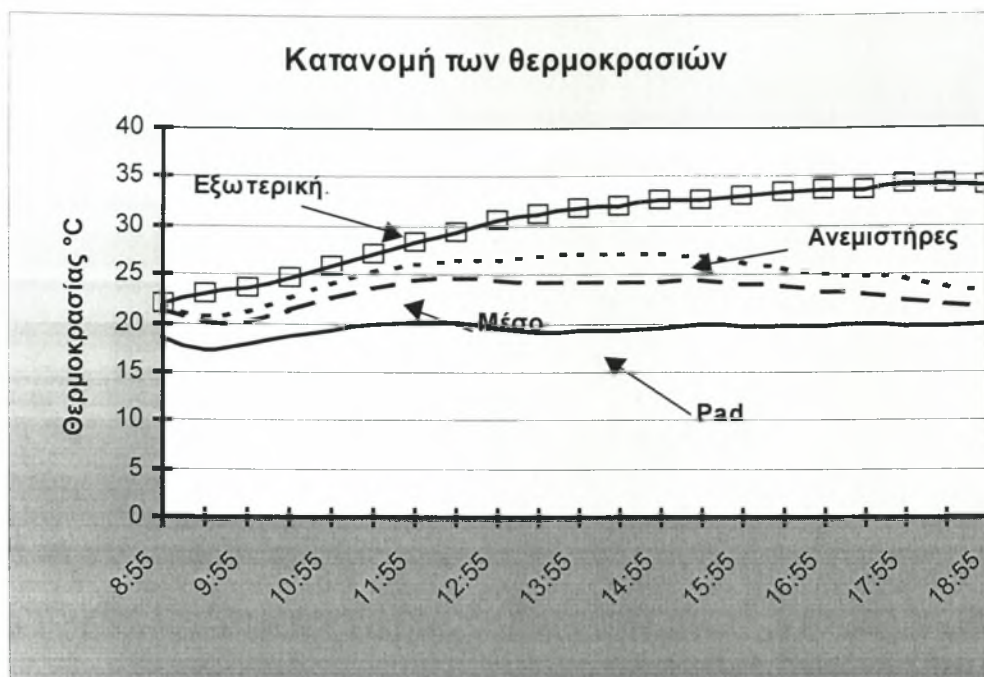
Ημερομηνία	Εσωτερική	Εξωτερική
19/8	386	617
20/8	380	610
21/8	391	625
22/8	372	600
23/8	393	620
24/8	402	571
25/8	376	627
26/8	352	485



Σχήμα 5β. Κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα και έξω από το θερμοκήπιο.

3.2.2 Κατανομή των θερμοκρασιών.

Στο σχήμα 6α,β παρουσιάζονται οι κατανομές των θερμοκρασιών στο μέσο του θερμοκηπίου, στη παρειά (pad), στους ανεμιστήρες και αυτή του εξωτερικού αέρα. Είναι φανερό πως το σύστημα ήταν ικανό να διατηρήσει την εσωτερική θερμοκρασία κάτω από τους 27°C καθ'όλη την διάρκεια της ημέρας και αυτό λόγω των πολύ χαμηλών επιπέδων της εξωτερικής σχετικής υγρασίας. Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός ότι αργά το απόγευμα όταν η εξωτερική θερμοκρασία ήταν ιδιαίτερα υψηλή το σύστημα είχε την ίδια αποδοτικότητα και μάλιστα ήταν ικανό να διατηρήσει μια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού αέρα της τάξης των 10°C . Στον πίνακα 7 φαίνονται οι μέσες ημερήσιες τιμές των θερμοκρασιών.



Σχήμα 6α. Κατανομή των θερμοκρασιών μέσα και έξω από το θερμοκήπιο.

Πίνακας 8 Μέσες ημερήσιες τιμές των θερμοκρασιών (Τιμές σε °C)

Ημερομηνία	Εξωτερική	Μέσο	Παρειά	Ανεμιστήρες
19/8	26.61	22.60	19.03	23.90
20/8	27.50	23.61	20.15	24.89
21/8	28.28	23.07	19.53	24.86
22/8	29.39	22.84	19.31	24.46
23/8	30.02	23.03	19.35	24.86
24/8	29.10	24.15	20.72	25.73
25/8	29.33	23.89	20.37	25.68
26/8	27.67	23.25	20.27	24.85



Σχήμα 6α. Κατανομή των θερμοκρασιών μέσα και έξω από το θερμοκήπιο.

3.2.3 Κατανομή των υγρασιών

Στο σχήμα 7 α,β παρουσιάζονται οι κατανομές των υγρασιών σε σημεία ανάλογα με των θερμοκρασιών. Οι υγρασίες είναι εκφρασμένες σε απόλυτες υγρασίες δηλαδή εκφράζουν την ποσότητα των υδρατμών που περιέχει ο αέρας. Από το σχήμα φαίνεται πως η εξωτερική υγρασία του αέρα διατηρείται σε επίπεδα ιδανικά για την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Η κυριότερη όμως παρατήρηση είναι ότι η ποσότητα των υδρατμών στο δεύτερο μισό (προς το μέρος των ανεμιστήρων) είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτή στο πρώτο μισό.



Σχήμα 7α. Κατανομή των υγρασιών.

Πίνακας 9. Μέσες ημερήσιες τιμές των υγρασιών. (Τιμές σε g/Kg)

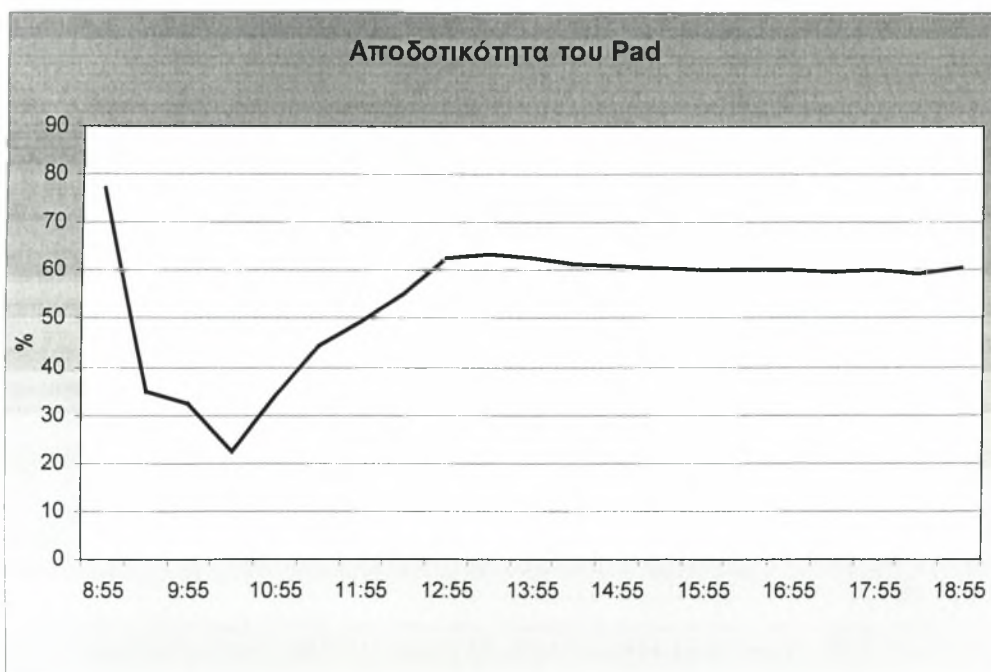
Ημερομηνία	Εξωτερική	Μέσο	Παρειά	Ανεμιστήρες
19/8	10.65	12.13	12.22	13.37
20/8	12.60	13.02	13.18	14.34
21/8	10.64	12.27	12.33	13.29
22/8	7.83	11.62	11.74	12.44
23/8	7.40	11.39	11.50	12.21
24/8	11.36	13.12	13.22	13.91
25/8	11.34	12.83	12.89	13.67
26/8	11.68	12.82	13.04	13.61



Σχήμα 7β. Κατανομή των υγρασιών.

3.2.4 Αποδοτικότητα της υγρής παρειάς.

Η αποδοτικότητα της υγρής παρειάς υπολογίστηκε τόσο θεωρητικά βάση αυτών που αναπτύχθηκαν στην παράγραφο 2.3 όσο και πειραματικά με βάση τον λόγο των απολύτων υγρασιών. Και στις δύο περιπτώσεις η αποδοτικότητα του συστήματος βρέθηκε κοντά στο 60%. Ο πειραματικός προσδιορισμός φαίνεται στο σχήμα 8



Σχήμα 8. Αποδοτικότητα της υγρής παρειάς.

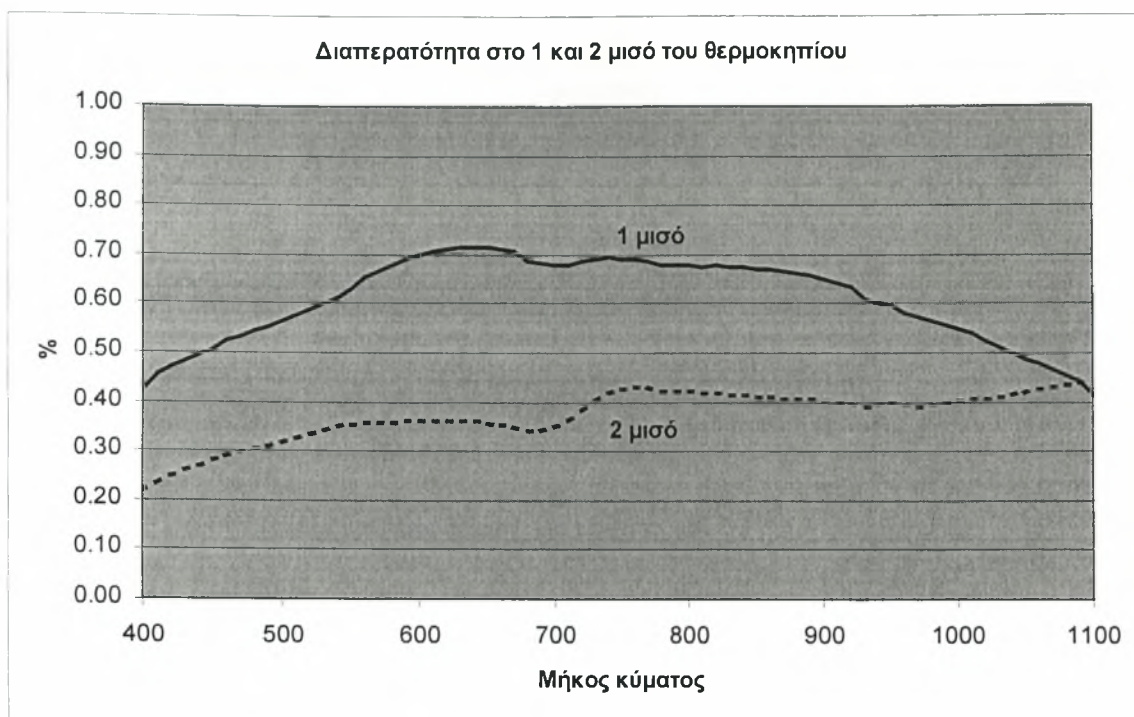
3.2.5 Μέτρηση της διαπερατότητας

Όπως αναφέρθηκε για την μέτρηση της διαπερατότητας στα δύο διαφορετικά επίπεδα σκίασης έγιναν δύο σετ μετρήσεων. Το πρώτο σετ αφορούσε την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας στα δύο διαφορετικά επίπεδα σκίασης και έξω και την εξαγωγή της διαπερατότητας από τους αντίστοιχους λόγους. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με πυρανόμετρο αναφοράς (CM11) και τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 10.

Πίνακας 10. Μέτρηση της διαπερατότητας σε τρία σημεία του θερμοκηπίου.

A/A	ΩΡΑ	1 ^ο ΜΙΣΟ	ΜΕΣΟ	2 ^ο ΜΙΣΟ
1	11.38	0.57	0.51	0.46
2	12.08	0.64	0.59	0.51
3	12.28	0.66	0.63	0.49
4	12.39	0.58	0.51	0.44
5	13	0.58	0.54	0.44
ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ		060	0.56	0.47

Κατόπιν για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας στα δύο διαφορετικά επίπεδα του θερμοκηπίου έγιναν μετρήσεις με φορητό σπεκτροραδιόμετρο (LI-1800) κάτω από το θερμοκήπιο και έξω και από τους αντίστοιχους λόγους προσδιορίστηκε η διαπερατότητα για το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας από τα 400 - 1100 nm. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο σχήμα 9 από όπου φαίνεται και η συμφωνία με τις τιμές που προέκυψαν κατά την μέτρηση της διαπερατότητας με το πυρανόμετρο.



Σχήμα 9. Η διαπερατότητα στα δύο διαφορετικά επίπεδα σκίασης.

3.3 Παρουσίαση του αναλυτικού μοντέλου για την πρόβλεψη της κατανομής θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου.

3.3.1 Διακύμανση της θερμοκρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου

Η τοποθέτηση των ανεμιστήρων απέναντι από την υγρή παρειά δημιουργούν ένα ρεύμα αέρα κατά μήκος του θερμοκηπίου από την παρειά προς τους ανεμιστήρες. Η θερμοκρασία του ρεύματος αυτού καθώς κινείται κατά μήκος του θερμοκηπίου αυξάνει λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι απώλειες από το κάλυμμα είναι ο κυριότερος παράγοντας μείωσης της θερμοκρασίας αυτής. Αν υποθέσουμε, για ευκολία, ότι το κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που ευθύνεται για τη μεταφορά της αισθητής θερμότητας είναι ίσο με $(1 - \alpha)$, (α είναι το κλάσμα που είναι υπεύθυνο για την εξατμισοδιαπνοή) τότε η εσωτερική θερμοκρασία του θερμοκηπίου T_{in} : για διαφορική αύξηση dx κατά μήκος της ροής του αέρα, δίνεται από την εξίσωση:

$$D \rho C_p dT_{in} = [\tau(1 - \alpha) R_g - \beta D_{sat,in}]L dx - K_c L [T_{in}(x) - T_{ext}] dx \quad (3.1)$$

Όπου:

- L είναι το πλάτος του θερμοκηπίου (κάθετο προς τη ροή του αέρα),
- L είναι η περίμετρος της στέγης που ανταποκρίνεται σ' αυτό το πλάτος,
- D είναι ο ρυθμός εξαερισμού (σε m^3/s),
- R_g είναι η εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία και
- K_c ο συντελεστής απώλειας θερμότητας του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου.

Αν υποθέσουμε (ένα πρώτο βήμα υπόθεσης πριν μελετηθούν οι διακυμάνσεις της υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο) ότι μόνο η εσωτερική θερμοκρασία του θερμοκηπίου T_{in} παραλλάσσει με το x (μήκος του θερμοκηπίου), η εξίσωση μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$A \frac{d\theta}{dx} + B \theta(x) = C \quad (3.2)$$

Όπου:

$$\theta = (T - T_{ext}), \quad (3.3)$$

ενώ A , B και C είναι σταθεροί όροι οι οποίοι που ορίζονται ως εξής:

$$A = D \rho C_p \quad B = K_c L \quad C = [\alpha(1 - \alpha) R_g - \beta D_{sat,in}] L$$

Η λύση της εξίσωσης μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\theta(x) = \theta_0 \exp[-Bx/A] + C/B \quad (3.4)$$

$$\text{όπου } \theta_0 = (T_{pad} - T_{ext} - C/B) \quad (3.5)$$

Σύμφωνα λοιπόν με την παραπάνω εξίσωση που δόθηκε για την μεταβολή της θερμοκρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου η θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο βαθμιαία αυξάνει ανάλογα με την απόσταση x και τείνει σε μια ασύμπτωτη τιμή για πολύ μεγάλες τιμές του x . Η ασυμπτωτική τιμή της θερμοκρασίας εξαρτάται μόνο από τους δύο παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου δηλαδή από την ηλιακή ακτινοβολία και από το συντελεστή απωλειών θερμότητας του υλικού κάλυψης.

•3.3.2 Διακύμανση της υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο

Ο αέρας που αφήνει την υγρή παρειά δεν είναι κορεσμένος σε υδρατμούς. Επιπλέον η θερμοκρασία του αυξάνει βαθμιαία κατά μήκος του θερμοκηπίου και μειώνεται η σχετική του υγρασία, επιτρέποντας μια επιπλέον αύξηση της υγρασίας του. Τα πρόσθετα ποσά υγρασίας προέρχονται λόγω της εξατμισοδιαπνοής ETR μέσα στο θερμοκήπιο:

$$ETR = \alpha R_{in} + \beta D_{sat,in} \quad (3.6)$$

Όπου

$$D_{sat,in} = p_{sat,in} - p_{v,in} = (w_{sat,in} - w_{in})/\gamma \quad (3.7)$$

(γ είναι η ψυχομετρική σταθερά)

ETR είναι ο πραγματικός ρυθμός εξάτμισης που εδώ εκφράζεται σε $H_2O/m_2/sec$ και α , β οι χαρακτηριστικοί συντελεστές της καλλιέργειας που εξαρτώνται από την φυλλική επιφάνεια και από τη φυσιολογική κατάσταση των φυτών (άνοιγμα των στομάτων).

Η εξίσωση για την διακύμανση της εσωτερικής υγρασίας w_{in} είναι της μορφής:

$$D \rho \frac{dw_{in}}{dx} = L \cdot ETR \cdot dx = L[\alpha \cdot R_{in} + \beta(w_{sat,in} - w_{in})/\gamma] dx \quad (3.8)$$

ή

$$A \frac{d(w_{sat,in} - w_{in})}{dx} + B(w_{sat,in} - w_{in}) = C \quad (3.9)$$

η λύση ως προς την εσωτερική υγρασία w_{in} δίνει:

$$w_{in} = w_{sat,in} + (w_{pad} - w_{sat,in} - C/B) \exp[-Bx/A] + C/B \quad (3.10)$$

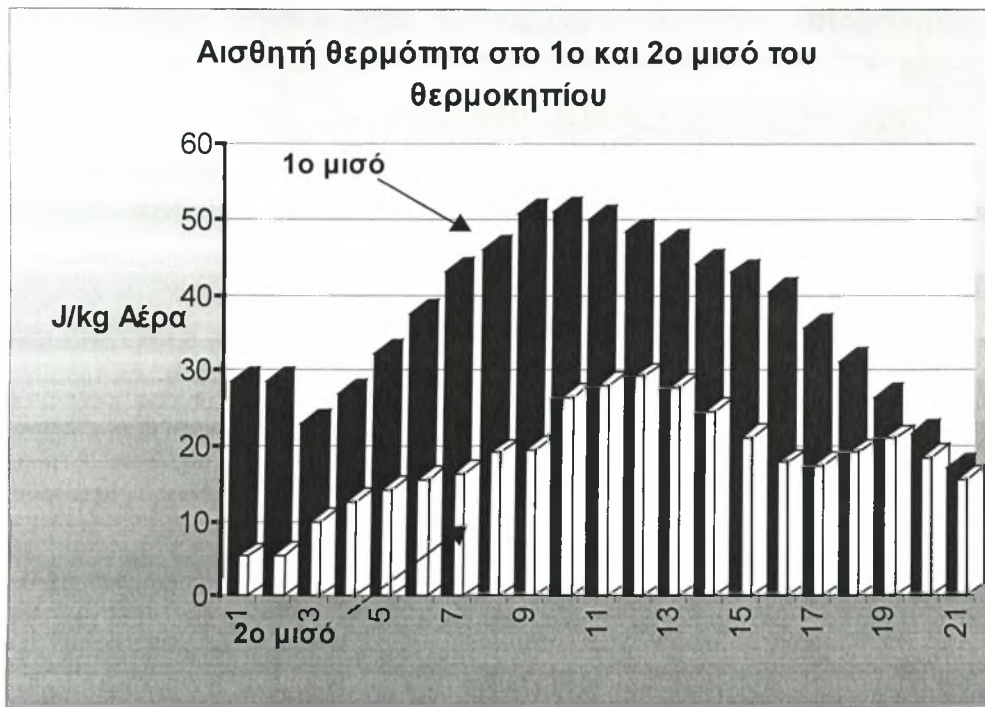
Η επίλυση της εξίσωσης ως προς την υγρασία w συνήθως συμπεριφέρεται με τρόπο ανάλογο με την επίλυση της εξίσωσης για την διακύμανση της θερμοκρασίας. Σε γενικές γραμμές είναι μια αυξανόμενη συνάρτηση του x (μήκος θερμοκηπίου) η οποία για μεγάλες τιμές του x είναι ασυμπτωτική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

Αποτελέσματα - Συζήτηση

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η διερεύνηση της επίδρασης ενός συστήματος ψύξης με βρεγμένη παρειά και προοδευτική σκίαση στις κατανομές της θερμοκρασίας και της υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Καθώς ο αέρας κινείται από την βρεγμένη παρειά προς τους ανεμιστήρες η ενθαλπία του αυξάνεται λόγω των ανταλλαγών αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας με τα φυτά. Οι ανταλλαγές αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα διαφορετικές κατανομές για την θερμοκρασία και την υγρασία κατά μήκος του θερμοκηπίου. Η διακύμανση της θερμοκρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου είναι δύσκολο να προβλεφθεί λόγω των πολλών μεταβλητών που την επηρεάζουν. Για το συγκεκριμένο θερμοκήπιο και με βάση τις πειραματικές μετρήσεις βρέθηκε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας στο πρώτο μισό του θερμοκηπίου είναι διπλάσια από την ανάλογη στο δεύτερο μισό. Η αύξηση αυτή φαίνεται στο σχήμα 10 εκφρασμένη ως μεταφορά αισθητής θερμότητας κατά μήκος της κίνησης του αέρα (από την παρειά προς τους ανεμιστήρες) μέσα στο θερμοκήπιο. Όπως φαίνεται από το σχήμα 10 η αύξηση στο πρώτο μισό είναι διπλάσια από ότι αυτή στο δεύτερο μισό.



Σχήμα 10. Μεταφορά αισθητής θερμότητας στο πρώτο και δεύτερο μισό του θερμοκηπίου.

Ο εισερχόμενος από την επιφάνεια της παρειάς αέρας δεν είναι κορεσμένος σε υδρατμούς. Επιπλέον η θερμοκρασία του αυξάνει βαθμιαία κατά μήκος του θερμοκηπίου και μειώνεται η σχετική του υγρασία, επιτρέποντας επιπλέον αύξηση της υγρασίας του. Τα πρόσθετα ποσά υγρασίας προέρχονται από την εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας μέσα στο θερμοκήπιο.

Αν η επιφανειακή θερμοκρασία του εδάφους και των φυτών είναι μικρότερη από το σημείο δρόσου, η διαδικασία αντιστρέφεται και εμφανίζεται συμπύκνωση που οδηγεί σε μια μείωση της

υγρασίας. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί το πρωί (από τις 10:00 ως τις 12:30) στο πρώτο μισό του θερμοκηπίου (σχήμα 11). Ξανά, εμφανίζεται το απόγευμα (μετά τις 17:00) σ' ολόκληρο το θερμοκήπιο, καθώς το έδαφος ψύχεται λόγω θερμικής αγωγιμότητας κάτω από το σημείο δρόσου. Η διαδικασία αυτή συμπύκνωσης των υδρατμών στην επιφάνεια του εδάφους στο πρώτο μισό του θερμοκηπίου συνεισφέρει επίσης στην αύξηση της θερμοκρασίας στο πρώτο μισό, όπως ελέγχθη παραπάνω.



Σχήμα 11. Μεταφορά υδρατμών στα δύο μισά του θερμοκηπίου.

Η διερεύνηση των κατανομών θερμοκρασίας και υγρασίας σε ένα θερμοκήπιο εξοπλισμένο με σύστημα βρεγμένης παρειάς και προοδευτική σκίαση έδειξε ότι κάτω από ξηροθερμικές συνθήκες το σύστημα της βρεγμένης παρειάς είναι αρκετά αποτελεσματικό ακόμη και χωρίς την χρήση σκίασης.

Αξιοσημείωτο ήταν το γεγονός ότι στο σύστημα ψύξης ήταν αποδοτικό για ένα θερμοκήπιο μήκους 60m. Όμως οι κατανομές της θερμοκρασίας και υγρασίας έδειξαν ότι δημιουργούνται συμπυκνώσεις στην επιφάνεια του εδάφους στο πρώτο μισό του θερμοκηπίου καθώς και ελάχιστη αύξηση της θερμοκρασίας στο δεύτερο μισό.

Ενδιαφέρον θα ήταν η πιστοποίηση των παραπάνω αποτελεσμάτων με το αναλυτικό μοντέλο το οποίο προτείνεται στο προηγούμενο κεφάλαιο και προβλέπει τις διαβαθμίσεις της θερμοκρασίας και υγρασίας κατά μήκος του θερμοκηπίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Baille A., 1988 "GREENHOUSE MICROCLIMATE AND ITS MANAGEMENT IN MILD WINTER CLIMATES", *Symposium ISHS on "Protected ornamental cultivation in mild winter climate"*, Tenerife Oct. 1988.
- Breuer J.J.G., Knies P., 1995,"VENTILATION AND COOLING" από το βιβλίο"GREENHOUSE CLIMATE CONTROL" των J.C. Bakker, H. Challa, G.P.A. Bot, N.J. Van de Braak, p: 181-185
- Brun R. and Lagier J., 1985, "A NEW GREENHOUSE STRUCTURE ADAPTED TO THE MEDITERRANEAN GROWING CONDITIONS" *Acta Horticulture*, 170, p: 34-46
- Chandra Pitam, Singh J.K., Majumdar G., 1999," PREDICTION OF THE COOLING PAD TEMPERATURE IN A FAN-PAD COOLING SYSTEM USED IN GREENHOUSES", *XI International Congress on the use of Plastics in Agriculture*, p: 41-48
- Chiapale J.P., Van Bavel C.H.M., Sadler E.J., 1983, "COMPARISON OF CALCULATED AND MEASURED PERFORMANCE OF A FLUID ROOF AND A STANDARD GREENHOUSE" *Energy in Agriculture*, 2, p: 75-89
- Cohen Y., Stanhill G., Fuchs M., 1983, "AN EXPERIMENTAL COMPARISON OF EVAPORATIVE COOLING IN A NATURALLY VENTILATED GLASSHOUSE DUE TO WETTING THE OUTER ROOF AND INNER CROP SOIL SURFACES" *Agricultural Meteorology*, 28, p: 238-251.
- Ευσταθιάδης Θ.Σ., 1987, "ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ:ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ, ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ" p: 72-85.
- Giacomelli G.A. 1993, "EVAPORATIVE COOLING FOR TEMPERATURE CONTROL AND UNIFORMITY" *Cooling systems for greenhouses International Workshop, AGRITECH, Tel Aviv, Israel, 2-6 May 1993* p: 69-79
- Grafiadellis M., Kyritsis S., 1978, "NEW DEVELOPMENTS IN SHADING PLASTIC GREENHOUSES" *Acta Horticulture*, 76, p: 365-368
- Hottel H.C., 1976, "A SIMPLE MODEL FOR ESTIMATING THE TRANSMITTANCE OF DIRECT SOLAR RADIATION" *Solar Energy*, 18, 129.
- Kittas C., 1986, "THE RESPONSE OF A GREENHOUSE TO CLIMATE FEATURES AS A TOOL TO ITS EQUIPMENT DESIGN" *Int. J. of Energy Research*, 11, p: 531-540
- Kittas C., Boulard T., Papadakis G., 1997, "NATURAL VENTILATION OF A GREENHOUSE WITH RIDGE AND SIDE OPENINGS; SENSITIVITY TO TEMPERATURE AND WIND EFFECTS" *Transactions of the A.S.A.E.*, 40 (2) p: 415-425

- Kittas C., Draoui B. and Boulard T., 1995, "QUANTIFICATION DU TAUX D'AÉRATION D'UNE SERRE À OUVRANT CONTINU EN TOITURE" *Agric. Forest Meteorology*, 69, p: 205-221
- Κίττας Κ., Παπαδάκης Γ., Μπαρτζάνας Θ. 1999, "ΨΥΞΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ" *ΓΕΩΡΓΙΑ-Κτηνοτροφία* 6, p: 23-31
- Μαυρογιαννόπουλος Γ.Ν., 1990, "ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ: ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ-ΥΛΙΚΑ-ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ-ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ" p: 225-227, 252-258.
- Montero J.I., Anton A., Beil C., and Franquet A., 1990, "COOLING OF GREENHOUSES WITH COMPRESSED AIR FOGGING NOZZLES" *Acta Horticulture*, 281, p: 199-209
- Montero J.I. and Sevilla A. 1992, "INNOVATIVE GREENHOUSE DESIGN FOR WARM SUMMER CLIMATES" *Proceedings of the European Seminar "Thermie"*, Heraklion, Greece, 12-14 Nov. 1992.
- Nell T.A., Leonard R. T., Barrett J.E., Whealy C.A., Larson R.A. 1988, "HEAT-TOLERANT MUM VARIETIES" *Greenhouse Manager*, March, 1988, p: 74-78.
- Nelson Paul V. 1991, "Greenhouse summer cooling systems" από το βιβλίο "GREENHOUSE OPERATION AND MANAGEMENT", 4th edition, Reston Pub Co. (Prentice Hall), Reston, VA. , p: 140-154
- Simmons J.D., Lott B.D., 1996, "EVAPORATIVE COOLING PERFORMANCE RESULTING FROM CHANGES IN WATER TEMPERATURE", *American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 12 (4) p: 497-500.
- Timmons M.B., Baughman F., 1983, "EXPERIMENTAL EVALUATION OF POULTRY MIST-FOG SYSTEMS" *Transactions of the A.S.A.E.*, 26 p: 207-210
- Whealy C.A., Nell T.A., Barrett J.E., Larson R.A. 1985, "DON'T LET HEAT DELAY YOUR MUMS" *Greenhouse Manager*, Aug 1985, p: 103-108
- Willits D.H., Peet M.M. 1993, "THE EFFECT OF EVAPORATIVE COOLING ON THE EFFICIENCY OF EXTERNAL GREENHOUSE SHADE CLOTHS". *Presented at the 1993 International Summer Meeting, Paper No: 93-4042*, Spokane Center, Spokane, Washington, 20-23 June, 1993 *American Society of Agricultural Engineers*, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085-9659 USA.

