

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Πρωτ. 172

4-7-2007

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ
ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΕΠΙΔΕΙΚΤΙΚΟΥ ΑΜΦΙΚΛΕΙΝΟΥΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ
ΥΠΟ ΚΛΙΜΑΚΑ**

**ΜΕ ΤΡΙΜΕΛΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΟΥΣ:
Καθηγητή Κ. Κίττα (επιβλέποντα)
Καθηγητή Θ. Γέμτος (μέλος)
Λέκτορα Ν. Κατσούλα (μέλος)**

ΚΑΡΑΘΑΝΑΣΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΒΟΛΟΣ 2007



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

Αριθ. Εισ.: 5939/1
Ημερ. Εισ.: 11-10-2007
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΦΠΑΠ
2007
ΚΑΡ

Περιεχόμενα

Περίληψη της εργασίας	1
Κεφάλαιο 1^ο: Το θερμοκήπιο	2
1.1. Ιστορική εξέλιξη του θερμοκηπίου	2
1.2. Ο ρόλος του θερμοκηπίου	4
1.3. Το θερμοκήπιο και το φυσικό περιβάλλον	6
1.4. Το περιβάλλον του θερμοκηπίου	8
1.4.1. Θερμοκρασία	9
1.4.2. Σχετική υγρασία	13
1.4.3. Ακτινοβολία	17
1.4.4. Διοξείδιο του άνθρακα	18
1.5. Τεχνικές προδιαγραφές θερμοκηπίων	18
1.5.1. Βασικοί τύποι θερμοκηπίων σε σχέση με το σχήμα της κατασκευαστικής μονάδας	18
1.5.1.1. Αμφίρρικτο	19
1.5.1.1.1. Αμφίρρικτο απλό	19
1.5.1.1.2. Αμφίρρικτο πολλαπλό	19
1.5.1.2. Τοξωτό	20
1.5.1.2.1. Τοξωτό απλό	20
1.5.1.3. Τροποποιημένο τοξωτό	20
1.5.1.3.1. Τροποποιημένο τοξωτό απλό	21
1.5.1.3.2. Τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό	21
1.5.2. Βασικοί τύποι θερμοκηπίων σε σχέση με τον τρόπο κατασκευής τους	22
1.5.2.1. Χωρικού τύπου	22
1.5.2.2. Τυποποιημένα	22
Κεφάλαιο 2^ο: Σκελετός θερμοκηπίου	23
2.1. Σκελετός	23
2.1.1. Το ξύλο ως υλικό κατασκευής	23
2.1.2. Το μέταλλο ως υλικό κατασκευής	24
2.2. Ο σκελετός του θερμοκηπίου	24
2.2.1. Τα στοιχεία του σκελετού	24
2.3. Υλικά κατασκευής σκελετών θερμοκηπίου	26
2.3.1. Ξυλεία	26
2.3.1.1. Τυποποιημένα θερμοκήπια	26
2.3.1.2. Χωρικού τύπου θερμοκήπια	27
2.3.2. Μέταλλα	27

Περιεχόμενα

Περίληψη της εργασίας	1
Κεφάλαιο 1^ο: Το θερμοκήπιο	2
1.1. Ιστορική εξέλιξη του θερμοκηπίου	2
1.2. Ο ρόλος του θερμοκηπίου	4
1.3. Το θερμοκήπιο και το φυσικό περιβάλλον	6
1.4. Το περιβάλλον του θερμοκηπίου	8
1.4.1. Θερμοκρασία	9
1.4.2. Σχετική υγρασία	13
1.4.3. Ακτινοβολία	17
1.4.4. Διοξείδιο του άνθρακα	18
1.5. Τεχνικές προδιαγραφές θερμοκηπίων	18
1.5.1. Βασικοί τύποι θερμοκηπίων σε σχέση με το σχήμα της κατασκευαστικής μονάδας	18
1.5.1.1. Αμφίρρικτο	19
1.5.1.1.1. Αμφίρρικτο απλό	19
1.5.1.1.2. Αμφίρρικτο πολλαπλό	19
1.5.1.2. Τοξωτό	20
1.5.1.2.1. Τοξωτό απλό	20
1.5.1.3. Τροποποιημένο τοξωτό	20
1.5.1.3.1. Τροποποιημένο τοξωτό απλό	21
1.5.1.3.2. Τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό	21
1.5.2. Βασικοί τύποι θερμοκηπίων σε σχέση με τον τρόπο κατασκευής τους	22
1.5.2.1. Χωρικού τύπου	22
1.5.2.2. Τυποποιημένα	22
Κεφάλαιο 2^ο: Σκελετός θερμοκηπίου	23
2.1. Σκελετός	23
2.1.1. Το ξύλο ως υλικό κατασκευής	23
2.1.2. Το μέταλλο ως υλικό κατασκευής	24
2.2. Ο σκελετός του θερμοκηπίου	24
2.2.1. Τα στοιχεία του σκελετού	24
2.3. Υλικά κατασκευής σκελετών θερμοκηπίου	26
2.3.1. Ξυλεία	26
2.3.1.1. Τυποποιημένα θερμοκήπια	26
2.3.1.2. Χωρικού τύπου θερμοκήπια	27
2.3.2. Μέταλλα	27

2.3.2.1. Τυποποιημένα θερμοκήπια	27
2.3.2.2. Χωρικού τύπου θερμοκήπια	27
2.3.3. Αλουμίνιο	27
2.4. Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων	28
2.4.1. Το γυαλί ως υλικό κάλυψης	28
2.4.2. Το πλαστικό ως υλικό κάλυψης	29
2.4.3. Υλικά κάλυψης με επιλεκτική περατότητα στο φως	30
2.4.4. Προδιαγραφές υλικών κάλυψης	32
2.4.4.1. Τζάμι	32
2.4.4.2. Σκληρά πλαστικά	32
2.4.4.3. Φύλλα πλαστικά	32
2.4.5. Οικονομική θεώρηση των υλικών κάλυψης	32
Κεφάλαιο 3^ο: Αερισμός και θέρμανση του θερμοκηπίου	34
3.1. Γενικά για τον αερισμό	34
3.2. Αερισμός	34
3.2.1. Υπολογισμός των απαιτήσεων σε αερισμό	35
3.3. Αερισμός θερμοκηπίων	37
3.3.1. Φυσικός αερισμός	37
3.3.1.1. Εκτίμηση Φυσικού Αερισμού	38
3.3.1.2. Μετρήσεις	39
3.3.1.3. Υπολογισμός ανοιγμάτων αερισμού	39
3.3.2. Χωρικού τύπου θερμοκήπια	40
3.3.3. Τυποποιημένα θερμοκήπια	40
3.3.4. Δυναμικός αερισμός	42
3.3.4.1. Υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής αερισμού	43
3.3.4.2. Απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων	43
3.3.4.3. Απαιτούμενη επιφάνεια ανοιγμάτων	44
3.3.4.4. Απαιτούμενη ισχύς ανεμιστήρων	44
3.3.5. Δυναμικός αερισμός και υγρό τοίχωμα	44
3.3.5.1. Υπολογισμός μιας τυπικής εγκατάστασης ψύξεως του θερμοκηπίου με ανεμιστήρα και υγρό τοίχωμα	48
3.6. Θέρμανση θερμοκηπίων	51
3.6.1. Εισαγωγικά για τον υπολογισμό αναγκών θέρμανσης	51
3.6.2. Υπολογισμός αναγκών θέρμανσης	51
Κεφάλαιο 4^ο: Υλικά και Μέθοδοι	55
4.1. Περιοχή πραγματοποίησης του πειράματος και επικρατούσες συνθήκες	55

4.2. Πείραμα	55
4.3. Φυσικός αερισμός	57
4.3.1. Δυνάμεις που επενεργούν στη λειτουργία του	57
4.3.2. Κατανομή και έκταση των ανοιγμάτων αερισμού	58
4.3.3. Υπολογισμός του πλάτους του ανοίγματος	59
4.4. Δυναμικός αερισμός	60
4.4.1. Υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής αερισμού	62
4.4.2. Διαστάσεις της παρειάς	63
4.5. Θέρμανση θερμοκηπίου	63
4.5.1. Υπολογισμός αναγκών θέρμανσης	63
4.5.2. Συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων	64
Κεφάλαιο 5^ο: Πειραματικό μέρος – Αποτελέσματα	68
Βιβλιογραφία	71
Ευρετήριο Πινάκων	73
Ευρετήριο Σχημάτων	73
Ευρετήριο Φωτογραφιών	73

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ ιδιαίτερα τον κ. Κωνσταντίνο Κίττα, Καθηγητή της Σχολής Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο γνωστικό αντικείμενο καθώς και τον κ. Νικόλαο Κατσούλα, Λέκτορα της Σχολής Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την καθοδήγηση και την επιστημονική υποστήριξη που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας διατριβής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Θεοφάνη Γέμτο, Καθηγητή Γεωργικής Μηχανολογίας της Σχολής Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, που μου παρείχε τον απαραίτητο εξοπλισμό για την εκπόνηση του πειράματος.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον κ. Γεώργιο Δημόκα, Υποψήφιο Διδάκτορα της Σχολής Γεωπονίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για την καθοριστική συμβολή του στην ολοκλήρωση της πτυχιακής αυτής εργασίας.

Περίληψη της εργασίας

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες στη χώρα μας βρίσκονται σε συνεχή ανάπτυξη. Η σπουδαιότητα των θερμοκηπίων στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων έγκειται στη δυνατότητα τροποποίησης ή ρύθμισης πολλών από τους παράγοντες του περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Η ακρίβεια με την οποία ρυθμίζεται το περιβάλλον ανάπτυξης των φυτών στο θερμοκήπιο προσδιορίζεται από τη σωστή κατασκευή, τον κατάλληλο εξοπλισμό και την ικανότητα του καλλιεργητή να χειριστεί και να καταναείμει τα διάφορα εφόδια.

Στην παρούσα διατριβή δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην κατασκευή και τον εξοπλισμό του θερμοκηπίου σαν παράγοντες επίδρασης στο κλίμα του θερμοκηπίου.

Με βάση τα παραπάνω, στο πλαίσιο των δραστηριοτήτων του Εργαστηρίου Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ένα μοντέλο θερμοκηπίου για τη μελέτη:

1. του φυσικού αερισμού του θερμοκηπίου
2. του δυναμικού αερισμού του θερμοκηπίου με ανεμιστήρες και
3. της θέρμανσης του θερμοκηπίου με θερμοδυναμικό τρόπο.

Έγιναν οι απαιτούμενες μετρήσεις σε κάθε περίπτωση, προκειμένου να εξακριβωθεί η απόδοση της κατασκευής του μοντέλου.

Τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά και εφαρμόσιμα.

Κεφάλαιο 1^ο: Το θερμοκήπιο

1.1. Ιστορική εξέλιξη του θερμοκηπίου

Οι πρώτες αναφορές που έχουμε για την ύπαρξη θερμοκηπίων είναι από την εποχή του Πλάτωνα τον 5^ο αιώνα π.Χ., ο οποίος αναφέρει ότι σε ειδικές λατρευτικές εκδηλώσεις που αναφέρονται ως οι «Κήποι του Άδωνη», αναπτύσσονταν φυτά με ταχύτατους ρυθμούς μέσα σε ειδικούς χώρους. Στην Πομπηία βρέθηκαν μεγάλες κατασκευές, οι οποίες όπως φαίνεται καλύπτονταν από ένα είδος πρωτόγονου γυαλιού. Εκεί τοποθετούνταν τα δοχεία με τα φυτά πάνω σε τραπέζια τα οποία ήταν διάτρητα και από την κάτω μεριά τους υπήρχε η δυνατότητα να τοποθετηθούν αναμμένα κάρβουνα έτσι ώστε να ζεσταθούν τα φυτά.

Κατά τη διάρκεια του Μεσαίωνα τα θερμοκήπια φαίνεται να είναι άγνωστα και εμφανίζονται ως καλλιεργητικό εργαλείο στις αρχές του 16^{ου} αιώνα, όταν οι σχέσεις που συνάφθηκαν ανάμεσα σε Ευρώπη και τροπικές χώρες οδήγησαν στην κατασκευή «χειμωνιάτικων κήπων» στα σπίτια των εύπορων. Ο σκοπός αυτών των «χειμωνιάτικων κήπων» ήταν η προσαρμογή των φυτών που προέρχονταν από τις τροπικές χώρες, τα οποία πέρα από το βοτανικό και φαρμακευτικό ενδιαφέρον που παρουσίαζαν, άρχισαν να χρησιμοποιούνται από τους αριστοκράτες της Βόρειας Ευρώπης και ως φυτά διακόσμησης αλλά και παραγωγής. Κατά το 17^ο αιώνα η μόδα του «χειμωνιάτικου κήπου» εξαπλώθηκε σε πολλές χώρες της Ευρώπης και κυρίως στη Γαλλία.

Η εξέλιξη στον «χειμωνιάτικο κήπο» μέχρι τις αρχές του 20^{ου} αιώνα ήταν μικρές, συγκρινόμενες με την αλματώδη πρόοδο που συντελέστηκε κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα. Ιδιαίτερη πρόοδος παρουσιάστηκε στα θερμοκήπια με την ανάπτυξη της βιομηχανίας γυαλιού. Τότε εμφανίστηκαν τα μικρά γυάλινα πλαίσια, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν από τους παραγωγούς των μεγάλων πόλεων τη Βόρειας Ευρώπης σαν μέσο για την επιμήκυνση της περιόδου παραγωγής και τροφοδοσίας της αγοράς.

Με την πάροδο του χρόνου παρουσιάστηκε περαιτέρω ανάπτυξη των θερμοκηπίων και από τα μικρά αυτά πλαίσια με βάση από ξύλινα κουτιά

περάσαμε στη δημιουργία πιο ψηλών γυάλινων κατασκευών, που αποτέλεσαν τους προδρόμους των σύγχρονων θερμοκηπίων. Σημαντική ώθηση στην εξέλιξη των θερμοκηπίων έδωσε η χρησιμοποίηση νέων υλικών για την κατασκευή του σκελετού, όπως το γαλβανισμένο σίδηρο και το αλουμίνιο. Η επαναστατική αλλαγή, όμως, είναι στα υλικά κάλυψης, όπου εκτός από το γυαλί χρησιμοποιούνται τα σκληρά αλλά και τα εύκαμπτα φύλλα πλαστικού.

Τα θερμοκήπια στην αρχή της εμφάνισής τους χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο στις βόρειες χώρες και γενικά σε περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες. Για το λόγο αυτό στα μέσα της δεκαετίας του '50 άρχισε να χρησιμοποιείται και η θέρμανση των θερμοκηπίων ως καλλιεργητική τεχνική.

Το κλίμα και η λογική που είχε αναπτυχθεί γύρω από τη χρήση του θερμοκηπίου ήταν αυτό που εμπόδισε την εξάπλωσή του και στις νοτιότερες, πιο θερμές μεσογειακές χώρες.

Κύριος λόγος για την εξέλιξη αυτή είναι ότι οι ανάγκες σε θέρμανση των θερμοκηπίων στη Μεσογειακή λεκάνη είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με τη βόρεια Ευρώπη, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών. Έτσι, η αλματώδης αύξηση του κόστους παραγωγής είχε μικρότερο αντίκτυπο στους παραγωγούς της Μεσογείου. Επιπλέον, η κατασκευή των θερμοκηπίων από πλαστικά φύλλα πολυαιθυλενίου (PE), που είναι πιο ελαφρά και ευκολόχρηστα, οι καλύτερες συνθήκες φωτισμού που επικρατούν στις νότιες περιοχές και τα φτηνά εργατικά χέρια, είναι από τους βασικότερους παράγοντες που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην αναπροσαρμογή των εκτάσεων υπό κάλυψη στο βορρά και στο νότο.

Το κύριο μέλημα στην εξέλιξη του θερμοκηπίου ήταν η μείωση του κόστους παραγωγής, έτσι ώστε να αντισταθμιστεί το αυξανόμενο κόστος για την παραγωγή ενέργειας. Έτσι, από τη μία μεριά άρχισαν να κατασκευάζονται θερμοκήπια πολύ πιο ελαφρά και με πολύ μειωμένο κόστος παραγωγής, ενώ από την άλλη δεν είχε υπάρξει ενδιαφέρον ούτε είχε γίνει κάποια μελέτη για τις απώλειες ενέργειας που παρουσίαζαν, με αποτέλεσμα να αυξηθεί το κόστος λειτουργίας τους. Το κυριότερο πρόβλημα που παρουσιάστηκε ήταν η έλλειψη στεγανότητας των κατασκευών, οι οποίες οδηγούσαν σε απώλειες θερμότητας και κατ' επέκταση σε άσκοπη κατανάλωση ενέργειας από τα συστήματα

θέρμανσης και ψύξης, στην προσπάθειά τους να διατηρήσουν στα επιθυμητά επίπεδα τις συνθήκες που επικρατούσαν μέσα στο θερμοκήπιο.

Τα πρώτα μέτρα που λήφθηκαν για την αντιμετώπιση του προβλήματος ήταν η βελτίωση της στεγανότητας των κατασκευών και των αγωγών προσαγωγής και η ρύθμιση των καυστήρων. Γρήγορα όμως φάνηκε πως αυτές οι ενέργειες δεν ήταν ικανές να λύσουν το πρόβλημα του υψηλού κόστους λειτουργίας του θερμοκηπίου και έπρεπε να ληφθούν πιο δραστικά μέτρα, όπως (Κίττας, Κ., 2000):

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

1.2. Ο ρόλος του θερμοκηπίου

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

Τα θερμοκήπια μπορεί να είναι εξοπλισμένα με συμβατικό σύστημα θέρμανσης ή όχι.

Επίσης το θερμοκήπιο προσφέρει προστασία των εργαζομένων μέσα σε αυτό από τις αντίξοες καιρικές συνθήκες.

Η χρησιμοποίηση των θερμοκηπίων στην παραγωγή γεωργικών προϊόντων είναι η τροποποίηση ή η ρύθμιση πολλών από τους παράγοντες του περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Με το θερμοκήπιο γενικά:

- Αποφεύγονται ζημιές από αέρα, βροχή, χιόνι και χαλάζι.

- Ανάλογα με τον εξοπλισμό του, παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της κόμης των φυτών, όπως: της ακτινοβολίας, της θερμότητας, της υγρασίας και του CO₂, με αρκετή ακρίβεια.
- Υπάρχει ρύθμιση των παραγόντων του περιβάλλοντος της ρίζας των φυτών, όπως: της υγρασίας, του οξυγόνου, της θερμότητας, των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων και του pH, ώστε με τη χρήση κατάλληλων εδαφικών υποστρωμάτων ή υδροπονικών καλλιεργειών να ικανοποιήσουν 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.

Όταν σε θερμοκήπια γίνεται μόνο μια απλή τροποποίηση του περιβάλλοντος μόνο με την κατασκευή του χωρίς εξοπλισμό, επιτυγχάνεται συνήθως:

- Πρώιμη ή όψιμη παραγωγή φυτικών προϊόντων και
- Αποφυγή ζημιών στα φυτά και την παραγωγή από αέρα, βροχή, χαλάζι κ.λπ.

Σε θερμοκήπια με ρύθμιση των παραγόντων του περιβάλλοντος με εξειδικευμένο εξοπλισμό μπορεί να επιτευχθεί:

- Χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής σε τακτή ημερομηνία, ανεξάρτητα των καιρικών συνθηκών.
- Αύξηση της παραγωγής αλλά και βελτίωση της ποιότητας
- Επιπλέον, ένα σύγχρονο θερμοκήπιο δίνει παραγωγή προϊόντων με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Όλα τα παραπάνω επιτυγχάνονται με

- σωστή κατασκευή,
- κατάλληλο εξοπλισμό, και
- την ικανότητα του καλλιεργητή να χειριστεί και να καταναείμει τα διαθέσιμα εφόδια.

1.3. Το θερμοκήπιο και το φυσικό περιβάλλον

Η κύρια διαφορά μεταξύ φυσικών οικοσυστημάτων και γεωργίας είναι ότι στη γεωργία υπάρχει διαχείριση, έστω και σε μικρό βαθμό. Σε μερικά δε γεωργικά συστήματα, όπως τα θερμοκήπια, η διαχείρισή τους (καλλιέργεια) είναι πιο εντατική από άλλα. Η εντατική διαχείριση, όταν γίνεται αλόγιστα, μπορεί να επιβαρύνει σημαντικά το φυσικό περιβάλλον, η εκλογικευμένη όμως διαχείριση και ο σεβασμός στην αειφόρο αξιοποίηση των φυσικών πόρων ελαχιστοποιεί την επιβάρυνση.

Οι σημαντικότερες επιπτώσεις της χρήσης του θερμοκηπίου στο φυσικό περιβάλλον θα μπορούσε να λεχθεί ότι είναι οι παρακάτω:

- Αισθητική τοποθέτηση του θερμοκηπίου στο φυσικό τοπίο
- Διάθεση των χρησιμοποιημένων υλικών κάλυψης του θερμοκηπίου
- Αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στην ατμόσφαιρα
- Υπερβολική χρήση λιπασμάτων
- Υπερβολική χρήση φυτοφαρμάκων

Γενικά, ο σεβασμός στο φυσικό περιβάλλον επιβάλλει να επικρατεί η αειφορική αντίληψη σε όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες και στην παραγωγή του θερμοκηπίου. Αυτό προϋποθέτει ότι:

- Η παραγωγή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουν προτεραιότητα η υγεία των εργαζομένων, των ανθρώπων που ζουν κοντά στην επιχείρηση και των καταναλωτών των παραγόμενων προϊόντων.
- Η ολοκληρωμένη καταπολέμηση των φυτασθενειών και εχθρών, με τη σταδιακή μείωση μέχρι την ελαχιστοποίηση των χρησιμοποιούμενων αγροχημικών, είναι διαρκής στόχος.
- Εφαρμόζονται όλοι οι τρόποι εξοικονόμησης νερού και προστασίας των πηγών που εξασφαλίζουν μακρόχρονη τροφοδοσία με καλής ποιότητας νερό.
- Η διαχείριση του εδάφους γίνεται με τρόπο που εξασφαλίζει τη διατήρησή του, την υγεία του, την ποιότητά του και την παραγωγικότητά του μακροχρόνια.

- Αναπτύσσονται και εφαρμόζονται όλοι οι τρόποι ανακύκλωσης και ασφαλούς διάθεσης των αποβλήτων της επιχείρησης και ορθολογική αξιοποίηση των υποπροϊόντων.
- Εφαρμόζονται όλοι οι τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας στην επιχείρηση και γίνεται συνεχής προσπάθεια για σταδιακή αντικατάσταση της ενέργειας των συμβατικών καυσίμων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Όλες οι δραστηριότητες της επιχείρησης σχεδιάζονται σύμφωνα με τις υφιστάμενες τεχνικές, οικονομικές, κοινωνικές και περιβαλλοντικές καταστάσεις, με στόχο την αειφορία.
- Λαμβάνονται όλα τα μέτρα για την προστασία της βιοποικιλότητας και ιδιαίτερα των επαπειλούμενων ειδών.
- Προωθείται η διατήρηση και η ανάκαμψη του οικοσυστήματος.
- Η επιχείρηση συνεισφέρει στην κοινωνική και οικονομική ευημερία και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των εργαζομένων και των οικογενειών τους.
- Αναπτύσσονται καλές σχέσεις με το κοινωνικό περιβάλλον, με τη δημιουργία οικονομικού και κοινωνικού οφέλους στην τοπική κοινωνία, με σεβασμό στον τοπικό πολιτισμό.

Στην κοινή γνώμη έχει επικρατήσει η εντύπωση ότι τα βρώσιμα προϊόντα θερμοκηπίου δεν είναι τόσο νόστιμα όσο αυτά που καλλιεργούνται υπαίθρια, γιατί είναι περισσότερο επιβαρυνμένα με τους συντελεστές της παραγωγής. Αυτό δεν είναι αληθές ως γενικός κανόνας, γιατί η εντατική παραγωγή δεν είναι προνόμιο μόνο του θερμοκηπίου, γίνεται και στις υπαίθριες αρδευόμενες καλλιέργειες. Στα σύγχρονα δε θερμοκήπια με ρυθμιζόμενο περιβάλλον παραγωγής, ίσως χρησιμοποιούνται λιγότερα λιπάσματα, φυτοφάρμακα κ.λπ. ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος απ' ό,τι στις υπαίθριες καλλιέργειες. Η διαφορά στη γεύση οφείλεται κυρίως στη διαφορετική εποχή της παραγωγής ή στις διαφορετικές ποικιλίες που χρησιμοποιούνται. Η παραγόμενη τομάτα του χειμώνα π.χ. δεν είναι δυνατόν να έχει την ίδια γεύση με αυτή του καλοκαιριού, γιατί απλούστατα η ηλιακή ακτινοβολία την εποχή αυτή είναι πολύ μικρότερη και επομένως τα σάκχαρα (και οι συντιθέμενες από αυτά άλλες οργανικές ουσίες) που παράγονται με τη φωτοσύνθεση του φυτού, είναι σε πολύ μικρότερες

ποσότητες την εποχή αυτή. Συγκρίνοντας υπαίθρια και θερμοκηπιακά προϊόντα που παράγονται την ίδια εποχή, δεν παρατηρείται καμία αισθητή διαφορά.

1.4. Το περιβάλλον του θερμοκηπίου

Η ανάπτυξη και παραγωγή ενός φυτού εξαρτώνται από γενότυπό του, δηλαδή το είδος και την ποικιλία ή το υβρίδιο, καθώς και από το περιβάλλον μέσα στο οποίο θα αναπτυχθεί.

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

Για ένα συγκεκριμένο γενότυπο υπάρχει πάντα ένα βέλτιστο περιβάλλον, το οποίο επιτρέπει στους χαρακτήρες του φυτού που προσδιορίζονται από το γενότυπό του να αναπτυχθούν στον καλύτερο δυνατό βαθμό. Οπωσδήποτε, η ανάπτυξη των χαρακτήρων του φυτού θα πρέπει να είναι προς την επιθυμητή κατεύθυνση, γι' αυτό το βέλτιστο περιβάλλον διαφέρει ανάλογα με το σκοπό της καλλιέργειας. Αν με την καλλιέργεια επιδιώκεται η παραγωγή καλλωπιστικών φυτών γλάστρας, τότε το βέλτιστο περιβάλλον αποσκοπεί στη μέγιστη ταχύτητα ανάπτυξης της κόμης και την καλή ποιότητά της (εμφάνιση), αν επιδιώκεται η παραγωγή καρπών τότε αποσκοπεί στο μέγιστο της παραγωγής καρπών (ποιοτικά και ποσοτικά) και σε όλες τις περιπτώσεις με το μικρότερο δυνατό κόστος.

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

1. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού, που επιτελούνται κυρίως στο υπέργειο μέρος του και είναι κυρίως η ακτινοβολία, η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία, το διοξείδιο του άνθρακα και οι μικροοργανισμοί.
2. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού που επιτελούνται στη ρίζα και είναι κυρίως η θερμοκρασία της ρίζας, η υγρασία, το οξυγόνο και τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία.

Το περιβάλλον της κόμης επηρεάζεται από το χώρο του θερμοκηπίου, ενώ αυτό της ρίζα από το έδαφος του θερμοκηπίου, τα υποστρώματα καλλιέργειας ή τα συστήματα υδροπονικών καλλιεργειών που τυχόν χρησιμοποιούνται.

Για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής δεν αρκεί η ρύθμιση καθενός από τους παράγοντες του περιβάλλοντος σ' ένα συγκεκριμένο άριστο σημείο, αλλά απαιτείται η ρύθμιση καθενός σε συνδυασμό με το επίπεδο όλων των άλλων παραγόντων. Έτσι, στη ρύθμιση της θερμοκρασίας της κόμης κατά τη διάρκεια της ημέρας, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η επικρατούσα ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η σχετική υγρασία αλλά και η θερμοκρασία του εδάφους, διαφορετικά το αποτέλεσμα μπορεί να είναι δυσμενές για την παραγωγή.

Παρακάτω αναλύονται κάποιοι από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών στο θερμοκήπιο.

1.4.1. Θερμοκρασία

Όλη σχεδόν η θερμότητα πάνω στη γη προέρχεται από τον ήλιο. Η ακτινοβολούμενη από τον ήλιο ενέργεια φτάνει στο έδαφος και τη βλάστηση, όπου ένα μικρό μέρος ανακλάται και το υπόλοιπο μετατρέπεται σε θερμότητα. 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 αλλά έμμεσα από την επιφάνεια της γης.

Ένα σώμα πάνω στη γη απορροφά 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.

Ειδικότερα, η ηλιακή που δέχεται 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 και την κλίση του
- Το χρώμα του

Η μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους μια συγκεκριμένη στιγμή εξαρτάται από:

- Το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφά
- Τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους, που επηρεάζονται από τα φυσικά συστατικά του (άργιλος, άμμος κ.λπ.)
- Τη θερμοχωρητικότητά του, που κυρίως καθορίζεται από την ποσότητα νερού και αέρα που περιέχει
- Την απαιτούμενη ενέργεια για τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτό, όπως εξάτμιση κ.λπ.
- Σημαντική επίσης επίδραση στη θερμοκρασία του εδάφους έχει και η βροχή ή η άρδευση. Η θερμοκρασία του νερού που προορίζεται για πότισμα μπορεί να μεταβάλλει σημαντικά τη θερμοκρασία του εδάφους στην περιοχή του ριζοστρώματος.

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

Ο ατμοσφαιρικός αέρας απορροφά ελάχιστη από τη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία που εκπέμπει η γη. Απορρόφηση γίνεται κυρίως από τους υδρατμούς και το CO₂. 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 ασυνέφιαστης νύχτας με άπνοια, γίνεται βαρύτερος και καταρρακιδά στις χαμηλότερες λεκάνες του ανάγλυφου της περιοχής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι λεκάνες αυτές να διατηρούν για

μακρύτερο χρονικό διάστημα χαμηλές θερμοκρασίες και γι' αυτό καλά είναι να αποφεύγονται για την εγκατάσταση θερμοκηπίων.

Ο ρυθμός πτώσης της θερμοκρασίας ενός θερμοκηπίου εξαρτάται από:

- Τη θερμοκρασία του
- Την έκταση της επιφάνειάς του
- Τη θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου
- Το ισοζύγιο ακτινοβολίας

Το ισοζύγιο ακτινοβολίας σ' ένα συγκεκριμένο τόπο και χρόνο επηρεάζεται από:

- Τη θερμοκρασία του θερμοκηπίου και αυτής του γύρω χώρου
- Το ποσοστό νεφώσεως και υγρασίας της ατμόσφαιρας
- Τα χαρακτηριστικά της επιφάνειάς του
- Το ανάγλυφο της περιοχής που βρίσκεται ή την ύπαρξη άλλων σωμάτων

Η θερμοκρασία των φυτών στο χώρο του θερμοκηπίου καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα, από την ακτινοβολία που δέχονται ή εκπέμπουν, από τη θερμοχωρητικότητά τους και από τη λανθάνουσα θερμότητα που χάνουν ή δέχονται λόγω εξάτμισης (διαπνοής) ή συμπύκνωσης των υδρατμών.

Τα φυτά, με το υπέργειο μέρος τους δέχονται κατά τη διάρκεια της ημέρας την ηλιακή ακτινοβολία. Ένα μέρος της ανακλάται, περίπου 20%, ένα μικρό μέρος της χρησιμοποιείται για φωτοσύνθεση (μικρότερο από 10%), ενώ το υπόλοιπο αυξάνει τη θερμότητά τους. Ο μηχανισμός της αντίδρασης των φυτών στην αύξηση της θερμοκρασίας τους είναι η ένταση της λειτουργίας της διαπνοής.

Τα φυτά, επίσης, όπως όλα τα σώματα που έχουν μια θερμοκρασία, ακτινοβολούν θερμότητα στο διάστημα, με αποτέλεσμα να ψύχονται τα ίδια, αλλά και να συμβάλλουν στην πτώση της θερμοκρασίας του αέρα που τα περιβάλλει. Αυτό συχνά έχει ως αποτέλεσμα τις νύχτες με άπνοια και καθαρό ουρανό η θερμοκρασία των φυτών να είναι χαμηλότερη από αυτή του αέρα, με αποτέλεσμα να έχουμε συμπύκνωση υγρασίας πάνω σ' αυτά.

Η θερμοκρασία είναι ο παράγοντας που έχει την πιο πολύπλοκη επίδραση στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, γιατί επηρεάζει σχεδόν

όλες τις λειτουργίες του φυτού όπως: φωτοσύνθεση, αναπνοή, διαπνοή, μεταφορά και κατανομή των μεταβολιτών. Πιθανόν, δε, να επηρεάζει για μεγάλο διάστημα χρόνο και όχι μόνο στιγμιαία τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτά.

Όσον αφορά τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης, εξαιρώντας τις ακραίες τιμές θερμοκρασίας που μπορούν να βλάψουν τις βιολογικές δομές, τα θερμικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος επεμβαίνουν στην ένταση της φωτοσύνθεσης και αυτό συμβαίνει όσο ο φωτισμός δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Για ασθενείς φωτισμούς, μια άνοδος της θερμοκρασίας δεν έχει σχεδόν καμία επίδραση στην ένταση της φωτοσύνθεσης, ενώ η ένταση μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά, εάν ο φωτισμός είναι έντονος. Πάνω σ' αυτή την αρχή βασίζεται και η προσαρμογή των χαρακτηριστικών θερμοκρασιών, που καθορίζονται με θερμοστάτες στα θερμοκήπια.

Η αναπνοή περιγράφεται με την αντίστροφη εξίσωση από αυτή που περιγράφει τη φωτοσύνθεση. Πρόκειται, δηλαδή, για οξειδωση των υδατανθράκων. Η καθαρή αφομοιωτική δράση, είναι η συνισταμένη δύο ανταγωνιστικών διαδικασιών, της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής. Το φαινόμενο αυτό είναι πολύ ευαίσθητο στις μεταβολές της θερμοκρασίας και υπάρχει μια άριστη θερμοκρασία, πέρα από την οποία η καθαρή αφομοίωση ελαττώνεται. Παρ' όλα αυτά, στη θερμοκηπιακή πρακτική αναζητώνται θερμοκρασίες σχετικά υψηλές, για βελτίωση της πρωιμότητας, έστω και αν οι αποδόσεις μειώνονται.

Επιπλέον, με την αύξηση της θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται η διαπνοή. Σε υψηλές όμως θερμοκρασίες, όπως το μεσημέρι, η διαπνοή ελαττώνεται.

Οι θερμοκρασιακές μεταβολές επιφέρουν σημαντικές τροποποιήσεις στα φαινόμενα κυκλοφορίας του νερού στο επίπεδο του ριζικού συστήματος. Η υδατοκατανάλωση γενικά περιορίζεται αισθητά σε περιπτώσεις μείωσης της θερμοκρασίας του εδάφους. Αυτή η άμεση επίδραση οφείλεται κυρίως στην αύξηση των αντιστάσεων στην κίνηση του νερού μέσα στη ρίζα και σε μείωση της μεταβολικής δραστηριότητας των ριζικών ιστών.

Επίσης, η θερμοκρασία είναι ο παράγοντας που έχει τη μεγαλύτερη επίπτωση στο κόστος της παραγωγής στο θερμοκήπιο.

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

Όταν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία των επιφανειών μέσα στο θερμοκήπιο, αυξάνει περισσότερο από αυτή των αντίστοιχων επιφανειών εκτός θερμοκηπίου, γιατί ακριβώς ο αέρας γύρω τους είναι σχεδόν ακίνητος, οπότε ο ρυθμός ψύξης τους με συναγωγή είναι συγκριτικά μικρότερους. Άμεση συνέπεια είναι να αυξάνει και η θερμοκρασία του εγκλωβισμένου αέρα του θερμοκηπίου, αφού έρχεται σε επαφή με τις επιφάνειες αυτές. Σε αυτή την αιτία που δημιουργείται από το 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 «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί και περνάει κατά το μεγαλύτερο μέρος από το κάλυμμα του θερμοκηπίου και οι επιφάνειες του εσωτερικού του απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία. 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 κάλυμμά του και ιδιαίτερα το γυαλί είναι λιγότερο περατό στη θερμική ακτινοβολία.

1.4.2. Σχετική υγρασία

Ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του υπέργειου μέρους των φυτών είναι η υγρασία που περιέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας στη φυσική του κατάσταση είναι μίγμα αερίων, κυρίως οξυγόνου, αζώτου, διοξειδίου του άνθρακα και 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.

Την ποσότητα των υδρατμών (g m^{-3}) που περιέχει ο αέρας σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση την ονομάζουμε **πυκνότητα υδρατμών ή απόλυτη υγρασία**. Όσο υψηλότερη θερμοκρασία έχει ο αέρας, τόσο μεγαλύτερη ποσότητα μπορεί να συγκρατήσει, γιατί αυξάνει η κινητική ενέργεια των μορίων του. Ειδική υγρασία ονομάζουμε τον λόγο των υδρατμών προς τη μάζα του υγρού αέρα ($\text{g}_{\text{υδρ.}} \text{G}_{\text{α.}}^{-1}$).

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

Θερμοκρασία σημείου δρόσου είναι η θερμοκρασία στην οποία ο αέρας όταν ψυχθεί, χωρίς να μεταβληθεί η περιεκτικότητά του σε υδρατμούς, γίνεται κορεσμένος.

Σχετική υγρασία λέμε το λόγο της πυκνότητας των υδρατμών του αέρα προς αυτή του κορεσμένου αέρα, στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Η σχετική υγρασία εκφράζεται επί τοις εκατό. Η σχετική υγρασία είναι 0 για τον ξηρό αέρα και 100 για τον κορεσμένο.

Σε αέρα μιας συγκεκριμένης θερμοκρασίας, όσο αυξάνει η περιεκτικότητα σε υδρατμούς (χωρίς να μεταβάλλεται η θερμοκρασία του) τόσο η θερμοκρασία του σημείου δρόσου πλησιάζει προς αυτή του αέρα.

Όσο χαμηλώνει η θερμοκρασία του αέρα που περιέχει μια συγκεκριμένη ποσότητα υδρατμών, τόσο η θερμοκρασία του σημείου δρόσου πλησιάζει προς αυτή του αέρα, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει όταν αυξάνει η θερμοκρασία του.

Όσο η θερμοκρασία του σημείου δρόσου είναι πλησιέστερη προς τη θερμοκρασία του αέρα σ' ένα χώρο, τόσο υψηλότερη είναι η σχετική υγρασία και τόσο αυξάνει η πιθανότητα (με μια μικρή μείωση της θερμοκρασίας ή αύξηση της υγρασίας του χώρου) ο αέρας να καταστεί κορεσμένος και να συμπυκνωθούν οι υδρατμοί που περιέχει. Η συμπύκνωση αρχίζει να γίνεται επάνω στις επιφάνειες του χώρου που αποκτούν χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτή του αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται ή με τη μείωση της περιεκτικότητας του αέρα

σε υδρατμούς, είτε με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και των επιφανειών της κατασκευής ή και των δύο μαζί.

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

Οι μεταβολές της υγρασίας επηρεάζουν επίσης σημαντικά τη μεταφορά ενέργειας στο χώρο του θερμοκηπίου. Οπουδήποτε γίνεται αλλαγή φάσης του νερού και συνδυάζεται με φαινόμενα μεταφοράς, μπορούν να μεταφερθούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας από ή προς μια επιφάνεια.

Η εξάτμιση 1 cm^3 νερού από μια επιφάνεια 1 cm^2 απορροφά περίπου 2,5 KJ, περίπου την ενέργεια που προσφέρεται σε 1 cm^2 επιφάνειας από τον ήλιο μια λαμπερή μέρα του καλοκαιριού. Όταν το νερό συμπυκνώνεται σε μια επιφάνεια, απελευθερώνει περίπου 2,5 KJ θερμότητα ανά γραμμάριο νερού. Η προσθήκη της ενέργειας που γίνεται από τη συμπύκνωση των υδρατμών σε διάφορες επιφάνειες του θερμοκηπίου, συχνά προστατεύει από την πτώση της θερμοκρασίας πολύ κάτω από το σημείο δρόσου.

Η πυκνότητα των υδρατμών στο χώρο του θερμοκηπίου είναι μεγαλύτερη κατά τη διάρκεια της ημέρας, γιατί τότε ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής είναι μεγαλύτερος από τη νύχτα, η σχετική υγρασία είναι όμως μικρότερη κατά τη διάρκεια της ημέρας, γιατί τότε η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη και συνήθως λειτουργεί ο αερισμός.

Στο χώρο γύρω από τα φυτά επιδιώκουμε η σχετική υγρασία να μην είναι ούτε πολύ υψηλή, διότι ευνοείται η ανάπτυξη πολλών μυκητολογικών και βακτηριολογικών ασθενειών των φυτών καθώς και η επιβίωση πολλών αυγών και νυμφών εντόμων, αλλά ούτε πολύ χαμηλή γιατί τότε αυξάνεται υπερβολικά η διαπνοή από τα φύλλα των φυτών και ακόμη ευνοείται η ανάπτυξη ακάρεων.

Ο πολύ υψηλός ρυθμός της διαπνοής έχει συχνά αποτέλεσμα τη μάρανση των φυτών γιατί η ρίζα δεν μπορεί να τροφοδοτεί με τον ανάλογο ρυθμό νερό. Μάρανση των φύλλων σημαίνει κλείσιμο των στομάτων, επομένως περιορισμό της διαπνοής αλλά και της ροής του CO_2 , που καταλήγει σε σταμάτημα της φωτοσύνθεσης.

Στο θερμοκήπιο όλοι οι παράγοντες που ευνοούν τη διαπνοή ενεργούν ταυτόχρονα το μεσημέρι, διότι τότε τα φύλλα έχουν την υψηλότερη θερμοκρασία, ο αέρας έχει τη χαμηλότερη σχετική υγρασία και ταυτόχρονα υπάρχει έντονη κίνηση του αέρα, διότι τα παράθυρα είναι ανοιχτά. Κατά τη διάρκεια των θερμών ωρών, επομένως, πολύ συχνά υπάρχει ανάγκη να αυξηθεί η υγρασία στο χώρο του θερμοκηπίου.

Τρόποι με τους οποίους αυξάνεται η υγρασία του χώρου είναι:

- Βρέξιμο των διαδρόμων και των πλευρικών τοιχωμάτων του θερμοκηπίου.
- Ψεκασμός νερού πάνω από τα φυτά με πολύ μικρές σταγόνες, που επιτυγχάνεται με σύστημα υδρονέφωσης υψηλής πίεσης. Η εξάτμιση του νερού μέσα στο θερμοκήπιο όχι μόνο αυξάνει τη σχετική υγρασία, αλλά ψύχει και το χώρο.
- Κλείσιμο των παραθύρων ή παύση λειτουργίας των ανεμιστήρων, ώστε η υγρασία που διαπνέουν τα φυτά ή που εξατμίζεται από το έδαφος, να παραμένει μέσα στο θερμοκήπιο. Ο τρόπος, όμως, αυτός σπάνια μπορεί να εφαρμοστεί, διότι αν η ηλιακή ενέργεια που μπαίνει στο θερμοκήπιο είναι πολύ μεγάλη, θα δημιουργηθεί γρήγορα πρόβλημα υψηλών θερμοκρασιών.

Οι συνθήκες που ευνοούν την υπερβολική υγρασία ενεργούν επίσης ταυτόχρονα μέσα στο θερμοκήπιο. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, οπότε ψύχεται ο αέρας, η σχετική υγρασία αυξάνει και επειδή δεν υπάρχει σημαντικός αερισμός (τα παράθυρα κατά τη νύχτα είναι κλειστά), η υγρασία στο χώρο του θερμοκηπίου αυξάνει συνεχώς.

Τρόποι για τη μείωση της υγρασίας είναι:

- Κατά τη διάρκεια του χειμώνα θα πρέπει το νερό να χρησιμοποιείται με φειδώ, ώστε να μην υπάρχει υπερβολική υγρασία στο έδαφος ή στην επιφάνεια των φυτών.
- Να μη γίνεται ψεκασμός τους εδάφους ή των φυτών τις ώρες που η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή. Γενικά, καλό είναι να μην γίνονται το χειμώνα ψεκασμοί κατά το απόγευμα ή αργά το βράδυ, διότι τη νύχτα η σχετική υγρασία θα αυξηθεί υπερβολικά.
- Να γίνεται αερισμός όταν επικρατεί υψηλή σχετικά υγρασία. Στα θερμαινόμενα θερμοκήπια, ακόμη και με κρύο καιρό, όταν η σχετική υγρασία

είναι υπερβολικά υψηλή μέσα στο θερμοκήπιο, είναι αναγκαίο να ανοιχτούν τα παράθυρα για μικρό χρονικό διάστημα. Έτσι θα βγει ο υγρός αέρας και θα αντικατασταθεί με τον εξωτερικό που λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας έχει μικρότερη πυκνότητα υδρατμών. Όταν ο εξωτερικός αέρας ανακατευτεί με το θερμότερο εσωτερικό, θα αυξήσει τη χωρητικότητά του σε υδρατμούς και θα μειωθεί στο σύνολο η σχετική υγρασία, έστω κι αν χαθεί ένα ποσό θερμότητας, που όμως θα συμπληρώσει το σύστημα θέρμανσης.

1.4.3. Ακτινοβολία

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση των φυτών, καθώς και φυσική πηγή θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου.

Όταν όλοι οι παράγοντες που συμμετέχουν στη φωτοσύνθεση, όπως η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία, το διοξείδιο του άνθρακα, η θερμοκρασία, το νερό κ.ά. βρίσκονται στο άριστο επίπεδο, τότε και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα, άρα και η ανάπτυξη και η παραγωγή των φυτών βρίσκεται στο ανώτερο δυνατό επίπεδο.

Όσον αφορά την ακτινοβολία, ένα στενό φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας είναι απαραίτητο για τη φωτοσύνθεση στα φυτά, το φάσμα της ορατής ακτινοβολίας, το οποίο κυμαίνεται μεταξύ 400-800 nm. Η μέγιστη απορρόφηση από τη χλωροφύλλη και επομένως η μέγιστη φωτοσυνθετική ικανότητα συμβαίνει σε μήκος κύματος 610-700 nm. Το δεύτερο μέγιστο της φωτοσύνθεσης συμβαίνει στο φάσμα των 400-510 nm.

Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια φωτισμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη ενέργεια για τη φωτοσύνθεση.

Για προσδιορισμένες συνθήκες θερμοκρασίας και περιεκτικότητας σε CO₂ μπορούμε να παρατηρήσουμε σε επίπεδο απομονωμένου φύλλου ένα φωτοσυνθετικό κορεσμό πέρα από μια ορισμένη τιμή φωτισμού. Αντίθετα, σε επίπεδο φυτού η αύξηση του φωτισμού, επιτρέποντας τη φωτοσυνθετική λειτουργία μεγαλύτερου αριθμού φύλλων, δεν οδηγεί παρά σε κορεσμό. Οι καλλιεργητικές τεχνικές κατά συνέπεια θα πρέπει να αποβλέπουν στην

εξασφάλιση του μέγιστου φωτισμού του φυλλώματος τουλάχιστον στην περιοχή P.A.R. (φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία). Προκειμένου για θερμοκήπια, η εξασθένιση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας λόγω του υλικού κάλυψης, μπορεί να φτάσει μέχρι 50% και ακόμη περισσότερο σε εξαιρετικές περιπτώσεις. Ο παράγοντας αυτός μπορεί να γίνει περιοριστικός και να επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις.

1.4.4. Διοξείδιο του άνθρακα

Σε φυσικές συνθήκες η ασθενής περιεκτικότητα του αέρα σε CO₂ (0,3_{0/100} κατ' όγκο), μπορεί να γίνει περιοριστικός παράγοντας της φωτοσύνθεσης, κυρίως εάν οι αντιστάσεις στη διάχυση είναι σημαντικές. Τα μέσα επέμβασης περιορίζονται τότε στην αναζήτηση της διαχείρισης των στοματικών ανοιγμάτων, με μια σωστή τροφοδοσία σε νερό.

Σε κλειστό χώρο, αντίθετα, η περιορισμένη αύξηση της περιεκτικότητας του αέρα σε CO₂ (0,1_{0/100}), μπορεί να έχει θετικά και διαρκή αποτελέσματα. Πρόκειται, στην περίπτωση αυτή για την τεχνική της ανθρακολίπανσης.

1.5. Τεχνικές προδιαγραφές θερμοκηπίων

1.5.1. Βασικοί τύποι θερμοκηπίων σε σχέση με το σχήμα της κατασκευαστικής μονάδας

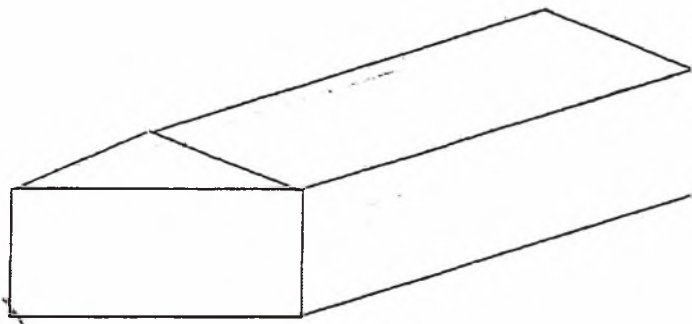
Τα θερμοκήπια διαφέρουν μεταξύ τους από κατασκευαστικής πλευράς στο σχήμα και στις διαστάσεις της βασικής τους μονάδας, καθώς και στα χρησιμοποιούμενα υλικά σκελετού και κάλυψης.

Βασική κατασκευαστική μονάδα ενός θερμοκηπίου είναι το μικρότερο πλήρες τμήμα του, το οποίο επαναλαμβάνόμενο κατά μήκος και κατά πλάτος σχηματίζει το σύνολο.

Ανάλογα με το σχήμα των θερμοκηπίων διακρίνονται οι ακόλουθοι τύποι:

1.5.1.1. Αμφίρρικτο

Ο τύπος αυτός έχει βασικά το πιο κάτω σχήμα.



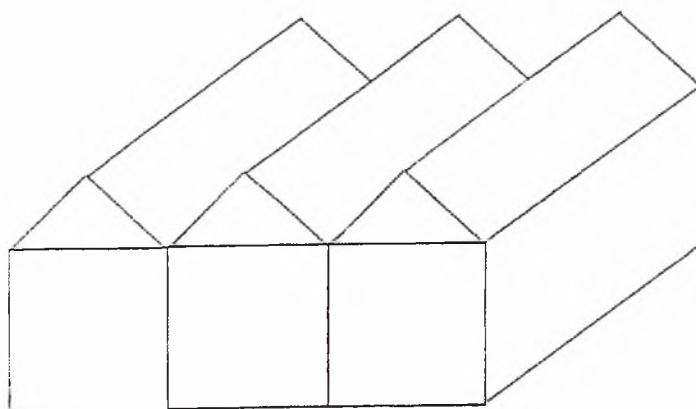
Σχήμα 1: Αμφίρρικτο θερμοκήπιο

1.5.1.1.1. Αμφίρρικτο απλό

Ονομάζεται το θερμοκήπιο που σχηματίζεται με την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας.

1.5.1.1.2. Αμφίρρικτο πολλαπλό

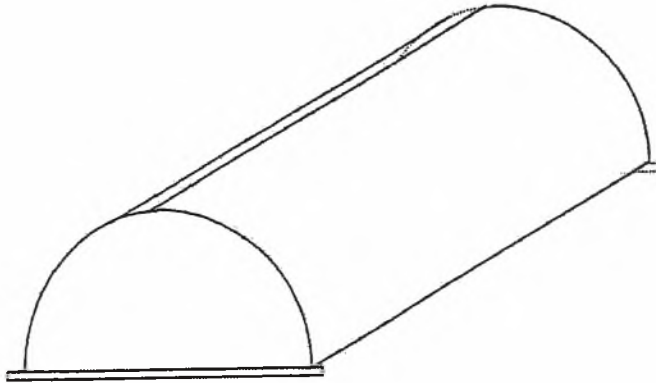
Ονομάζεται το θερμοκήπιο που σχηματίζεται με την κατά μήκος και πλάτος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας.



Σχήμα 2: Αμφίρρικτο πολλαπλό θερμοκήπιο

1.5.1.2. Τοξωτό

Ονομάζεται το θερμοκήπιο που η απλή κατασκευαστική του μονάδα καθορίζεται από δύο συνεχόμενα τόξα και έχει το παρακάτω σχήμα.



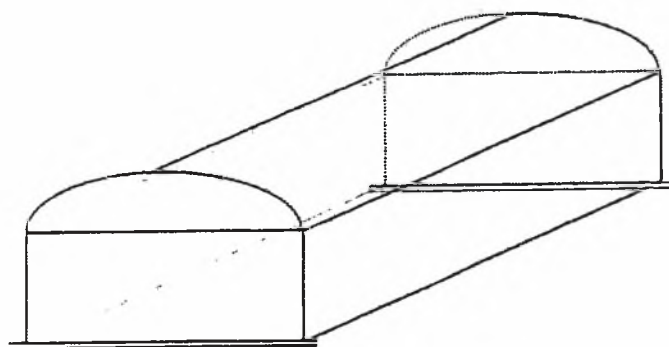
Σχήμα 3: Τοξωτό θερμοκήπιο

1.5.1.2.1. Τοξωτό απλό

Είναι το θερμοκήπιο που σχηματίζεται με την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας.

1.5.1.3. Τροποποιημένο τοξωτό

Ονομάζεται το θερμοκήπιο που η απλή κατασκευαστική μονάδα του έχει το παρακάτω σχήμα (ορθοστάτες και τοξωτή στέγη).



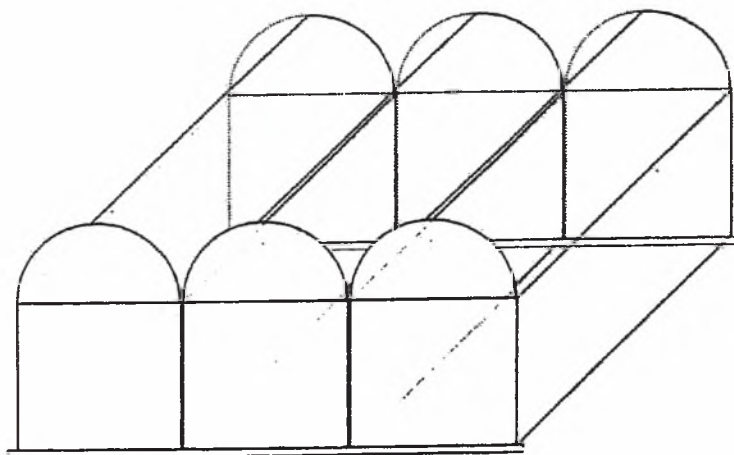
Σχήμα 4: Τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο

1.5.1.3.1. Τροποποιημένο τοξωτό απλό

Είναι το θερμοκήπιο που σχηματίζεται από την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής του μονάδας.

1.5.1.3.2. Τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό

Ονομάζεται το θερμοκήπιο που σχηματίζεται από την κατά μήκος και πλάτος επανάληψη της κατασκευαστικής του μονάδας (σχήμα 5).



Σχήμα 5: Τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό θερμοκήπιο

1.5.2. Βασικοί τύποι θερμοκηπίων σε σχέση με τον τρόπο κατασκευής τους

Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής των θερμοκηπίων, καθορίζονται οι ακόλουθοι τύποι:

1.5.2.1. Χωρικού τύπου

Είναι τα θερμοκήπια που κατασκευάζονται από τους ίδιους τους παραγωγούς

1.5.2.2. Τυποποιημένα

Είναι τα θερμοκήπια που κατασκευάζονται από βιοτεχνίες και βιομηχανίες σε μαζική παραγωγή.

Κεφάλαιο 2^ο: Σκελετός θερμοκηπίου

2.1. Σκελετός

Ο σκελετός του θερμοκηπίου μπορεί να κατασκευαστεί από διάφορα υλικά. Τα συνηθέστερα είναι το ξύλο, ο χάλυβας και το αλουμίνιο. Η προτίμηση του ενός ή του άλλου υλικού εξαρτάται από το επιθυμητό ελεύθερο πλάτος της κατασκευής, το κόστος των υλικών (που διαφέρει σε κάθε περιοχή) και από το μηχανολογικό εξοπλισμό που διαθέτει ο κατασκευαστής.

2.1.1. Το ξύλο ως υλικό κατασκευής

Το ξύλο χρησιμοποιείται συνήθως για την κατασκευή θερμοκηπίων με μικρό ελεύθερο πλάτος κατασκευαστικής μονάδας (κάτω από 6 m.).

Το χαμηλότερο κόστος του ξύλου και οι κλιματικές συνθήκες που συνήθως επιτρέπουν την ανάπτυξη απλών κατασκευών επέδρασαν ώστε τα περισσότερα θερμοκήπια στη χώρα μας να είναι κατασκευασμένα με ξύλινο σκελετό ή με σκελετό από συνδυασμό ξύλου και μετάλλου.

Το ξύλο ως υλικό κατασκευής παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Έχει μικρό κόστος.
- Δε δημιουργεί φθορές στο πλαστικό γιατί δεν υπερθερμαίνεται όπως το μέταλλο.
- Με απλό εξοπλισμό μπορεί ο ίδιος ο καλλιεργητής να το κατασκευάσει.

Έχει όμως και μειονεκτήματα όπως:

- Μικρή μηχανική αντοχή σε σχέση με το μέταλλο.
- Στρέβλωση από την ύγρανση και τη θέρμανση του θερμοκηπίου.
- Προσβάλλεται εύκολα από έντομα, μύκητες και βακτήρια.
- Απαιτούνται μεγάλες διατομές ξύλου και πολλά στοιχεία για τα θερμοκήπια άρα περισσότερη σκίαση.
- Δεν γίνονται στεγανά παράθυρα οροφής με ξύλο.

2.1.2. Το μέταλλο ως υλικό κατασκευής

Άλλος τρόπος κατασκευής του σκελετού των θερμοκηπίων είναι τα μέταλλα. Τα πιο συνήθη είναι ο χάλυβας και το αλουμίνιο.

Ο χάλυβας στην κατασκευή των θερμοκηπίων χρησιμοποιείται εξ ολοκλήρου ή μόνο στα κύρια στοιχεία του σκελετού, ενώ τα υπόλοιπα με αλουμίνιο ή ξύλο.

Το βασικότερο πρόβλημα του χάλυβα είναι η οξείδωση, που οι συνθήκες του θερμοκηπίου ευνοούν ιδιαίτερα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται χάλυβας γαλβανισμένος.

Συνήθως, όμως, στα υαλόφρακτα θερμοκήπια χρησιμοποιείται μαζί με το χάλυβα και αλουμίνιο στα λεπτά στοιχεία του σκελετού, επάνω στα οποία τοποθετούνται οι υαλοπίνακες.

Για τη θεμελίωση του θερμοκηπίου χρησιμοποιείται συνήθως και σκυρόδεμα.

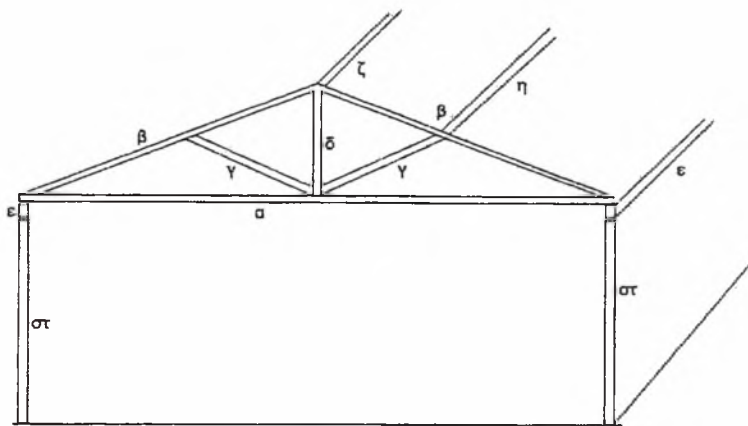
2.2. Ο σκελετός του θερμοκηπίου

2.2.1. Τα στοιχεία του σκελετού

Ο ιστός του σκελετού στα κλασικά θερμοκήπια δημιουργεί το σχήμα και προσφέρει, στο μέγιστο βαθμό, την αντοχή της κατασκευής στις διάφορες καταπονήσεις. Ο σκελετός ενός αμφικλινούς θερμοκηπίου αποτελείται από:

- Τους στύλους ή κολώνες, που είναι τα κατακόρυφα στοιχεία του σκελετού, τα οποία μεταφέρουν άμεσα τα φορτία στα θεμέλια (έδαφος).
- Τα δοκάρια ή μηκίδες, που είναι τα οριζόντια στοιχεία του σκελετού που συνδέουν τους στύλους στο άνω μέρος.
- Τα ζευκτά ή δικτυώματα ή δικτυωτούς δοκούς, που αποτελούν τα στοιχεία του σκελετού της οροφής.
- Τις τεγίδες, που είναι στοιχεία του σκελετού της οροφής, που συνδέουν τα ζευκτά κατά μήκος του θερμοκηπίου.

- Τις επιτεγίδες ή λεπτά σκελετικά στοιχεία, που είναι ειδικής διατομής κατασκευαστικά στοιχεία όπου τοποθετούνται οι υαλοπίνακες στα υαλόφρακτα θερμοκήπια, ή χρησιμοποιούνται στα πλαστικής κάλυψης θερμοκήπια για τη στερέωση του πλαστικού.
- Την υδρορροή που συνδέει δύο κεκλιμένες επιφάνειες της οροφής στη χαμηλότερη πλευρά τους και χρησιμεύει για την παροχέτευση των όμβριων που συγκεντρώνονται στην οροφή. Η υδρορροή αποτελεί ταυτόχρονα και στοιχείο στερέωσης, όπως το δοκάρι.
- Τα αντιανέμια που είναι διαγώνια υποστηρίγματα που συγκρατούν τους στύλους ή τα δοκάρια και την υδρορροή για ενίσχυση της αντίστασης στα φορτία που προκαλεί ο άνεμος.
- Σύνδεσμοι, ράβδοι στερέωσης, βίδες κ.λπ., που συνδέουν και στερεώνουν τα διάφορα στοιχεία του σκελετού.



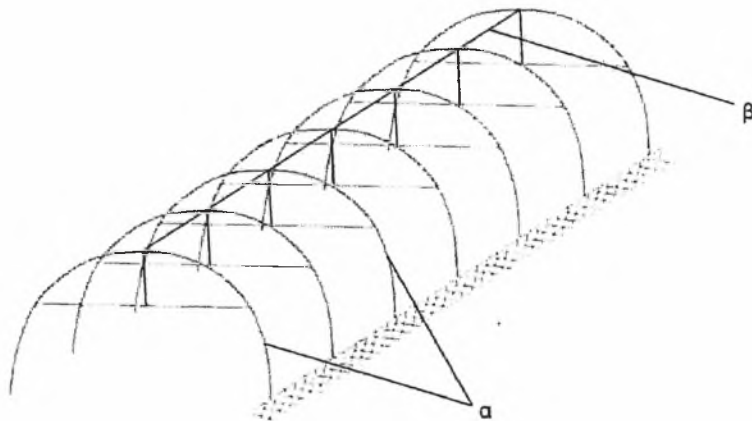
α. ελκυστήρας ή πέλμα, β. ψαλίδα ή αμείβοντες, γ. αντηρίδες ή διαγώνιες,
 δ. ορθοστάτης ή μπαμπάς, ε. δοκάρι ή μηκίδα, στ. στύλος, ζ. κορφιάς, η. τεγίδες
 Το σύνολο α, β, γ, δ αποτελεί το ζευκτό.

Σχήμα 6: Τα βασικά στοιχεία του σκελετού του αμφικλινούς θερμοκηπίου

Ο σκελετός ενός τοξωτού θερμοκηπίου αποτελείται από:

- Τα τόξα που αποτελούν το βασικό σκελετό στην κατασκευή των τοξωτών θερμοκηπίων.

- Τις συνδετικές ράβδους. Είναι τα οριζόντια στοιχεία που συνδέουν τα τόξα στα τοξωτά θερμοκήπια.
- Σύνδεσμοι, ράβδοι στερέωσης, βίδες κ.λπ., που συνδέουν και στερεώνουν τα διάφορα στοιχεία του σκελετού.



α. τόξα, β. συνδετική ράβδος, γ. ορθοστάτης

Σχήμα 7: Τα βασικά στοιχεία του σκελετού τοξωτού θερμοκηπίου

2.3. Υλικά κατασκευής σκελετών θερμοκηπίου

2.3.1. Ξυλεία

Στην περίπτωση χρησιμοποίησης του ξύλου σαν υλικού κατασκευής του σκελετού των θερμοκηπίων ορίζονται τα παρακάτω:

2.3.1.1. Τυποποιημένα θερμοκήπια

Στα ξύλινα τυποποιημένα θερμοκήπια, κρίνεται απαραίτητη η χρησιμοποίηση εμποτισμένης ξυλείας, εκτός από τις περιπτώσεις που δεν χρειάζεται (ξυλεία καστανιάς, ορισμένα είδη αφρικανικής ξυλείας κ.λπ.). Ο εμποτισμός της ξυλείας πρέπει να γίνεται σε όλη τη μάζα του ξύλου, είτε με υποπίεση είτε με τη θερμή μέθοδο και με κατάλληλα συντηρητικά, όπως τα Dowside, Celcure, Tanalith κ.ά., που δεν είναι τοξικά για τα φυτά.

2.3.1.2. Χωρικού τύπου θερμοκήπια

Στα χωρικού τύπου ξύλινα θερμοκήπια συνιστάται η χρήση εμποτισμένης ξυλείας, χωρίς αυτή να είναι υποχρεωτική. Όταν οι στύλοι είναι από ξυλεία καστανιάς, θα πρέπει αυτοί να καίγονται (καψαλίζονται) στο κάτω μέρος που μπαίνει στο έδαφος, μέχρι να σχηματιστεί γύρω στρώμα από κάρβουνο πάχους 0,5 cm.

2.3.2. Μέταλλα

Στην περίπτωση χρησιμοποίησης μετάλλων σαν υλικό κατασκευής του σκελετού των θερμοκηπίων, ορίζονται τα παρακάτω:

2.3.2.1. Τυποποιημένα θερμοκήπια

Στα μεταλλικά τυποποιημένα θερμοκήπια, όλα τα μεταλλικά μέρη του σκελετού θα πρέπει να είναι γαλβανισμένα εν θερμώ ή με την ηλεκτροχημική μέθοδο, σε ποσότητα τουλάχιστον 150g.Zn/m², ύστερα από επιμελημένη αντισκωριακή επεξεργασία όλων των μεταλλικών μερών.

2.3.2.2. Χωρικού τύπου θερμοκήπια

Στα μεταλλικά θερμοκήπια χωρικού τύπου, εφόσον δεν είναι δυνατή η χρησιμοποίηση των προηγούμενων μεθόδων, συνιστάται το ψυχρό γαλβάνισμα των μεταλλικών μερών του σκελετού (πολυεστέρας + ψευδάργυρος).

2.3.3. Αλουμίνιο

Όταν γίνεται χρήση του αλουμινίου σαν υλικού κατασκευής του σκελετού πρέπει να έχει τις κατάλληλες διατομές και να είναι κατάλληλα ανοδιωμένο.

Επίσης, στα σημεία που έρχεται σε επαφή με άλλα μεταλλικά μέρη ή σκυρόδεμα, θα πρέπει να παρεμβάλλεται διαχωριστική μεμβράνη (π.χ. πρισσόχαρτο) για να αποφεύγεται η διάβρωση.

2.4. Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων

Η ποσότητα και η ποιότητα του φωτός που περνάει στο χώρο των φυτών επηρεάζεται πολύ από τις ιδιότητες του διαφανούς υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου.

Ένα καλής ποιότητας υλικό κάλυψης πρέπει να επιτρέπει να διέλθει μέσα από αυτό όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα από τον προσπίπτοντα σ' αυτό φωτισμό και να ευνοεί τη διάχυσή του στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ώστε να υπάρχει ομοιογένεια φωτισμού σ' όλο τον καλυπτόμενο χώρο. Επίσης πρέπει απ' το φυσικό φως να διέρχονται όλα τα μήκη κύματος που είναι αναγκαία για την ανάπτυξη των φυτών.

Γενικά, η επιλογή των διάφορων υλικών για κάλυψη των θερμοκηπίων πρέπει να βασίζεται στις παρακάτω ιδιότητες.

- Περαιτότητα στο φως.
- Μηχανική αντοχή.
- Συνολική θερμοπερατότητα.
- Περαιτότητα στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία.
- Ευαισθησία στη γήρανση.
- Αντίσταση στα χτυπήματα από χαλάζι.
- Μέγεθος της διαφανούς επιφάνειας που μπορεί να κατασκευαστεί.
- Αντίσταση στο σκίσιμο.
- Ευαισθησία στη συγκράτηση της σκόνης.
- Τρόπος συμπύκνωσης της υγρασίας (σε σταγόνες ή σε μεμβράνη).
- Περαιτότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία (U.V. μέχρι 400 nm.).
- Ευαισθησία στις διάφορες χημικές ουσίες.

2.4.1. Το γυαλί ως υλικό κάλυψης

Το γυαλί είναι ανόργανο υλικό προϊόν τήξης, που έχει ψυχθεί και έχει σταθεροποιηθεί χωρίς κρυστάλλωση. Είναι σκληρό και εύθραυστο στην τυπική του μορφή.

Είναι συνήθως διαφανές με υψηλή περαιτότητα στο φως.

Με ειδική διαμόρφωση μπορεί να επιτρέψει το πέρασμα του φωτός και να το διαχέει στο χώρο. Επίσης, παράγεται θολό ή χρωματισμένο. Δεν αλλάζει τις οπτικές του ιδιότητες με την πάροδο του χρόνου.

Έχει υψηλή διατηρησιμότητα και ανθεκτικότητα στις χημικές επιδράσεις και είναι ανακυκλώσιμο υλικό.

2.4.2. Το πλαστικό ως υλικό κάλυψης

Τα πλαστικά υλικά είναι συνθετικά πολυμερή υλικά που αποτελούνται από γιγαντιαία μόρια, στη σύνθεση των οποίων συμμετέχουν χιλιάδες άτομα.

Τα συνθετικά πολυμερή αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια του 20^{ου} αιώνα, στην αρχή με απλή επεξεργασία φυσικών πολυμερών (βαμβάκι, μετάξι) και αργότερα με την ανάπτυξη απολύτως συνθετικών πολυμερών.

Γενικά, οι ιδιότητες των πλαστικών υλικών είναι:

- Επιδεικνύουν ανθεκτικότητα στην ατμοσφαιρική διάβρωση και στη διάβρωση πολλών χημικών αντιδραστηρίων.
- Έχουν αρκετά χαμηλή σχετική πυκνότητα, μερικά μόλις επιπλέουν στο νερό. Τα περισσότερα είναι λίγο πυκνότερα.
- Μεγάλος αριθμός πλαστικών παρουσιάζει πολύ καλή αντοχή στην έλξη σε σχέση με το βάρος τους (αντοχή/βάρος). Η αντοχή των θερμοπλαστικών μειώνεται γρήγορα με την άνοδο της θερμοκρασίας τους.
- Η πλειοψηφία των πλαστικών μαλακώνουν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και ελάχιστα μπορούν να φανούν χρήσιμα για θερμοκρασίες υψηλότερες των 100°C.
- Ένας μεγάλος αριθμός πλαστικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή διαφανών επιφανειών ή φύλλων χωρίς κανένα χρωματισμό, ενώ τα περισσότερα έχουν ευχάριστη εμφάνιση και μπορούν να χρωματιστούν.

Τα πλαστικά φύλλα που χρησιμοποιούνται στην κάλυψη των θερμοκηπίων είναι:

- Εύκαμπτα πλαστικά φύλλα που περιλαμβάνουν: σελλουλόζη, πολυαιθυλένιο (PE), φύλλο EVA, φύλλο πολυβινυλοχλωριδίου (PVC), φύλλο πολυβινυλοφθοριδίου (PVF), φύλλο πολυεστέρα και το ETFE. Το φύλλο

πολυαιθυλενίου είναι το περισσότερο χρησιμοποιούμενο σήμερα στην Ελλάδα και διεθνώς.

- Επίσης χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια και επιφάνειες σκληρού πλαστικού. Σε αυτά ο σκελετός μπορεί να είναι ελαφρύς αλλά και βαρύς σκελετός. Αυτά τα θερμοκήπια κινδυνεύουν περισσότερο από φωτιά απ' ό,τι τα υαλόφρακτα, γι' αυτό εντός αυτών δεν πρέπει να αποθηκεύονται εύφλεκτα υλικά.
- «Ακρυλικές επιφάνειες» είναι ένα άλλο υλικό κάλυψης με μεγάλη διαφάνεια, σκληρότητα και αντοχή. Χρησιμοποιούνται και στη μορφή με διπλά τοιχώματα για τη μείωση των απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου. Αυτά τα φύλλα τα χρησιμοποιούν στα θερμοκήπια καλλωπιστικών, όπου αναπτύσσονται φυτά υψηλών απαιτήσεων.
- Οι πολυανθρακικές επιφάνειες (PC) έχουν άριστες μηχανικές ιδιότητες και μεγάλη αντοχή στα χτυπήματα και στις υψηλές θερμοκρασίες.

Άλλα υλικά είναι: ενισχυμένος πολυεστέρας, σκληρό πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) με χαμηλό κόστος αλλά μικρή ζωή ως προς την περατότητα του φωτός και την αντοχή.

2.4.3. Υλικά κάλυψης με επιλεκτική περατότητα στο φως

Τα υλικά αυτά προέρχονται είτε από τα συνήθη πλαστικά με διάφορα πρόσθετα, για να γίνει αλλαγή των οπτικών χαρακτηριστικών τους (π.χ. μειώνεται η περατότητα σε ορισμένα μήκη κύματος και ενισχύεται η περατότητα σ' ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος του ορατού φωτός), είτε αποτελούν συμπολυμερή σχεδιασμένα για συγκεκριμένες οπτικές ιδιότητες.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις των φυτών, είναι δυνατή η προσαρμογή του θερμοκηπίου, ώστε να εισέρχεται περισσότερη ακτινοβολία ενός καθορισμένου μήκους κύματος για την επίτευξη διαφόρων στόχων.

Τα υλικά αυτά από πειραματισμούς βρέθηκε ότι επιδρούν ποικιλοτρόπως στο περιβάλλον του θερμοκηπίου και την ανάπτυξη των φυτών.

Με τη χρησιμοποίηση πλαστικών φύλλων με περατότητα στη UV-b ακτινοβολία έχει βρεθεί ότι τα φυτά αναπτύσσουν μικρότερα μεσογονάτια

(γινόμενα πιο συμπαγή), τα νεαρά φυτάρια σκληραγωγούνται ταχύτερα (αυξάνοντας τη σύνθεση ανθοκυανινών), ώστε να αντέχουν αργότερα υψηλές εντάσεις ακτινοβολίας και ο χρωματισμός του άνθους είναι πιο έντονος.

Επίσης, τα πλαστικά που επιτρέπουν την είσοδο στο θερμοκήπιο της UV-b ακτινοβολίας ευνοούν την ανάπτυξη των εντόμων (γιατί η ακτινοβολία αυτή διευκολύνει τον προσανατολισμό τους), καθώς και την παραγωγή σπορίων μερικών μυκήτων. Οι ιδιότητες αυτές είναι ευνοϊκές για τα θερμοκήπια στα οποία καλλιεργούνται φυτά που απαιτούν Βομβίνους για επικονίαση, αλλά είναι δυσμενείς για άλλες περιπτώσεις.

Πλαστικά φύλλα που απαγορεύουν την είσοδο στο θερμοκήπιο ακτινοβολίας με μήκος κύματος μικρότερο των 380 nm θεωρούνται ότι εμποδίζουν την ανάπτυξη του Βοτρύτη.

Όταν χρησιμοποιούνται υλικά κάλυψης που δεν έχουν περατότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία (π.χ. πολυανθρακικά), τότε μέσα στο θερμοκήπιο παρουσιάζεται μειωμένη δραστηριότητα των εντόμων.

Πλαστικά φύλλα με φωτοεπιλεκτικά πρόσθετα, που μετατρέπουν την υπεριώδη (UV) ακτινοβολία σε ορατή ακτινοβολία στην περιοχή του κόκκινου, βρέθηκε ότι προάγουν τη φωτοσυνθετική διαδικασία και ευνοούν τη δημιουργία πιο συμπαγών φυτών (γιατί ο λόγος ερυθρού φωτός προς το κοντινό υπέρυθρο από 1, που συνήθως βρίσκεται στο φυσικό φως, αυξάνει).

Με τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένου χρωματισμού στο φύλλο πολυαιθυλενίου, που περιορίζει κάποια μήκη κύματος της ορατής ακτινοβολίας να εισέλθουν στο θερμοκήπιο, παρατηρήθηκε επίσης η απουσία ορισμένων εντόμων από το χώρο του θερμοκηπίου, σε μερικές περιπτώσεις όμως η μείωση του φωτοσυνθετικά ενεργού φωτός στο χώρο του θερμοκηπίου ήταν σημαντική.

Γενικά, τα διάφορα υλικά κάλυψης με επιλεκτική περατότητα μελετώνται σήμερα ερευνητικά, αλλά επειδή τα αποτελέσματα είναι σύνθετα με πολλά θετικά και αρνητικά στοιχεία, εμπορική εφαρμογή έχουν βρει μόνο τα πολυμερή με περατότητα στη UV-b ακτινοβολία, όπως το ETFE και αυτά που με φωτοεπιλεκτικά πρόσθετα μετατρέπουν τη UV ακτινοβολία σε ορατή ακτινοβολία.

2.4.4. Προδιαγραφές υλικών κάλυψης

2.4.4.1. Τζάμι

Το ελάχιστο πάχος του τζαμιού (απλού ή Martele) θα πρέπει να είναι 4 mm. Οι διαστάσεις των τεμαχίων του τζαμιού θα πρέπει να ακολουθούν την παρακάτω αριθμητική σχέση:

$$1.8 \leq \frac{\text{μῆκος}}{\text{πλάτος}} \leq 3$$

2.4.4.2. Σκληρά πλαστικά

Τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων της κατηγορίας αυτής δεν πρέπει να έχουν περατότητα μικρότερη από το 30% της περατότητας του γυαλιού για μια χρονική περίοδο 10 χρόνων κάτω από συνθήκες αγρού.

2.4.4.3. Φύλλα πλαστικά

Τα πλαστικά φύλλα πολυαιθυλενίου θα πρέπει να φέρουν σταθεροποιητή και το πάχος τους στη στέγη του θερμοκηπίου να είναι τουλάχιστον 170 μικρά και στις πλευρές 125 μικρά.

Στα σημεία επαφής των μεταλλικών και ξύλινων μερών του σκελετού με το πλαστικό συνιστάται να βάφεται αυτό (το πλαστικό) με λευκό πλαστικό χρώμα. Συνιστάται, επίσης, όπου είναι δυνατό, να περιορίζονται τα καρφώματα κατά τη στερέωση και να πιάνεται το πλαστικό με θηλύκωμα και συνεχείς κατάλληλους συνδετήρες (κλιπς).

2.4.5. Οικονομική θεώρηση των υλικών κάλυψης

Οι σπουδαιότεροι οικονομικοί παράγοντες τους οποίους λαμβάνουμε υπόψη προκειμένου να επιλέξουμε ένα υλικό κάλυψης θερμοκηπίου είναι:

1. η διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του,



2. το αρχικό κόστος αγοράς και
3. η απαιτούμενη συντήρηση και επισκευή.

Η διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του υλικού κάλυψης δεν είναι πάντα εύκολο να προσδιοριστεί, διότι εξαρτάται από τις συνθήκες χρήσης των υλικών, αλλά και από την ποιότητα του υλικού, η οποία δεν είναι πάντα γνωστή από την αρχή.

Στην περίπτωση των υλικών μεγάλης διάρκειας ζωής θα πρέπει να υπολογίσουμε και το ετήσιο κόστος συντήρησης. Έτσι, για τους υαλοπίνακες το κόστος αυτός αναφέρεται στην αντικατάσταση των θραυσμένων υαλοπινάκων και τον καθαρισμό τους για την απομάκρυνση ακαθαρσιών.

Στην περίπτωση των σκληρών πλαστικών το κόστος αυτό περιλαμβάνει και την επιθεώρηση και αντικατάσταση ορισμένων βιδών ή καρφιών στερεώσεως, το πλύσιμο και το βούρτσισμα για τον καθαρισμό των επιφανειών και για τους πολυεστέρες την ανανέωση της επιφάνειάς τους (εκτός αυτών που έχουν «PVF») με ένα ακρυλικό προϊόν μια φορά ανά 3ετία.

Κεφάλαιο 3^ο: Αερισμός και θέρμανση του θερμοκηπίου

3.1. Γενικά για τον αερισμό

Με το γενικό όρο «αερισμός» του θερμοκηπίου εννοούμε δύο διαφορετικές τεχνικές:

1. την ανάδευση του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου και
2. την ανταλλαγή του θερμού αέρα του θερμοκηπίου με τον εξωτερικό αέρα, που ονομάζεται ειδικότερα αερισμός.

Με την ανάδευση του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου επιδιώκεται η δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών περιβάλλοντος σ' όλο το χώρο του.

Με τον αερισμό (εξάγεται ο αέρας του θερμοκηπίου και εισάγεται φρέσκος από τον εξωτερικό χώρο) επιδιώκεται ο περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο πέρα από το επιθυμητό και η διόρθωση της αναλογίας των διαφόρων συστατικών του αέρα, όπως της συγκέντρωσης των υδρατμών, του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων. Στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας οι ανάγκες για αερισμό γίνονται πολύ μεγάλες από νωρίς την άνοιξη έως και αργά το φθινόπωρο.

Ο ρυθμός και ο τρόπος αερισμού ενός θερμοκηπίου εξαρτώνται από την εποχή. Έτσι, διακρίνουμε τον αερισμό του χειμώνα, του θέρους και της άνοιξης-φθινοπώρου.

3.2. Αερισμός

Κάθε θερμοκήπιο, επειδή καλύπτεται με διαφανές κάλυμμα, δέχεται στο εσωτερικό του το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Γι' αυτό τις ηλιόλουστες ημέρες η θερμοκρασία του αέρα στο χώρο του θερμοκηπίου ανέρχεται σε πολύ υψηλά επίπεδα.

Γενικά, από την προσπίπτουσα ενέργεια εξωτερικά του θερμοκηπίου το 50-80% φθάνει στην καλλιέργεια μέσα στο θερμοκήπιο (ανάλογα με την περατότητα του θερμοκηπίου στη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία) και από

αυτήν τελικά τα φυτά χρησιμοποιούν το 23-85% για την εξατμισοδιαπνοή (ανάλογα με το δείκτη φυλλικής επιφάνειας).

Ειδικότερα, από τις μελέτες που έχουν γίνει, είναι γνωστό ότι η σχέση μεταξύ της ενέργειας που καταναλώνεται για την εξατμισοδιαπνοή και της ενέργειας που δέχονται τα φυτά μέσα στο θερμοκήπιο, ποικίλλει, με μεγάλη συχνότητα στο 0,50 – 0,60.

Τη θερμή περίοδο του έτους μόνο η εξατμισοδιαπνοή δεν είναι αρκετή για να μειώσει σημαντικά τη θερμοκρασία του θερμοκηπίου, διότι η προσπίπτουσα ενέργεια είναι μεγάλη. Είναι απαραίτητος και ο αερισμός.

Ο αερισμός ενός θερμοκηπίου μπορεί να είναι:

- Φυσικός, όταν προκαλείται από διαφορές πιέσεων μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού χώρου, που αναπτύσσονται από φυσικά αίτια. Οι διαφορές πίεσης προκαλούνται από τον άνεμο και από τη διαφορά θερμοκρασίας του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο.
- Δυναμικός, όταν οι διαφορές πιέσεων μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού χώρου του θερμοκηπίου δημιουργούνται με μηχανικά μέσα.

3.2.1. Υπολογισμός των απαιτήσεων σε αερισμό

Ο αερισμός είναι απαραίτητος, όπως προαναφέραμε, για τους εξής λόγους:

- για τη μείωση της υψηλής θερμοκρασίας του χώρου του θερμοκηπίου, που συνήθως συμβαίνει λόγω της μεγάλης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο χώρο του, κατά τη διάρκεια της ημέρας,
- για την εξαγωγή των υδρατμών που διαπνέονται από τα φυτά, και
- για την αντικατάσταση του CO₂ που χρησιμοποιείται στη φωτοσύνθεση.

Η ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι ο πιο απαιτητικός παράγοντας σε αερισμό και γι' αυτό είναι αυτός που καθορίζει και το σχεδιασμό του συστήματος αερισμού του θερμοκηπίου.

Όταν το σύστημα αερισμού μπορεί να καλύψει τις ανάγκες ρύθμισης της θερμοκρασίας του χώρου του θερμοκηπίου τη θερμή περίοδο του έτους, τότε

υπερκαλύπτει τις ανάγκες για εξαγωγή υδρατμών και εισαγωγή διοξειδίου του άνθρακα.

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος του αερισμού για τον έλεγχο της θερμοκρασίας είναι:

- η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας,
- η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα,
- η μέγιστη ανεκτή θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο (κρίσιμη θερμοκρασία, που εξαρτάται από το είδος του φυτού),
- το μέγεθος του θερμοκηπίου,
- τα χαρακτηριστικά (οπτικά και θερμικά) των υλικών κατασκευής του θερμοκηπίου και
- ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής στο χώρο του θερμοκηπίου (έκταση φυλλικής επιφάνειας, σχετική υγρασία του αέρα).

Το ενεργειακό ισοζύγιο ενός εξαεριζόμενου θερμοκηπίου μπορεί να γραφεί, όπως παρακάτω:

$$q_{sr} = q_c + q_i + q_f + q_{ir} + q_v + q_p - q_r \quad [W m^{-2}]$$

όπου: q_{sr} = είναι η ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται μέσα στο θερμοκήπιο $[Wm^{-2}]$

q_c = η θερμότητα που μεταφέρεται μέσω του καλύμματος στον αέρα $[W m^{-2}]$

q_i = η μεταφορά θερμότητας από τις διαφυγές του αέρα (εκτός του αερισμού) $[W m^{-2}]$

q_f = η θερμότητα που άγεται στο έδαφος $[W m^{-2}]$

q_{ir} = η καθαρή θερμική ακτινοβολία

q_v = η θερμότητα που απάγεται με τον αερισμό $[W m^{-2}]$

q_p = η ενέργεια που χρησιμοποιείται στη φωτοσύνθεση $[W m^{-2}]$

q_r = η ενέργεια που προέρχεται από την αναπνοή των φυτών $[Wm^{-2}]$

3.3. Αερισμός θερμοκηπίων

3.3.1. Φυσικός αερισμός

Ο φυσικός αερισμός είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες ρύθμισης του εσωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Η ροή του αέρα, όπως δημιουργείται από τη διαφορά πιέσεων στα ανοίγματα αερισμού ή από τα φαινόμενα άνωσης, ρυθμίζει τα επίπεδα θερμοκρασίας, υγρασίας και συγκέντρωσης του CO₂ στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Ο ρόλος του φυσικού αερισμού είναι ιδιαίτερα κρίσιμος σε θερμοκήπια που δε διαθέτουν εναλλακτικούς τρόπους εξαερισμού. Στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες οι ανάγκες για εξαερισμό είναι μεγάλες από νωρίς την άνοιξη έως αργά το φθινόπωρο. Καθοριστικός είναι ο ρόλος του αερισμού και κατά τη ψυχρή περίοδο του έτους, αφού χρησιμοποιείται για την αφύγρανση των θερμοκηπίων. Η θέση και το σχήμα των ανοιγμάτων αερισμού καθορίζουν ποιοτικά και ποσοτικά τη ροή αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, καθώς και τις ανταλλαγές ενέργειας και μάζας μεταξύ του εσωτερικού περιβάλλοντος και του εξωτερικού αέρα.

Ο φυσικός αερισμός είναι ίσως ο κυριότερος παθητικός μηχανισμός τροποποίησης του μικροκλίματος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Ο φυσικός αερισμός δημιουργείται είτε λόγω της διαφοράς των πιέσεων στα ανοίγματα αερισμού εξαιτίας της επίδρασης του εξωτερικού αέρα (wind effect), είτε λόγω των διαφορών στην πυκνότητα του εσωτερικού του αέρα, που είναι αποτέλεσμα των θερμοκρασιακών διαφορών, εξαιτίας της άνωσης (chimney effect). Η ροή του αέρα, που δημιουργείται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, επιδρά άμεσα τόσο το μικροκλίμα του θερμοκηπίου, μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία, το έλλειμμα κορεσμού και τη συγκέντρωση του CO₂ του αέρα, όσο και στην καλλιέργεια όσον αφορά την επίδραση στην αεροδυναμική αγωγιμότητα, αλλά και έμμεσα στις υπόλοιπες μεταβλητές και στις φυσιολογικές λειτουργίες της καλλιέργειας (θερμοκρασία, έλλειμμα κορεσμού καλλιέργειας-αέρα, στοματική αγωγιμότητα, διαπνοή).

Οι απώλειες υδρατμών, λόγω αερισμού, είναι συνάρτηση του ρυθμού ανανέωσης του αέρα και της διαφοράς περιεκτικότητας του σε υγρασία μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα. Καθώς η περιεκτικότητα του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα μετριοούνται συνήθως ή προσδιορίζονται από μετρήσεις θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας, το πρόβλημα του υπολογισμού της μεταφοράς των υδρατμών λόγω αερισμού ανάγεται στον προσδιορισμό του ρυθμού ανανέωσης του αέρα.

Ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα μπορεί επίσης να υπολογιστεί πειραματικά με τους ακόλουθους τρόπους:

- Τη μέθοδο της φθίνουσας συγκέντρωσης ενός αερίου δείκτη. Ως αέριος δείκτης χρησιμοποιούνται τόσο τεχνητά αέρια, με γνωστές και επιθυμητές ιδιότητες (SF₆, CH₄, CO₂, H₂, N₂O, argon 41 και krypton 85) όσο και αέρια που βρίσκονται ήδη στο περιβάλλον του θερμοκηπίου όπως οι υδρατμοί
- Τη μέτρηση της διαφοράς των πιέσεων στο εσωτερικό και το εξωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου
- Τη χρησιμοποίηση του ισοζυγίου ενέργειας του θερμοκηπίου
- Τη μέτρηση της ταχύτητας του αέρα στα ανοίγματα αερισμού

3.3.1.1. Εκτίμηση Φυσικού Αερισμού

Για ένα θερμοκήπιο εξοπλισμένο μόνο με πλαϊνά ή μόνο με ανοίγματα οροφής, ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα G σε $m^3 s^{-1}$ μπορεί να υπολογιστεί με τη σχέση:

$$G = \frac{A_T}{2} * C_d * \sqrt{\left(2g * \frac{\Delta T}{T_o} * \frac{h}{2} + C_w * u^2\right)}$$

όπου: A_T η επιφάνεια των ανοιγμάτων αερισμού σε m^2 , g η επιτάχυνση της βαρύτητας σε $m^2 s^{-2}$. ΔT η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα σε $^{\circ}C$, T_o η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα σε $^{\circ}C$, h είναι η κάθετη απόσταση μεταξύ του μέσου των ανοιγμάτων οροφής και πλαϊνών σε m , u η ταχύτητα του εξωτερικού αέρα σε ms^{-1} , C_d ο συντελεστής ανεμοφόρτισης και C_w ο συντελεστής ανεμοπίεσης.

Ο υπολογισμός του ρυθμού ανανέωσης του αέρα, σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση λαμβάνει υπόψη την επίδραση τόσο του εξωτερικού αέρα όσο και των φαινομένων άνωσης. Η επίδραση των φαινομένων άνωσης στο ρυθμό ανανέωσης του αέρα είναι σημαντική μόνο σε μικρές ταχύτητες του εξωτερικού αέρα.

Στην περίπτωση αυτή ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα:

$$G = \frac{A_T}{2} * C_d * \sqrt{(C_w * u^2)}$$

Για ένα θερμοκήπιο εξοπλισμένο μόνο με ανοίγματα οροφής, έχει προταθεί την ακόλουθη σχέση:

$$G = \frac{A_T}{2} * C_d * \sqrt{\left(2g * \frac{\Delta T}{T_o} * \frac{h}{4} + C_w * u^2\right)}$$

3.3.1.2. Μετρήσεις

Στην προκειμένη περίπτωση για τη μελέτη του φυσικού αερισμού χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της φθίνουσας συγκέντρωσης ενός αερίου δείκτη. Ως αέριος δείκτης χρησιμοποιήθηκε το CO₂ και τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση ήταν τα εξής:

- Η ταχύτητα του αέρα (u, m s⁻¹) με ανεμόμετρο κυπέλλων (τύπος AN1-UM-3, Delta-T Devices, Cambridge, UK).
- Η διεύθυνση του αέρα (WD °) με ανεμοδείκτη (τύπος WD1-UM3-3, Delta-T Devices, Cambridge, UK).
- Αναλυτής CO₂.

3.3.1.3. Υπολογισμός ανοιγμάτων αερισμού

Για τον υπολογισμό των ανοιγμάτων αερισμού θα μετράται το πραγματικό άνοιγμα δίοδου του αέρα.

3.3.2. Χωρικού τύπου θερμοκήπια

- Θερμοκήπια πλάτους μέχρι 15 m είναι δυνατό να διαθέτουν μόνο πλευρικό αερισμό, με ελάχιστο πλάτος πλευρικών ανοιγμάτων 1,20 m και χρήση μανιβέλας.
- Θερμοκήπια πλάτους άνω των 15 m.
 - Ελάχιστος αριθμός θερμοκηπίων:
 - Πλευρικός 10%
 - Οροφής 10%
 - Σύνολο ανοιγμάτων 20% της επιφάνειας του καλυμμένου εδάφους.

3.3.3. Τυποποιημένα θερμοκήπια

- Θερμοκήπια πλάτους μέχρι 15 m, όπως η περίπτωση 3.3.1.1.
- Θερμοκήπια πλάτους άνω των 15 m.
 - Ελάχιστος αριθμός θερμοκηπίων:
 - Πλευρικός 7%
 - Οροφής 18%
 - Σύνολο ανοιγμάτων 25% της επιφάνειας του καλυμμένου εδάφους.
 - Εφόσον υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα, κρίνεται **απαραίτητη** η αυτοματοποίηση των μηχανισμών αερισμού οροφής και **συνιστάται** για τον πλευρικό αερισμό, με ηλεκτρομοτέρ, θερμοστάτη και ανεμόμετρο.
 - Για μεγαλύτερη απόδοση του φυσικού αερισμού, συνιστάται ελάχιστη απόσταση μεταξύ των θερμοκηπιακών μονάδων 2 m καθώς και από τα όρια του αγροτεμαχίου 1 m.

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 στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων αερίων που ίσως υπάρχουν.

Γενικά, χαρακτηρίζουμε τον αερισμό ενός θερμοκηπίου με βάση το ρυθμό ωριαίας ανανέωσης N , δηλαδή το πόσες φορές ο όγκος του θερμοκηπίου ανανεώνεται σε μια 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 ή στην επιφάνεια του θερμοκηπίου. Η μονάδα που χρησιμοποιείται θα είναι λοιπόν το $m^2 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ή το $kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$.

Σ' ένα θερμοκήπιο που διαθέτει ανοίγματα οροφής και πλαϊνά η ροή αέρα μέσω ενός ανοίγματος προκαλείται από το συνδυασμό των διαφορών πίεσης που δημιουργούνται α) λόγω των δυνάμεων άνωσης που οφείλονται σε διαφορές θερμοκρασίας (φαινόμενο καμινάδας) και β) λόγω της ταχύτητας του ανέμου.

Στην περίπτωση αυτή αποδεικνύεται ότι η παροχή αερισμού δίνεται από τη σχέση:

$$Q = C_d \left[\left(\frac{A_R A_S}{\sqrt{A_R^2 + A_S^2}} \right)^2 \left(2g \frac{\Delta T}{T_0} h \right) + \left(\frac{A_T}{2} \right) C_w u^2 \right]^{0.5}$$

$Q =$	Παροχή αερισμού ($m^3 s^{-1}$)
$C_d =$	Συντελεστής αποφόρτισης (αδιάστατος)
$A_R =$	Επιφάνεια ανοιγμάτων οροφής (m^2)
$A_S =$	Επιφάνεια των πλαϊνών ανοιγμάτων σε (m^2)
$G =$	Επιτάχυνση της βαρύτητας (ms^{-2})
$\Delta T =$	Διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας εσωτερικού (T_i) και εξωτερικού (T_o) αέρα (K)
$h =$	Υψομετρική διαφορά μεταξύ των ανοιγμάτων οροφής και πλευρών (m)
$A_T =$	Συνολική επιφάνεια ανοιγμάτων (m^2)
$C_w =$	Ολικός συντελεστής ανεμοπίεσης (αδιάστατος)
$u =$	Ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου (ms^{-1})

Σε περίπτωση κατά την οποία οι επιφάνειες των ανοιγμάτων οροφής και των πλαϊνών ανοιγμάτων είναι ίσες, η σχέση γράφεται:

$$Q = \frac{A_T}{2} C_d \left[g \frac{\Delta T}{T_0} h + C_w u^2 \right]^{0.5}$$

Στη σχέση αυτή ο πρώτος όρος εντός της αγκύλης αφορά τη ροή αερισμού λόγω του φαινομένου της καμινάδας και ο δεύτερος όρος τη ροή αερισμού λόγω των δυνάμεων της ταχύτητας του ανέμου. Αποδεικνύεται ότι όταν ο λόγος $u/\sqrt{\Delta T}$ γίνεται μεγαλύτερος του 1, το φαινόμενο της καμινάδας μπορεί να αγνοηθεί.

Στη σχέση ο συντελεστής C_w είναι ένας ολικός συντελεστής ταχύτητας ανέμου και περιλαμβάνει τη δράση της μέσης συνιστώσας της ταχύτητας του ανέμου καθώς και τη δράση της τυρβώδους κίνησης του αέρα.

Η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε λογισμικά για τον έλεγχο του μικροκλίματος των θερμοκηπίων αλλά και για το σχεδιασμό των ανοιγμάτων αερισμού.

3.3.4. Δυναμικός αερισμός

Στην περίπτωση του δυναμικού αερισμού θα πρέπει οι εξαεριστήρες:

1. Να εξασφαλίζουν τουλάχιστον 50 εναλλαγές αέρα την ώρα.
2. Η ταχύτητα του αέρα στο χώρο των φυτών να είναι MAX 1,5 m/sec.
3. Η απόσταση εξαεριστήρων από τα απέναντι ευρισκόμενα ανοίγματα εισόδου του αέρα να είναι 30-50 m.
4. Τα ανοίγματα και οι εξαεριστήρες να τοποθετούνται στο ίδιο ύψος και απέναντι ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη κατανομή του ψυχρού αέρα.
5. Η απόσταση ανεμιστήρων επί της πλευράς να μην είναι μεγαλύτερη από 6 m και από τη γωνία των θερμοκηπίων μικρότερη από 3 m.

Η παροχή αυτή λογαριάζεται για στατική πίεση 2,5 mm στήλης νερού.

Γενικά, γίνεται δεκτό οποιοδήποτε σύστημα μείωσης της θερμοκρασίας του χώρου του θερμοκηπίου, εφόσον έχει ικανοποιητική απόδοση και εξασφαλίζει ομοιόμορφες συνθήκες στο χώρο του θερμοκηπίου.

Επίσης, θα πρέπει να υπάρχει εφεδρική ηλεκτρογεννήτρια (ή να προβλεφθούν ανοίγματα φυσικού αερισμού).

Με το δυναμικό αερισμό είναι δυνατό να πετύχουμε ρυθμούς ανανέωσης του αέρα μεγαλύτερους από 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 αέρα και εξάγουν τον εσωτερικό αέρα ο οποίος αναπληρώνεται με εξωτερικό αέρα που εισέρχεται από ανοίγματα που βρίσκονται στην απέναντι πλευρά. Για τον υπολογισμό ενός συστήματος δυναμικού αερισμού θα πρέπει να ακολουθούντα τα ακόλουθα βήματα.

3.3.4.1. Υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής αερισμού

Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N = \frac{0.87t(1 - 0.6t)RS_{\max}}{\Delta T}$$

όπου:

N =	Απαιτούμενος ρυθμός ανανέωσης αέρα (h^{-1})
RS_{\max} =	Μέγιστη εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία (12.00 ηλιακή ώρα σε συνθήκες καθαρού ουρανού) (Wm^{-2})
t =	Συντελεστής διαπερατότητας του υλικού κάλυψης (αδιάστατος).

Ένας ρυθμός ανανέωσης της τάξης των 50-60 h^{-1} είναι αρκετός για να κρατήσει ένα $\Delta T = 5$ K για όλη τη χώρα.

3.3.4.2. Απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων

Πολλαπλασιάζοντας την παροχή αερισμού N σε h^{-1} επί τον όγκο του θερμοκηπίου υπολογίζουμε την απαιτούμενη συνολική παροχή των ανεμιστήρων Q_a σε m^3s^{-1} . Ο απαιτούμενος αριθμός ανεμιστήρων προκύπτει αν διαιρεθεί η παροχή Q_a με τον διπλάσιο αριθμό των διαμερισμάτων του θερμοκηπίου (για να εξασφαλίζεται μικρότερη παροχή αερισμού κατά τους μήνες εκτός της θερμής περιόδου).

3.3.4.3. Απαιτούμενη επιφάνεια ανοιγμάτων

Απαιτούνται 0,05 m² ανοιγμάτων αερισμού για κάθε 10 m³min⁻¹ παροχής αερισμού. Θα πρέπει να τοποθετείται ένα άνοιγμα για κάθε ανεμιστήρα.

3.3.4.4. Απαιτούμενη ισχύς ανεμιστήρων

Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = Q_a P_a / (3600 \eta)$$

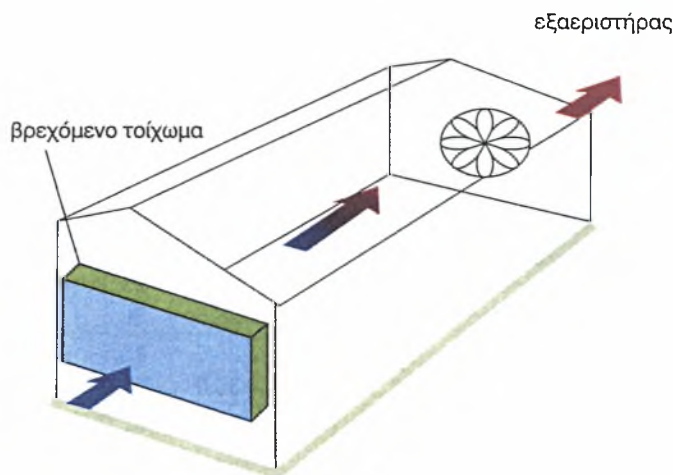
Όπου:

P =	Ισχύς των ανεμιστήρων (W)
Q _a =	Παροχή των ανεμιστήρων σε m ³ s ⁻¹
P _a =	Στατική πίεση σε Pascal (20-50 Pa)
η =	Συντελεστής απόδοσης των ανεμιστήρων (-0,7)

Σημειώνεται ότι για ένα μήκος θερμοκηπίου μέχρι 40 m, οι ανεμιστήρες (και τα ανοίγματα) τοποθετούνται στη μικρή πλευρά. Για μήκος μεγαλύτερο των 40 m οι ανεμιστήρες (και τα ανοίγματα) τοποθετούνται στη μεγάλη πλευρά και σε απόσταση μεταξύ τους περίπου 7,5 m.

3.3.5. Δυναμικός αερισμός και υγρό τοίχωμα

Στο σύστημα με δυναμικό αερισμό και υγρό τοίχωμα χρησιμοποιούνται ανεμιστήρες μικρής ταχύτητας και μεγάλου όγκου, που ρουφούν τον αέρα του θερμοκηπίου και τον βγάζουν έξω. Η υποπίεση που δημιουργείται στο χώρο του θερμοκηπίου αναγκάζει τον εξωτερικό αέρα να περάσει μέσα από ένα πορώδες και υγρό τοίχωμα, που βρίσκεται συνήθως στην απέναντι πλευρά του θερμοκηπίου (βλ. σχήμα 8). Το τοίχωμα αυτό διακρίνεται για τη μεγάλη ειδική επιφάνεια που παρουσιάζει. Ο εξωτερικός αέρας, περνώντας μέσα από το υγρό τοίχωμα, εμπλουτίζεται με υγρασία και ταυτόχρονα ψύχεται από την εξάτμιση του νερού που βρίσκεται στην πορώδη επιφάνεια.



Σχήμα 8: Ψύξη με δυναμικό αερισμό και υγρό τοίχωμα

Για παράδειγμα:

Αν ο εισερχόμενος στο υγρό τοίχωμα αέρας έχει θερμοκρασία 30°C και έχει απόλυτη υγρασία 10 kg^{-1} , το συνολικό περιεχόμενο ενέργειας του εισερχόμενου αέρα είναι:

1.	$30^{\circ}\text{C} \times 1,00\text{kg}$ ξηρός αέρας	$\times 1,00 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	$= 30,00 \text{ kJ}$
2.	$30^{\circ}\text{C} \times 0,01\text{kg}$ υδρατμούς	$\times 1,86 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	$= 0,56 \text{ kJ}$
3.	$0,01\text{kg}$ υδρατμοί	$\times 2500 \text{ kJ kg}^{-1}$	$= 25,00 \text{ kJ}$
	Σύνολο		$55,56 \text{ kJ}$

Ο εξερχόμενος αέρας από το υγρό τοίχωμα έχει θερμοκρασία 20°C και έχει απόλυτη υγρασία $14,015 \text{ g kg}^{-1}$. Το συνολικό περιεχόμενο ενέργειας του εξερχόμενου αέρα είναι:

4.	$20^{\circ}\text{C} \times 1,00\text{kg}$ ξηρός αέρας	$\times 1,00 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	$= 20,00 \text{ kJ}$
5.	$20^{\circ}\text{C} \times 0,014015\text{kg}$ υδρατμούς	$\times 1,86 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$	$= 0,52 \text{ kJ}$
6.	$0,0014015\text{kg}$ υδρατμοί	$\times 2500 \text{ kJ kg}^{-1}$	$= 35,04 \text{ kJ}$
	Σύνολο		$55,56 \text{ kJ}$

(Για να θερμανθεί 1 kg υδρατμών, ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία τους κατά 1°C , απαιτούνται $1,86 \text{ kJ}$. Για να θερμανθεί 1 kg ξηρού αέρα κατά 1°C απαιτούνται $1,00 \text{ kJ}$).

Όπως φαίνεται από το προηγούμενο παράδειγμα, η περιεκτικότητα σε ενέργεια του αέρα δεν αλλάζει, αλλάζει όμως η θερμοκρασία του, που γίνεται μικρότερη και η υγρασία του που γίνεται μεγαλύτερη.

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 (αντιστρόφως ανάλογα με τη σχετική υγρασία του εξωτερικού αέρα) συγκριτικά με 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 ποικίλλει 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 πολύ θερμές περιοχές, απαιτείται και κάποια μικρή σκίαση του θερμοκηπίου.

Κατά τη λειτουργία του συστήματος είναι αυτονόητο ότι δεν πρέπει να υπάρχει κανένα ανοικτό παράθυρο ή άνοιγμα στα τοιχώματα του θερμοκηπίου, εκτός από αυτό του υγρού τοιχώματος.

Πίνακας 1: Ενδεικτικός πίνακας που παρουσιάζει τις μέσες θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται σε θερμοκήπια με δυναμικό αερισμό και υγρό τοίχωμα και μόνο με αερισμό, για συνθήκες παρόμοιες της Δυτικής Ελλάδας

Εξωτερικές θερμοκρασίες σε °C	Σύστημα μείωσης θερμοκρασίας	Εσωτερικές θερμοκρασίες °C			
		9 πμ	11 πμ	2 μμ	4μμ
26,5 – 31,5	Αερισμός + υγρό τοίχωμα Αερισμός	23,5	25,0	27,0	25,5
		26,5	30,5	35,0	33,5
32,0 – 37,0	Αερισμός + υγρό τοίχωμα Αερισμός	26,0	28,5	29,5	28,5
		30,0	35,0	38,5	38,0
37,0 – 42,0	Αερισμός + υγρό τοίχωμα Αερισμός	27,0	30,0	30,8	29,5
		33,0	38,0	45,0	41,0

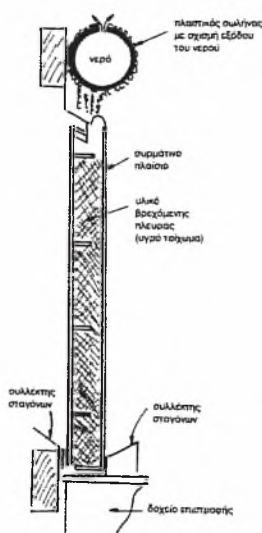
Το σχήμα του θερμοκηπίου και η θέση των εξαεριστήρων, που προκαλούν την υποπίεση, δίνουν διάφορους τρόπους εφαρμογής του συστήματος στην πράξη. Όσα δε αφορούν τη θέση των εξαεριστήρων για την

ομοιομορφία του ανανεούμενου αέρα, που αναφέρθηκαν στο δυναμικό αερισμό, ισχύουν και εδώ.

Διακρίνουμε συστήματα με τοποθέτηση των εξαεριστήρων στη μικρή πλευρά, που είναι και η συνηθέστερη περίπτωση, και συστήματα με τοποθέτηση των εξαεριστήρων στη μεγάλη πλευρά. Οι βρεχόμενες πλευρές είναι πάντα στις απέναντι πλευρές από εκείνες των εξαεριστήρων.

Απαιτείται προσοχή, ώστε το τοίχωμα να υγραίνεται ομοιόμορφα σ' όλη του την επιφάνεια. Είναι γνωστό ότι, εάν η βρεχόμενη επιφάνεια έχει μια ζώνη κακής λειτουργίας πλάτους A m, θα έχουμε έναν κώνο στο χώρο του θερμοκηπίου, μήκους $8xA$ m, που δε θα ψύχεται. Έτσι, θα πρέπει με προσοχή να αποφευχθούν στεγνές επιφάνειες ή οπές στο υγρό τοίχωμα. Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε ότι με τη χρήση χαλαρώνει η συνοχή των υγρών τοιχωμάτων. Επίσης, φράσσονται και αχρηστεύονται τμήματα της επιφάνειας από τα άλατα που περιέχει το εξατμιζόμενο νερό.

Η διαβροχή των τοιχωμάτων με λίγο περισσότερο νερό από όσο απαιτείται για την εξάτμιση καθυστερεί την εμφάνιση των προβλημάτων αλάτωσης. Μετά από κάποιο χρονικό διάστημα λειτουργίας, όταν έχουν εναποτεθεί πολλά άλατα, οι βρεχόμενες πλευρές μπορεί να καθαριστούν με την εμβάπτισή τους σε δεξαμενή που περιέχει αραιό διάλυμα υδροχλωρίου.



Σχήμα 9: Τομή του υγρού τοιχώματος που χρησιμοποιείται για ψύξη του θερμοκηπίου

Ομοιομορφία απαιτείται και στο πάχος του υγρού τοιχώματος. Υπάρχουν στο εμπόριο τοιχώματα που κατασκευάζονται από νήματα ξύλου λεύκης (απόδοση 91%) ή από χαρτί με χημική επεξεργασία σε σχήμα κηρύθρας (απόδοση 97%).

Τα υλικά από τα οποία μπορεί να κατασκευαστεί ένα βρεχόμενο τοίχωμα από τον ίδιο των καλλιεργητή είναι διάφορα: ξύλινα νήματα λεύκης, γιούτας, άχυρο, λινάτσα, φλοιός πεύκου, ελαφρόπετρα με διάμετρο 1-4 cm. Τα υλικά αυτά είναι ελαφρά και παρουσιάζουν μεγάλη ειδική επιφάνεια.

Η διαβροχή των τοιχωμάτων γίνεται είτε με παροχή νερού σ' όλο το μήκος του επάνω μέρους του τοιχώματος και το νερό ρέει με τη βαρύτητα στο κάτω, είτε με ψεκασμό από το έξω μέρος σ' όλη την επιφάνεια της πλευράς. Οι ψεκαστές είναι συνήθως χαμηλής πίεσης.

Εκτός από τα τοιχώματα κατακόρυφου τύπου, μπορούν να κατασκευαστούν και οριζόντια. Η συνολική επιφάνεια είναι η ίδια, αλλά μπορούν να τοποθετηθούν σε δύο, τρία ή τέσσερα επίπεδα για να κερδίσουν χώρο. Για να αποφευχθεί η μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εισόδου και εξόδου του αέρα, τα βρεχόμενα τοιχώματα μπορούν να εγκατασταθούν και στις δύο πλευρές και οι εξαεριστήρες να τοποθετηθούν στο μέσον, κατά μήκος της οροφής. Τα συστήματα όμως αυτά σπάνια εφαρμόζονται, γιατί έχουν μεγαλύτερο κόστος και προκαλούν σοβαρές σκιάσεις στο χώρο του θερμοκηπίου.

3.3.5.1. Υπολογισμός μιας τυπικής εγκατάστασης ψύξεως του θερμοκηπίου με ανεμιστήρα και υγρό τοίχωμα

- Καθώς ο δροσερός αέρας μετά το υγρό τοίχωμα διατρέχει το θερμοκήπιο, αφαιρεί τη θερμότητα που εισέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία κι έτσι αυξάνει η θερμοκρασία του προοδευτικά προς την έξοδο. Η αύξηση αυτή μπορεί να μειωθεί ή με αύξηση της παροχής είτε με σκίαση.
- Για μια ανεκτή ομοιομορφία περιβάλλοντος στο χώρο του θερμοκηπίου, η απαιτούμενη ροή του αέρα στο θερμοκήπιο σε σχέση με την προσπίπτουσα ακτινοβολία μπορεί να ληφθεί όπως στον πίνακα 2.

- Για 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 τοποθετούνται στο μέσον του θερμοκηπίου, στην οροφή και δημιουργούνται δύο βρεχόμενα τοιχώματα στις άκρες.
- Οι ανεμιστήρες διαλέγονται έτσι, ώστε να αποδίδουν την απαιτούμενη ποσότητα αέρος για στατική πίεση 24,5 Pa (περίπου άνεμος 24 km την ώρα ισοδυναμεί με στατική πίεση 24,5 Pa.
- Η απόσταση μεταξύ των εξαεριστήρων στην πλευρά δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 6,50 m.
- Όταν είναι δυνατόν, οι εξαεριστήρες τοποθετούνται στην αντίθετη από τον επικρατούντα άνεμο πλευρά, εάν όχι, τότε η παροχή πρέπει να αυξάνει τουλάχιστον κατά 10% και η ιπποδύναμη των κινητήρων ανάλογα.
- Το κάθε εμπόδιο έξω από το θερμοκήπιο, στην πλευρά των εξαεριστήρων, θα πρέπει να είναι σε απόσταση 1,5 φορά τουλάχιστον τη διάμετρο των ανεμιστήρων. Όταν δεν είναι δυνατό να γίνει αυτό, τοποθετούνται στην οροφή.
- Όταν χρησιμοποιούνται πάνω από 2 εξαεριστήρες, θα πρέπει ο ένας τουλάχιστον να έχει δύο ταχύτητες, για μεγαλύτερες δυνατότητες ρύθμισης της παροχής αέρα.
- Για να είναι καλά τα αποτελέσματα, εννοείται ότι η στεγανότητα των θερμοκηπίων να επιθεωρείται συχνά.
- Η πυκνότητα των οπών του υγρού τοιχώματος θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να επιτρέπει 80% τουλάχιστον, με μια ταχύτητα $0,8 \text{ m s}^{-1}$ και μια πτώσης πίεσης που να μην υπερβαίνει το 10 Pa.
- Η ταχύτητα του αέρα δεν πρέπει να υπερβαίνει το $1,5 \text{ m s}^{-1}$ στο υγρό τοίχωμα. Έτσι, η συνολική επιφάνεια της βρεχόμενης πλευράς υπολογίζεται διαιρώντας τη συνολική παροχή (m^3/s) με ταχύτητα $< 1,5 \text{ m s}^{-1}$. Αν ληφθεί ταχύτητα $> 1,5 \text{ m s}^{-1}$, προκαλείται υπερβολική πτώση πίεσης που μειώνει την απόδοση των ανεμιστήρων. Έτσι, απαιτείται πρόσθετη φροντίδα για την καλή συντήρηση του υγρού τοιχώματος και τη γενικότερη λειτουργία του συστήματος.

- Το πλάτος του υγρού τοιχώματος είναι όσο το πλάτος της πλευράς του θερμοκηπίου.
- Το ύψος του υγρού τοιχώματος υπολογίζεται από τη συνολική επιφάνεια δια του πλάτους.
- Όταν γίνονται συγκροτήματα θερμοκηπίων, δε θα πρέπει οι ανεμιστήρες του ενός να κατευθύνουν τον αέρα στους ανεμιστήρες του άλλου, ειδάλλως θα πρέπει να έχουν μεταξύ τους απόσταση πάνω από 10 m.
- Η απόσταση μεταξύ του υγρού τοιχώματος από την έξοδο του αέρα κάποιου άλλου θερμοκηπίου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 15 m.
- Η παροχή του νερού στο υγρό τοίχωμα για τη λειτουργία του συστήματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 240 lit h⁻¹ για κάθε 1 m πλάτους του υγρού τοιχώματος. Πολύ μεγάλες παροχές μειώνουν την αποτελεσματικότητα του συστήματος, διότι κάνουν κουρτίνα νερού και εμποδίζουν το πέρασμα του αέρα. Μικρότερες ή ίσες παροχές με το εξατμιζόμενο νερό δημιουργούν προβλήματα γρήγορης εξαλάτωσης τους τοιχώματος.
- Η κατανάλωση νερού ποικίλλει από 0 έως περισσότερο από 240 lit h⁻¹ για κάθε 10 m² υγρού τοιχώματος.
- Η αντλία πρέπει να έχει ωφέλιμη απόδοση τουλάχιστον 700-1000 lit h⁻¹ για κάθε 1 m μήκους βρεχόμενης πλευράς.

Πίνακας 2: Η σχέση μεταξύ προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας στο χώρο και απαιτούμενης ροής του αέρα ανά ώρα και m² εδάφους θερμοκηπίου.

Ηλιακή ακτινοβολία σε W m⁻²	Ροή αέρα σε m³h⁻¹m⁻² εδάφους θερμοκηπίου
810	254
720	225
630	189
540	169

3.6. Θέρμανση θερμοκηπίων

3.6.1. Εισαγωγικά για τον υπολογισμό αναγκών θέρμανσης

Το θερμοκήπιο και τα τεχνικά μέσα κλιματισμού που μπορούν να προσαρμοστούν σε αυτό, επιτρέπουν τη δημιουργία «υπό κάλυψη» ενός κλίματος του οποίου τα χαρακτηριστικά είναι διαφορετικά από εκείνα του φυσικού κλίματος. Εξαιτίας της ύπαρξης αυτών των διαφορών πραγματοποιούνται μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος ανταλλαγές ενέργειας που τείνουν να μειώσουν το εύρος των αρχικών αποκλίσεων. Η διατήρηση του εσωτερικού τμήματος σε τιμές (θερμοκρασίας, υγρασίας κ.λπ.) γειτονικές στις βιολογικά προδιαγραμμένες, απαιτεί την επέμβαση συστημάτων κλιματισμού.

Το κλίμα που αυθόρμητα δημιουργείται «υπό κάλυψη» είναι γενικά πιο θερμό από το εξωτερικό κλίμα. Το «σύστημα θερμοκήπιο» αποτελεί λοιπόν εστία απωλειών, οι οποίες – τουλάχιστον κατά τη νύχτα – θα πρέπει να εξισορροπούνται από μια αντίστοιχη θέρμανση, αν θέλουμε να διατηρήσουμε στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μια θερμοκρασία υψηλότερη από εκείνη του εξωτερικού αέρα. Την ημέρα, αντίθετα, η ηλιακή ακτινοβολία αντιπροσωπεύει ένα κέρδος ενεργειακό για το σύστημα, που γρήγορα μας απαλλάσσει από την ανάγκη θέρμανσης και μάλιστα συχνά μας υποχρεώνει να αερίσουμε τα θερμοκήπια για να περιορίσουμε τις υπερβολικές θερμάνσεις. Οι ανάγκες, κατά συνέπεια, σε ημερήσια θέρμανση είναι πολύ πιο μικρές από τις αντίστοιχες νυχτερινές (κατά το Γερμανό Vickermann το ημερήσιο κόστος θέρμανσης αντιπροσωπεύει το 10-25% της ολικής δαπάνης θέρμανσης). Στη συνέχεια θα δοθεί μια απλοποιημένη μέθοδος υπολογισμού των αναγκών θέρμανσης των θερμοκηπίων.

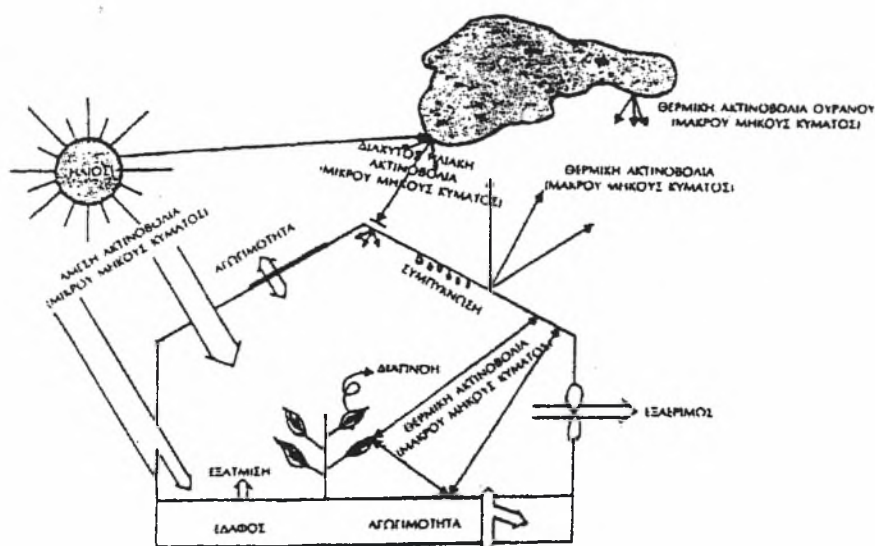
3.6.2. Υπολογισμός αναγκών θέρμανσης

Για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου, όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα, απαιτείται η

προσθήκη θερμότητας. Η απαιτούμενη θερμότητα είναι τόση όση χάνεται από το θερμοκήπιο στο γύρω χώρο.

Οι μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας στο θερμοκήπιο συμβαίνουν:

1. Με μεταφορά από το κάλυμμά του. Το μέγεθος της θερμικής μεταφοράς με τα διάφορα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κάλυψη των θερμοκηπίων. Το λεπτό φύλλο πολυαιθυλενίου π.χ. έχει μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα από το γυαλί. Κατά συνέπεια, ένα γυάλινο θερμοκήπιο έχει μικρότερες απώλειες από το πλαστικό, ενώ το διπλής κάλυψης θερμοκήπιο πολυαιθυλενίου, που παρουσιάζει πολύ μικρότερη θερμική μεταφορά, έχει λιγότερες απώλειες από τα δύο προηγούμενα.
2. Με την είσοδο και έξοδο του αέρα μέσα από τις ενώσεις στις πόρτες, τα παράθυρα και τις συνδέσεις του υλικού κάλυψης. Οι απώλειες αυτές μειώνονται όσο οι διαφυγές του αέρα ελαττώνονται.
3. Με αγωγιμότητα από το έδαφος του θερμοκηπίου.
4. Με την υπέρυθρη ακτινοβολία του εδάφους και των φυτών. Το γυαλί, το fiberglass και το νερό είναι αδιαπέραστα σώματα στην υπέρυθρη ακτινοβολία, ενώ το πολυαιθυλένιο είναι περατό. Η συμπύκνωση των υδρατμών, όμως, που γίνεται στο πολυαιθυλένιο τη νύχτα, περιορίζει σημαντικά την περατότητα ή τη μηδενίζει πρακτικά.



Σχήμα 10: Ανταλλαγές ενέργειας του θερμοκηπίου με το περιβάλλον

Για τον υπολογισμό του συστήματος θέρμανσης ενός θερμοκηπίου είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τη μέγιστη απαίτηση σε θερμότητα. Η εκτίμηση της μέγιστης απαίτησης σε θερμότητα στο θερμοκήπιο γίνεται από τις συνολικές απώλειες ενέργειας του θερμοκηπίου στη μονάδα του χρόνου, τη νύχτα, την εποχή με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Ο υπολογισμός των απαιτήσεων θερμότητας για θέρμανση του θερμοκηπίου γίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$Q = (K \cdot A \cdot \Delta T + 0,36 \cdot V \cdot n \cdot \Delta t) \cdot 1,20$$

K =	Ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του καλύμματος σε $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ (από πίνακα 3)
A =	Επιφάνεια του καλύμματος σε m^2
ΔT =	Διαφορά θερμοκρασίας μέσα – έξω σε $^\circ C$. (Εσωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται η επιθυμητή νυχτερινή θερμοκρασία για την υπόψη καλλιέργεια. Εξωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται η μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα που εμφανίζεται στην περιοχή με συχνότητα τριετίας.
V =	Όγκος του θερμοκηπίου
N =	Αριθμός αλλαγών του αέρα από διαφυγές με κλειστά παράθυρα ανά ώρα (από πίνακα 4)

Πίνακας 3: Τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας (K, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$) για διάφορα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων

Κάλυμμα θερμοκηπίου	Τιμή K σε $W/m^2 \text{ } ^\circ C$
Απλό τζάμι	5,8
Από φύλλο πολυαιθυλενίου	6,3
Fiberglass	4.0
Διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου	2,9
Διπλό τζάμι	2,9
Πλαστικό φύλο και τζάμι	2,9
Απλό τζάμι και θερμοκουρτίνα	2,4

Πίνακας 4: Αλλαγές του αέρα λόγω διαφυγών για διάφορους τύπους θερμοκηπίων

Τύπος κατασκευής	Αλλαγές ανά ώρα (η)
Νέα κατασκευή υαλόφρακτο	0,8 – 1,8
Νέα κατασκευή με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου	0,8 – 2,5
Νέα κατασκευή με διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου	0,5 – 1,2
Παλαιά κατασκευή υαλόφρακτου με καλή συντήρηση	2,5
Παλαιά κατασκευή υαλόφρακτου με κακή συντήρηση	3,0

Η ονομαστική ισχύς του συστήματος θέρμανσης, που θα τοποθετηθεί στο θερμοκήπιο θα πρέπει να είναι αυξημένη κατά ένα ποσοστό που είναι αντιστρόφως ανάλογο με το βαθμό απόδοσης του συστήματος. Έτσι τελικά η ονομαστική ισχύς (αυτή που αναγράφεται στην ετικέτα) του συστήματος θέρμανσης πρέπει να είναι:

$$I = Q/\alpha$$

όπου:

I = η ονομαστική ισχύς του συστήματος θέρμανσης

A = ο βαθμός απόδοσης του συστήματος θέρμανσης ($0 < \alpha < 1$).

Κεφάλαιο 4^ο: Υλικά και Μέθοδοι

4.1. Περιοχή πραγματοποίησης του πειράματος και επικρατούσες συνθήκες

Το πείραμα έγινε στις εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Το Πανεπιστήμιο βρίσκεται σε γεωγραφικό πλάτος $39^{\circ} 44'$ και γεωγραφικό μήκος $22^{\circ} 89'$. Το υψόμετρο της περιοχής 90 μέτρα και απέχει 5 χλμ. από τη θάλασσα. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια με μέση μέγιστη θερμοκρασία κατά το θερμότερο μήνα περίπου 36°C και από ήπιους χειμώνες με μέση ελάχιστη θερμοκρασία κατά τον ψυχρότερο μήνα 4°C . Οι επικρατούντες άνεμοι της περιοχής έχουν κατεύθυνση είτε από Ν.Α. τις πρωινές ώρες είτε από Β.Δ. τις απογευματινές ώρες.

4.2. Πείραμα

Το πείραμα στηρίχτηκε σε ένα μοντέλο θερμοκηπίου που κατασκευάστηκε ως εξής:

Χρησιμοποιήθηκαν 4 φύλλα plexiglass για την κατασκευή ενός απλού αμφίρρικτου θερμοκηπίου, το οποίο είχε διαστάσεις:

Μήκος	$l = 1,5 \text{ m}$
Πλάτος	$B = 0.76 \text{ m}$
Ύψος	$h = 0.45 \text{ m}$
Ύψος πλευράς	$A = 0.28 \text{ m}$

Η κλίμακα που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή ήταν 1:20.

Όλες οι ενώσεις του θερμοκηπίου καθώς και το τελείωμα έγιναν από αλουμίνιο, που βιδώθηκε πάνω στο plexiglass με 150 βίδες και παξιμάδια.

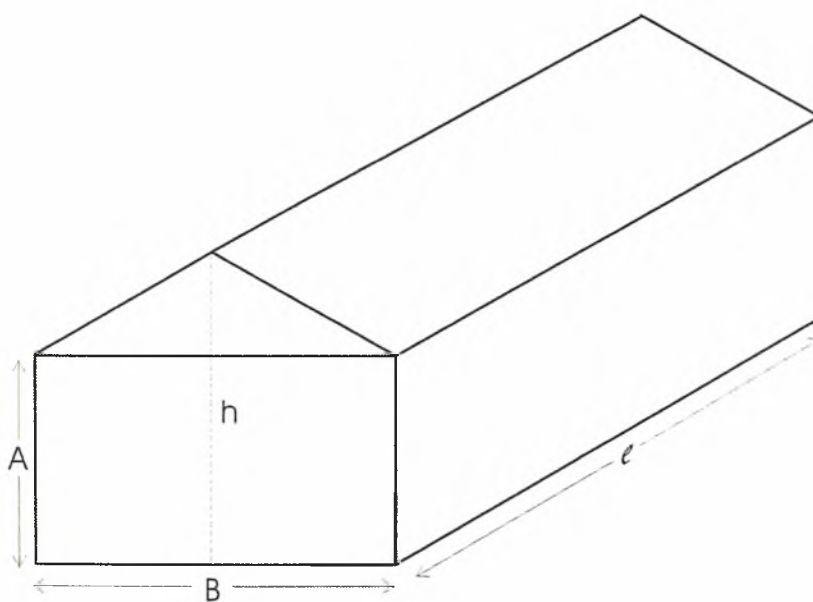
Η κατασκευή αυτή χρειάστηκε για τη μελέτη:

- φυσικού αερισμού στο θερμοκήπιο (παράθυρα οροφής)
- δυναμικού αερισμού στο θερμοκήπιο – ανεμιστήρας – υγρή παρειά

➤ θέρμανσης θερμοκηπίου – αερόθερμο.



Φωτό 1: Το θερμοκήπιο του πειράματος



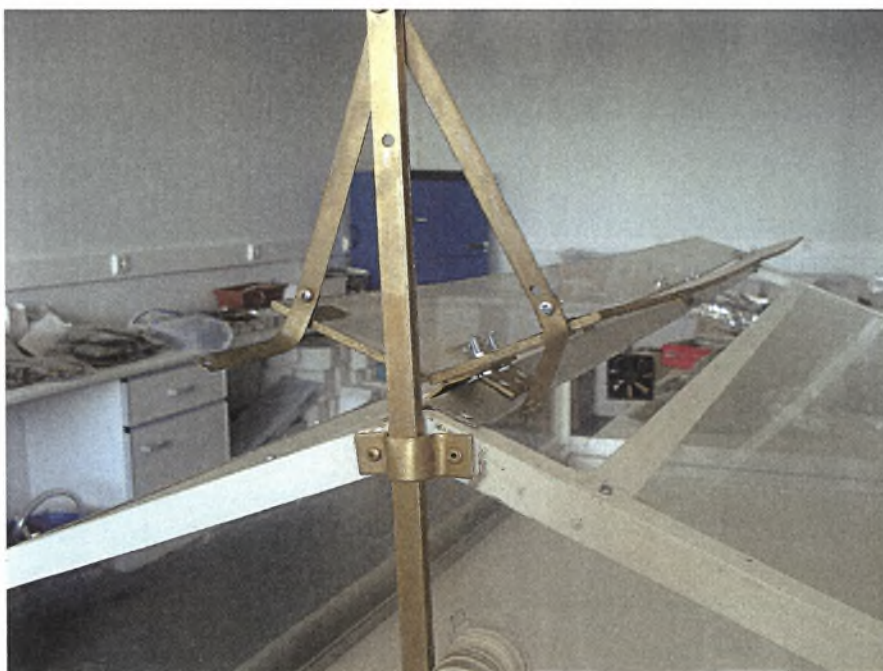
Σχήμα 11: Το θερμοκήπιο του πειράματος

4.3. Φυσικός αερισμός

4.3.1. Δυνάμεις που επενεργούν στη λειτουργία του

Ο φυσικός αερισμός αποκτάται από ανοίγματα (παράθυρα) στην οροφή και τις πλευρές του θερμοκηπίου. Ο ζεστός εσωτερικός αέρας περνά από τα ανοίγματα οροφής με συνδυασμός 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 αερισμού. Η διαφορά πίεσης που δημιουργεί ο άνεμος στις διάφορες επιφάνειες του θερμοκηπίου είναι η κινητήρια δύναμη για τον αερισμό, 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 αερισμού. Τα παράθυρα της υπήνεμης πλευράς, που βρίσκονται σε αρνητική πίεση σε σχέση με τη βαρομετρική, είναι ασφαλέστερο να ανοίγουν πρώτα.



Φωτό 2: Ανοίγματα οροφής

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

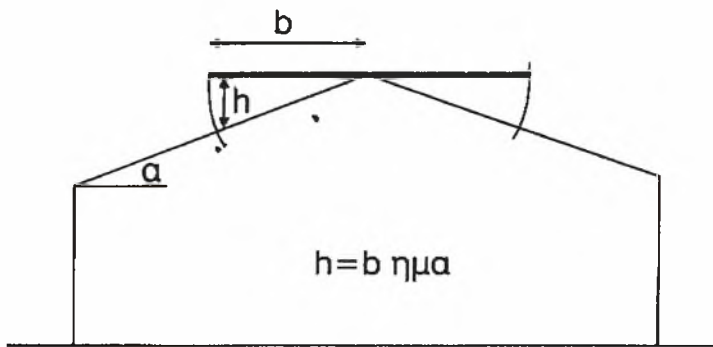
1. η διαφορά στατικής πίεσης που δημιουργείται από τον άνεμο στις διάφορες πλευρές του θερμοκηπίου,
2. η συνεχής μεταβολή της πίεσης που δημιουργείται από τη μεταβολή της στιγμιαίας ταχύτητας του ανέμου και
3. η διαφορά πίεσης που δημιουργείται από τη διαφορά θερμοκρασίας του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο.

4.3.2. Κατανομή και έκταση των ανοιγμάτων αερισμού

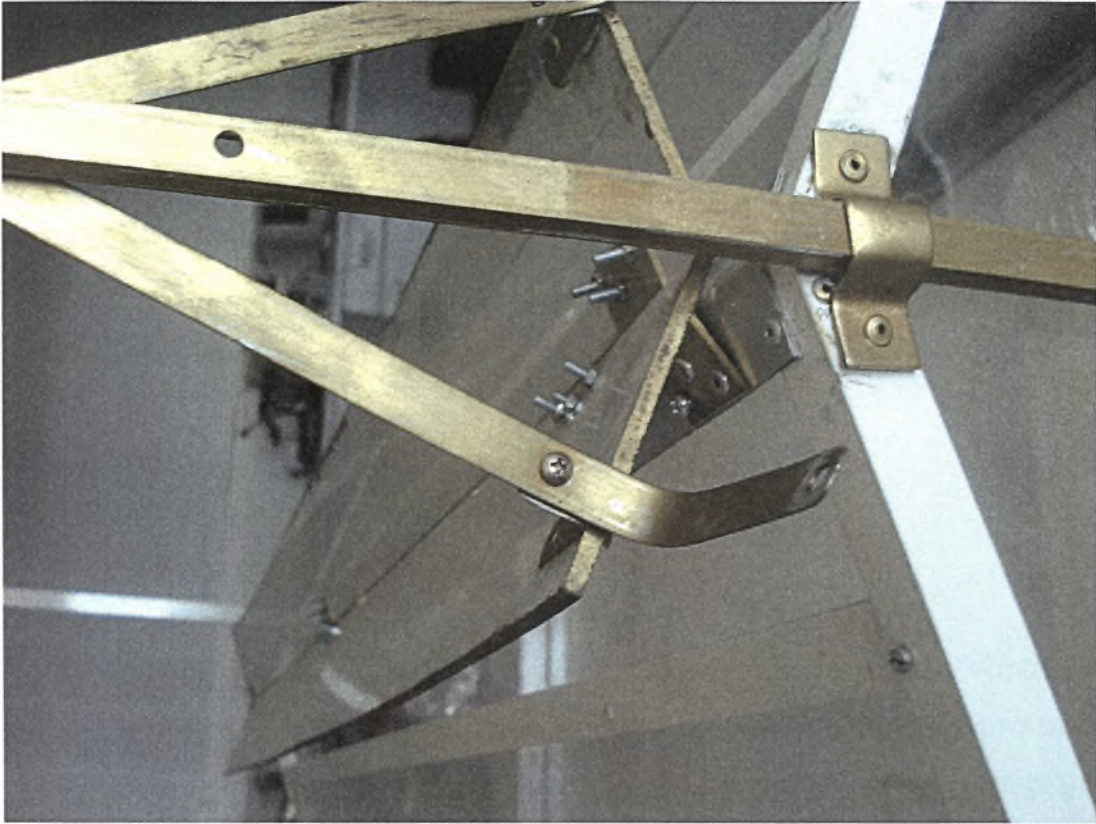
Τα ανοίγματα αερισμού αφενός μεν πρέπει να εξασφαλίζουν τον απαιτούμενο αερισμό κάθε φορά, αφετέρου να κατανέμουν τον αέρα ομοιόμορφα μέσα στο θερμοκήπιο. Αυτό επιτυγχάνεται με το κατάλληλο μέγεθος των ανοιγμάτων αερισμού, αλλά και με τη σωστή θέση των ανοιγμάτων, ώστε να είναι ομοιόμορφα και συμμετρικά κατανεμημένα κατά μήκος του θερμοκηπίου.

Στο μοντέλο θερμοκηπίου που εργάστηκα έχει ανοίγματα μόνο στην οροφή και η έκταση των ανοιγμάτων είναι 24% της επιφάνειας που καλύπτει το θερμοκήπιο.

Η επιφάνεια αερισμού του θερμοκηπίου υπολογίζεται βάση του παρακάτω σχήματος:



Σχήμα 12: Υπολογισμός επιφάνειας αερισμού



Φωτό 3: Κατανομή και έκταση των ανοιγμάτων αερισμού

Το θερμοκήπιο διαθέτει 2 ανοίγματα οροφής $N = 2$.

Το 24% της επιφάνειας είναι $S = \frac{24}{100} \times 1,14 = 0,27 \text{ m}^2$.

Το μήκος ανοίγματος είναι $L = 1,5 \text{ m}$.

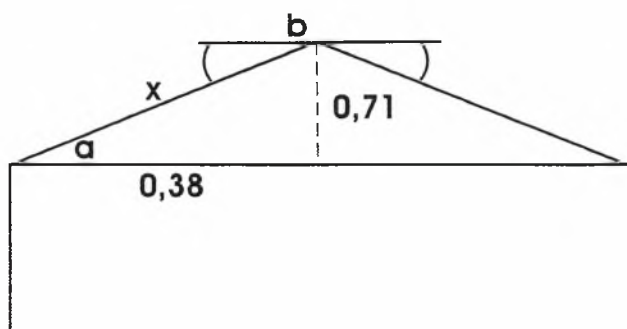
Κατ' αυτόν τον τρόπο μέσω του τύπου $S = N \times L \times h$ υπολογίζω το h .

$$0,27 = 2 \times 1,5 \times h \Leftrightarrow h = \frac{0,27}{3} = 0,09 \approx 10 \text{ cm}$$

4.3.3. Υπολογισμός του πλάτους του ανοίγματος

Η μία επιφάνεια της οροφής έχει πλάτος x .

$$x^2 = (0,17)^2 + (0,38)^2 \Leftrightarrow x^2 = 0,028 + 0,14 = 0,17 \Rightarrow x = \sqrt{0,17} \Rightarrow x = 0,41 \text{ m}$$



Σχήμα 13: Υπολογισμός πλάτους ανοίγματος

$$\text{Το } \eta\mu\alpha = \frac{0,17}{0,41} = 0,41$$

Άρα το πλάτος b του ανοίγματος θα είναι:

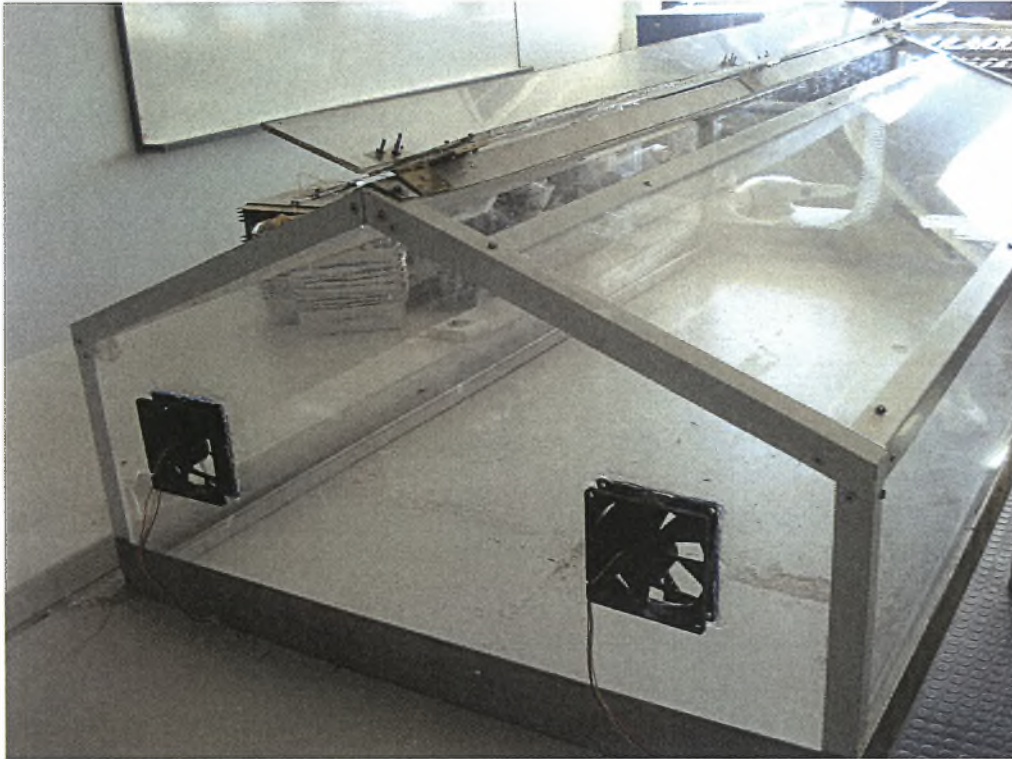
$$b = \frac{h}{\eta\mu\alpha} = \frac{0,09}{0,41} = 0,22\text{m}$$

Από τους υπολογισμούς που έγιναν διαπιστώθηκε ότι το κάθε παράθυρο της οροφής έχει πλάτος $b=0,22$ m όταν το ύψος $h=0,09$ m ≈ 10 cm. Αυτό όμως επιτυγχάνεται με κάποιο μηχανισμό. Αυτός ο μηχανισμός είναι ένα μοτέρ που έχει προσαρτηθεί στην άκρη του μοντέλου θερμοκηπίου και ανυψώνει τα δύο ανοίγματα της οροφής σε ύψος h όταν συνδέεται με το ρεύμα.

Υπολογίζεται ότι στις δικές μας συνθήκες, στα κηπευτικά και στα δρεπτά άνθη, για τον αερισμό κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου, η έκταση των ανοιγμάτων θα πρέπει να επιτρέπει περισσότερες από 40 αλλαγές του αέρα την ώρα.

4.4. Δυναμικός αερισμός

Ο δυναμικός αερισμός 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.



Φωτό 4: Σύστημα δυναμικού αερισμού



Φωτό 5: Σύστημα δυναμικού αερισμού (λεπτομέρεια)

4.4.1. Υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής αερισμού

Η παροχή γίνεται βάση του τύπου:

$$N = \frac{0,87t + (1 - 0,67t)}{\Delta T} RS_{\max}$$

όπου:

N =	Απαιτούμενος ρυθμός ανανέωσης αέρα (h ⁻¹)
RS _{max} =	Μέγιστη εξωτερική ηλιακή ακτινοβολία (12.00 ηλιακή ώρα σε συνθήκες καθαρού ουρανού) (Wm ⁻²)
t =	Συντελεστής διαπερατότητας του υλικού κάλυψης (αδιάστατος).
ΔT =	5 K για όλη τη χώρα

Οπότε ο απαιτούμενος ρυθμός ανανέωσης με τους ανεμιστήρες είναι:

$$N = \frac{0,87 \times 0,9(1 - 0,67 \times 0,9) \times 900}{5} = 56h^{-1}$$

Εν συνεχεία υπολογίζουμε την παροχή αερισμού από τον τύπο $Q_g = N \times V_{\text{θερμοκ}}$

$$V_{\text{θερμοκ}} = 0,41 \text{ m}^3 \text{ και } N = 56h^{-1}$$

$$Q_A = 56h^{-1} \times 0,41 \text{ m}^3 = 23 \text{ m}^3/h$$

Αυτή είναι η συνολική παροχή των ανεμιστήρων.

Ο υπολογισμός ισχύος ανεμιστήρα γίνεται από τον τύπο $\frac{Q_a \times P_a}{3600\mu}$ όπου:

P =	Ισχύς των ανεμιστήρων (W)
Q _a =	Παροχή των ανεμιστήρων σε m ³ s ⁻¹
P _a =	Στατική πίεση σε Pascal (20-50 Pa)
η =	Συντελεστής απόδοσης των ανεμιστήρων (-0,7)

Η ισχύς των ανεμιστήρων είναι:

$$P = \frac{23 \times 35}{3600 \times 0,7} = 0,32W$$

4.4.2. Διαστάσεις της παρειάς

Γενικά, ένα αποτελεσματικό σύστημα αερισμού 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 δυνατόν μικρότερη συντήρηση.
- Είναι αξιόπιστο και απλό, ώστε να απαιτεί ελάχιστες επεμβάσεις και να μπορεί να συντηρηθεί από το συνηθισμένο εργατικό προσωπικό των θερμοκηπίων.
- Είναι φθηνό ως προς την αγορά, την εγκατάσταση και τη λειτουργία.

4.5. Θέρμανση θερμοκηπίου

4.5.1. Υπολογισμός αναγκών θέρμανσης

Για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου, όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα απαιτείται η προσθήκη θερμότητας.

Ο υπολογισμός των απαιτήσεων θερμότητας για θέρμανση στο θερμοκήπιο γίνεται από τον τύπο:

$$Q = (K \cdot A \cdot \Delta t + 0,36 \cdot V \cdot n \cdot \Delta t) \cdot 1,20$$

όπου:

K =	Ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του καλύμματος σε $W/m^2 \cdot ^\circ C$
A =	Επιφάνεια του καλύμματος σε m^2

$\Delta T =$	Διαφορά θερμοκρασίας μέσα – έξω σε °C. (Εσωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται η επιθυμητή νυχτερινή θερμοκρασία για την υπόψη καλλιέργεια. Εξωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται η μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα που εμφανίζεται στην περιοχή με συχνότητα τριετίας.
$V =$	Όγκος του θερμοκηπίου
$N =$	Αριθμός αλλαγών του αέρα από διαφυγές με κλειστά παράθυρα ανά ώρα (από πίνακα 2)

$$Q = (6,2 \times 2,62 \times 20 + 0,36 \times 0,41 \times 0,8 \times 20) 1,20 = (324,88 + 2,36) 1,2 = 327,24 \times 1,2 \approx 328 \times 1,2 = 393,6 \text{ kCal}$$

4.5.2. Συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων

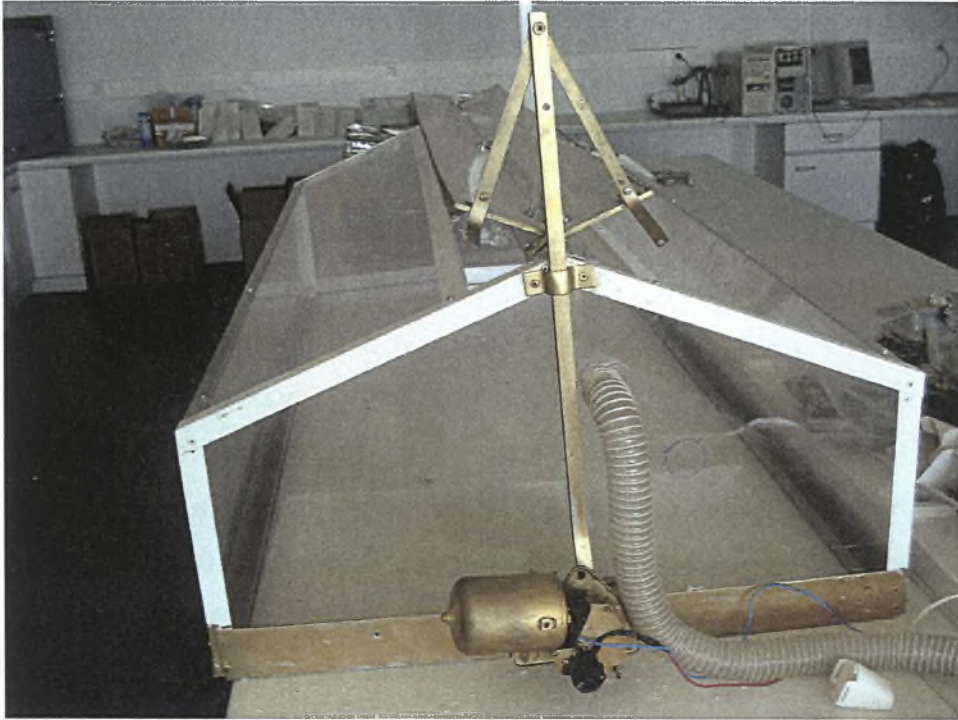
Τα συστήματα θέρμανσης διακρίνονται στα στατικά και στα θερμοδυναμικά. Τα στατικά μεταδίδουν τη θερμότητα με ακτινοβολία, μεταφορά και αγωγιμότητα μέσω μιας θερμαινόμενης επιφάνειας, που είναι μεταλλικοί ή πλαστικοί σωλήνες. Τα θερμοδυναμικά μεταδίδουν τη θερμότητα με μεταφορά και αγωγιμότητα μέσω του θερμού αέρα που παράγεται από γεννήτριες θερμού αέρα ή από αερόθερμα.

Στο πείραμα όμως δε χρησιμοποιήσαμε στατικό σύστημα θέρμανσης αλλά θερμοδυναμικό.

Τα θερμοδυναμικά συστήματα θέρμανσης αποτελούνται από αερόθερμα και τα μέσα διανομής θερμού αέρα.

Η θερμοκρασία του αέρα που εκπέμπει το αερόθερμο είναι 35°C – 40°C και η ταχύτητα του ζεστού αέρα είναι 5-20 m/s.

Γνωρίζοντας αφενός ότι ο θερμός αέρας του αερόθερμού δεν πρέπει να στέλνεται απ' ευθείας στα φυτά γιατί θα τους προκαλέσει ζημιά και αφετέρου τα φυτά φτάνουν σε μεγάλο ύψος εντός του θερμοκηπίου περίπου στα 3 m, το αερόθερμο θα τοποθετηθεί σε ύψος υψηλότερο των φυτών για να μην τα κάψει.



Φωτό 6: Θέρμανση θερμοκηπίου



Φωτό 7: Θέρμανση θερμοκηπίου (λεπτομέρεια)

4.7. Μετρήσεις για τον προσδιορισμό του ρυθμού ανανέωσης του αέρα

Για τον προσδιορισμό του ρυθμού ανανέωσης του αέρα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της φθίνουσας συγκέντρωσης ενός αερίου δείκτη. Ο αέριος δείκτης που χρησιμοποιείται για τις μετρήσεις είναι το CO₂ (διοξείδιο του άνθρακα), το οποίο έχει το είναι εύχρηστο ανιχνεύσιμο αέριο, καθώς έχει το πλεονέκτημα να μην επιδρά στα φυτά και να μην είναι παρόν στον εξωτερικό αέρα σε μετρήσιμες συγκεντρώσεις.

Αρχικά γινόταν έκχυση μιας συγκεκριμένης ποσότητας CO₂ στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, κατά τέτοιο τρόπο ώστε η αρχική συγκέντρωση στο εσωτερικό του θερμοκηπίου να αντιστοιχεί στο μέγιστο της κλίμακας του αναλυτή αερίων. Κατόπιν, γίνεται ομοιόμορφη ανάμιξη του αερίου μέσα στο θερμοκήπιο. Μετά την έκχυση του αερίου δείκτη στο θερμοκήπιο ακολουθούσε άνοιγμα των παραθύρων σε διάφορα ύψη και εν συνεχεία ξεκινούσε η καταγραφή της πτώσης της συγκέντρωσης του CO₂. Κατά τη διάρκεια της περιόδου μείωσης του CO₂ γινόταν αναρρόφηση του αέρα του θερμοκηπίου από μια επιλεγμένη θέση, η οποία βρισκόταν στο κέντρο του πατώματος του θερμοκηπίου. Ο αέρας από αυτή τη θέση διοχετευόταν στον υπαίθριο αναλυτή αερίου, προκειμένου να γίνει μέτρηση της συγκέντρωσης του CO₂. Η συγκέντρωση του αερίου δείκτη στον αέρα του θερμοκηπίου καταγραφόταν σε σύστημα καταγραφής δεδομένων με συχνότητα καταγραφής 1 Hz.

Υποθέτοντας μια ομοιόμορφη έκχυση του αερίου δείκτη στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και μια τέλεια ανάμιξη του με τον εσωτερικό του αέρα, η μεταβολή της συγκέντρωσης του αερίου σε συνάρτηση με το χρόνο περιγράφεται από την εξίσωση:

$$V \frac{dC_i}{dt} = -G(t)[C_i(t) - C_o(t)] + F_a(t)$$

όπου C_i(t) η συγκέντρωση του τροχοδεικτικού αερίου τη στιγμή t εντός του θερμοκηπίου σε ppm, C_o(t) η συγκέντρωση του τροχοδεικτικού αερίου τη στιγμή t στο εξωτερικό περιβάλλον σε ppm, F_a(t) η ροή του αερίου δείκτη που εισήχθη εντός του θερμοκηπίου σε mg³s⁻¹, V ο όγκος του θερμοκηπίου σε m³, G η ροή του αέρα που ανανεώθηκε σε m³s⁻¹ και t ο χρόνος σε s.

Ο όρος $F_a(t)$ της εξίσωσης είναι μηδενικός στην προκειμένη περίπτωση, διότι είναι η έκχυση του αερίου δείκτη που γίνεται στην αρχή της μέτρησης για μια μόνο φορά και όχι συνεχώς κατά τη διάρκειά της, ενώ ο όρος $C_o(t)$ είναι και αυτός μηδέν, διότι ο εξωτερικός αέρας δεν περιέχει N_2O σε ανιχνεύσιμη ποσότητα. Έτσι η εξίσωση γίνεται:

$$C_i(t) = C_i(t_0) * e^{-\left[\left(\frac{G}{V}\right) * (t - t_0)\right]}$$

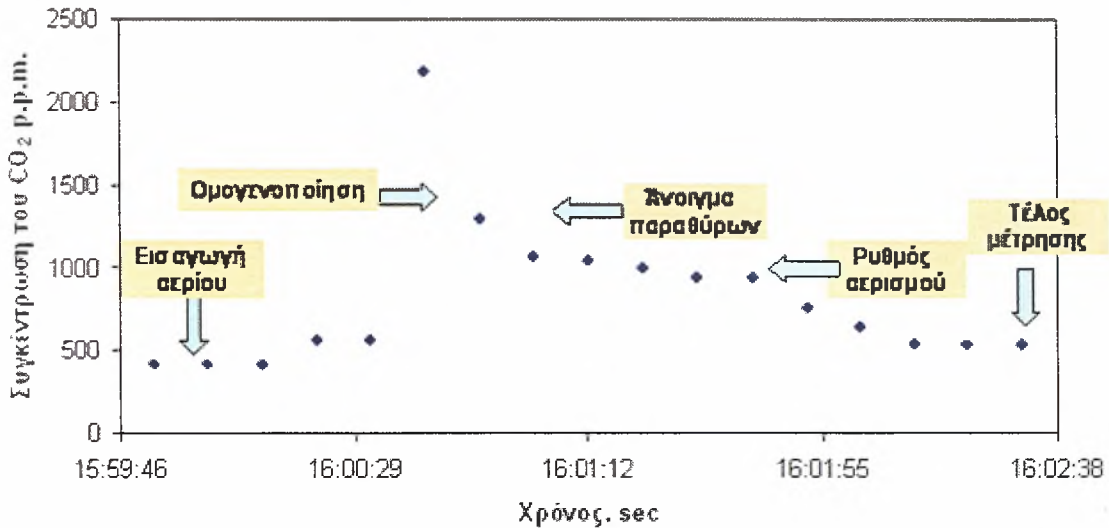
όπου $C_i(t_0)$ η αρχική συγκέντρωση του N_2O και t ο χρόνος.

Αρχικά γίνεται έκχυση του αερίου από ένα σημείο στο κέντρο του θερμοκηπίου για τα Τοξωτά και σε 12 διαφορετικά σημεία σε ύψος 2m, ομοιόμορφα κατανεμημένα για Τροποποιημένα Τοξωτά θερμοκήπια. Για όλες τις περιπτώσεις και μετά την έκχυση του αερίου δείκτη και τη σταθεροποίηση της τιμής του στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, καταγράφεται ο ρυθμός εξασθένησης της συγκέντρωσης της τιμής του αερίου δείκτη.

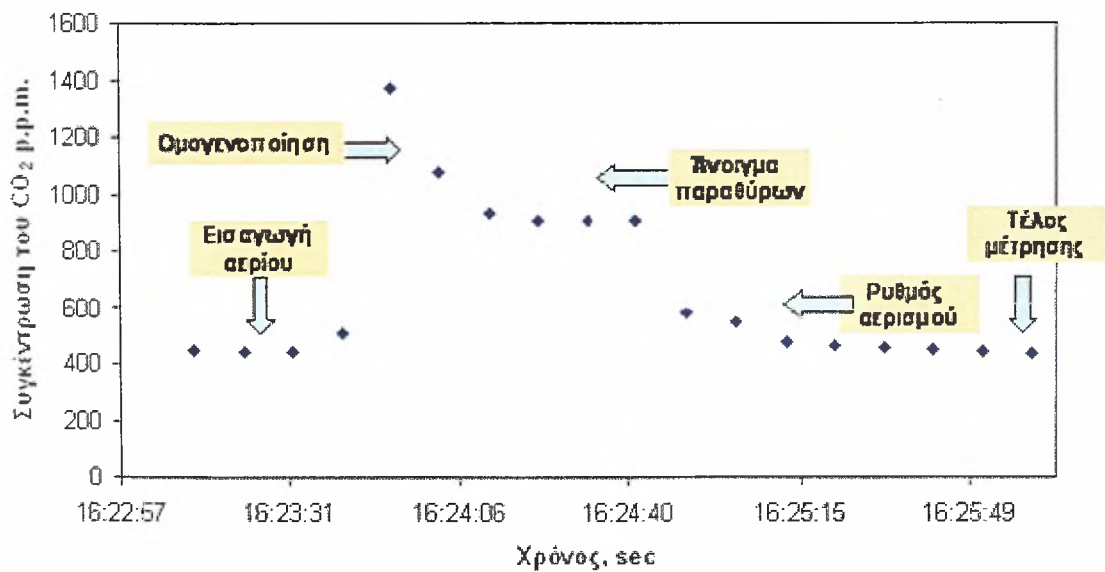
Σε συνθήκες φυσικού αερισμού χρειάζονται κάποια λεπτά για την ομογενοποίηση του αερίου δείκτη στο χώρο και η χρονική διάρκεια της μείωσης της συγκέντρωσης του αερίου βρίσκεται μεταξύ των 3 min σε ανοικτό θερμοκήπιο με δυνατό άνεμο ($4 < U < 7 \text{ ms}^{-1}$) και 30 min για κλειστό θερμοκήπιο.

Κεφάλαιο 5^ο: Πειραματικό μέρος – Αποτελέσματα

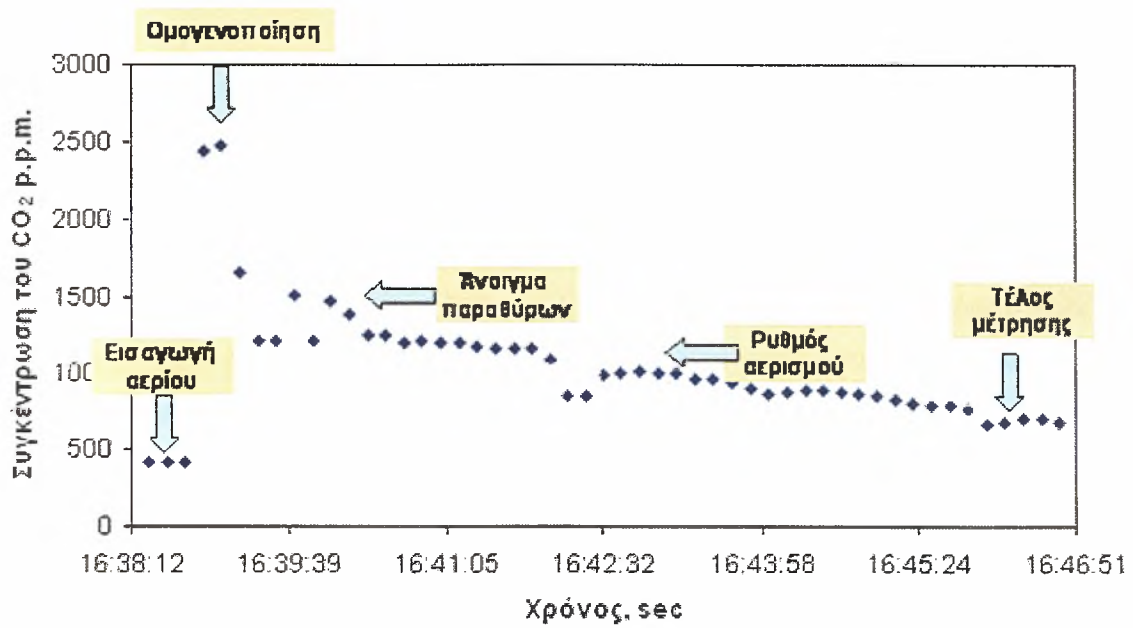
Παρακάτω παρατίθενται τα αποτελέσματα του πειράματός μας για τη χρήση της μεθόδου της φθίνουσας συγκέντρωσης ενός αερίου δείκτη, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το CO₂.



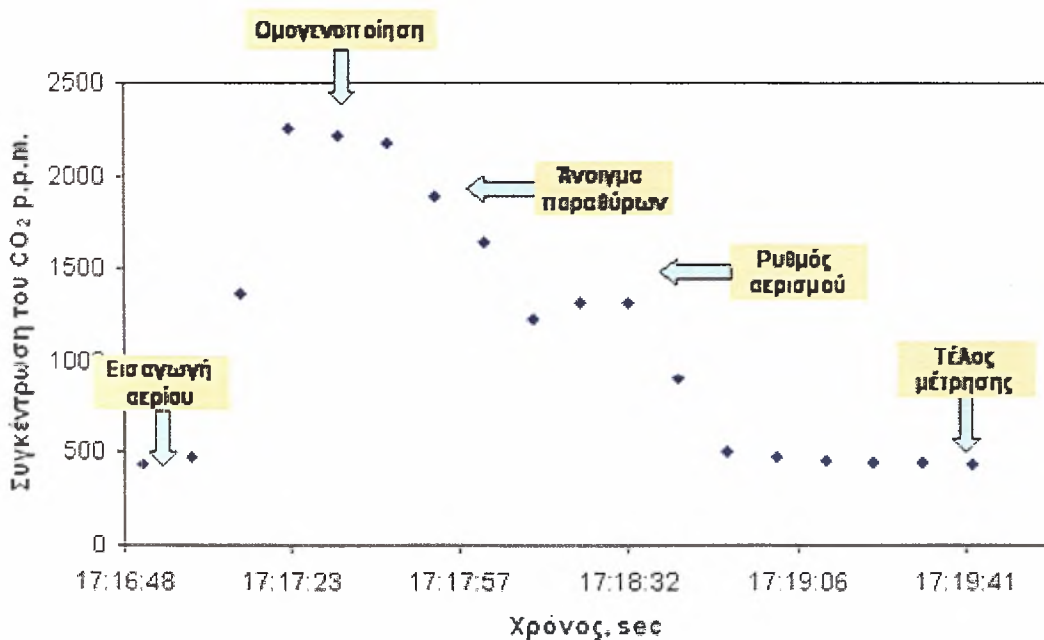
Γράφημα 1: Απεικόνιση της ροής του CO₂ στο θερμοκήπιο με ανοιχτό παράθυρο.



Γράφημα 2: Απεικόνιση της ροής του CO₂ στο θερμοκήπιο με κατά το ήμισυ ανοιχτό παράθυρο.



Γράφημα 3: Απεικόνιση της ροής του CO₂ στο θερμοκήπιο με κλειστό παράθυρο.

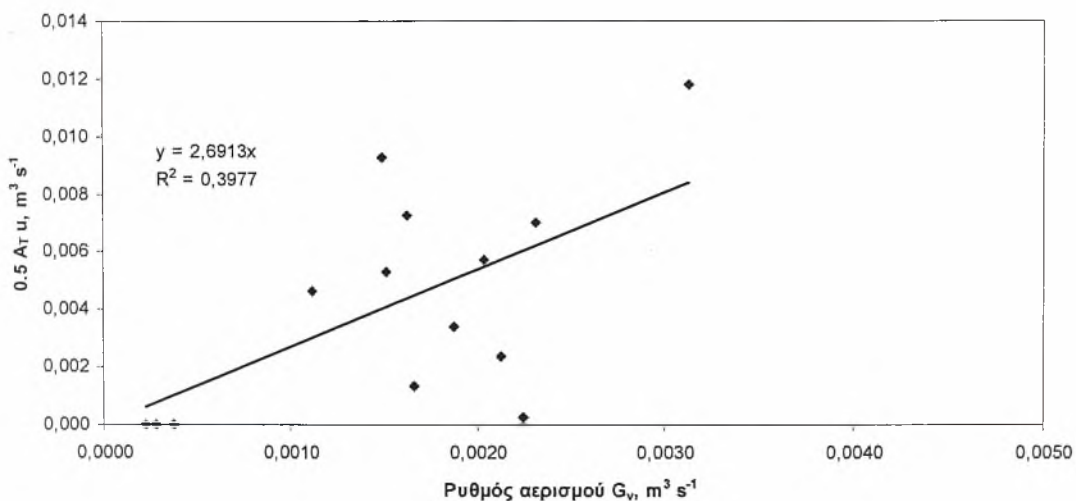


Γράφημα 4: Απεικόνιση της ροής του CO₂ στο θερμοκήπιο με δυναμικό αερισμό.

Καθορισμός των παραμέτρων των μοντέλων

Ο συντελεστής ανεμοφόρτησης C_w επίδρασης του ανέμου και ο συντελεστής ανεμοπίεσης C_d είναι οι δύο κύριοι πειραματικοί συντελεστές, οι οποίοι εμπεριέχονται στα ημι-εμπειρικά μοντέλα και πρέπει να καθοριστούν για κάθε είδους ανοιγμάτων παραθύρων για κάθε είδους θερμοκήπιο. Ο ρυθμός αερισμού G καθορίζεται από μετρήσεις ροής του όγκου του αέρα και κλιματικών παραμέτρων όπως (T , ΔT , u) οι οποίες μετρώνται ταυτόχρονα με την ανοιχτή επιφάνεια A . Με τη χρήση των μοντέλων που περιγράφηκαν στη θεωρία οι άγνωστοι παράμετροι μπορούν να υπολογιστούν. Γραμμικές και μη γραμμικές τεχνικές συσχέτισης (π.χ. ο αλγόριθμος Marquardt's) χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των τιμών του συντελεστή ανεμοφόρτησης C_w και του συντελεστή ανεμοπίεσης C_d . Με αυτό τον τρόπο ελαχιστοποιείται το λάθος μεταξύ των μετρήσιμων τιμών για τον ρυθμό αερισμού και των υπολογιζόμενων τιμών.

Το μετρημένο γινόμενο $C_d \sqrt{C_w}$ είναι ο μέσος όρος \pm τυπική απόκλιση. $C_d \sqrt{C_w} = 0,464 \pm 0,342$ και μας δείχνει το ρυθμό ανανέωσης του αέρα.



Γράφημα 5: Απεικόνιση γινομένου

Βιβλιογραφία

- Θερμοκήπια '96. Αφιέρωμα στα θερμοκήπια. Εκδόσεις Γεωργική Τεχνολογία.
- Κίττας, Κ., 2000. Γεωργικές κατασκευές & Έλεγχος Περιβάλλοντος Μονάδων Φυτικής Και Ζωικής Παραγωγής, I Θερμοκήπια, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος.
- Κίττας, Κ., Παπαδάκης, Γ. & Μπαρτζανάς, Θ., Νοέμβριος 1999. Ψύξη Θερμοκηπίων. Γεωργία κτηνοτροφία, τεύχος 9, Αφιέρωμα Θερμοκήπια.
- Μαυρογιαννόπουλος, Γ. Ν., 2005. Θερμοκήπια, Περιβάλλον – Υλικά – Κατασκευή – Εξοπλισμός, 4^η έκδοση, Εκδόσεις Α. Σταμούλης.
- Kittas, C., Boulard, T., Bartzanas, T., Katsoulas, N., Mermier, M., 2002. Influence of an Insect Screen on Greenhouse Ventilation, Transactions of the ASAE, 45 (4).
- Katsoulas, N., Bartzanas, T., Boulard, T., Mermier, M., Kittas, C., 2006. Effect of vent openings and insect screens on greenhouse ventilation.
- 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 ASAE, 40.
- Kittas, C., Boulard, T., Mermier, M., Papadakis, G., 1996. Wind-induced air exchange rates in a greenhouse tunnel with continuous side openings, Journal of Agricultural Engineering Research, 65 (1).
- Baptista, F.J., Bailey, B.J., Randall, J.M., Meneses, J.F. (1999), Greenhouse Ventilation Rate: Theory and Measurement with tracer gas techniques. Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 37.

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Ενδεικτικός πίνακας που παρουσιάζει τις μέσες θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται σε θερμοκήπια με δυναμικό αερισμό και υγρό τοίχωμα και μόνο με αερισμό, για συνθήκες παρόμοιες της Δυτικής Ελλάδας	46
Πίνακας 2: Η σχέση μεταξύ προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας στο χώρο και απαιτούμενης ροής του αέρα ανά ώρα και m^2 εδάφους θερμοκηπίου.	50
Πίνακας 3: Τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας ($K, W/m^2 \text{ } ^\circ C$) για διάφορα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων	53
Πίνακας 4: Αλλαγές του αέρα λόγω διαφυγών για διάφορους τύπους θερμοκηπίων	54

Ευρετήριο Σχημάτων

Σχήμα 1: Αμφίρρικτο θερμοκήπιο	19
Σχήμα 2: Αμφίρρικτο πολλαπλό θερμοκήπιο	19
Σχήμα 3: Τοξωτό θερμοκήπιο	20
Σχήμα 4: Τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο	21
Σχήμα 5: Τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό θερμοκήπιο	21
Σχήμα 6: Τα βασικά στοιχεία του σκελετού του αμφικλινούς θερμοκηπίου	25
Σχήμα 7: Τα βασικά στοιχεία του σκελετού τοξωτού θερμοκηπίου	26
Σχήμα 8: Ψύξη με δυναμικό αερισμό και υγρό τοίχωμα	45
Σχήμα 9: Τομή του υγρού τοιχώματος που χρησιμοποιείται για ψύξη του θερμοκηπίου	47
Σχήμα 10: Ανταλλαγές ενέργειας του θερμοκηπίου με το περιβάλλον	52
Σχήμα 11: Το θερμοκήπιο του πειράματος	56
Σχήμα 12: Υπολογισμός επιφάνειας αερισμού	58
Σχήμα 13: Υπολογισμός πλάτους ανοίγματος	60

Ευρετήριο Φωτογραφιών

Φωτό 1: Το θερμοκήπιο του πειράματος	56
--------------------------------------	----

Φωτό 2:	Ανοίγματα οροφής.....	57
Φωτό 3:	Κατανομή και έκταση των ανοιγμάτων αερισμού	59
Φωτό 4:	Σύστημα δυναμικού αερισμού.....	61
Φωτό 5:	Σύστημα δυναμικού αερισμού (λεπτομέρεια)	61
Φωτό 6:	Θέρμανση θερμοκηπίου	65
Φωτό 7:	Θέρμανση θερμοκηπίου (λεπτομέρεια)	65



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091046