

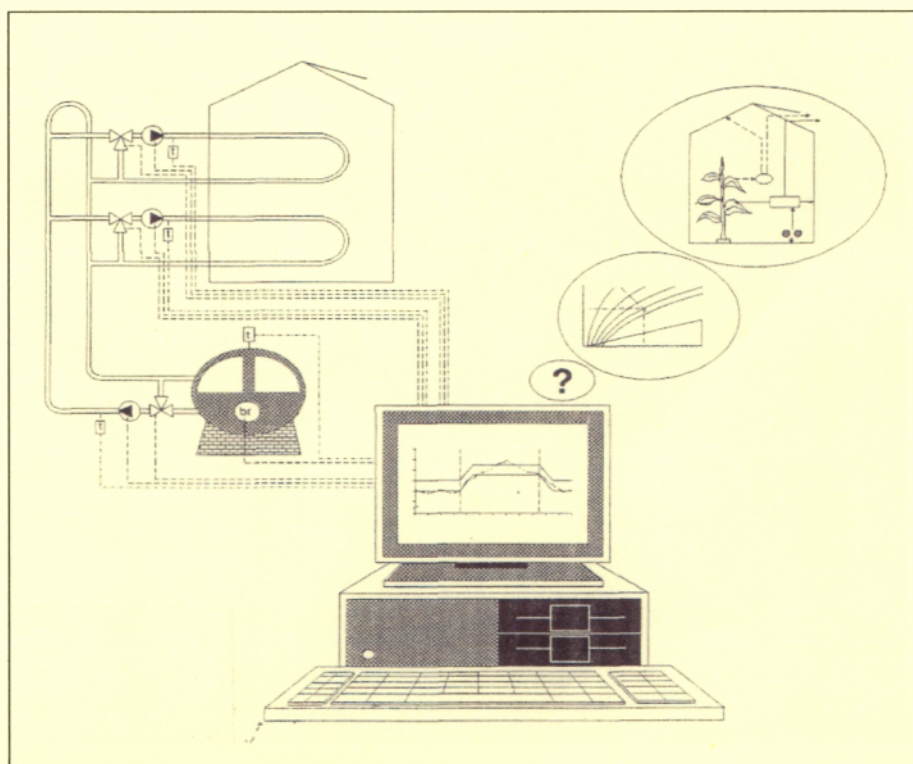
ΑΤΕΙ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ ΜΑΡΙΟΥ Γ. ΜΑΚΡΗ

ΤΙΤΛΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ :

ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</u> .....	4
Α.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1 ΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ.....	5
1.2 ΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΙ Ο ΒΕΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ.....	6
1.3 ΟΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	7
Β.ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	9
2.1 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	10
2.2 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ.....	11
2.2.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	12
2.2.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ.....	14
2.2.3 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΓΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΚΑΙ ΦΥΤΡΩΜΑ.....	15
2.3 Η ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΑΕΡΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	15
2.4 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΟΣ.....	19
2.4.1 Η ΑΦΟΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ CO <sub>2</sub> .....	19
Γ. ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	23
3.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ - ΕΙΔΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ.....	23
3.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΦΩΤΟΣ.....	25
3.3 ΒΙΟΧΗΜΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	26
3.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	30
3.4.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ.....	30
3.4.1.1 ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ.....	31
3.4.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (resistance temperature detectors -RTDs).....	32
3.5 ΚΥΚΛΩΜΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	33
3.5.1 ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	34
3.5.2 ΚΥΚΛΩΜΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ.....	34
Δ.ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	35
4.1 ΕΙΔΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΤΖΑΜΙ.....	35
4.1.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΚΑΥΤΟ ΝΕΡΟ.....	35
4.1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟ.....	38
4.1.3 ΔΙΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	39
4.1.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	43
4.1.5 ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΠΟΥ ΘΕΡΜΑΙΝΟΝΤΑΙ ΜΕ ΚΑΥΤΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟ.....	46
4.1.6 ΛΕΒΗΤΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ.....	49
4.1.7 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ "ΕΚΤΑΚΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ".....	51
4.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΠΛΑΣΤΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ.....	51
4.2.1 ΚΑΜΙΝΙΑ ΚΑΥΤΟΥΑΕΡΑ.....	52
4.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑ CO-RAY-VAC.....	53
4.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΠΛΑΣΤΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ.....	54
4.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....	54
4.3.1 ΔΙΠΛΟ ΣΤΡΩΜΑ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ.....	55
4.3.2 ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΑΒΑΝΙ.....	56
4.3.3 ΜΟΝΙΜΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΑΒΑΝΙ.....	57
4.3.4 ΠΡΟΣΩΡΙΝΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΑΒΑΝΙ.....	57

4.3.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	58
4.4 ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ.....	57
4.5 ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ.....	58
4.5.1 ΕΙΔΗ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ.....	59
4.5.2 ΕΙΔΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ.....	60
4.5.3 ΕΙΔΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΨΥΞΗΣ.....	69
4.6 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ.....	74
4.6.1 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ.....	75
4.6.2 ΠΑΡΟΧΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ.....	76
4.6.3 ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΜΕΣΑ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ.....	76
4.6.4 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΟ ΧΩΜΑ.....	78
4.7 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΙ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	78
4.7.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	80
4.8 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΣΚΙΑΣΗΣ.....	85
4.8.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΟΥΡΤΙΝΑΣ.....	85
4.8.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ.....	86
4.8.3 ΠΙΝΑΚΕΣ-ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ.....	86
4.8.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	87
4.8.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	87
4.9 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ.....	88
4.9.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	91
4.9.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	91
Ε.ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	98
5.1 ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	98
5.2 ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕΣΩ Η/Υ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SYNORTA.....	103
5.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ.....	105
ΣΤ.ΟΙ ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΚΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	112
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	114

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η γεωργική παραγωγή του ανοιχτού αγρού εξαρτάται από ασταθείς και αβέβαιες εξέλιξης μετεωρολογικούς παράγοντες. Γι' αυτό η γεωργία θεωρείται μια οικονομική δραστηριότητα με αβέβαιο οικονομικό αποτέλεσμα.

Γενικά η γεωργική παραγωγή εξαρτάται από παράγοντες που έχουν σχέση με το κληρονομικό δυναμικό του φυτού και από παράγοντες του περιβάλλοντος, όπως η ακτινοβολία, η θερμότητα, η υγρασία, το διοξείδιο του άνθρακα κ.ά. που αποτελούν το περιβάλλον της κόμης ή το περιβάλλον της ρίζας του φυτού. Για να επιτευχθεί αξιόπιστος χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής, μεγιστοποίηση της παραγωγής και βελτιστοποίηση της ποιότητας των προϊόντων μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας, απαιτείται η ρύθμιση των παραγόντων του περιβάλλοντος στη σωστή κατεύθυνση.

Με το θερμοκήπιο περιορίζουμε το μέγεθος του ελεύθερου φυσικού χώρου, για να καταστεί δυνατό να ρυθμίσουμε, με οικονομικά αποδεκτό τρόπο, τους παράγοντες του περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών.

Η παραγωγή επομένως στο θερμοκήπιο εξαρτάται από ρυθμιζόμενης εξέλιξης παράγοντες και γι' αυτό η γεωργική παραγωγή που γίνεται στο θερμοκήπιο έχει σχεδόν όλα τα γνωστά χαρακτηριστικά της βιομηχανικής παραγωγής. Η καλλιέργεια των φυτών στο θερμοκήπιο παρέχει σήμερα τη δυνατότητα της προγραμματισμένης και με προβλέψιμα αποτελέσματα παραγωγής. Η ανάπτυξη των φυτών δεν εξαρτάται πλέον από τυχαίους παράγοντες, αλλά από τους χειρισμούς του ανθρώπινου παράγοντα.

Γενικά σ' ένα θερμοκήπιο που έχει σχεδιαστεί και εξοπλιστεί με βάση την σύγχρονη εξελιγμένη τεχνολογία, είναι δυνατόν να γίνει ρύθμιση της τιμής, σχεδόν όλων των παραγόντων του περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, έτσι ώστε η ανάπτυξη και παραγωγή να κινηθεί προς την επιθυμητή κατεύθυνση χρονικά, ποσοτικά και ποιοτικά.

Στη χώρα μας είναι εμφανής η ανάγκη για μια ολοκληρωμένη παρουσίαση των θεμάτων του θερμοκηπίου. Μια συμβολή στον τομέα αυτόν επιχειρείται με το παρόν βιβλίο, που έχει τη φιλοδοξία να προσφέρει στους σπουδαστές, καθώς και σε κάθε ενδιαφερόμενο, τις απαιτούμενες πληροφορίες, που θα βοηθήσουν στην κατανόηση των προβλημάτων κατασκευής, εξοπλισμού και λειτουργίας του θερμοκηπίου.

Μέσα στο κείμενο χρησιμοποιούνται αρκετές μαθηματικές εκφράσεις. Αυτές θεωρούνται απαραίτητες, ως εργαλεία, μέσω των οποίων ποσοτικοποιείται ένα πρόβλημα και αποκτούνται συγκεκριμένες λύσεις, αλλά και ως μια πειστική γλώσσα, που διευκολύνει την ποιοτική ανάλυση του προβλήματος. Είναι δυνατόν όμως ο αναγνώστης, που δεν είναι εξοικειωμένος με τους μαθηματικούς τύπους, να παρακολουθήσει και να κατανοήσει όλα τα θέματα που αναφέρονται και χωρίς την παρακολούθηση των μαθηματικών τύπων, γιατί σε όλες τις περιπτώσεις και σε όλο το κείμενο χρησιμοποιούνται και λεκτικές ερμηνείες των θεμάτων.

## **A.ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

### **1.1 ΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ**

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 θερμαινόμενα ή μη. Διαφέρουν από άλλες παρόμοιες κατασκευές, όπως π.χ. τα χαμηλά σκέπαστρα, τα σπορεία και τα θερμοσπορεία, στο ότι είναι αρκετά υψηλά και ευρύχωρα, έτσι ώστε να μπορεί ο άνθρωπος να εργάζεται μέσα σ' αυτά.

Πλην των άλλων χαρακτηριστικών τους επομένως, που αφορούν την παραγωγή των φυτών, το θερμοκήπιο προσφέρει και προστασία των εργαζομένων μέσα σ' αυτό από αντίξοες καιρικές συνθήκες.

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

Με 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 διοξειδίου του άνθρακα, με αρκετή ακρίβεια.
- Παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης των παραγόντων του περιβάλλοντος της ρίζας των φυτών, όπως: της υγρασίας, του οξυγόνου, της θερμότητας, των ανόργανων θρεπτικών στοιχείων και του ΡΗ, που με τη χρήση κατάλληλων εδαφικών υποστρωμάτων ή υδροπονικών καλλιεργειών, μπορούν να φθάσουν με ακρίβεια τις απαιτήσεις των φυτών.
- Παρέχεται η δυνατότητα αποτελεσματικότερης φυτοπροστασίας από ασθένειες και έντομα, λόγω περιορισμένου χώρου και εξειδικευμένου εξοπλισμού. Επιπλέον σ' ένα θερμοκήπιο που παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς ρύθμισης των συνθηκών του περιβάλλοντος έτσι ώστε να ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών, η ανάπτυξη φυτοσθενειών είναι πολύ σπανιότερη απ' ό,τι σε ένα θερμοκήπιο του οποίου ο εξοπλισμός δεν παρέχει τέτοια δυνατότητα.

Ειδικότερα σε θερμοκήπια στα οποία γίνεται μια απλή μόνο τροποποίηση του περιβάλλοντος των φυτών με τη κατασκευή, επιτυγχάνεται συνήθως:

- πρώιμη ή όψιμη παραγωγή φυτικών προϊόντων και
- αποφυγή ζημιών στα φυτά και την παραγωγή από αέρα βροχή χαλάζι κλπ.

Στα θερμοκήπια στα οποία γίνεται ακριβής ρύθμιση των παραγόντων του περιβάλλοντος των φυτών, με εξειδικευμένο εξοπλισμό στην κάθε περίπτωση, μπορεί να επιτευχθεί:

χρονικός προγραμματισμός της παραγωγής, ώστε να σταλεί στην αγορά σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή, ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες που θα επικρατήσουν στον έξω χώρο, <sup>1</sup> αύξηση της παραγωγής και βελτίωση της ποιότητας, λόγω της βελτίωσης των συνθηκών του περιβάλλοντος και της προστασίας που προσφέρει το θερμοκήπιο από τα αντίξοα καιρικά φαινόμενα. Επιπλέον ένα σύγχρονο θερμοκήπιο δεν αρκεί μόνο να προσφέρει τη δυνατότητα για τη δημιουργία και διατήρηση του ευνοϊκού περιβάλλοντος για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών, αλλά θα πρέπει να παρέχει και τη δυνατότητα κάθε φορά, για την παραγωγή φυτικών προϊόντων με το μικρότερο δυνατό κόστος.

Η ακρίβεια με την οποία ρυθμίζεται το περιβάλλον ανάπτυξης των φυτών και η δαπάνη για τη δημιουργία αυτού του περιβάλλοντος, στο θερμοκήπιο, προσδιορίζεται από:

- τη σωστή κατασκευή,
- τον κατάλληλο εξοπλισμό και κυρίως από
- την ικανότητα του καλλιεργητή να χειριστεί και να καταναίμει τα διαθέσιμα εφόδια.

## 1.2 ΤΟ ΣΥΓΧΡΟΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΚΑΙ Ο ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες αποτελούν σήμερα ίσως την πιο εντατική μορφή καλλιέργειας. Η καλλιέργεια φυτών υπό κάλυψη βασίζεται στην "αρχή του φαινομένου του θερμοκηπίου", κατά την οποία η φωτεινή ακτινοβολία διαπερνά το υλικό κάλυψης, εγκλωβίζεται στον εσωτερικό χώρο και μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια, η οποία συγκρατείται από το κάλυμμα του θερμοκηπίου και δε μεταφέρεται προς τα έξω.

Με την έννοια «**σύγχρονο θερμοκήπιο**» δε νοείται το θερμοκήπιο που εκμεταλλεύεται μόνο το φαινόμενο του θερμοκηπίου (πρώιμηση της παραγωγής και προστασία από τις καιρικές συνθήκες), αλλά το θερμοκήπιο που δημιουργεί τις **ευνοϊκότερες και ταυτόχρονα σταθερότερες** (ανεξάρτητα από την εποχή του έτους) συνθήκες για τα φυτά που βρίσκονται εγκατεστημένα σε αυτό και συγχρόνως διοικείται με έναν άρτια επιχειρηματικό τρόπο για την επίτευξη του μέγιστου οικονομικού αποτελέσματος.

Για τον επίτευξη των κατάλληλων κλιματικών συνθηκών στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι απαραίτητη η χρήση των κατάλληλων εξοπλισμών.

Οι εξοπλισμοί αυτοί διαφοροποιούνται από θερμοκήπιο σε θερμοκήπιο ανάλογα με:

- το είδος και τις ανάγκες τις καλλιέργειας,
- τον τρόπο καλλιέργειας,
- το μικροκλίμα της περιοχής,
- τις γνώσεις και απαιτήσεις του καλλιεργητή,
- τις οικονομικές του δυνατότητες.

Το βασικό γνώρισμα κάθε είδους εξοπλισμού πρέπει να είναι η:

- μεγάλη αξιοπιστία,
- αντοχή στο χρόνο,
- ελάχιστη και απλή συντήρηση,
- εύκολη χρήση,

έτσι ώστε ο καλλιεργητής να μην ασχολείται συνεχώς με επισκευές και να έχει περισσότερο χρόνο να ασχοληθεί με την καλλιέργεια, τη διάθεση των προϊόντων του και γενικότερα την οικονομική παρακολούθηση της μονάδας του.

### 1.3 ΟΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

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

Έτσι παρατηρήθηκε μια σημαντική ανάπτυξη των θερμοκηπίων, τα οποία έφθασαν στα 43.564 στρέμματα το 1999.

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

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

θέσπιση οικονομικών κινήτρων και την εκτέλεση αρδευτικών και άλλων έργων.

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

Περιοχές Χώρας	Κηπευτικά				Ανθοκομικά				Σύνολο			
	πλα- σικά	υαλό- φρακτα	Σύνολο	Ποσοστό (%)	πλα- σικά	υαλό- φρακτα	Σύνολο	Ποσοστό (%)	πλα- σικά	υαλό- φρακτα	Σύνολο	Ποσοστό (%)
Κρήτη	16.589	121	16.710	41,78	696	94	790	22,14	17.285	215	17.500	40,17
Πελοπόννησος	7.608	27	7.635	19,09	186	244	430	12,05	7.794	271	8.065	18,51
Κεντρική Μακεδονία	7.034	0	7.034	17,59	191	150	341	9,56	7.225	150	7.375	16,93
Λοιπές περιοχές	8.452	165	8.617	21,54	995	1.612	2.007	56,25	9.447	1.177	10.624	24,39
Σύνολο χώρας	39.683	313	39.996	100,00	2.068	1.500	3.568	100,00	41.751	1.813	43.564	100,00
Ποσοστό (%)	99,2	0,8	100		57,9	42,1	100		95,58	4,2	100	

Πίνακας 1



## Β.ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

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

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

Για ένα συγκεκριμένο κληρονομικό δυναμικό υπάρχει πάντα ένα βέλτιστο περιβάλλον, το οποίο επιτρέπει στους χαρακτήρες του φυτού, που προσδιορίζονται από το κληρονομικό δυναμικό, να αναπτυχθούν στον καλύτερο δυνατό βαθμό. Οποσδήποτε, 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 τη 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 δυνατόν κόστος.

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

1. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού, που επιτελούνται στο υπέργειο μέρος του και είναι κυρίως η ακτινοβολία, η θερμότητα, η υγρασία και το διοξείδιο του άνθρακος.
2. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τις λειτουργίες του φυτού που επιτελούνται στη ρίζα και είναι κυρίως η θερμότητα, το νερό, το οξυγόνο, τα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία και το pH.

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

Για τη μεγιστοποίηση της παραγωγής δεν αρκεί η ρύθμιση καθ' ενός από τους παράγοντες του περιβάλλοντος σ' ένα συγκεκριμένο άριστο σημείο, αλλά απαιτείται η ρύθμιση καθ' ενός σε συνδυασμό με το επίπεδο όλων των άλλων παραγόντων. Στη ρύθμιση της θερμοκρασίας της κόμης κατά τη διάρκεια της ημέρας π.χ. θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η επικρατούσα ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η σχετική υγρασία, η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub>, αλλά και η θερμοκρασία εδάφους, η διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος κ.ά., άλλως το αποτέλεσμα μπορεί να είναι πολύ δυσμενές για την παραγωγή.

Εδώ θα αναλύσουμε τους παράγοντες ακτινοβολία, θερμότητα, υγρασία και διοξείδιο του άνθρακος.



**Διάγραμμα 1** Οι παράγοντες του περιβάλλοντος που συνήθως ρυθμίζονται σε ένα σύγχρονο θερμοκήπιο

## 2.1 ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Με την ακτινοβολία μεταφέρεται ενέργεια μέσω των φωτονίων, που είναι διακεκριμένες δέσμες ενέργειας. Τα φωτόνια ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός ( $c=3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$ ) και έχουν ιδιότητες όμοιες με αυτές των σωματιδίων και των μικροκυμάτων. Εκπέμπονται ή απορροφώνται από την ύλη λόγω της μετακίνησης των ηλεκτρονίων από το ένα επίπεδο ενέργειας σε άλλο ή αλλαγών στη ενέργεια δόνησης και περιστροφής των μορίων.

Γενικά η ακτινοβολία μπορεί να θεωρηθεί και ως ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Κάθε φυσική επιφάνεια λόγω της θερμοκρασίας της εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σ' ένα μήκος κύματος που κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 100  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm} = 10^4 \text{ \AA}$ ) και έχει σταθερή ταχύτητα. Στο διάστημα αυτό περιλαμβάνεται η ηλιακή ακτινοβολία και η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η κύρια πηγή ενέργειας του θερμοκηπίου είναι η ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την πηγή ενέργειας για τη φωτοσύνθεση των φυτών, καθώς και τη φυσική πηγή θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου. Επηρεάζει δε σημαντικά τη διάρκεια ζωής των διαφανών πλαστικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή πολλών θερμοκηπίων.

Με τη φωτοσύνθεση δεσμεύεται η φωτεινή ακτινοβολία στους υδατάνθρακες, οι οποίοι με τη σειρά τους αποτελούν το καύσιμο που δίνει ενέργεια σε κάθε ζωντανό οργανισμό.

Όταν όλοι οι παράγοντες που συμμετέχουν στη φωτοσύνθεση, όπως η φωτεινή ακτινοβολία, το διοξείδιο του άνθρακος, η θερμοκρασία, το νερό κ.ά. βρίσκονται στο άριστο επίπεδο, τότε και η φωτοσυνθετική δραστηριότητα (άρα και η ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών) βρίσκεται στο ανώτερο δυνατό επίπεδο. Αν ένας από αυτούς τους παράγοντες μειωθεί, όπως π.χ. η ένταση του φωτισμού, τότε η φωτοσυνθετική δραστηριότητα (και ανάπτυξη των φυτών) μειώνεται. Αν ένας από αυτούς τους παράγοντες αυξηθεί πάνω από το άριστο, επομένως και η ένταση του φωτισμού, πάλι μειώνεται η φωτοσυνθετική δραστηριότητα (στην περίπτωση της υψηλής έντασης φωτισμού, επειδή βλάπτονται οι χλωροπλάστες).

## 2.2 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Τα φυτά ανταλλάσσουν θερμότητα με τον περιβάλλοντα χώρο. Η ανταλλαγή θερμότητας του φυτού με το περιβάλλον συμβαίνει λόγω των διαφορών θερμοκρασίας.

**Θερμοκρασία** ενός σώματος, με την ποιοτική της έννοια, μπορούμε να πούμε ότι είναι αυτό που προσδιορίζει την αίσθηση του ζεστού ή κρύου από την επαφή με το σώμα. Η θερμοκρασία είναι μια ποσότητα η οποία μπορεί να προσδιοριστεί είτε με όρους μακροσκοπικής θερμοδυναμικής από ποσότητες όπως η θερμότητα και το έργο, ή, ισάξια και με ταυτόσημα αποτελέσματα, με όρους της κινητικής θεωρίας (μικροσκοπική ερμηνεία) από μια ποσότητα η οποία χαρακτηρίζει τη κατανομή ενέργειας μεταξύ των σωματιδίων σε ένα σύστημα.

Η μικροσκοπική ερμηνεία της θερμοκρασίας, κάνει δεκτό ότι η μακροσκοπικά μετρήσιμη ποσότητα που ονομάζεται θερμοκρασία είναι ένα αποτέλεσμα της τυχαίας κίνησης των μικροσκοπικών σωματιδίων από τα οποία είναι κατασκευασμένο ένα σύστημα. Η κινητική ενέργεια των μορίων σχετίζεται κατ' ευθείαν με τη θερμοκρασία του σώματος.

Μέση κινητική ενέργεια των μορίων =  $3kT/2$

όπου:  $k$  είναι η σταθερά του Boltzmann,  $T$  η θερμοκρασία

Έτσι η θερμοκρασία είναι ένα μέτρο της μέσης τυχαίας κινητικής ενέργειας των μορίων ενός υλικού. Στη θερμοκρασία μηδέν η ενέργεια φθάνει ένα ελάχιστο (το σημείο μηδέν της κίνησης βρίσκεται στους 0 K).

Για να μην γίνεται καμιά σύγχυση με την έννοια της θερμότητας θα πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι: η συνολική **θερμότητα** ενός υλικού είναι ανάλογη με τη συνολική τυχαία κινητική ενέργεια των μορίων του.

Με την άποψη της κινητικής θεωρίας της θερμοκρασίας εξηγείται εύκολα ο τρόπος μετάδοσης της θερμότητας από ένα σώμα σε ένα άλλο. Η θερμική ενέργεια μεταφέρεται από τα σωματίδια με την

κίνησή τους, και με τις συγκρούσεις των σωματιδίων από το ένα σώμα σε ένα άλλο όταν τίθενται σε επαφή. Ο μηχανισμός αυτός μεταφοράς της θερμικής ενέργειας ονομάζεται αγωγιμότητα.

Ένας δεύτερος μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας είναι αυτός που ονομάζεται επαγωγή, ή συναγωγή ή ρεύμα που αφορά τα ρευστά και γίνεται με την μετακίνηση των σωματιδίων που έχουν την μεγαλύτερη κινητική ενέργεια, όπως όταν ζεσταίνουμε το νερό στην κατσαρόλα και τα μόρια του ρευστού που ζεσταίνονται πρώτα στον πυθμένα ανέρχονται και το κρύο ρευστό της επιφάνειας παίρνει τη θέση τους.

Ο τρίτος τρόπος που μπορεί να μεταφερθεί η θερμότητα από το ένα σώμα στο άλλο είναι με την ακτινοβολία, εδώ η ενέργεια μεταφέρεται και μέσω του κενού. Αυτός είναι ο τρόπος με τον οποίο ο ήλιος θερμαίνει τη γη. Η ακτινοβολία φεύγει από τον ήλιο και φθάνει στη γη όπου ένα μέρος της απορροφάται ζεσταίνοντας την επιφάνεια της γης.

## 2.2.1 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

Όλη σχεδόν η θερμότητα πάνω στη γη προέρχεται από τον ήλιο. Η ακτινοβολούμενη από τον ήλιο ενέργεια φθάνει 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 ( παρά σε ασήμαντο ποσοστό, που εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε σκόνη, υγρασία κ.ά.) αλλά έμμεσα από την επιφάνεια της γης.

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

Ένα σώμα πάνω στη γη απορροφά τόσο περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία, όσο πιο σκούρο χρωματισμό έχει, όσο πιο μεγάλη επιφάνεια έχει εκτεθειμένη στην ακτινοβολία, όσο πιο κάθετα δέχεται

η επιφάνειά του την ακτινοβολία, όσο μεγαλύτερο χρονικό διάστημα ακτινοβολείται και όσο μεγαλύτερης έντασης είναι η ακτινοβολία.

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

- Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής
- Την εποχή του έτους
- Τη διάρκεια της ηλιοφάνειας
- Τον προσανατολισμό του και την κλίση του
- Το χρώμα του

Η μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους μια συγκεκριμένη στιγμή εξαρτάται:

- από το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφά,
- από τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους, που επηρεάζονται από τα φυσικά συστατικά του, Άργιλος, Άμμος, Λίθοι, κ.ά.,
- από τη θερμοχωρητικότάτά του, που κυρίως καθορίζεται από την ποσότητα νερού και αέρα που περιέχει,
- από την απαιτούμενη ενέργεια για τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτό, όπως εξάτμιση κλπ.

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

Ο ψυχρός αέρας που δημιουργείται από την επαφή του με την ψυχρή επιφάνεια της γης κατά τη διάρκεια μιας ασυννέφιαστης νύχτας με άπνοια, γίνεται βαρύτερος και καταρρακιδά στις χαμηλότερες λεκάνες του ανάγλυφου της περιοχής. Αυτό έχει 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 σώματος πάνω στη γη και επομένως και του

θερμοκηπίου, εξαρτάται από:

- την αρχική του θερμοκρασία,
- τη σχετική έκταση της επιφάνειάς του,
- τη θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου που πέρφτει επάνω του,
- το ισοζύγιο ακτινοβολίας.

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

- τη θερμοκρασία του σώματος 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.

### 2.2.2 ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ

Η θερμοκρασία των φυτών στο χώρο του θερμοκηπίου καθορίζεται κυρίως από την ακτινοβολία που δέχονται και εκπέμπουν, από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα, από τη θερμοχωρητικότητά τους και από τη λανθάνουσα θερμότητα που χάνουν ή δέχονται λόγω εξάτμισης (διαπνοής) ή συμπίκνωσης των υδρατμών επάνω τους. Τα φυτά, με το υπέργειο μέρος τους δέχονται κατά τη διάρκεια της ημέρας την ηλιακή ακτινοβολία. Ένα μέρος της ανακλάται, περίπου 20%, ένα πολύ μικρό μέρος της χρησιμοποιείται για φωτοσύνθεση, ενώ το υπόλοιπο αυξάνει τη θερμότητά τους. Ο μηχανισμός της αντιδράσεως των φυτών στην αύξηση της θερμοκρασίας τους είναι η ένταση της λειτουργίας της διαπνοής (εξαέρωση 1 g νερού συνεπάγεται απώλεια ενέργειας 2,5 kJ).

Τα φυτά επίσης, όπως όλα τα σώματα που έχουν μια θερμοκρασία, ακτινοβολούν θερμότητα στο διάστημα, με αποτέλεσμα να ψύχονται τα ίδια, αλλά και να συμβάλουν στην πτώση της θερμοκρασίας του αέρα που τα περιβάλλει. Αυτό έχει αποτέλεσμα, τις νύχτες με άπνοια και καθαρό ουρανό συχνά η θερμοκρασία των φυτών να είναι χαμηλότερη από αυτή του αέρα, με αποτέλεσμα να έχουμε συμπίκνωση 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 μεταβολητών. Πιθανόν να επηρεάζει για μεγάλο διάστημα χρόνου και όχι μόνο στιγμιαία τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτά. Επίσης, η ρύθμιση της θερμοκρασίας είναι ο παράγοντας που έχει τη μεγαλύτερη επίπτωση στο κόστος της παραγωγής στο θερμοκήπιο, μετά τον τεχνητό φωτισμό.

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

Η ανάπτυξη των φυτών, ανάλογα με τις απαιτήσεις τους σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος,

μπορεί να χωριστεί σε τρεις κύκλους:

- Απαιτήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες για διακοπή του λήθαργου ,διαφοροποίηση οφθαλμών και καρποφορία,
- Απαιτήσεις σε εδαφική θερμοκρασία για τη βλάστηση και το φύτευμα των σπόρων,
- Απαιτήσεις σε θερμοκρασία αέρος και εδάφους για τη βλαστική αναπαραγωγική φάση.

### 2.2.3 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΓΙΑ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΚΑΙ ΦΥΤΡΩΜΑ

Η εδαφική θερμοκρασία είναι μεγάλης σπουδαιότητας για τη βλάστηση και το φύτευμα των σπόρων. Μαζί με την υγρασία και το οξυγόνο αποτελεί τον καθοριστικό παράγοντα της γρήγορης βλάστησης του σπόρου και της ρωμαλέας ανάπτυξης των νεαρών φυτών.

Τα διάφορα είδη σπόρων έχουν διαφορετικό ελάχιστο, άριστο και μέγιστο όριο θερμοκρασιών. Η πορεία της βλάστησης προχωρεί πολύ αργά κοντά στο σημείο της ελάχιστης θερμοκρασίας. Μια αύξηση 1°C όταν η θερμοκρασία εδάφους είναι κοντά στην ελάχιστη, επιταχύνει πολύ περισσότερο τη βλάστηση, παρά μια αύξηση 1°C κοντά στο σημείο της άριστης θερμοκρασίας.

### 2.3 Η ΥΓΡΑΣΙΑ ΣΤΟΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΑΕΡΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Ένας από τους βασικούς παράγοντες της σύστασης του περιβάλλοντος των φυτών είναι η υγρασία που εμπεριέχεται στον ατμοσφαιρικό αέρα.

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

Ατμοσφαιρική πίεση είναι η πίεση που ασκείται από μια στήλη αέρα σε 1 m<sup>2</sup> επιφάνειας της γης. Στην κορυφή ενός βουνού η στήλη του αέρα έχει μικρότερο μήκος, επομένως και η ατμοσφαιρική πίεση μικρότερη. Η ατμοσφαιρική πίεση στη περιοχή μας κυμαίνεται 95 και 105 kPa. Στους συνήθεις υπολογισμούς συνήθως χρησιμοποιούμε τη μέση τιμή 101,3 kPa (1013 mbar). Η ατμοσφαιρική πίεση προέρχεται από το άθροισμα των πιέσεων όλων των αερίων που περιέχονται στον αέρα.

$$P_{tot} = P_{O_2} + P_{CO_2} + \dots + P_{υδρατμών}$$

Η πίεση που ασκεί κάθε αέριο εξαρτάται από την συγκέντρωσή του και είναι ανεξάρτητη από την πίεση των άλλων αερίων. Η πίεση επομένως του ξηρού αέρα μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν

μεταβάλλεται πολύ, η πίεση των υδρατμών όμως μεταβάλλεται ανάλογα με τη συγκέντρωση των υδρατμών. Οι υδρατμοί στο χώρο του θερμοκηπίου από τις περιοχές υψηλής πίεσης (υψηλής συγκέντρωσης) σε περιοχές χαμηλής πίεσης (χαμηλής συγκέντρωσης) έως ότου εξισωθεί η πίεση υδρατμών (οι συγκεντρώσεις) σε όλα τα σημεία του χώρου και δημιουργηθεί μια ισορροπία. Η διαφορά πίεσης υδρατμών επομένως είναι η κινητήρια δύναμη για τη μεταφορά των υδρατμών από μια ελεύθερη επιφάνεια νερού ή την επιφάνεια των φύλλων, στον αέρα του θερμοκηπίου (χαμηλή πίεση).

Την ποσότητα των υδρατμών που περιέχεται σε 1 Kg αέρα, σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και πίεση την ονομάζουμε απόλυτη υγρασία ( $g Kg^{-1}$  αέρα). Όσο υψηλότερη θερμοκρασία έχει ο αέρας τόσο μεγαλύτερη ποσότητα υδρατμών μπορεί να συγκρατήσει, γιατί αυξάνει η κινητική ενέργεια των μορίων του. Συχνά χρησιμοποιείται ο όρος πυκνότητα υδρατμών που αφορά την ποσότητα των υδρατμών που περιέχεται σε  $1m^{-3}$  αέρα και εκφράζεται σε  $gm^{-3}$  αέρα.

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

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

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

Έλλειμμα κορεσμού υδρατμών λέμε τη διαφορά της απόλυτης υγρασίας του αέρα από την ποσότητα υδρατμών που θα είχε ο αέρας, αν στην ίδια θερμοκρασία και πίεση ήταν κορεσμένος, εκφράζεται σε  $g Kg^{-1}$  αέρα. Το έλλειμμα κορεσμού υδρατμών επομένως εκφράζει την ποσότητα των υδρατμών που ο αέρας μιας συγκεκριμένης θερμοκρασίας και πίεσης μπορεί ακόμα να απορροφήσει. Όσο μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα τόσο μικρότερη ποσότητα υδρατμών μπορεί να συγκρατήσει, γιατί μειώνεται η κινητική ενέργεια των μορίων του. Θερμοκρασία σημείου δρόσου είναι η θερμοκρασία στην οποία ο αέρας όταν ψυχθεί χωρίς να μεταβληθεί η περιεκτικότητά του σε υδρατμούς, γίνεται κορεσμένος.

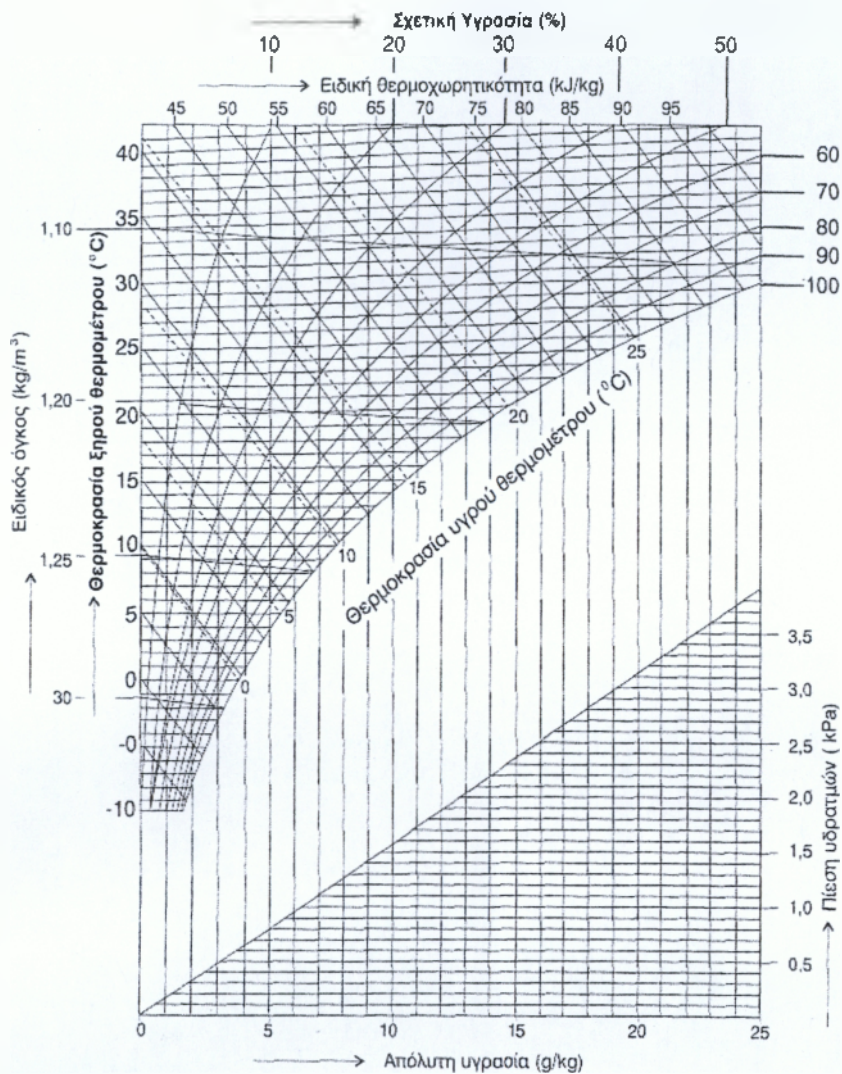
Σε αέρα μιας συγκεκριμένης θερμοκρασίας, όσο αυξάνει η περιεκτικότητά του σε υδρατμούς (χωρίς να μεταβάλλεται η θερμοκρασία του), τόσο η θερμοκρασία του σημείου δρόσου πλησιάζει προς αυτήν του αέρα. Το αντίθετο συμβαίνει όταν μειώνεται η περιεκτικότητά του σε υδρατμούς.

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

Η θερμοκρασία του σημείου δρόσου μπορεί να προσδιορισθεί εύκολα από το διάγραμμα υγρασίας ή ψυχομετρικό διάγραμμα, ή όπως λέγεται διεθνώς διάγραμμα Mollier, (διάγραμμα 2), π.χ.



έχουμε αέρα θερμοκρασίας  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  και σχετικής υγρασίας  $80\%$ , ο οποίος ψύχεται χωρίς να μεταβληθεί η ποσότητα των υδρατμών που περιέχει. Για να βρούμε τη θερμοκρασία στην οποία ο αέρας θα γινόταν κορεσμένος, δηλαδή τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου, βρίσκουμε πρώτα την τομή της οριζόντιας ευθείας που ξεκινά από τη θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου ( $25^{\circ}\text{C}$ ), με την καμπύλη της σχετικής υγρασίας ( $80\%$ ). Από εκεί φέρεται μια κατακόρυφη ευθεία και στο σημείο όπου η ευθεία αυτή τέμνει την καμπύλη  $100\%$  σχετικής υγρασίας (την πρώτη καμπύλη αρχίζοντας από κάτω) φέρεται μια οριζόντια ευθεία, που στον κατακόρυφο άξονα των θερμοκρασιών ξηρού θερμομέτρου δείχνει τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου  $21,5^{\circ}\text{C}$ . Το σημείο στο οποίο, η επέκταση της πρώτης κατακόρυφης ευθείας συναντά τον κάτω οριζόντιο άξονα, δείχνει την απόλυτη υγρασία του αέρα  $15,8\text{ g kg}^{-1}$ . Αν στο σημείο τομής με την υποτείνουσα του κάτω τριγώνου φέρουμε μια οριζόντια ευθεία, το σημείο στο οποίο συναντά τον δεξιό κατακόρυφο άξονα δείχνει την πίεση υδρατμών  $2,55\text{ kPa}$ . Αν στο προηγούμενο παράδειγμα από το σημείο τομής με τη καμπύλη σχετικής υγρασίας φέρουμε παράλληλο προς τις διαγώνιες, στο σημείο που τέμνει την κλίμακα του υγρού θερμομέτρου έχουμε  $T_w 22,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  και από εκεί με κατακόρυφη προέκταση βλέπουμε την απόλυτη υγρασία στον κορεσμό  $17,2\text{ gkg}^{-1}$



**Διάγραμμα 2** Ψυχομετρικό Διάγραμμα ή Διάγραμμα Υγρασίας ή διάγραμμα Mollier (για βαρομετρική πίεση 101,3 kPa)

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

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

όπου:  $W_u$  είναι η απόλυτη υγρασία του αέρα [ $\text{g kg}^{-1}$ ]

$w_{uw}$  είναι η απόλυτη υγρασία του κορεσμένου αέρα θερμοκρασίας  $T_w$  [ $\text{g kg}^{-1}$ ].

$\gamma$  ( $= C_p/\lambda$ ) ορίζεται ως θερμοδυναμική ψυχομετρική σταθερά. Η τιμή της εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση.

$C_p$  είναι η ειδική θερμότητα του αέρα [ $\text{J g}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]

$\lambda$  στους  $20^\circ\text{C}$  και πίεση  $100 \text{ kPa} = 0.594 \text{ g kg}^{-1} \text{K}^{-1}$

$T_a, T_w$  Θερμοκρασία ξηρού και υγρού θερμομέτρου, αντίστοιχα  $\text{K}$ ].

## 2.4 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΟΣ

Η ξηρά ουσία ενός φυτού αποτελείται κατά 40% περίπου από άνθρακα, τον οποίο αποσπά από το διοξείδιο του άνθρακος (CO<sub>2</sub>) της ατμόσφαιρας. Εκτός από τον άνθρακα και το οξυγόνο (O<sub>2</sub>) που περιέχουν τα φυτά, το λαμβάνουν από το CO<sub>2</sub> του ατμοσφαιρικού αέρα.

Το CO<sub>2</sub> της ατμόσφαιρας διαχέεται στα στόματα των φύλλων όταν είναι ανοιχτά και από εκεί στα κύτταρα των φύλλων και τους χλωροπλάστες, όπου με την ηλιακή ενέργεια και το νερό, μέσω της φωτοσύνθεσης, μετασχηματίζεται σε υδατάνθρακες. Οι υδατάνθρακες μετακινούνται στα διάφορα μέρη του φυτού και από αυτούς (αρχικά προϊόντα), σχηματίζονται όλες οι άλλες οργανικές ουσίες που βρίσκονται στα φυτά.

Ένα μέρος των παραγομένων οργανικών ενώσεων χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του φυτού, ενώ ένα άλλο μέρος οξειδώνεται πάλι σε διοξείδιο του άνθρακος (CO<sub>2</sub>), για να αποσπάσει ενέργεια απαραίτητη στις ζωτικές λειτουργίες του φυτού (αναπνοή). Με άλλα λόγια, με τη φωτοσύνθεση δεσμεύεται CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα και παράγονται οργανικές ενώσεις, ενώ με την αναπνοή διασπώνται οι οργανικές ενώσεις και απελευθερώνεται CO<sub>2</sub>. Το δεσμευόμενο CO<sub>2</sub> βέβαια με τη φωτοσύνθεση είναι πολύ περισσότερο από το παραγόμενο όλο το εικοσιτετράωρο με την αναπνοή.

Η φωτοσύνθεση επομένως επηρεάζεται άμεσα από το φως, τη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> στον αέρα, το νερό και τη θερμοκρασία. Είναι αυτονόητο ότι μια αύξηση του παράγοντα που βρίσκεται στην ελάχιστη ποσότητα, αυξάνει το ρυθμό της φωτοσύνθεσης.

Η αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στον αέρα επηρεάζει, εκτός από τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης, και τη μορφογένεση στα φυτά. Οι Thomley And Hurd (1974) αποδεικνύουν ότι όσο το φως και η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> αυξάνουν, η αναλογία της επιφάνειας του φύλλου ως προς το ξηρό βάρος του (ειδική φυλλική επιφάνεια) μειώνεται.

Παρατηρείται ακόμη ότι η αύξηση της συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> στο χώρο του θερμοκηπίου επιδρά ευνοϊκά στην αύξηση των αποδόσεων ορισμένων καλλιεργειών, ακόμα και κάτω από περιορισμένες συνθήκες φωτός.

### 2.4.1 Η ΑΦΟΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥ CO<sub>2</sub>

Η φωτοσύνθεση βασικά είναι μια διαδικασία μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε χημική ενέργεια, η οποία συμβολικά μπορεί να γραφεί:



Απ' αυτή την παρουσίαση φαίνεται πως στους υδατάνθρακες, που φτιάχνει το φυτό, ο άνθρακας και το οξυγόνο προέρχονται από το διοξείδιο του άνθρακος και το υδρογόνο από το

νερό.Ειδικότερα, κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης η πρόσπτωση των φωτονίων του ορατού φάσματος στις χρωστικές του φυλλώματος επιτρέπει μια μετακίνηση ηλεκτρονίων από το μόριο του νερού (μεταβαλλόμενο σε  $O_2$ ) στη nicotinamide adenine dinucleotide phosphatase (NADP<sup>+</sup>, μετατρέποντάς την στην ανοιγμένη της μορφή, NADPH).

Στη διαδικασία αυτή δημιουργείται μια κλίση πρωτονίων η θυλακοειδή μεμβράνη, η οποία επιτρέπει το σχηματισμό των συνθέσεων αποθήκευσης ενέργειας (adenosine triphosphate, ATP). Η ενέργεια αυτή είναι διαθέσιμη για την αναγωγή του  $CO_2$  σε υδατάνθρακες, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για την αναγωγή  $CO_2$  με έκλυση  $CO_2$  (φωτοαναπνοή, η οποία μειώνει την απόδοση ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή οργανικών ενώσεων από το  $CO_2$ ).

Η φωτοσύνθεση επομένως εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα του φωτός και του διοξειδίου του άνθρακος και από την ικανότητα του φωτοσυνθετικού μηχανισμού να προσλαμβάνει το φως και να αφομοιώνει  $CO_2$ . Η αξιοποίηση του φωτός σε μια καλλιέργεια εξαρτάται από τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας της καλλιέργειας (η επιφάνεια των λειτουργικών φύλλων ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους, LAI ), από την κατανομή της στο χώρο και από το χρόνο ζωής της πράσινης φυλλικής επιφάνειας.

Η μορφολογία της κόμης και επομένως η κατανομή της φυλλικής επιφάνειας στο χώρο διαφέρει στα διάφορα είδη φυτών. Επιπλέον επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, το μήκος της ημέρας, την ποσότητα και την ποιότητα του φωτισμού, τη συγκέντρωση του  $CO_2$  και από τη διαθεσιμότητα του νερού. Η έλλειψη νερού περιορίζει την αξιοποίηση του φωτός με διάφορους τρόπους: με τη μαρανση του φύλλου, το καρούλιασμα, τη μείωση της έκτασης του φύλλου και την επιτάχυνση της γήρανσης.

Γενικά η αφομοίωση του  $CO_2$  στα φύλλα προσδιορίζεται από:

1. Τη διαθεσιμότητα της ενέργειας
2. Τη συγκέντρωση  $CO_2$  στους χλωροπλάστες (στις θέσεις καρβοξυλίωσης)
3. Τη δραστηριότητα του ενζύμου(της ribulose biphosphate (RuBP) καρβοξυλάσης) και
4. Τη διαθεσιμότητα του ενζύμου (της RuBP που αναγεννάται στον κύκλο του Calvin).
5. Οι συνθήκες 1 και 3 εξαρτώνται από το επίπεδο του φωτισμού, η συνθήκη 2 εξαρτάται από τη συγκέντρωση του  $CO_2$  στην ατμόσφαιρα και στις αντιστάσεις διάχυσης και η συνθήκη 4 στην ικανότητα του κυττάρου να μετασχηματίζει αφομοιωμένο άνθρακα σε προϊόντα αποθηκεύσιμα (άμυλο στους χλωροπλάστες) ή προϊόντα δυνάμενα να μεταφερθούν σε άλλες θέσεις (διαλυτοί υδατάνθρακες).

Σε χαμηλές εντάσεις φωτισμού ο ρυθμός φωτοσύνθεσης περιορίζεται από την ενέργεια (τα quantum), ενώ σε υψηλές εντάσεις φωτισμού περιορίζεται από τη χαμηλή συγκέντρωση του  $CO_2$  που βρίσκεται στο εσωτερικό του φύλλου. Σε υψηλές εντάσεις φωτισμού και υψηλή συγκέντρωση  $CO_2$ , η φωτοσύνθεση περιορίζεται από το ρυθμό αναγέννησης του ενζύμου (της RuBP).

Η αύξηση του ρυθμού φωτοσύνθεσης σε υψηλές συγκεντρώσεις  $CO_2$  οφείλεται όχι μόνο στην επίδραση της αυξημένης μάζας αυτού καθαυτού του  $CO_2$ , αλλά επίσης στην αλλαγή της σχετικής συνάφειας του RuBP ενζύμου καρβοξυλάση προς οξυγενάση για τα μόρια  $CO_2$  και  $O_2$ .

Στα φυτά που χαρακτηρίζονται  $C_3$ , ή RuBP καρβοξυλάση είναι το κύριο ένζυμο που καταλύει την αναγωγή τριών μορίων διοξειδίου του άνθρακος σε τρία μόρια άνθρακος.

Μερικά φυτά που χαρακτηρίζονται ως CAM (καλαγχόη, κάκτοι και πολλές ορχιδέες) την ημέρα, σε αντίθεση με όλα τα άλλα φυτά, τα στόματά τους είναι κλειστά για να περιορίσουν τις απώλειες νερού. Ανοίγουν τα στόματά τους τη νύχτα για να προμηθευθούν  $CO_2$ . Σ' αυτά τα φυτά για τη δέσμευση του  $CO_2$  χρησιμοποιείται η PEP (Phosphoenol pyruvate) καρβοξυλάση και η παραγωγή malate, ένα τεσσάρων ατόμων μόριο. Η διαδικασία της αφομοίωσης του άνθρακα γίνεται την ημέρα με κλειστά τα στόματα.

Στα φυτά που χαρακτηρίζονται ως  $C_4$  η δέσμευση του  $CO_2$  γίνεται από την PEP καρβοξυλάση σε πρώτο στάδιο, όπου συγκεντρώνει το  $CO_2$  κοντά στη RuBP καρβοξυλάση που βρίσκεται στους εσωτερικούς ιστούς. Μ' αυτό τον τρόπο η φωτοαναπνοή, η οποία είναι η δέσμευση του  $O_2$  από τη RuBP καρβοξυλάση, μειώνεται.

Η φωτοσύνθεση στο επίπεδο της κόμης είναι το ολοκλήρωμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας του κάθε φύλλου.

Το φως, η θερμοκρασία, η συγκέντρωση  $CO_2$  και η υγρασία, είναι ετερογενώς κατανομημένα στην κόμη. Η κατανομή ενός εκάστου από αυτούς τους παράγοντες εξαρτάται από τη γεωμετρία της κόμης. Εκτός αυτού όμως και οι δυνατότητες του κάθε φύλλου διαφέρουν. Οι συνθήκες αυτές μεταβάλλονται με το χρόνο. Έτσι η ένταση της ακτινοβολίας μεταβάλλεται, με ένα μέγιστο το μεσημέρι, με μεγάλη ένταση στα εξωτερικά επάνω φύλλα και πολύ μικρότερη στα εσωτερικά κάτω φύλλα.

Ο άνθρακας που δεσμεύεται με τη διαδικασία που προαναφέραμε μετακινείται στο εσωτερικό του φυτού. Τέτοιες μετακινήσεις είναι:

- Μετακίνηση των οργανικών ενώσεων από τις θέσεις σύνθεσης στις θέσεις αύξησης και αποθησαυρισμού.
- Μεταφορά  $CO_2$  με την αναπνοή
- ενσωμάτωση των οργανικών ενώσεων στην κατασκευή, και
- απώλειες από αποδομώμενους ιστούς.

Τα σάκχαρα (τριόζες) που δημιουργούνται στον κύκλο του Calvin μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για σύνθεση αμύλου στον ίδιο το χλωροπλάστη ή σουκρόζης στο κυττόπλασμα. Κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου η περιεκτικότητα του φύλλου σε άμυλο αυξάνει κατά τη διάρκεια της ημέρας και μειώνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας, λόγω μετατροπής του σε διαλυτά σάκχαρα και μεταφοράς του στα κέντρα ανάπτυξης ή αποθησαυρισμού. Ο ρυθμός μεταφοράς τους ποικίλει ανάλογα με τη δραστηριότητα της παραγωγής και της κατανάλωσης, που προσδιορίζεται από εξωτερικές παραμέτρους όπως φως,  $CO_2$  που επηρεάζουν την παραγωγή και τη θερμοκρασία που επηρεάζει την κατανάλωση αλλά και την παραγωγή και το ρυθμό μεταφοράς.

Οι υδατάνθρακες του κυττάρου αποδομούνται με την αναπνοή. Η αναπνοή επηρεάζεται

σημαντικά εκτός από τη διαθεσιμότητα και από τη θερμοκρασία. Η διαθεσιμότητα των υδατανθράκων στα νεαρά φυτά τομάτας θεωρείται περιορισμένη όταν αποτελούν ποσοστό μικρότερο του 10% του ξηρού βάρους .

Στην αναπνοή, ένα μέρος της κατανάλωσης οργανικών ενώσεων χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας και ως δομικά στοιχεία, για την παραγωγή κατασκευαστικών στοιχείων του φυτού. Η σχέση μεταξύ απωλειών άνθρακος και αύξησης, δίνει το συντελεστή παραγωγής (CPF), που εξαρτάται από το κόστος σε ενέργεια των συντιθεμένων στοιχείων. Περίπου 1,6 g άνθρακος χάνονται για την παραγωγή 1 g λιπιδίων, 0,4 g για την παραγωγή 1 g πρωτεΐνης και 0,18 g για 1 g υδατάνθρακες.

Μια άλλη κατανάλωση ενέργειας εκτός αυτής που γίνεται για την αύξηση, είναι η ενέργεια που χρειάζεται για τη συντήρηση των υφισταμένων κατασκευών και τη λειτουργία τους. Η ανάγκη αυτή προέρχεται από τα ένζυμα, διαρροές μέσω μεμβρανών και τη διατήρηση της διαφοράς δυναμικού στις μεμβράνες. Ο συντελεστής συντήρησης (m) κυμαίνεται μεταξύ 0,4 και 1,1 mg άνθρακος ανά g άνθρακος και ώρα. Επομένως, η συνολική αναπνοή μπορεί να γραφεί ως:

$$R_c = CPF * dM_c/dt + mM_c$$

Όπου:  $M_c$  είναι η ποσότητα άνθρακος [g] & t ο χρόνος [s]

Γενικά μια αναπτυγμένη καλλιέργεια περιέχει ένα πολύ μεγάλο ποσόν άνθρακα συγκριτικά με αυτό που περιέχεται μια συγκεκριμένη στιγμή, στο αέριο περιβάλλον του θερμοκηπίου. Η ποσότητα του άνθρακα ( $M_c$ ) μεταβάλλεται σύμφωνα με το ισοζύγιο των διαφόρων ροών (εκτεφρασμένων σε  $g C m^{-2}h^{-1}$ ).

Οι διάφορες ροές είναι:

1. Οι ανταλλαγές  $CO_2$  με το αέριο περιβάλλον του θερμοκηπίου ( $P_g$  και  $R_c$ )
2. Η συλλεγείσα παραγωγή και η μάζα των κλαδεμάτων [Lh]
3. Κατεστραμμένοι βλαστοί ή όργανα του φυτού λόγω γήρανσης ή προσβολών από εχθρούς και ασθένειες [Ld]
4. Εκκρίσεις των ριζών [Le]

Το ισοζύγιο επομένως του άνθρακος της καλλιέργειας μπορεί να γραφεί ως:

$$dM_c/dt = (P_g - R_c) - L_h - L_d - L_e$$

## Γ. ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Το πρώτο στάδιο κάθε αυτοματισμού είναι η μετατροπή των γεγονότων ή φυσικών μεγεθών, που επηρεάζουν την εξέλιξη της διαδικασίας, σε ηλεκτρικό σήμα. Η μετατροπή αυτή γίνεται με διατάξεις που ονομάζονται αισθητήρια (sensors).

Η σύγκριση της τιμής του σήματος με κάποια τιμή που θεωρούμε αυθαίρετα σαν μονάδα, ονομάζεται μέτρηση.

Η σημασία της ακριβούς μέτρησης είναι μεγάλη στα κυκλώματα αυτοματισμού, αφού αυτή καθορίζει την πορεία του ελέγχου. Μόνο με σωστές μετρήσεις μπορούμε να έχουμε σωστό έλεγχο.

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε τις βασικές παραμέτρους των μετρήσεων, όπως είναι οι μονάδες μέτρησης, η ακρίβεια της μέτρησης, η ανοχή, κ.λ.π. Θα αναφέρουμε, επίσης, τις βασικές κατηγορίες αισθητηρίων, καθώς και τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους, όπως η ευαισθησία, η συνάρτηση μεταφοράς τους, η καμπύλη ρύθμισης, κ.λ.π.

### 3.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ - ΕΙΔΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΩΝ

Αισθητήρια (sensors) είναι κυκλώματα που δέχονται ένα σήμα ή μια διέγερση από το περιβάλλον και απαντούν με ένα ηλεκτρικό σήμα.

Μπορούμε να πούμε, δηλαδή, ότι τα αισθητήρια είναι ένα είδος "μετατροπέων" μη ηλεκτρικών μεγεθών σε ηλεκτρικά. Όταν μιλάμε για ηλεκτρικό σήμα, εν-νοούμε ένα σήμα που μπορεί να συλλεχθεί, να ενισχυθεί και να διαμορφωθεί από ηλεκτρονικά κυκλώματα. Η μορφή ενός τέτοιου σήματος μπορεί να είναι τάση, ρεύμα ή φορτίο. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του είναι πλάτος, συχνότητα και φάση. Έτσι, ένα αισθητήριο έχει χαρακτηριστικά εισόδου που οφείλονται στο φυσικό μέγεθος ή γεγονός που το επηρεάζει και χαρακτηριστικά εξόδου, που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού σήματος εξόδου.

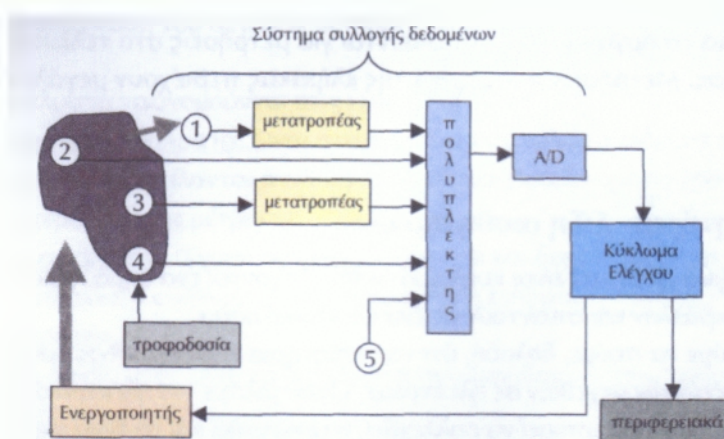
Ο όρος αισθητήριο (sensor) πρέπει να διακρίνεται από τον όρο μετατροπέας (transducer). Ο πρώτος χαρακτηρίζει συσκευές που μετατρέπουν μια μορφή ενέργειας σε ηλεκτρική, ενώ ο δεύτερος χαρακτηρίζει συσκευές που μετατρέπουν μια μορφή ενέργειας σε άλλη μορφή, όχι απαραίτητα ηλεκτρική. Παράδειγμα αισθητηρίου είναι το μικρόφωνο, ενώ μετατροπέα το μεγάφωνο.

Τα αισθητήρια είναι πάντα μονάδες ενός γενικότερου συστήματος συλλογής δεδομένων (data acquisition system). Κατά την επιλογή ενός αισθητηρίου, βασικός παράγων είναι η λειτουργία του να μην επηρεάζει τη λειτουργία του υπολοίπου συστήματος.

Υπάρχουν δυο κατηγορίες αισθητηρίων: τα παθητικά και τα ενεργά. Τα παθητικά αισθητήρια δημιουργούν απ' ευθείας ένα ηλεκτρικό σήμα, αποκρινόμενα στην εξωτερική διέγερση. Δεν έχουν δηλαδή ανάγκη εξωτερικής τροφοδοσίας. Αντίθετα, τα ενεργά για να λειτουργήσουν χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία. Παράδειγμα παθητικού αισθητηρίου είναι το θερμοζεύγος και ενεργού το θερμίστορ. Και τα δύο έχουν είσοδο τη θερμική ακτινοβολία.

Το πρώτο όμως έχει έξοδο μεταβαλλόμενη ηλεκτρική τάση, ενώ το δεύτερο έχει σαν έξοδο μεταβαλλόμενοι αντίσταση. Δεν δημιουργεί δηλαδή μόνο του ηλεκτρικό σήμα, αλλά χρειάζεται εξωτερική τροφοδοσία.

Μια κατηγορία ενεργού αισθητηρίου είναι οι ανιχνευτές (detectors). Τα αισθητήρια αυτά έχουν συνήθως έξοδο μορφής διακόπτη, που αλλάζει κατάσταση, όταν αντιλαμβάνεται κάποιο συγκεκριμένο γεγονός. Με σύνδεση εξωτερικής τάσης, έχει τη δυνατότητα να εμφανίζει στην έξοδό του ηλεκτρικό σήμα.



Σχήμα 1 Σύστημα συλλογής δεδομένων και ελέγχου

Στο Σχήμα 1 απεικονίζεται το λειτουργικό διάγραμμα ενός συστήματος συλλογής δεδομένων και του κυκλώματος ελέγχου. Το βαθύχρωμο σχήμα είναι το αντικείμενο-σύστημα που πρόκειται να ελεγχθεί (π.χ. αυτοκίνητο, δεξαμενή υγρού, κ.λ.π.). Τα 1,2,3,4,5 είναι αισθητήρια. Από αυτά το 4 είναι ενεργό, αφού χρειάζεται εξωτερική τροφοδοσία, και τα υπόλοιπα παθητικά. Επίσης, μερικά από αυτά (2,3,4), είναι σε άμεση επαφή με το αντικείμενο που πρόκειται να ελεγχθεί, ενώ άλλα όχι (1,5). Το αισθητήριο 1 αντιλαμβάνεται το αντικείμενο χωρίς να είναι σε άμεση επαφή μαζί του (π.χ. κάμερα), ενώ το αισθητήριο 5 παρακολουθεί την καλή λειτουργία του συστήματος συλλογής δεδομένων. Δύο αισθητήρια, τα 1 και 3, δεν μπορούν να συνδεθούν απ' ευθείας στο κυρίως ηλεκτρονικό σύστημα, γιατί η μορφή του σήματος εξόδου είναι μη συμβατή. Έτσι, παρεμβάλλεται ένα κύκλωμα μετατροπέα.

Από τις υπόλοιπες μονάδες που φαίνονται στο Σχήμα 1, ο πολυπλέκτης οδηγεί το ένα μετά το άλλο τα αισθητήρια στο κύκλωμα ψηφιοποίησης (A/D). Η παρεμβολή του κυκλώματος αυτού είναι απαραίτητη, αν προτιμηθεί η ψηφιακή επεξεργασία της πληροφορίας από την αναλογική. Στους σύνθετους αυτοματισμούς προτιμάμε την ψηφιακή, ενώ στους απλούστερους την αναλογική. Το κύκλωμα ελέγχου θα αποφασίσει για τη λειτουργία που θα πραγματοποιηθεί με βάση τις υπάρχουσες διεγέρσεις (σήματα αισθητηρίων) και το κύκλωμα δράσης θα υλοποιήσει την απόφαση αυτή.



## 3.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΦΩΤΟΣ

Οι φωτοανιχνευτές (light detectors) διαφούνται σε δύο κατηγορίες: τους κβαντικούς (quantum) και τους θερμικούς (thermal), ανάλογα αν ενεργοποιούνται με την ποσότητα της φωτεινής ακτινοβολίας ή με το θερμικό αποτέλεσμά της. Οι ποσοτικοί ανιχνευτές ενεργοποιούνται στην περιοχή του φάσματος από την υπεριώδη έως το μέσον της υπέρυθρης ακτινοβολίας του φωτός, ενώ οι θερμικοί ανιχνευτές ενεργοποιούνται κυρίως στο μέσον και στην ανώτερη περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι φωτοδιόδοι, τα φωτοτρανζίστορς και οι φωτοαντιστάσεις, ενώ στη δεύτερη τα θερμοστοιχεία, τα πυροηλεκτρικά αισθητήρια και τα AFIR αισθητήρια.

Ας δούμε τώρα τα κυριότερα είδη φωτοανιχνευτών.

1. **Φωτοδιόδος (photodiode).** Η λειτουργία των φωτοδιοδών βασίζεται στη δημιουργία ζευγαριών ηλεκτρονίων-οπών από φωτόνια που προσπίπτουν σε μία επαφή pn. Όταν η διόδος πολώνεται ορθά, τότε λειτουργεί σαν απλή διόδος και η μεταβολή του φωτισμού ελάχιστα μεταβάλλει την λειτουργία της. Όταν όμως πολώνεται ανάστροφα, η διόδος διαρρέεται από ρεύμα, που αυξάνει ανάλογα με την αύξηση του φωτισμού που δέχεται η διόδος. Για τάση πόλωσης μηδέν και απόλυτο σκοτάδι, περνά ένα ελάχιστο ρεύμα, που ονομάζεται ρεύμα σκότους και οφείλεται στη θερμική δημιουργία ηλεκτρονίων και οπών.
2. **Φωτοτρανζίστορ (phototransistor).** Τα φωτοτρανζίστορ βασίζονται στην μια αρχή λειτουργίας με τη φωτοδιόδο και επιπλέον, προχωρούν σε ενίσχυση του ρεύματος που εμφανίζεται, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό την ευαισθησία. Η επαφή βάσης-συλλέκτη είναι μία διόδος ανάστροφα πολωμένη, που λειτουργεί όπως περιγράφηκε προηγούμενα. Με κατάλληλη πόλωση η επαφή βάσης-εκπομπού πολώνεται ορθά και ενισχύει το ρεύμα του συλλέκτη.
3. **Φωτοαντίσταση (photoresistor).** Η λειτουργία της φωτοαντίστασης βασίζεται στη μεταβολή της τιμής της, ανάλογα με την ένταση του φωτός που πέφτει πάνω της. Σε απόλυτο σκοτάδι η αντίσταση είναι μέγιστη. Εφαρμόζοντας όμως τάση στα άκρα της, εμφανίζεται ένα ρεύμα που οφείλεται κυρίως σε θερμική λειτουργία (ρεύμα σκότους). Με την αύξηση της έντασης του φωτός, η αντίσταση του υλικού μικραίνει και επιτρέπει τη δημιουργία μεγάλων ρευμάτων.
4. **Φωτο-μετατροπέας (light to light converter).** Αποτελείται από ένα φωτο-τρανζίστορ και μία διόδο Laser (LD). Ο μετατροπέας αυτός απαιτεί μικρή τάση πόλωσης (4V) και πραγματοποιεί μεγάλη ενίσχυση (πάνω από  $6 \cdot 10^5$ ), μπορεί μάλιστα να ανιχνεύσει ακτινοβολία με πολύ χαμηλή ισχύ (π.χ. 7ηW).
5. **Ψυχόμενοι ανιχνευτές (cooled detectors).** Ένας σημαντικός παράγοντας για την καλή

λειτουργία ενός ανιχνευτή είναι ο λόγος σήμα προς θόρυβο (signal to noise S/N). Σε πολλές εφαρμογές (ιδίως όταν η θερμοκρασία λειτουργίας μεγαλώνει) ο θόρυβος αυξάνει, οπότε, στην περίπτωση μεγάλου μήκους κύματος (άρα μικρής συχνότητας και ενέργειας) η ακρίβεια και η ευαισθησία του αισθητηρίου ελαττώνεται κατά πολύ. Αντίθετα, στους ψυχρόμενους ανιχνευτές το επίπεδο του θορύβου είναι ιδιαίτερα χαμηλό (αφού μειώνεται ο θερμικός θόρυβος<sup>1</sup>), επομένως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανίχνευση ακτινοβολιών με μεγάλο μήκος κύματος. Οι ανιχνευτές αυτοί έχουν μεγάλη ευαισθησία, έχουν όμως πιο αργή απόκριση, αφού η χωρητικότητα επαφής αυξάνει.

6. **Θερμοηλεκτρικά αισθητήρια (thermopile sensors).** Η λειτουργία του αισθητηρίου αυτού βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο, στο οποίο βασίζεται και η λειτουργία του θερμοζεύγους. Το αισθητήριο περιλαμβάνει μια περιοχή μεγάλης θερμικής μάζας, που αποτελεί τη ψυχρή επαφή, και μια δεύτερη περιοχή, που αποτελεί τη θερμή επαφή. Η περιοχή αυτή καλύπτεται από διαφανή μεμβράνη, που επιτρέπει στην ακτινοβολία να φτάσει στη θερμή περιοχή, αυξάνοντας τη θερμοκρασία της. Η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στις δυο περιοχές δημιουργεί μια ηλεκτρική τάση. Το αισθητήριο αυτό χαρακτηρίζεται από υψηλή ευαισθησία και χαμηλό θόρυβο. Ο θερμοηλεκτρικός συντελεστής είναι  $230\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .
7. **Πυροηλεκτρικά αισθητήρια (pyroelectric sensors).** Η λειτουργία τους βασίζεται στην ιδιότητα κάποιων υλικών να δημιουργούν ηλεκτρική τάση, ανάλογα με τη θερμική ακτινοβολία που δέχονται. Έχουν σχετικά καλή συμπεριφορά στο θόρυβο, αλλά παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη καθυστέρηση στην απόκρισή τους.

### 3.3 ΒΙΟΧΗΜΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

#### ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Οι διάφοροι τύποι (βιο)χημικών αισθητήρων μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με την αισθητήρια αρχή με την οποία ανιχνεύουν τη χημική μετρήσιμη ποσότητα. Για παράδειγμα, η αλληλεπίδραση των χημικών ειδών (X) με το αισθητήριο υλικό (M) μπορεί συχνά να περιγραφεί από την ακόλουθη αντίδραση,



Η έκλυση (ή η απορρόφηση) θερμότητας κατά τη διάρκεια της αντίδρασης λόγω μεταβολής της ενθαλπίας μπορεί να ανιχνευθεί θερμοδομετρικά. Εναλλακτικά, όταν η αντίδραση συνοδεύεται από απελευθέρωση (ή δέσμευση) φορτίου, μπορεί να ανιχνευθεί αγωγιμομετρικά, ποτενσιομετρικά ή αμπερομετρικά.

Οι πιο συνηθισμένες αρχές λειτουργίας που βρίσκουν εφαρμογή στους (βιο)χημικούς αισθητήρες παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ταξινόμηση των χημικών αισθητήρων. Ο Πίνακας 2 δίνει, επίσης, τη μετρήσιμη ποσότητα και έναν χαρακτηριστικό τύπο του αισθητήρα για κάθε κατηγορία.

Αρχή	Μετρήσιμη ποσότητα	Τυπικός αισθητήρας
Αγωγιμομετρική αερίου οξειδίου.	Αντίσταση/επαγωγή	Αισθητήρας αερίου οξειδίου του κασσιτέρου
Ποτενσιομετρική	Τάση/ΗΕΔ	FET εκλεκτικό ηλεκτρόδιο για PH
Χωρητική	Χωρητικότητα/φορτίο	Πολυμερικός αισθητήρας υγρασίας
Αμπερομετρική	Ρεύμα	Ηλεκτροχημικό κελί
Θερμιδομετρική	Θερμότητα/θερμοκρασία	Αισθητήρας αερίου pellistor
Σταθμική	Μάζα	Πιεζοηλεκτρικοί αισθητήρες ή αισθητήρες SAW
Οπτική	Μήκος διαδρομής/απορρόφηση	Υπέρυθρος ανιχνευτής για αέριο μεθάνιο
Συντονισμού	Συχνότητα	Επιφάνεια πλάσματος
Φθορισμού	Ένταση	Οπτικής ίνας

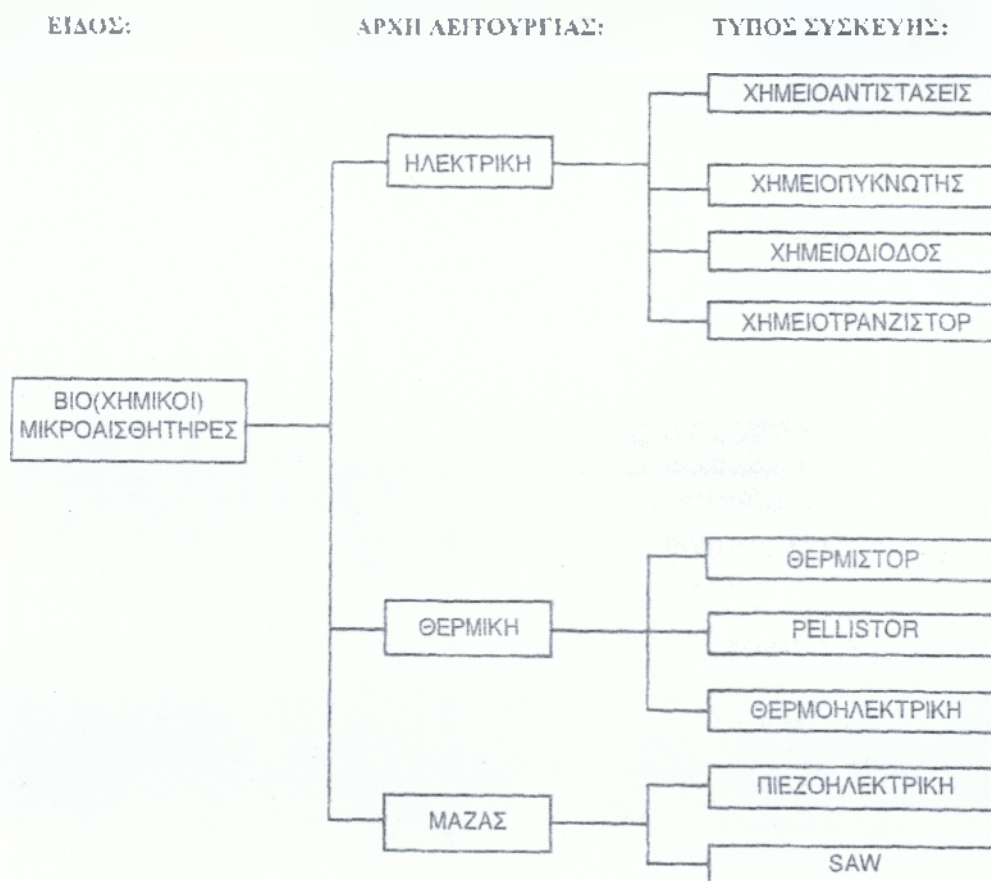
**Πίνακας 2** Αρχές λειτουργίας,μετρήσιμες ποσότητες και τυπικά παραδείγματα (βιο)χημικών αισθητήρων

Οι αρχές λειτουργίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην ταξινόμηση όλων των (βιο)χημικών μικροαισθητήρων σύμφωνα με τον τύπο της συσκευής, όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Λόγω της φύσης τους όλοι αυτοί οι μικροαισθητήρες είναι διαμορφωμένοι και όχι αυτοδιεγερόμενοι. Υπάρχει ένας τύπος χημικού αισθητήρα, ο οποίος είναι αυτοδιεγερόμενος και συγκεκριμένα, το ηλεκτροχημικό κελί, το οποίο παράγει ένα ηλεκτροχημικό δυναμικό που εξαρτάται από τη συγκέντρωση αερίου. Ωστόσο, ο τύπος αυτός χημικού αισθητήρα πρέπει να γίνει ακόμη μικρότερος σε μέγεθος στο μέλλον και γι' αυτό το λόγο δεν περιλαμβάνεται στην εξέταση αυτή.

Η εκλεκτικότητα ενός χημικού αισθητήρα εξαρτάται από τη φύση του μηχανισμού αντίδρασης. Ιδανικά, ένας χημικός αισθητήρας αποκρίνεται μόνο σε μια χημική ουσία ανεξάρτητα από την παρουσία άλλων. Η εκλεκτικότητα μπορεί, να επιτευχθεί με την επιλογή ενός κατάλληλου ενεργού υλικού (M), το οποίο αντιδρά εκλεκτικά με την μετρήσιμη ποσότητα (X). Λεπτές ή παχιές στιβάδες των ενεργών αυτών υλικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορους τύπους αισθητήρων. Ο Πίνακας 3 δίνει μερικά από τα

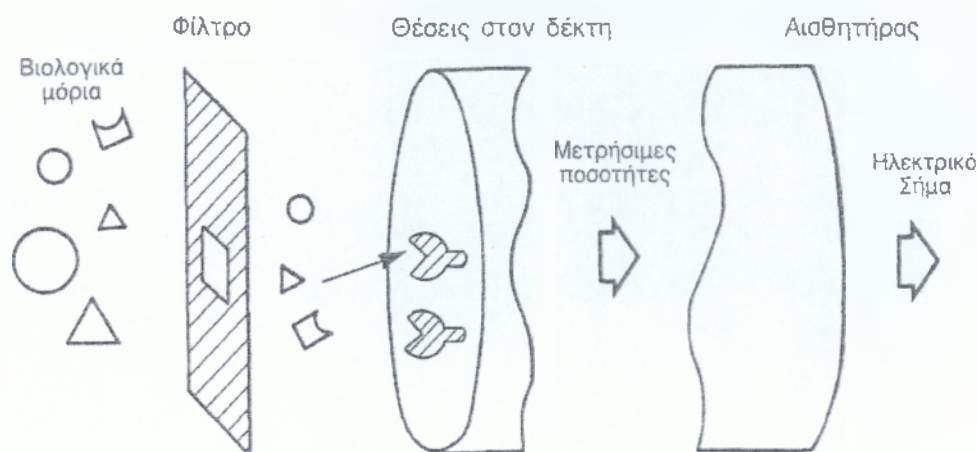
ανόργανα και οργανικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως στους (βιο)χημικούς αισθητήρες. Οι τύποι των αισθητήρων εξετάζονται με λεπτομέρεια στις επόμενες ενότητες.

Η καλύτερη μέθοδος επίτευξης χημικής εκλεκτικότητας είναι ίσως η χρήση αναγνώρισης του σχήματος του μορίου.



**Σχήμα 2** Ταξινόμηση (βιο)χημικών μικροαισθητήρων

Η στρατηγική αυτή χρησιμοποιείται, συνήθως, στους βιολογικούς αισθητήρες ή βιοαισθητήρες για να ανιχνεύσουν συγκεκριμένες μοριακές δομές. Το σύστημα αυτό αναφέρεται και ως σύστημα κλειδιού - κλειδαριάς (key lock system). Το σχήμα 3 παρουσιάζει τη γενική διάταξη ενός βιοαισθητήρα, στον οποίο τα βιολογικά μόρια μετατρέπονται σε ηλεκτρικό σήμα. Το φίλτρο είναι ένα υλικό, το οποίο βοηθά στην απομάκρυνση οποιασδήποτε ανεπιθύμητης χημικής ουσίας, έτσι ώστε το ενεργό υλικό να μπορεί να παρέχει καλύτερη εκλεκτικότητα.



**Σχήμα 3** .Αρχές λειτουργίας βιοαισθητήρα

Η εκλεκτικότητα μπορεί, επίσης, να αυξηθεί με τη χρήση ενζύμων που ευνοούν συγκεκριμένες βιολογικές αντιδράσεις, ή καταλυτών που ευνοούν συγκεκριμένες χημικές αντιδράσεις. Για παράδειγμα, τα ημιαγώγιμα οξειδία μετάλλων που δίνονται στο Πίνακα 3, τυπικά εμπλουτίζονται σε μικρό ποσοστό με αντιδρόντα μέταλλα όπως τα Pd, Pt ή Rh για να αυξηθεί η εκλεκτικότητά τους.

Η εκλεκτικότητα είναι ένα επιθυμητό χαρακτηριστικό του χημικού αισθητήρα, αλλά μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη, λόγω του ότι οι γνωστές χημικές αντιδράσεις δεν είναι τόσο εξειδικευμένες.

Ενεργό υλικό	Παραδείγματα	Αισθητήριες αρχές	Μετρήσιμες ποσότητες
Λεπτή επίστρωση οξειδίου	$\text{SnO}_2$ , $\text{ZnO}$	Επιφανειακή αγωγιμότητα	Καύσιμα αέρια
Παχιά πορώδη στρώματα οξειδίου	$\text{SnO}_2$ , $\text{ZnO}$ , $\text{TiO}_2$	Αγωγιμότητα	Καύσιμα αέρια
Καταλυτικά μέταλλα	$\text{Pd-TiO}_2$ , $\text{Pd-MOS}$ , $\text{Pd-MOSFET}$	Επιφανειακό δυναμικό Τάση κατωφλίου	$\text{H}_2$ , $\text{CO}$
Εκλεκτικά ηλεκτρόδια	$\text{AgCl}$ , $\text{AgBr}$	Ηλεκτροχημικό δυναμικό	$\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$
Καταλυτική επικάλυψη	$\text{ThO}_2$ / $\text{Al}_2\text{O}_3$	Θερμότητα καύσης	$\text{H}_2$ , $\text{CH}_4$
Οργανικές ταινίες	Υποκατεστημένες φθαλοκυανίνες	Αγωγιμότητα	$\text{NO}_x$
Στιβάδες Langmuir-Blodgett	Στεατικό οξύ	Πιεζοηλεκτρική/ SAW	Διάφορα πολικά μόρια
Αγώγιμα πολυμερή	Πολύ(πυρόλη)	Αγωγιμότητα μάζας	Πολικές ενώσεις, $\text{NH}_3$

**Πίνακας 3** Υλικά κατασκευής βιοχημικών αισθητήρων

### 3.4 ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Η μέτρηση και ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι ένα από τα συνηθέστερα προβλήματα αυτοματισμού. Σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, απαιτείται η τιμή της θερμοκρασίας να είναι μέσα σε κάποια όρια. Έτσι, η μέτρηση της θερμοκρασίας ήταν μία από τις κυριότερες εφαρμογές της μετρολογίας. Σχεδιάστηκε ένα πλήθος από αισθητήρια, που μετατρέπουν τη θερμοκρασία σε ηλεκτρικό σήμα. Η μετατροπή αυτή γίνεται με την εκμετάλλευση των ιδιοτήτων που παρουσιάζουν διάφορα υλικά, καθώς η θερμοκρασία τους αλλάζει.

Αφού γίνει η μετατροπή αυτή, γίνεται η επεξεργασία του σήματος που προκύπτει, ώστε να οδηγηθούμε σε αυτό που ονομάζουμε μέτρηση.

Η μέτρηση της θερμοκρασίας από μόνη της δεν μπορεί να μας δώσει ουσιαστική βοήθεια, αν δεν συνοδεύεται από ένα κύκλωμα ελέγχου. Το κύκλωμα αυτό ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί ένα σύστημα θέρμανσης ή ψύξης, ώστε η θερμοκρασία ενός αντικειμένου ή ενός χώρου να έχει μια επιθυμητή τιμή.

Εδώ θα εξετάσουμε κατ' αρχήν τα διάφορα αισθητήρια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση θερμοκρασίας. Ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στην αρχή λειτουργίας και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του καθενός, ώστε να είναι δυνατόν κάποιος να επιλέγει το κατάλληλο αισθητήριο για κάθε εφαρμογή.

Παράλληλα, σε κάθε τύπο αισθητηρίου θα εξετάζουμε και την εφαρμογή του σε ένα βασικό κύκλωμα ελέγχου θερμοκρασίας. Όπως θα δούμε, το κύκλωμα ελέγχου αλλάζει ανάλογα με το αισθητήριο που χρησιμοποιούμε. Ανάλογα με την εφαρμογή θα πρέπει να γίνεται η σωστή επιλογή αισθητηρίου-κυκλώματος ελέγχου.

#### 3.4.1 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ

Πρόκειται για αισθητήρια στα οποία εκμεταλλευόμαστε την μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού, καθώς αλλάζει η θερμοκρασία του. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι: τα θερμίστορ (thermistors) και τα αισθητήρια αντίστασης (resistance temperature detectors-RTD)

Μια σημαντική παράμετρος των αισθητηρίων αυτών είναι ο θερμικός συντελεστής τους, που εξαρτάται από το ρυθμό μεταβολής της αντίστασης του αισθητηρίου με τη θερμοκρασία. Αρνητικός θερμικός συντελεστής σημαίνει ότι η αντίσταση μειώνεται, ενώ θετικός ότι αυξάνει.

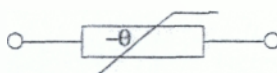
Πλεονέκτημα των αισθητηρίων αυτών είναι η απλότητα του κυκλώματος προσαρμογής τους (δηλαδή του κυκλώματος σύζευξης του αισθητηρίου με το κύκλωμα ελέγχου) και η σταθερότητά τους για μεγάλο διάστημα λειτουργίας. Ταξινομούνται δε σε τρεις κατηγορίες: τα θερμίστορς, τους αντιστάτες RTDs, και τους ανιχνευτές επαφής pn.

### 3.4.1.1 ΘΕΡΜΙΣΤΟΡ

Πρόκειται για αντιστάτες, η τιμή των οποίων εξαρτάται από τη θερμοκρασία στην οποία βρίσκονται. Κατασκευάζονται από τη μίξη οξειδίων μετάλλων με χαρακτηριστικά ημιαγωγών και έχουν σχήμα κυλινδρικό, σφαιρικό, ορθογώνιο και λεπτού φιλμ. Διαιρούνται σε δύο κατηγορίες : αρνητικού συντελεστή θερμοκρασίας (negative temperature coefficient – NTC) και θετικού συντελεστή θερμοκρασίας (positive temperature coefficient – PTC).

#### NTC θερμίστορ

Στα θερμίστορ αυτά η αντίσταση μειώνεται καθώς η θερμοκρασία αυξάνει, παρουσιάζουν δηλαδή αρνητικό θερμικό συντελεστή. Η σχέση μεταξύ της αντίστασης και της θερμοκρασίας είναι ισχυρά μη γραμμική. Στο σχήμα 4 βλέπουμε τον συμβολισμό ενός NTC.

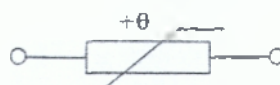


Σχήμα 4 NTC θερμίστορ

#### PTC θερμίστορ

Στα θερμίστορ αυτά σε μια μεγάλη περιοχή θερμοκρασίας, η αντίστασή τους αυξάνει καθώς η θερμοκρασία αυξάνει, παρουσιάζουν δηλαδή θετικό θερμικό συντελεστή. Όλα τα μέταλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή PTC, παρουσιάζουν όμως χαμηλό θερμικό συντελεστή. Αντίθετα, άλλα (κεραμικά) υλικά παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή και γι' αυτό προτιμούνται.

Στο σχήμα 5 βλέπουμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος-τάσης ενός PTC για τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες (σε σύγκριση με την καμπύλη ενός NTC και το νόμο του Ωμ).



Σχήμα 5 PTC θερμίστορ

### 3.4.2 ΑΙΣΘΗΤΗΡΙΑ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ (resistance temperature detectors -RTDs)

Από τον προηγούμενο αιώνα είχε παρατηρηθεί ότι η αντίσταση κάποιων υλικών άλλαζε με τη αλλαγή της θερμοκρασίας τους. Μάλιστα ο Callendar το 1887 περιέγραψε την λειτουργία ενός αισθητήρα από πλατίνα, η αντίσταση του οποίου άλλαζε γραμμικά με τη θερμοκρασία.

Σήμερα οι αισθητήρες RTD κατασκευάζονται από διάφορα μέταλλα, σε σχήμα σύρματος ή λεπτού φίλμ. Όλα τα μέταλλα μπορούν να αποκριθούν σε μεταβολή της θερμοκρασίας, όμως σχεδόν αποκλειστικά χρησιμοποιείται η πλατίνα, λόγω γραμμικής συμπεριφοράς και σταθερότητας της λειτουργίας της. Όλοι πάντως οι RTDs παρουσιάζουν θετικό θερμικό συντελεστή αντίστασης.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετρήσεις θερμοκρασιών από  $-200^{\circ}\text{C}$  έως  $600^{\circ}\text{C}$ , αλλά ειδικές κατασκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πέρα από την περιοχή αυτή. Τα τελευταία χρόνια έχει γενικευτεί η χρήση των αισθητηρίων αυτών. Ο πιο γνωστός τύπος είναι το Pt 100 (αντίσταση  $100\Omega$  στους  $0^{\circ}\text{C}$ .)

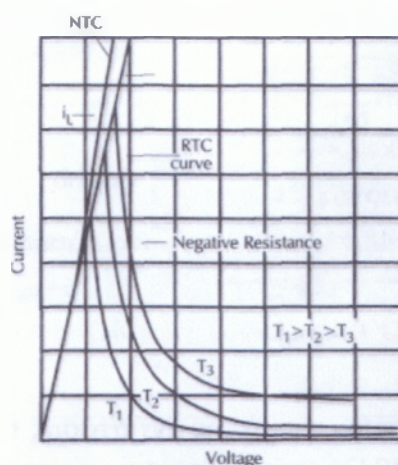
Τα χαρακτηριστικά ενός probe Pt 100 φαίνονται στον πίνακα 4

Τεχνικά χαρακτηριστικά Pt100	
Περιοχή θερμοκρασίας	$-50^{\circ}\text{C}$ έως $300^{\circ}\text{C}$ *
Αντίσταση	$100\Omega \pm 0.1\Omega$ στους $0^{\circ}\text{C}$
Ακρίβεια	0.2%
Χρόνος απόκρισης	έως 10sec
Διάμετρος	1mm **
Μήκος ακίδας	30mm

Πίνακας 4

\*Όσο μεγαλώνει η περιοχή, μειώνεται η γραμμικότητα του αισθητηρίου, άρα μικραίνει η ακρίβεια

\*\* Οι διαστάσεις του αισθητηρίου ποικίλουν

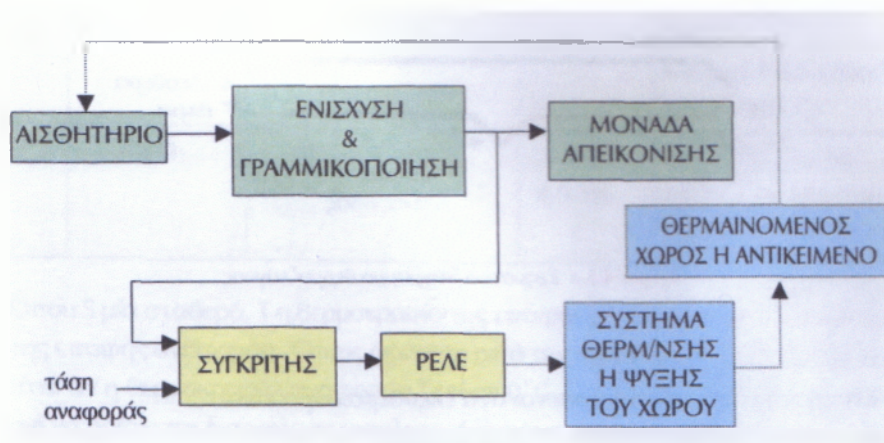


Σχήμα 6 Χαρακτηριστικές PTC





Σχήμα 8 Απεικόνιση συστήματος



Σχήμα 7. Διάγραμμα βαθμίδων για τη μέτρηση και τον έλεγχο θερμοκρασίας

### 3.5 ΚΥΚΛΩΜΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η πρώτη βαθμίδα είναι ένα κύκλωμα συλλογής δεδομένων. Το κύκλωμα αυτό ελέγχει τη σωστή ροή της πληροφορίας προς την βαθμίδα επεξεργασίας. Στα απλά κυκλώματα η βαθμίδα αυτή είναι περιττή. Στους σύνθετους όμως αυτοματισμούς, όταν υπάρχουν πολλά αισθητήρια, εάν κάποιο από τα μετρούμενα μεγέθη μεταβάλλεται σε μια μεγάλη περιοχή, είναι πιθανόν να έχουμε υψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων. Αν το κύκλωμα επεξεργασίας είναι ένα ψηφιακό κύκλωμα ή ένας επεξεργαστής μικρών δυνατοτήτων, τότε υπάρχει αδυναμία στην επεξεργασία όλων των πληροφοριών που φτάνουν, αφού η ταχύτητα επεξεργασίας είναι μικρή. Για το λόγο αυτό και για να μην χαθούν δεδομένα, οπότε πιθανόν το κύκλωμα να οδηγηθεί σε λάθος αποφάσεις, το κύκλωμα συλλογής δεδομένων αποκόπτει το κύκλωμα επεξεργασίας και αποθηκεύει προσωρινά τα δεδομένα, ώστε να τα επεξεργαστεί αργότερα, μόλις ελαττωθεί ο όγκος της πληροφορίας. Τα κυκλώματα, τα οποία μεσολαβούν μεταξύ των αισθητηρίων και της μονάδας επεξεργασίας και ρυθμίζουν την ροή των δεδομένων προς αυτήν (και

από αυτήν), ονομάζονται μονάδες προσαρμογής (interfaces).

### 3.5.1 ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η έξοδος του αισθητηρίου είναι ένα ηλεκτρικό σήμα. Τα περισσότερα αισθητήρια δίνουν έξοδο 0 έως 20mA, 4 έως 20mA, 0 έως 10V, -10 έως +10V. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιείται κάποιος μετατροπέας (transducer), που να δίνει ηλεκτρικό σήμα με τη βοήθεια πρόσθετου ηλεκτρονικού κυκλώματος. Τα αισθητήρια και οι μετατροπείς συνδέονται στο κύκλωμα στη βαθμίδα συλλογής δεδομένων.

Στο σημείο αυτό προκύπτουν δύο προβλήματα. Η στάθμη του σήματος πιθανόν να είναι χαμηλή. Έτσι π.χ. στη ρύθμιση της θερμοκρασίας ενός χώρου, το σήμα που έρχεται από το αισθητήριο είναι της τάξης των mVolts. Όμως, κατά τη μετάδοση ενός σήματος, αυτό υφίσταται απώλειες κυρίως λόγω πτώσης τάσης που εμφανίζεται στους αγωγούς (νόμος  $\Omega\mu$ ). Έτσι, αν το σήμα είναι μικρής τάσης (όπως αυτό που προαναφέραμε), οι απώλειες αυτές είναι σημαντικές (σε σχέση με το μέγεθος του σήματος), οπότε το σφάλμα μεγαλώνει. Θα πρέπει επομένως το σήμα αυτό να ενισχυθεί, ώστε το σφάλμα που εισάγουν οι αγωγοί να είναι μικρό. Επίσης, τα αισθητήρια σπάνια έχουν γραμμική συμπεριφορά. Άρα, πιθανόν (ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου έχουμε οπτική απεικόνιση της μέτρησης) θα πρέπει εκτός από ενίσχυση να γίνεται και γραμμικοποίηση του σήματος του αισθητηρίου (όταν λέμε γραμμικοποίηση εννοούμε για διπλασιασμό της τιμής του μεγέθους, να διπλασιάζεται η τιμή του ηλεκτρικού σήματος του αισθητηρίου, για τριπλασιασμό της τιμής του μετρούμενου μεγέθους να τριπλασιάζεται η τιμή του ηλεκτρικού σήματος, κ.ο.κ. για όλη την περιοχή λειτουργίας του).

Το ηλεκτρικό σήμα που φθάνει στο κύκλωμα μέτρησης από το αισθητήριο, εκτός από την πληροφορία, πιθανόν να μεταφέρει και θόρυβο. Σαν θόρυβο χαρακτηρίζουμε πρόσθετα ηλεκτρικά σήματα που προέρχονται από τυχαίες καταστάσεις ή γεγονότα (π.χ. ηλεκτρομαγνητικά πεδία) και παραμορφώνουν το σήμα. Τα σήματα αυτά συνήθως έχουν υψηλή συχνότητα (ενώ η πληροφορία περιέχεται σε σήματα συνεχή ή χαμηλής συχνότητας). Για να αφαιρέσουμε το θόρυβο χρησιμοποιούμε ηλεκτρονικά φίλτρα. Τα κυκλώματα αυτά καλό είναι να τοποθετηθούν στην είσοδο του κυκλώματος μέτρησης, πριν τον ενισχυτή, γιατί διαφορετικά θα ενισχυθεί και ο θόρυβος.

### 3.5.2 ΚΥΚΛΩΜΑ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

Το επόμενο βήμα είναι η επεξεργασία των πληροφοριών που φθάνουν στο κύκλωμα αυτοματισμού. Οι πληροφορίες αυτές περιγράφουν την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το υπό έλεγχο σύστημα. Σκοπός της επεξεργασίας είναι να συγκρίνει την κατάσταση αυτή του συστήματος με μια επιθυμητή κατάσταση, να παίρνει τις κατάλληλες αποφάσεις, και να δίνει τις αντίστοιχες εντολές. Στους απλούς αυτοματισμούς η βαθμίδα αυτή μπορεί να είναι ένας απλός συγκριτής (π.χ. σε ένα κύκλωμα κλιματισμού αν η θερμοκρασία ανέβει πάνω από κάποια προκαθορισμένη τιμή, να

ξεκινήσει το κύκλωμα ψύξης), Στους σύνθετους όμως αυτοματισμούς το στάδιο αυτό είναι αρκετά πολύπλοκο. Στους αυτοματισμούς ευρείας κλίμακας (large scale) που εφαρμόζονται κυρίως στην βιομηχανία, η βαθμίδα αυτή είναι ένας Ηλεκτρονικός Υπολογιστής (ή ένα δίκτυο υπολογιστών). Στον υπολογιστή αυτό τα σήματα των αισθητηρίων φθάνουν μέσα από μια μονάδα προσαρμογής. Η επεξεργασία τους γίνεται με βάση κατάλληλο λογισμικό (software) που έχουμε δημιουργήσει και έχουμε αποθηκεύσει στη μνήμη του υπολογιστή και όπου περιγράφεται η επιθυμητή κατάσταση, η λειτουργία του συστήματος, καθώς και η διαδικασία λήψης απόφασης και εξαγωγής εντολών. Η ευρεία χρήση των Η/Υ τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη αρκετών μεθόδων (στρατηγικών) λήψης αποφάσεων. Η σημασία των μεθόδων είναι μεγάλη, ιδίως στις περιπτώσεις όπου ο αυτοματισμός με βάση τα δεδομένα έχει να επιλέξει από ένα σύνολο δυνατών αποφάσεων.

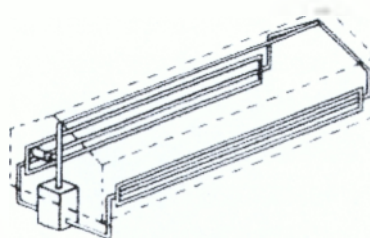
Οι θεωρίες των έμπειρων συστημάτων, της τεχνητής νοημοσύνης, των νευρωνικών δικτύων, της ασαφούς λογικής κ.α., έδωσαν σημαντική ώθηση στον τομέα αυτό.

## **Δ. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

### **4.1 ΕΙΔΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΤΖΑΜΙ**

#### **4.1.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΚΑΥΤΟ ΝΕΡΟ**

Ένα μικρό θερμοκήπιο με λιγότερο από 1.500 τετραγωνικά μέτρα τζάμι θερμαίνεται από καυτό νερό αντί για ατμό. Επίσης, το καυτό νερό χρησιμοποιείται όταν πρέπει να θερμανθούν διάφορα μικρά τμήματα σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Όταν χρησιμοποιείται ένα σύστημα ροής βαρύτητας, ο λέβητας τοποθετείται κάτω από το επίπεδο του εδάφους του θερμοκηπίου, σχήμα 9. Η βαρύτητα κάνει το κρύο νερό να κυλάει πίσω στο λέβητα.

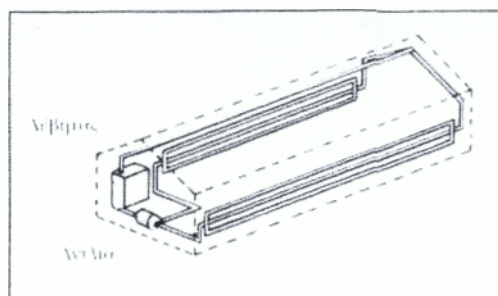


Λέβητας

**Σχήμα 9** .Σύστημα θέρμανσης με ροή βαρύτητας στο οποίο ο λέβητας βρίσκεται κάτω από το επίπεδο του εδάφους του θερμοκηπίου.

Τόσο το αρχικό κόστος ενός συστήματος βαρύτητας όσο και το κόστος συντήρησης είναι χαμηλό. Όμως, υπάρχουν λίγα τέτοια συστήματα. Έχουν αντικατασταθεί από μηχανικά επιταχυνόμενα συστήματα.

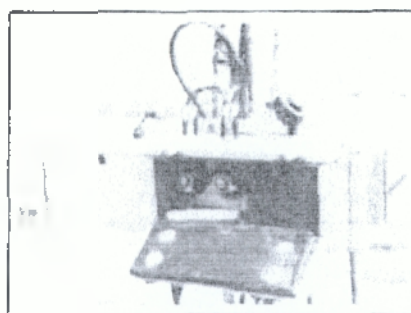
Ένα επιταχυνόμενο σύστημα έχει μία ηλεκτρική αντλία τοποθετημένη στη γραμμή επιστροφής του κρύου νερού, κοντά στο λέβητα, σχήμα 10. Η αντλία οδηγεί το νερό στο λέβητα. Έτσι, το νερό κινείται μέσα στο σύστημα θέρμανσης γρηγορότερα. Σε σύγκριση με το σύστημα βαρύτητας, αυτό απαιτεί λιγότερο χρόνο για να φέρει τη θερμοκρασία του θερμοκηπίου στο επιθυμητό επίπεδο, όταν ο θερμοστάτης ειδοποιεί για θερμότητα.



**Σχήμα 10** Επιταχυνόμενο σύστημα θέρμανσης

Τα σύγχρονα συστήματα καυτού νερού είναι κλειστά με πίεση κυκλοφορίας νερού. Σε ένα κλειστό θερμοκήπιο, τόσο η θερμοκρασία όσο και η πίεση του νερού μπορούν να αυξηθούν, για να βελτιωθεί η αποδοτικότητα του συστήματος. Λιγότερες επιφάνειες θέρμανσης χρειάζονται σε αυτό το είδος συστήματος, για να διατηρηθούν οι επιθυμητές θερμοκρασίες του θερμοκηπίου.

**Έλεγχος θερμοστάτη.** Τα συστήματα θέρμανσης των θερμοκηπίων ελέγχονται από αναρροφητικούς θερμοστάτες, σχήμα 11. Ένας μικρός ηλεκτρικός ανεμιστήρας στέλνει μία συνεχόμενη ποσότητα αέρα στην αισθητήρια μονάδα θερμοκρασίας αυτού του θερμοστάτη. Η θερμοκρασία του αέρα ελέγχεται συνεχώς. Το αποτέλεσμα είναι η επίτευξη μίας περισσότερο ομοιόμορφης θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο.



**Σχήμα 11** Μια συσκευή αναρροφητικού θερμοστάτη.

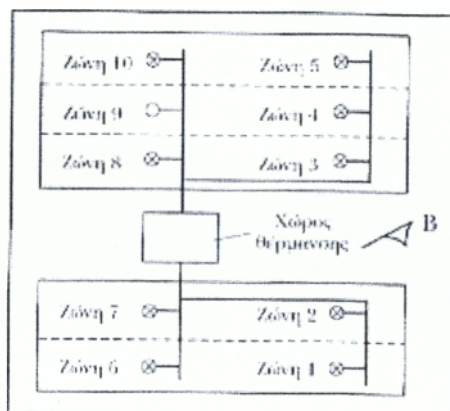
**Διαχωρισμός σε ζώνες.** Ένας μόνο θερμοστάτης δεν παρέχει ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας ενός θερμοκηπίου. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη θερμοκρασία περιλαμβάνουν :

1. το είδος του αγωγού θέρμανσης που χρησιμοποιείται

2. την τοποθεσία των αγωγών θέρμανσης, όπως πάνω στους πλαϊνούς τοίχους ή ψηλά ή ένας συνδυασμός και των δύο
3. το είδος του συστήματος εξαερισμού
4. το είδος του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου.

Η διείσδυση του κρύου αέρα μέσα στο θερμοκήπιο λόγω του ανέμου μπορεί να προκαλέσει μία διαφορά της θερμοκρασίας του, της τάξης των πέντε με δέκα βαθμών. Ο τοίχος που είναι στραμμένος προς τους ανέμους μπορεί να είναι δέκα βαθμούς πιο κρύος από το άκρο του θερμοκηπίου που βρίσκεται μακριά από αυτούς.

Τα συστήματα θέρμανσης ζωνών χρησιμοποιούνται σε μεγάλα θερμοκήπια για να αντισταθμίζονται αυτές οι διαφορετικές θερμοκρασίες. Σε ένα σύστημα ζωνών, ένας ξεχωριστός θερμοστάτης τοποθετείται σε κάθε ζώνη (διάγραμμα 3 ). Μία περιοχή μπορεί να διατηρείται σε υψηλότερη ή χαμηλότερη θερμοκρασία από άλλες περιοχές. Τα φυτά με διαφορετικές θερμοκρασιακές απαιτήσεις μπορούν να καλλιεργηθούν μέσα στο ίδιο θερμοκήπιο, με τη βοήθεια του ελέγχου θερμοκρασίας ζωνών. Αυτό το σύστημα βοηθάει επίσης τον καλλιεργητή να προσαρμόσει τις θερμοκρασίες, έτσι ώστε να διατηρείται μία ομοιόμορφη θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο.



**Διάγραμμα 3.** Διάγραμμα ενός χαρακτηριστικού συστήματος θέρμανσης ζωνών για μία μεγάλη έκταση θερμοκηπίων.

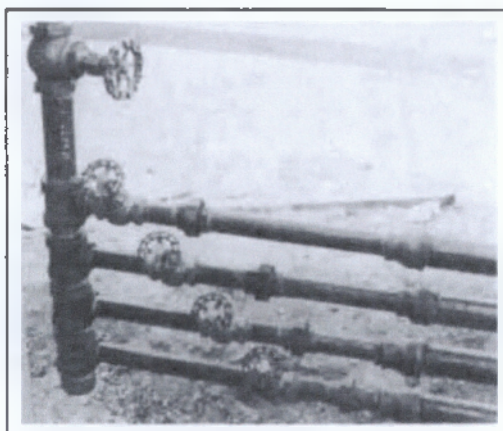
Όταν πρέπει να χρησιμοποιηθεί καυτό νερό για τη θέρμανση του θερμοκηπίου, ένα μέλημα στην επιλογή του είδους του λέβητα είναι αν επιτρέπεται ή όχι η εξάτμιση. Πρόκειται για μια διαδικασία κατά την οποία το επίπεδο του νερού μέσα στο λέβητα μειώνεται, για να επιτρέψει την παραγωγή ατμού. Ο ατμός χρησιμοποιείται για την αποστείρωση του χώματος και των γλαστρών. Η εξάτμιση δεν είναι εφικτή σε όλους του λέβητες κατού νερού. Ο καλλιεργητής πρέπει να συμβουλευτεί έναν υδραυλικό, πριν επιχειρήσει αυτή τη διαδικασία. Το σύστημα θέρμανσης πρέπει να είναι κλειστό όταν το ζεστό νερό εξατμίζεται. Αυτό σημαίνει ότι η εξάτμιση μπορεί να γίνει μόνο στα τέλη της άνοιξης, το καλοκαίρι και στην αρχή του φθινοπώρου, όπου το θερμοκήπιο δεν χρειάζεται θέρμανση για τη διατήρηση των φυτών στις σωστές θερμοκρασίες.

#### 4 1.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΑΤΜΟ

Το σύστημα θέρμανσης με ατμό χρησιμοποιείται όταν το θερμοκήπιο με τζάμι, έχει εμβαδόν 1.500 τετραγωνικά μέτρα ή περισσότερο, όταν τα πηνία θέρμανσης είναι συνεχόμενα και πάνω από 68 cm σε μήκος και τα θερμοκήπια απέχουν πάνω από 34 m από το λέβητα.

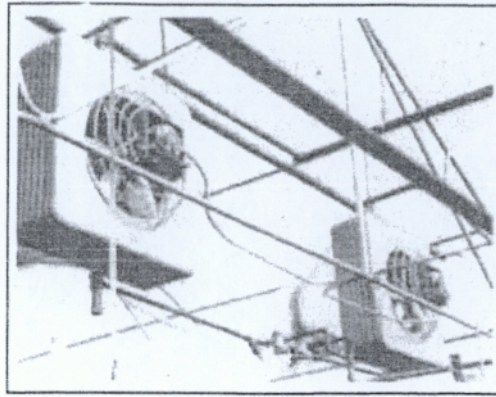
Τα σύγχρονα συστήματα θέρμανσης με ατμό είναι κλειστά κυκλώματα. Το νερό θερμαίνεται στους 100 °C ή παραπάνω. Ο ατμός που βγαίνει πιέζεται μέσα από τους κεντρικούς σωλήνες, στους σωλήνες διανομής μέσα στο θερμοκήπιο (σχήμα 12). Καθώς ο ατμός κρυώνει και απελευθερώνει τη θερμότητα του, συμπυκνώνεται σε νερό. Το συμπύκνωμα (το νερό) επιστρέφει μέσω αντλιών στο λέβητα, όπου επαναθερμαίνεται και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Σε μικρές εκτάσεις θερμοκηπίων, ο ατμός παρέχεται σε χαμηλή θερμοκρασία 3 ως 10 λιβρών ανά τετραγωνική ίντσα (psi). Σε μεγάλες εκτάσεις, ο ατμός μπορεί να πιεστεί για αρκετά μίλια μέσα από τους κεντρικούς σωλήνες και τους σωλήνες διανομής. Για να επιτευχθούν οι ανάγκες ενός τέτοιου συστήματος, η πίεση του ατμού στο λέβητα πρέπει να είναι 60 psi ή περισσότερο. Για τις πολύ μεγάλες ακτίνες θερμοκηπίων, η πίεση στο λέβητα μπορεί να είναι και παραπάνω από 120 psi.

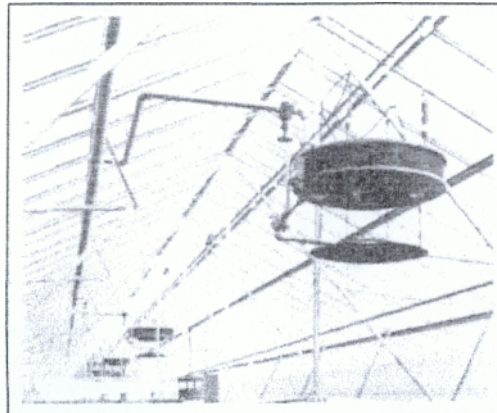


Σχήμα 12. Χαρακτηριστική εγκατάσταση βαλβίδων ατμού, για χειροκίνητο έλεγχο της θερμότητας

Ένας θερμαντήρας ατμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση ολόκληρου του θερμοκηπίου. Ένας τέτοιος θερμαντήρας μπορεί επίσης να αντικαταστήσει τις συμβατικές εγκαταστάσεις σωλήνων ατμού (σχήματα 13 και 14). Ένας θερμαντήρας περιέχει έναν εναλλάκτη θερμότητας, παρόμοιο με ένα αυτόματο θερμαντικό σώμα. Ένας ανεμιστήρας δίνει κρύο αέρα στον εναλλάκτη ατμού. Ο θερμαινόμενος αέρας διανέμεται μέσα στο θερμοκήπιο.



**Σχήμα 13** .Ένας θερμαντήρας ατμού (επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και συσκευές που λειτουργούν με αέριο).



**Σχήμα 14**.Ένας θερμαντήρας ατμού, τοποθετημένος στην κορυφή του θερμοκηπίου. Διαθέτει έναν κώνο (που φαίνεται κρεμασμένος κάτω από το θερμαντήρα) για να διαχέει τον αέρα από το θερμαντήρα.

### **4.1.3 ΔΙΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

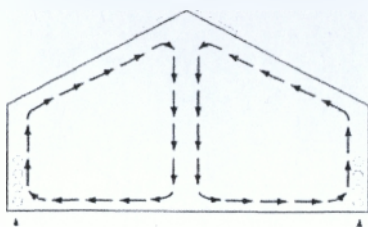
#### **Φυσική Διανομή**

Τα συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων είναι φυσικά σχεδιασμένα να χρησιμοποιούν φυσικές δυνάμεις που επηρεάζουν την κίνηση του αέρα. Ο αέρας κινείται με τη διαδικασία της φυσικής μεταφοράς. Δηλαδή, καθώς ο αέρας θερμαίνεται, ανεβαίνει και όταν ψύχεται, κατεβαίνει. Στην τεχνητή μεταφορά, ανεμιστήρες βοηθούν τη μετακίνηση του καυτού αέρα μέσα στο θερμοκήπιο.

Τα ρεύματα του αέρα που οφείλονται στη φυσική μεταφορά κάνουν τη θερμοκρασία του θερμοκηπίου να ποικίλει σε διαφορετικά σημεία. Όταν τοποθετούνται σωλήνες θέρμανσης κατά μήκος των πλαϊνών τοίχων, ο θερμαινόμενος αέρας της περιοχής αυτής ανεβαίνει ακολουθώντας την

κλίση του θερμοκηπίου ως την κορυφή. Καθώς ο αέρας κινείται προς την κορυφή, ψύχεται. Εκεί, συναντάει τον αέρα που ανεβαίνει από την άλλη πλευρά του θερμοκηπίου(σχήμα 15).

Τα ψυχρά ρεύματα αέρα κατεβαίνουν στο επίπεδο του πατώματος. Κατόπιν, κινούνται προς τις πλευρές του θερμοκηπίου όπου επαναθερμαίνονται από τους σωλήνες. Σημειώστε ότι η θέρμανση στους πλαϊνούς τοίχους δημιουργεί μία κυκλική ροή του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο.

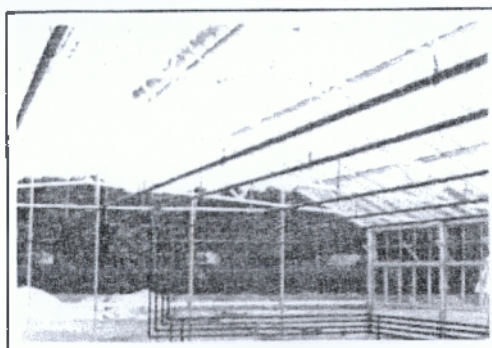


### Σωλήνες θερμότητας

**Σχήμα 15** .Σχήμα ροής αέρα μέσα σε ένα θερμοκήπιο, λόγω ρευμάτων φυσικής μεταφοράς.

Ένα παρόμοιο σχήμα ροής του αέρα δημιουργείται όταν οι σωλήνες θέρμανσης τοποθετούνται στους ακριανούς τοίχους του θερμοκηπίου. Η δύναμη του αέρα που φυσάει πάνω στο θερμοκήπιο έχει μεγαλύτερο αποτέλεσμα στην κίνηση του αέρα. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στα θερμοκήπια με τζάμι, όταν ο αέρας εισχωρεί μέσα από τις χαλαρές ενώσεις ανάμεσα στα τζαμένια παράθυρα.

Όταν οι σωλήνες θέρμανσης είναι τοποθετημένοι ψηλά (σχήμα 16), σχηματίζονται ακόμα περισσότερα ρεύματα μεταφοράς. Επειδή η θερμότητα διανέμεται σε διαφορετικά μέρη, δεν υπάρχουν κρύα καθοδικά ρεύματα αέρα πάνω στα φυτά.



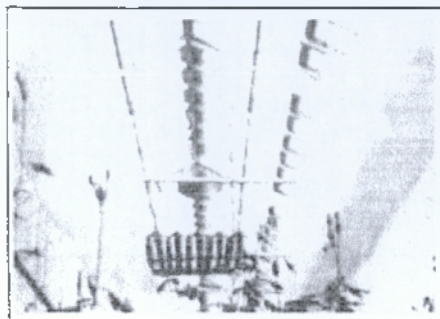
**Σχήμα 16.** Διάταξη σωλήνων θέρμανσης, τοποθετημένοι ψηλά.

### Μηχανικές Μέθοδοι Διανομής

Ορισμένοι καλλιεργητές εγκαθιστούν μεγάλους ανεμιστήρες πάνω από τα φυτά, για να βελτιώσουν την κυκλοφορία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Αυτοί οι ανεμιστήρες φυσούν το ζεστό αέρα από την κορυφή κάτω στα φυτά (σχήμα 17). Μελέτες έδειξαν ότι τέτοιοι ανεμιστήρες



δημιουργούν πολύ διαφορετικά σχήματα ροής αέρα στα θερμοκήπια. Αυτό το είδος αναγκαστικής ροής αέρα δημιουργεί μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές από ότι οι δυνάμεις φυσικής μεταφοράς.



**Σχήμα 17** .Εγκατάσταση ανεμιστήρων ψηλά, για τη βελτίωση της κυκλοφορίας του αέρα.

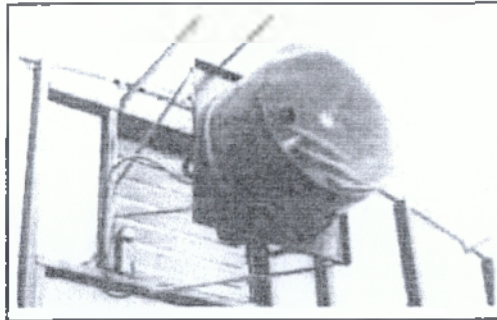
Υπάρχει ένας άλλος πιο αποτελεσματικός τρόπος βελτίωσης της διανομής αέρα (θέρμανσης) μέσα στο θερμοκήπιο. Ένα διάτρητο σύστημα σωληνώσεων από πολυαιθυλένιο (σχήμα 18), τοποθετείται πάνω από τα φυτά. Ο κάθε σωλήνας αυτού του συστήματος έχει διάμετρο 45 cm - 60 cm και διαθέτει μικρές τρύπες διαμέτρου 4 cm - 6 cm, σε απόσταση 50 cm η μία από την άλλη. Ένας ανεμιστήρας φυσάει αέρα μέσα στους σωλήνες (σχήμα 19). Ο αέρας μπορεί να προέρχεται από έναν θερμαντήρα (σχήμα 20) ή από το ίδιο το θερμοκήπιο. Ο αέρας που εμφυσάται μέσα στους σωλήνες βγαίνει από τις τρύπες και αναμιγνύεται με τον αέρα του θερμοκηπίου, σε μία απόσταση ίση με 20 ως 30 φορές τη διάμετρο της τρύπας. Αν το σύστημα σωληνώσεων έχει τρύπες διαμέτρου 5 cm, ο αέρας αναμιγνύεται σε απόσταση 100-150 cm μακριά από τους σωλήνες. Αυτού του είδους το σύστημα δημιουργεί μία συνεχόμενη κυκλοφορία μέσα στο θερμοκήπιο. Αυτή η μέθοδος διανομής είναι σημαντικότερη για τον εξαερισμό κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όπου ο εξωτερικός κρύος αέρας μπαίνει μέσα στο θερμοκήπιο για λόγους ψύξης. Αυτή η μέθοδος περιγράφεται λεπτομερέστερα στην παράγραφο σχετικά με τον εξαερισμό του θερμοκηπίου, σε αυτό το κεφάλαιο.

### **Οριζόντιοι θερμαντήρες**

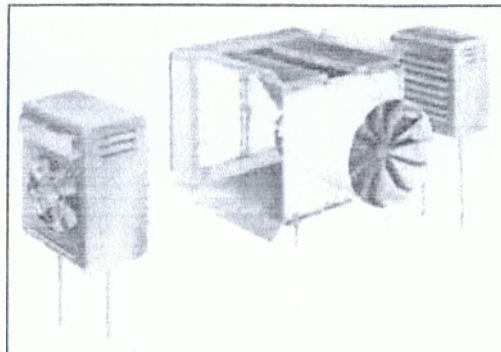
Οι οριζόντιοι θερμαντήρες χρησιμοποιούνται συνήθως στα θερμοκήπια. Ένα διάτρητο σύστημα σωληνώσεων από πολυαιθυλένιο προσαρτάται στο θερμαντήρα, για τη βελτίωση της διανομής της θερμότητας. Σε σύγκριση με άλλα είδη θερμαντήρων, οι οριζόντιοι δεν κοστίζουν ακριβά και είναι εύκολοι στην εγκατάσταση. Γενικώς, οι ανεμιστήρες κυκλοφορίας του αέρα είναι συνδεδεμένοι έτσι ώστε να λειτουργούν συνεχώς. Έτσι, δεν δημιουργούνται μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Ο αέρας κινείται διαρκώς. Αυτό το γεγονός μειώνει την πιθανότητα ασθενειών που προσβάλλουν τα φυτά λόγω μεγάλης ξηρασίας. Ο θερμοστάτης ελέγχου της θερμότητας συνδέεται άμεσα, έτσι ώστε να παρέχει θερμότητα, όποτε η θερμοκρασία πέφτει. Οι θερμαντήρες πρέπει να είναι κατάλληλα τοποθετημένοι, προκειμένου να λειτουργούν αποτελεσματικά. Μία συνηθισμένη εγκατάσταση θερμαντήρα καυτού αέρα φαίνεται στο σχήμα 21.



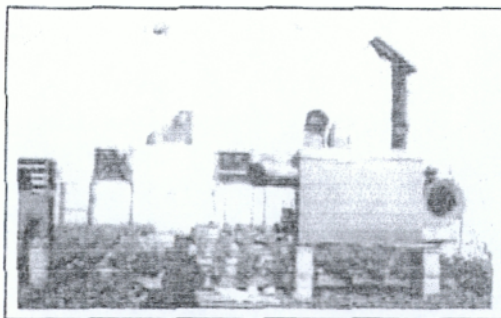
**Σχήμα 18.** Διάτρητος σωλήνας από πολυαιθυλένιο που χρησιμοποιείται για να βελτιώνει τη διανομή του αέρα.



**Σχήμα 19.** Σύστημα ανεμιστήρα ACME τοποθετημένο σε σωλήνα από πολυαιθυλένιο.



**Σχήμα 20.** Συσκευή εξαερισμού και θέρμανσης με ανεμιστήρα ACME, με δύο συσκευές αριστερά και δεξιά που στέλνουν καυτό αέρα στον κεντρικό ανεμιστήρα κυκλοφορίας του αέρα.



**Σχήμα 21.** Συσκευή θέρμανσης καυτού αέρα

## Θερμαντήρες Καυτού Αέρα

Τα θερμοκήπια μπορούν να θερμανθούν επίσης με συστήματα καυτού αέρα, τα οποία χρησιμοποιούν πετρέλαιο θέρμανσης οικιακής χρήσης. Αυτού του είδους τα συστήματα παρέχουν ξηρή θερμότητα στο θερμοκήπιο. Σε ένα μικρό θερμοκήπιο, ο ανεμιστήρας του θερμαντήρα μπορεί να διανείμει τη θερμότητα. Στα μεγάλα θερμοκήπια, ένα σύστημα σωληνώσεων από πολυαιθυλένιο διαμέτρου 20cm-25cm προσαρτάται στον θερμαντήρα, για να διανέμει τη θερμότητα μέσα στο θερμοκήπιο. Συχνά, οι θερμαντήρες τοποθετούνται σε διάφορα σημεία μέσα στα μεγάλα θερμοκήπια, για να διατηρούνται ομοιόμορφες θερμοκρασίες.

### 4.1.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η ποσότητα της θερμότητας που χάνεται από ένα θερμοκήπιο εξαρτάται από διάφορους παράγοντες:

- (1) το υλικό κάλυψης που χρησιμοποιείται,
- (2) το εμβαδόν της εκτεθειμένης επιφάνειας του θερμοκηπίου,
- (3) την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία ή τη θερμοκρασία των φυτών,
- (4) την ταχύτητα του ανέμου,
- (5) την κατάσταση του θερμοκηπίου (δηλαδή, αν είναι καινούργιο ή παλιό με χαλαρές ενώσεις και χαλασμένο τζάμι) και
- (6) την εξωτερική θερμοκρασία.

Η εξωτερική θερμοκρασία είναι η μικρότερη μέση θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της εποχής θέρμανσης μίας τοπικής περιοχής.

Οι ανάγκες θερμότητας ενός θερμοκηπίου μπορούν να προσδιοριστούν με τη βοήθεια του τύπου:

$$H = Ka (t_1 - t_2)$$

όπου  $H$  = η απαιτούμενη θερμότητα σε Bθm ανά ώρα

$K$  = ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του υλικού κάλυψης που χρησιμοποιείται.

$A$  = το εμβαδόν της εκτεθειμένης επιφάνειας, σε τετραγωνικά πόδια

$t_1$  = επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία, σε βαθμούς P

$t_2$  = η εξωτερική θερμοκρασία, σε βαθμούς P

Αυτός ο τύπος υπολογίζει τη θερμότητα που χάνεται από το κάλυμμα του θερμοκηπίου. Δεν λαμβάνει υπόψη την απώλεια θερμότητας λόγω των δυνατών ανέμων ή του εξαερισμού το χειμώνα

(όποτε χρειάζεται). Για αυτές τις απώλειες, ένα 10% πρέπει να προστεθεί στις ανάγκες θερμότητας.

### Παράδειγμα

Θα λυθεί ένα συνηθισμένο πρόβλημα, για να δείτε πώς χρησιμοποιείται ο τύπος αυτός για να προσδιοριστούν οι ανάγκες θερμότητας ενός θερμοκηπίου, σχήμα 22.

**Τζάμι ως υλικό κάλυψης.** Το θερμοκήπιο αυτού του προβλήματος έχει μήκος 30,5 m, πλάτος 9,8 m, με αψίδα ύψους 1,8 m και ύψος οριζόντιας δοκού 4,5 m. Το θερμοκήπιο είναι ανεξάρτητο. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχει χώρο εργασιών στην άκρη του. Αν προστεθεί και τέτοιος χώρος, η απώλεια θερμότητας αυτού του εμβαδού δεν υπολογίζεται.

Το πρώτο βήμα είναι ο υπολογισμός του εμβαδού της εκτεθειμένης επιφάνειας. Αυτό το εμβαδόν συμβολίζεται με "a" στον τύπο.

**Εμβαδόν τοίχων:** Το εμβαδόν ενός ορθογώνιου παραλληλόγραμμου ισούται με το μήκος επί το πλάτος.

Εμβαδόν ακριανών τοίχων (ύψους ως τις μαρκίζες) =  $9,8 \text{ m} * 1,8 \text{ m} = 17,6 \text{ m}^2$

$17,6 \text{ m}^2 * 2$  ( δύο ακριανοί τοίχοι ) =  $35,28 \text{ m}^2$

Εμβαδόν πλαϊνών τοίχων (δύο τοίχοι στις μαρκίζες) =  $(1,8 \text{ m} \chi 30,5 \text{ m}) * 2 = 109,8 \text{ m}^2$

**Εμβαδόν των ακρότοιχων:** Το εμβαδόν των ακρότοιχων μπορεί να υπολογιστεί με τη βοήθεια του τύπου για ένα τρίγωνο:

**Εμβαδόν τριγώνου =  $1/2 * \text{βάση} * \text{ύψος}$**

Εμβαδόν =  $1/2 * 9,8 \text{ m} \chi 2,70 \text{ m} = 13,4 \text{ m}^2$

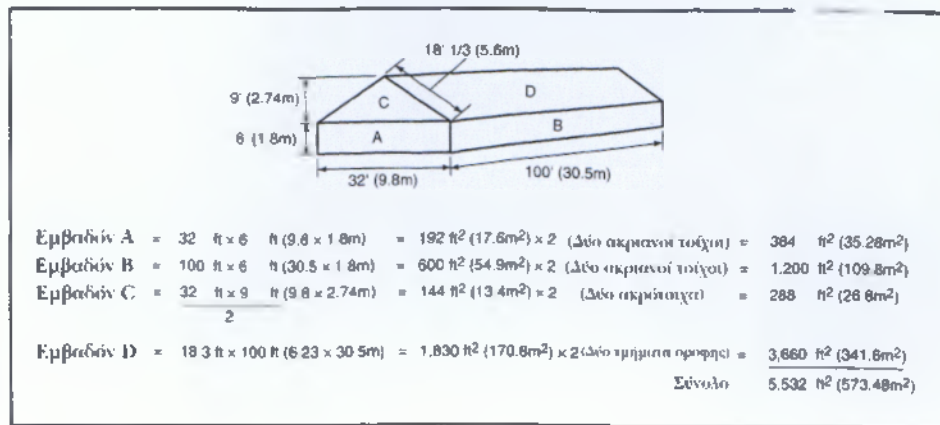
$13,4 \text{ m}^2 * 2 = 26,8 \text{ m}^2$  συνολικό εμβαδόν των δύο ακρότοιχων.

**Εμβαδόν οροφής:** Ένας άλλος τύπος ορθογώνιου τριγώνου χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το μήκος της ράβδου οροφής. Αυτό το μήκος χρειάζεται για να προσδιοριστεί το εμβαδόν της οροφής.

$$a^2 + b^2 = c^2$$

Σε αυτό τον τύπο, το a είναι η βάση του τριγώνου, το b του ύψους και το c η υποτείνουσα (η υποτείνουσα ισούται με το μήκος της ράβδου οροφής). Το μήκος της βάσης είναι  $9,7 \text{ m}/2 = 4,9 \text{ m}$ . Το ύψος είναι 2,7 m.

Χρησιμοποιώντας τον τύπο  $a^2 + b^2 = c^2$



**Σχήμα 22** .Υπολογισμός του εμβαδού της εκτεθειμένης επιφάνειας ενός θερμοκηπίου.Πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μέτρηση του εμβαδού ,για να υπολογιστούν οι ανάγκες θερμότητας.

$$4,9 \text{ m}^2 + 2,7 \text{ m}^2 = c^2$$

$$24 \text{ m}^2 + 7,3 \text{ m}^2 = 31,3 \text{ m}^2$$

Επομένως το εμβαδόν οροφής είναι:

$$31,3 \text{ m}^2 = 5.6\text{m}, \text{ μήκος της ράβδου οροφής μήκος χ πλάτος: } 30,5 \text{ m} * 5,6 \text{ m} = 170,8 \text{ m}^2$$

Το συνολικό εμβαδόν των δυο τμημάτων της οροφής είναι:

$$170,8 \text{ m}^2 * 2 = 341,6 \text{ m}^2$$

Το συνολικό εμβαδόν της εκτεθειμένης επιφάνειας είναι:

$$341,6 \text{ m}^2 + 26,7 \text{ m}^2 + 109,8 \text{ m}^2 + 35,28 \text{ m}^2 = 513,38 \text{ m}^2$$

Για το τζάμι, ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (K) είναι 1,15. Υποθέστε ότι η μικρότερη επιθυμητή θερμοκρασία για τα φυτά είναι 60° F, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι 0° F. Βάζοντας αυτές τις τιμές στον τύπο, μας δίνει την ποσότητα θερμότητας σε Βθμ ανά ώρα.

$$H = 1,15 * 513,38 \text{ m}^2 * (60-0) \text{ } ^\circ \text{ F}$$

$$H = 590,38 * 60$$

$$H = 35.422,8 \text{ Βθμ/ώρα}$$

Χρειάζεται μία θερμότητα 35,422, Βθμ/ώρα ανά ώρα για να θερμανθεί αυτό το θερμοκήπιο με τζάμι στους 60° F, με εξωτερική θερμοκρασία 0° F. Ο θερμαντήρας είναι ρυθμισμένος σε Βθμ. Επομένως, αν χρησιμοποιείται ένας θερμαντήρας, πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος για να προμηθεύει τις επιθυμητές Βθμ. Δυο μικρότεροι θερμαντήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν, αν οι συνολικές Βθμ που παράγουν είναι ίσες με αυτές που χρειάζονται. Για ένα θερμοκήπιο μήκους 30,5 m και άνω, προτιμούνται δύο μικροί θερμαντήρες από έναν μεγάλο. Η θερμότητα διανέμεται καλύτερα έτσι.

#### 4.1.5 ΣΩΛΗΝΩΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΠΟΥ ΘΕΡΜΑΙΝΟΝΤΑΙ ΜΕ ΚΑΥΤΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ ΑΤΜΟ.

Ο ίδιος τύπος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των απαιτήσεων θερμότητας των θερμοκηπίων που χρησιμοποιούν συστήματα θέρμανσης με ατμό ή καυτό νερό. Πρώτα, προσδιορίζεται το εμβαδόν της εκτεθειμένης επιφάνειας του θερμοκηπίου. Μετά, το εμβαδόν, η θερμοκρασία σχεδίου και το  $K$  για το τζάμι αντικαθίστανται στον τύπο, για να βρεθούν οι απαιτούμενες Βθμ ανά ώρα. Ο ατμός και το ζεστό νερό κινούνται μέσα από σωλήνες που λειτουργούν ως εναλλάκτες θερμότητας ή θερμοαντικά σώματα μέσα στο θερμοκήπιο. Έτσι, το πρόβλημα είναι ο υπολογισμός του συνολικού αριθμού γραμμικών ποδιών σωλήνα που χρειάζονται για να ακτινοβοληθεί η απαιτούμενη θερμότητα σε Βθμ/ώρα.

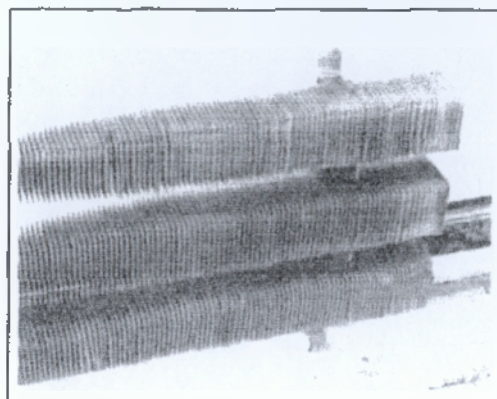
Στα συστήματα θέρμανσης με καυτό νερό, η θερμοκρασία του νερού είναι συνήθως  $82,1^{\circ}\text{C}$ . Η θερμοκρασία του ατμού που χρησιμοποιείται στα συστήματα θέρμανσης με ατμό είναι  $101,6^{\circ}\text{C}$ . Αυτή είναι η θερμοκρασία του κεκορεσμένου ατμού σε ελαφρά μεγαλύτερη πίεση από την ατμοσφαιρική. Σε ατμοσφαιρική πίεση, το νερό μετατρέπεται σε ατμό στους  $100^{\circ}\text{C}$ .

##### Είδη Σωλήνων

Δύο είδη σωλήνων χρησιμοποιούνται, ο λείος και αυτός με πτερύγια. Ο σωλήνας με πτερύγια κατασκευάζεται με την τοποθέτηση μεταλλικών φύλλων ή πτερυγίων κοντά το ένα στο άλλο, σχήμα 23. Αυτά τα πτερύγια αυξάνουν το εμβαδόν επιφάνειας του σωλήνα από όπου ακτινοβολείται η θερμότητα. Το μεγαλύτερο εμβαδόν επιφάνειας ακτινοβολεί περισσότερη θερμότητα. Επομένως, χρειάζονται λιγότεροι σωλήνες. Ένας σωλήνας με πτερύγια 30 cm, διαμέτρου 5 cm ακτινοβολεί την ίδια ποσότητα θερμότητας με έναν λείο σωλήνα 1,8 m, διαμέτρου 5 cm. Τα χαρακτηριστικά μετάδοσης της θερμότητας των σωλήνων με πτερύγια μπορεί να ποικίλουν.

Για την επιλογή ενός σωλήνα, πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψη οι όροι συγγραφής υποχρεώσεων του κατασκευαστή, για να καθορίζεται η ακριβής ποσότητα σωλήνων. Ένας λείος σωλήνας 5 cm που μεταφέρει νερό θερμαινόμενο στους  $82,1^{\circ}\text{C}$  θα δώσει περίπου 160 Βθμ ανά ώρα. Επομένως, ένας σωλήνας με πτερύγια 30 cm, διαμέτρου 5 cm που μεταφέρει νερό στους  $82,1^{\circ}\text{C}$  θα δώσει  $160 * 5$  ή 800 Βθμ ανά ώρα.

Ο σωλήνας που χρησιμοποιείται σε ένα θερμοκήπιο που θερμαίνεται με ατμό μπορεί να είναι 3,2 cm ή 3,75 cm σε διάμετρο. Σε μία θερμοκρασία ατμού  $101,6^{\circ}\text{C}$  και θερμοκρασία αέρα  $15,5^{\circ}\text{C}$ , ένας σωλήνας 30 cm διαμέτρου 3,75 cm θα ακτινοβολήσει σχεδόν την ίδια ποσότητα θερμότητας με έναν σωλήνα 5 cm που μεταφέρει καυτό νερό ή 180 Βθμ ανά ώρα. Ένας σιδερένιος σωλήνας 3,75 cm που μεταφέρει ατμό στους  $101,6^{\circ}\text{C}$  θα δώσει σχεδόν 210 Βθμ ανά ώρα, όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι  $15,5^{\circ}\text{C}$ . Ένας σωλήνας με πτερύγια 30 cm με διάμετρο 3,2 cm ισοδυναμεί με έναν λείο σωλήνα 3,2 cm και έναν λείο σωλήνα 1,3 m με διάμετρο 5 cm.



Σχήμα 23. Θερμαντικό σώμα με σωλήνες με πτερύγια, ο ένας δίπλα στον άλλο.

#### Υπολογισμός της Απαιτούμενης Ποσότητας Σωλήνων

Το θερμοκήπιο με τζάμι που περιγράφηκε στο προηγούμενο παράδειγμα χρειάζεται 35.422,8 Βθμ θερμότητας ανά ώρα. Η ποσότητα σωλήνων που χρειάζεται μπορεί να προσδιοριστεί τόσο για το καυτό νερό όσο και για τον ατμό, για τον λείο σωλήνα ή το σωλήνα με πτερύγια. Για έναν λείο σωλήνα 5cm που μεταφέρει καυτό νερό, η απαραίτητη ποσότητα σωλήνων σε cm ισούται με τις απαιτήσεις θερμότητας (24.642 Βθμ) διαιρούμενη με την ποσότητα της ακτινοβολούμενης θερμότητας ανά cm σωλήνα (160 Βθμ):

$$35.22,8 / 160 = 221,3m$$

Για έναν σωλήνα με πτερύγια 5 cm που μεταφέρει καυτό νερό, η απαραίτητη ποσότητα σωλήνων σε m ισούται με

$$35.22,8 / 800 = 44,2m$$

Η ίδια τιμή βρίσκεται διαιρώντας την απαραίτητη ποσότητα μέτρων λείου σωλήνα με το 5. Αυτός ο αριθμός είναι η συντελεστής του λείου σωλήνα για να βρεθεί το ισοδύναμο για τον σωλήνα με πτερύγια:

$$221,3m / 5 = 44,2m$$

Ο λείος σωλήνας διαμέτρου 3,2 cm που μεταφέρει ατμό έχει την ίδια απόδοση Βθμ με έναν σωλήνα κατού νερού διαμέτρου 5 cm. Αυτό σημαίνει ότι ο αριθμός μέτρων του σωλήνα που χρειάζεται είναι ο ίδιος, δηλαδή 727,2 m. Αν χρησιμοποιηθεί σωλήνας με πτερύγια 1,25 ιντσών, η απαραίτητη ποσότητα είναι το 1/6 της ποσότητας του λείου σωλήνα, δηλαδή

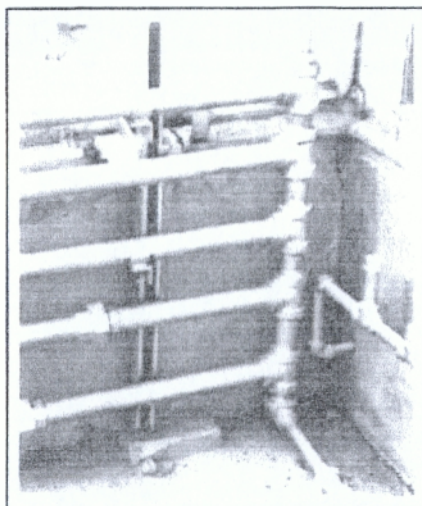
$$221,3m / 6 = 36,8m$$

Αν η θερμοκρασία του θερμοκηπίου είναι χαμηλότερη από τους  $15,5^{\circ}\text{C}$  , το μήκος του σωλήνα που χρειάζεται θα είναι διαφορετικό από τις τιμές που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο παράδειγμα. Αυτή η αλλαγή οφείλεται στις θερμοκρασιακές διαφορές ανάμεσα στη χαμηλότερη απαιτούμενη θερμοκρασία και τις θερμοκρασίες του καυτού νερού και του ατμού. Για μία θερμοκρασία κάτω των  $15,5^{\circ}\text{C}$  , ένα δεδομένο μέγεθος σωλήνα θα ακτινοβολεί περισσότερη θερμότητα στην ίδια θερμοκρασία καυτού νερού και ατμού. Ένας υδραυλικός πρέπει να υπολογίσει τις ανάγκες θερμότητας ενός θερμοκηπίου σε διάφορες θερμοκρασίες.

### Διάταξη Σωλήνων

Οι σωλήνες θέρμανσης ενός θερμοκηπίου πρέπει να είναι τοποθετημένοι σωστά, για να επιτυγχάνεται όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφη διανομή της θερμότητας. Ο χώρος των σωλήνων εξαρτάται από το είδος των φυτών που καλλιεργούνται, από τις ανάγκες τους σε θερμότητα, τον αριθμό απαραίτητων μέτρων σωλήνα και τη μέθοδο εγκατάστασης των σωλήνων.

Για να αποφευχθεί η χρήση πολύτιμου χώρου καλλιέργειας, οι σωλήνες θέρμανσης βρίσκονται συνήθως ο ένας δίπλα στον άλλο ή τοποθετούνται ο ένας πάνω από τον άλλο, κατά μήκος των πλαϊνών και ακριανών τοίχων του θερμοκηπίου, σχήμα 24. Η μεγαλύτερη αποδοτικότητα θέρμανσης επιτυγχάνεται μόνο όταν επιτρέπεται η ελεύθερη ροή του αέρα γύρω από τους σωλήνες. Επομένως, αποτέλεσμα της συσσώρευσης είναι η μείωση της αποδοτικότητας θέρμανσης. Μειώνει τη ροή του αέρα γύρω από τους πάνω σωλήνες. Επίσης, ο αέρας θερμαίνεται μόνο από τους κάτω σωλήνες, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αποδοτικότητα των κάτω σωλήνων. Για να διορθωθεί αυτή η απώλεια αποδοτικότητας, πρέπει να εγκαθίστανται και άλλοι σωλήνες θέρμανσης.



Σχήμα 24. Σωλήνες θέρμανσης με ατμό.

Ορισμένοι καλλιεργητές χρησιμοποιούν θέρμανση στον πάτο των πάγκων τους. Η τοποθέτηση σωλήνων θέρμανσης κάτω από τους πάγκους μειώνει επίσης την ποσότητα ροής του αέρα γύρω από τους σωλήνες. Και σε αυτή την περίπτωση, μειώνεται η αποδοτικότητα της θέρμανσης.



Όταν τα συστήματα θέρμανσης με ατμό ή καυτό νερό είναι το μόνο μέσο θέρμανσης ενός θερμοκηπίου, χρησιμοποιείται ένα τρομπόνι ή μία συνεχόμενη διάταξη σωλήνων.

Ένα τέτοιο σύστημα σωλήνων κάνει περισσότερο ομοιόμορφη διανομή. Η μέθοδος εγκατάστασης ενός σωλήνα φαίνεται στο σχήμα 17. Για την εξασφάλιση αρκετής θερμότητας στις πλευρές του θερμοκηπίου, τουλάχιστον 25% του εμβαδού της συνολικής επιφάνειας του σωλήνα που ακτινοβολεί θερμότητα πρέπει να τοποθετείται στους πλαϊνούς ή τους ακριανούς τοίχους.

Φυσιολογικά, ο σωλήνας με πτερύγια τοποθετείται μόνο στους πλαϊνούς ή τους ακριανούς τοίχους. Ο λείος σωλήνας τοποθετείται ψηλά.

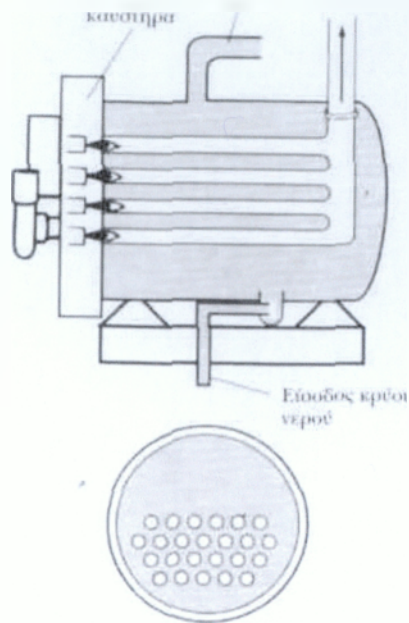
#### **4.1.6 ΛΕΒΗΤΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ**

Οι σύγχρονοι λέβητες μπορούν να αγοραστούν σε ολόκληρα κομμάτια που είναι εύκολο να εγκατασταθούν μέσα στο θερμοκήπιο. Υπάρχουν δύο βασικά είδη λεβήτων που χρησιμοποιούνται: ο λέβητας σωλήνων πυρός και ο λέβητας σωλήνων νερού. Ο λέβητας σωλήνων πυρός, σχήματα 25 και 26, διαθέτει μία σειρά σωλήνων μέσα από τους οποίους πιέζεται ο θερμαινόμενος αέρας. Αυτοί οι σωλήνες περιβάλλονται από νερό. Καθώς ο θερμαινόμενος αέρας κινείται μέσα από το κρύο νερό μέσω των σωλήνων, το νερό θερμαίνεται.

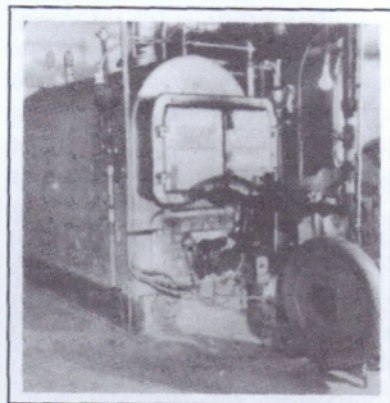
Στον λέβητα σωλήνων νερού, σχήμα 27, το νερό κυκλοφορεί μέσα στους σωλήνες. Η θερμότητα και τα υγρά αέρια περνούν μέσα από τους σωλήνες και θερμαίνουν το νερό. Κάθε είδος λέβητα έχει τα πλεονεκτήματά του, ανάλογα με τη συγκεκριμένη χρήση του. Ο καλλιεργητής πρέπει να συμβουλευτεί έναν ειδικό, για να καθορίζει το είδος του λέβητα που θα ικανοποιήσει τις ανάγκες του θερμοκηπίου.

#### **Ρύθμιση του λέβητα**

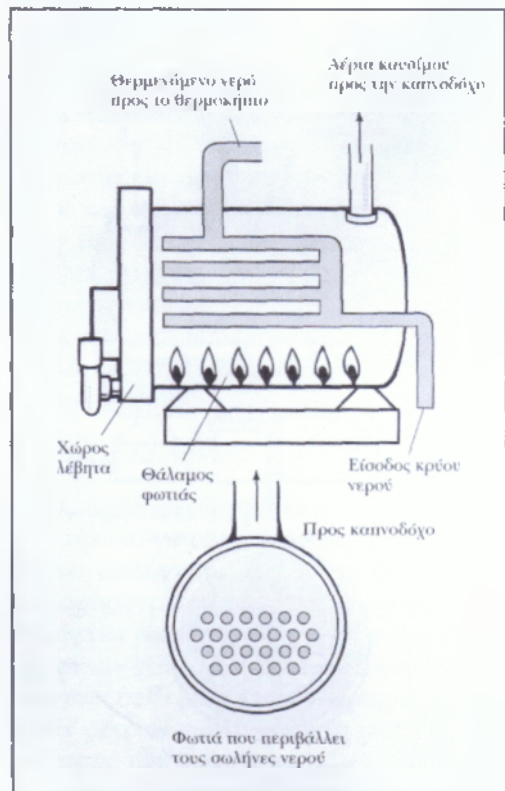
Οι λέβητες ρυθμίζονται σε ίππους. Ένας ίππος λέβητα ισούται με την παραγωγή θερμότητας 33.475 Βθμ/ώρα. Η ανάγκη του θερμοκηπίου για θερμότητα καθορίζει το μέγεθος του λέβητα (θυμηθείτε ότι η ανάγκη για θερμότητα εξαρτάται από το μέγεθος της περιοχής που πρέπει να θερμανθεί). Γενικώς, ένας λέβητας 200 ίππων είναι αρκετός για να θερμάνει ένα θερμοκήπιο με τζάμι 4.642,5 m<sup>2</sup> στους 15,5 °C, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι -22,5°C. Οι περισσότεροι καλλιεργητές προτιμούν να χρησιμοποιούν δυο μικρότερους λέβητες για να αντεπεξέρχονται στις απαιτήσεις θέρμανσης. Αν ο ένας λέβητας δεν μπορεί να το κάνει αυτό, ο δεύτερος θα κρατήσει το θερμοκήπιο ζεστό.



Σχήμα 25. Νερό που περιβάλλει τους σωλήνες φωτιάς



Σχήμα 26 Λέβητας σωλήνων πυρός



Σχήμα 27. Λέβητας σωλήνων νερού

#### 4.1.7 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ "ΕΚΤΑΚΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ"

Οι λέβητες δεν μπορούν να λειτουργήσουν όταν κόβεται το ρεύμα, λόγω πυκνού χιονιού ή καταιγίδων. Μία πηγή ενέργειας έκτακτων περιστάσεων, όπως μία γεννήτρια βενζίνης ή ντίζελ, χρησιμοποιείται όταν το συνεργείο της ΔΕΗ επισκευάζει τα καλώδια. Η γεννήτρια έκτακτων αναγκών πρέπει να έχει αρκετή απόδοση, ώστε να εξασφαλίζει τη λειτουργία τουλάχιστον των μισών λεβήτων. Ένας ικανός ηλεκτρολόγος μπορεί να βοηθήσει στον καθορισμό του μεγέθους μίας τέτοιας γεννήτριας.

#### 4.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΠΛΑΣΤΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ.

Τα περισσότερα θερμοκήπια με πλαστικό κάλυμμα είναι προσωρινές κατασκευές ή χρησιμοποιούνται μόνο για μία περίοδο του χρόνου. Αυτό σημαίνει ότι ένα σύστημα θέρμανσης καυτού νερού ή ατμού που είναι εγκαταστημένο σε κεντρικό σημείο είναι ανοικονομικό για αυτό το είδος θερμοκηπίου. Αντίθετα, σε αυτά τα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται συνήθως καμίνια καυτού αέρα ή θερμαντήρες.

##### 4.2.1 ΚΑΜΙΝΙΑ ΚΑΥΤΟΥ ΑΕΡΑ

Στα μικρά θερμοκήπια, ένα καμίνι καυτού αέρα με πλάκες απόκλισης τοποθετείται στο κέντρο για να διατηρεί την επιθυμητή θερμοκρασία, σχήμα 28. Επίσης, η ομοιόμορφη διανομή της θερμότητας είναι ένα πρόβλημα στα μεγάλα θερμοκήπια, όταν χρησιμοποιούνται κοινά καμίνια οικιακής χρήσης.

Η διανομή της θερμότητας βελτιώνεται όταν χρησιμοποιείται ένας διάτρητος σωλήνας διανομής από πολυαιθυλένιο με θερμαντήρες που περιέχουν ανεμιστήρες. Ο ανεμιστήρας μπορεί να συνδεθεί με καλώδια για να κυκλοφορεί συνεχώς τον αέρα. Η θερμότητα παράγεται όταν λειτουργήσει ο θερμοστάτης.



Σχήμα 28

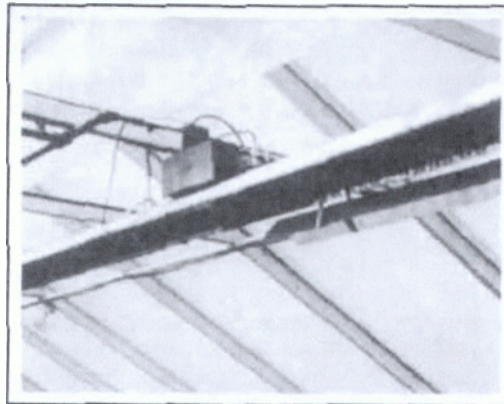
Ένας θερμαντήρας καυτού αέρα βρίσκεται σε κεντρικό σημείο ενός μικρού θερμοκηπίου με πλαστικό κάλυμμα, για να παρέχει ομοιόμορφη διανομή της θερμότητας.

#### 4.2.2 ΣΥΣΤΗΜΑ CO-RAY-VAC

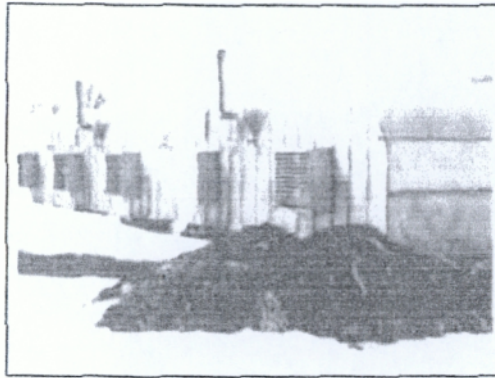
Τα θερμοκήπια με πλαστικό κάλυμμα μπορούν να θερμανθούν με ένα σύστημα CO- RAY- VAC που παρέχει ακτινοβολούμενη ενέργεια, σχήμα 29. Οι καυστήρες αερίου θερμαίνουν τον αέρα ο οποίος διανέμεται μέσα από ένα σύστημα σωλήνων που βρίσκεται ψηλά. Η υπέρυθρη ενέργεια της ακτινοβολούμενης θερμότητας αντανακλάται στα φυτά. Αυτή η ενέργεια είναι ίδια με την ηλιακή ακτινοβολούμενη ενέργεια, θερμαίνει με τον ίδιο τρόπο. Το σύστημα CO-RAY-VAC είναι ικανοποιητικό για φυτά μικρής ανάπτυξης, όπως τα ήδη ανεπτυγμένα φυτά και τα φυτά σε γλάστρα. Ωστόσο, δεν είναι ικανοποιητικό για τα ψηλά κομμένα λουλούδια. Όταν ο καιρός είναι ιδιαίτερα ψυχρός, τα φυτά που βρίσκονται κοντά στις πλευρές του θερμοκηπίου δεν δέχονται αρκετή θερμότητα και τραυματίζονται από το κρύο. Αυτό το σύστημα δεν χρησιμοποιείται ευρέως παρά μόνο στα θερμοκήπια που καλλιεργούνται ήδη ανεπτυγμένα φυτά ή φυτά σε γλάστρα.

#### Εξαεριστικοί Θερμαντήρες

Όλοι οι θερμαντήρες που χρησιμοποιούν φωτιά για την καύση του καυσίμου πρέπει να έχουν μία καπνοδόχο με διαφυγή στο εξωτερικό του θερμοκηπίου, σχήμα 30. Σε σύγκριση με τα θερμοκήπια με τζάμι, που έχουν πολλά κενά, τα θερμοκήπια με πλαστικό κάλυμμα είναι σχεδόν αεροστεγή. Όλα τα καύσιμα χρειάζονται αρκετό οξυγόνο για να καούν σωστά. Όταν δεν υπάρχει αρκετός αέρας, το καύσιμο δεν καίγεται εντελώς. Το αποτέλεσμα είναι η συσσώρευση τοξικών (δηλητηριωδών) αερίων μέσα στο θερμοκήπιο. Αυτά τα αέρια μπορεί να είναι επιβλαβή για τους ανθρώπους και να δημιουργήσουν σοβαρές ζημιές στα φυτά.

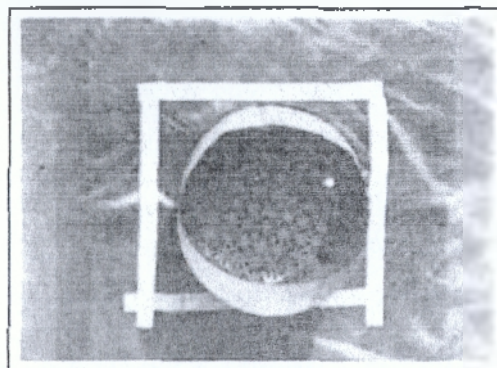


Σχήμα 29. Το CO-RAY-VAC είναι ένα σύστημα θέρμανσης υπέρυθρης ακτινοβολίας



**Σχήμα 30.** Αυτός ο θερμαντήρας εξαερίζεται σωστά, με την άκρη του σωλήνα να εκτείνεται αρκετά πάνω από την οροφή του θερμοκηπίου

Για την εξασφάλιση αρκετού αέρα για την ολοκλήρωση της καύσης του καυσίμου, επιπλέον αέρας παρέχεται από το εξωτερικό του θερμοκηπίου. Ένα μπουρί χρησιμοποιείται για να φέρει φρέσκο αέρα στον καυστήρα. Αυτό το μπουρί πρέπει να είναι προστατευμένο για να μην εισχωρούν ποντίκια και άλλα μικρά ζώα, σχήμα 31. Ένας εμπειρικός κανόνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί το μέγεθος του μπουριού. Γίνεται ένα άνοιγμα  $322,6 \text{ cm}^2$  για κάθε 100.000 Βθμ/ώρα απόδοσης θερμότητας ενός καμινιού. Αν το καμίνι είναι ρυθμισμένο στους 250.000 Βθμ/ώρα, το άνοιγμα για τον επιπλέον αέρα πρέπει να είναι  $322,6 * 2,5 = 806,45 \text{ cm}^2$ . Έτσι, ένα άνοιγμα  $25 * 31,25 \text{ cm}$  παρέχει αρκετό επιπλέον αέρα για τη σωστή καύση του καυσίμου.



**Σχήμα 31.** Προστατευμένη έξοδος αέρα ενός θερμαντήρα αερίου.

#### **4.2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕ ΠΛΑΣΤΙΚΟ ΚΑΛΥΜΜΑ.**

Στο προηγούμενο παράδειγμα, το τζάμι χρησιμοποιούνταν ως υλικό κάλυψης. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί πολυαιθυλένιο μονού στρώματος ή σκληρό φαϊμπεργκλάς. Αυτά τα υλικά έχουν σχεδόν τον ίδιο συντελεστή μεταφοράς θερμότητας (1,15). Έτσι, οι απαιτήσεις θερμότητας θα είναι οι

ίδιες με οποιοδήποτε από αυτά τα υλικά. Το πλαστικό διπλού στρώματος έχει μονωτικό αποτέλεσμα που μειώνει την ποσότητα της απαιτούμενης ενέργειας. Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας αυτού του υλικού είναι 0,80. Αν υποθέσουμε ότι ένα θερμοκήπιο με το ίδιο εμβαδόν εκτεθειμένης επιφάνειας καλύπτεται με πλαστικό διπλού στρώματος, οι απαιτήσεις θερμότητας είναι:

$$H = \kappa a (t_1 - t_2)$$

$$H = 0,80 * 513,38 * (60-0)$$

$$H = 410,70 * 60$$

$$H = 24.642 \text{ Bθμ/ώρα}$$

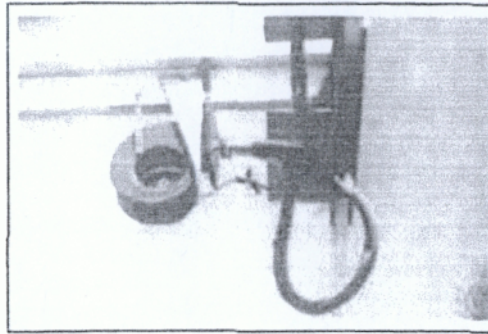
Οι απαιτήσεις θερμότητας αυτού του θερμοκηπίου με πλαστικό διπλού στρώματος είναι κατά 10.780,8 Bθμ/ώρα λιγότερες από εκείνες του θερμοκηπίου με τζάμι ή με πλαστικό μονού στρώματος. Πρόκειται για εξοικονόμηση περίπου 30% της ποσότητας απαιτούμενης θερμότητας. Τα θερμοκήπια με πλαστικό κάλυμμα μονού στρώματος δεν πρέπει να κατασκευάζονται με μεγάλες απαιτήσεις θερμότητας το χειμώνα.

#### **4.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

Καθώς το κόστος της θέρμανσης των θερμοκηπίων αυξάνει διαρκώς, πρέπει να δοθεί περισσότερη προσοχή στους τρόπους διατήρησης ή μείωσης της ποσότητας θερμότητας που χρειάζεται για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του θερμοκηπίου στο επιθυμητό επίπεδο. Υπάρχουν λίγες μέθοδοι διατήρησης της θερμότητας. Επίσης, υπάρχουν αρκετές πειραματικές μέθοδοι που δοκιμάζονται.

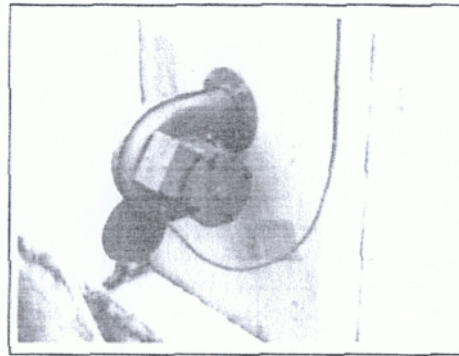
##### **4.3.1 ΔΙΠΛΟ ΣΤΡΩΜΑ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ**

Ένα διπλό στρώμα πλαστικού που καλύπτει το θερμοκήπιο μπορεί να μειώσει τις ανάγκες θερμότητας 30 ως 40%. Με αυτή τη μέθοδο, δύο στρώματα πλαστικού απλώνονται στο θερμοκήπιο. Αυτά τα στρώματα είναι χωρισμένα μεταξύ τους σε μία απόσταση έξι ιντσών, με τη βοήθεια ενός μικρού ανεμιστήρα που φυσάει αέρα ανάμεσα τους σε χαμηλή πίεση, σχήματα 32 και 33.



**Σχήμα 32.** Ανεμιστήρας που φουσκώνει μία οροφή από πλαστικό διπλού στρώματος.

Τα κομμάτια διπλού τοίχου από σκληρό πλαστικό κατασκευασμένα από ακρυλικό, πολυανθρακικό, PVC και FRP χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο ως καλύμματα θερμοκηπίων στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το κόστος αυτών των υλικών είναι πολύ μεγαλύτερο από εκείνο του εύκαμπτου πλαστικού. Το υλικό πρέπει να χρησιμοποιείται κάτω από φυσικές συνθήκες ανάπτυξης, για να φανεί αν διατηρεί τόση θερμότητα όση ισχυρίζεται ο κατασκευαστής ότι μπορεί να διατηρήσει.



**Σχήμα 33.** Ανεμιστήρας τοποθετημένος στον πλαϊνό τοίχο για να φουσκώνει το πλαστικό διπλού στρώματος, σε ένα θερμοκήπιο με τζάμι.

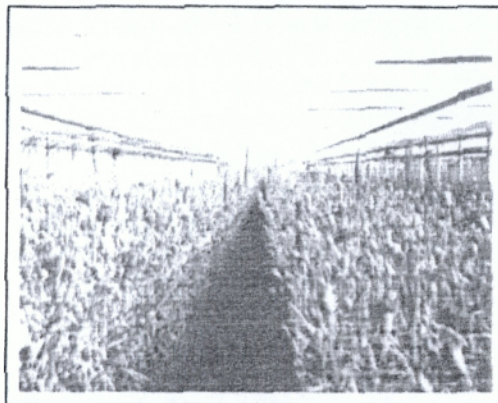
Τα ακρότοιχα του θερμοκηπίου μπορούν να καλυφθούν με ένα δεύτερο στρώμα πλαστικού με κενό ανάμεσα στα στρώματα, για να υπάρχει μόνωση. Ορισμένοι καλλιεργητές χρησιμοποιούν συνηθισμένα μονωτικά υλικά με ανακλαστική ενίσχυση για την κάλυψη των ακριανών ή βορινών τοίχων του θερμοκηπίου. Η μόνωση συγκρατεί τη θερμότητα και ανακλαστική ενίσχυση αντανακλά το φως στα φυτά έτσι ώστε να είναι είναι ομοιόμορφη η ανάπτυξη.

Το ακρυλικό, το πολυανθρακικό, το PVC και το FRP χρησιμοποιούνται επίσης στους πλαϊνούς και ακριανούς τοίχους των μεγάλων θερμοκηπίων με οροφές από φουσκωμένο πολυαιθυλένιο.

Οι πλαϊνοί τοίχοι ενός θερμοκηπίου με βόρειο προσανατολισμό μπορούν επίσης να καλυφθούν από το ίδιο είδος μονωτικών υλικών. Η ποσότητα φωτός που χάνεται λόγω της μόνωσης αντικαθίσταται με το παραπάνω από την εξοικονόμηση θερμότητας.

#### 4.3.2 ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΑΒΑΝΙ

Οι καλλιεργητές χρησιμοποιούν συχνά εσωτερικά ταβάνια. Αυτή η μέθοδος μόνωσης πρωτοχρησιμοποιήθηκε από τους καλλιεργητές γαρίφαλων, όταν έψυχαν το θερμοκήπιο με ένα σύστημα ψύξης με ανεμιστήρα και επικάλυμμα τοίχου, σχήμα 34. Το εσωτερικό ταβάνι έμπαινε ακριβώς πάνω από τα φυτά για να συγκρατεί το ζεστό αέρα στην κορυφή του θερμοκηπίου. Με αυτό τον τρόπο, ο ψυχρός αέρας έμενε κοντά στα φυτά. Σήμερα, το εσωτερικό ταβάνι χρησιμοποιείται για να διατηρεί τη θερμότητα κοντά στα φυτά, αντί να χάνεται μέσα από την οροφή του θερμοκηπίου. Τα εσωτερικά ταβάνια μπορούν να εγκατασταθούν μόνιμα ή προσωρινά.



**Σχήμα 34.** Ψευδοροφή από πολυαιθυλένιο εγκαταστημένη για να συγκρατεί τον ψυχρό αέρα πάνω στα φυτά σε θερμοκήπια με σύστημα ψύξης με ανεμιστήρα και επικάλυμμα τοίχου.

#### 4.3.3 ΜΟΝΙΜΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΤΑΒΑΝΙΑ

Ένα μόνιμο ταβάνι συνίσταται στην εγκατάσταση πολυαιθυλενίου 4 χιλιοστών της ίντσας σε όλο το θερμοκήπιο, από τοίχο σε τοίχο, ακριβώς πάνω από τα φυτά. Μία τέτοια εγκατάσταση είναι εύκολη σε ένα φωτεινό θερμοκήπιο. Σε θερμοκήπια με κηλίδες και άλλα υποστηρίγματα, η εγκατάσταση ενός εσωτερικού ταβανιού είναι δυσκολότερη.

Το διπλό εσωτερικό ταβάνι δυσκολεύει περισσότερο τον εξαερισμό του θερμοκηπίου, όταν η εσωτερική θερμοκρασία αυξάνει. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, ο καλύτερος τρόπος εξαερισμού είναι οι αυτόματοι αναρροφητικοί ανεμιστήρες.

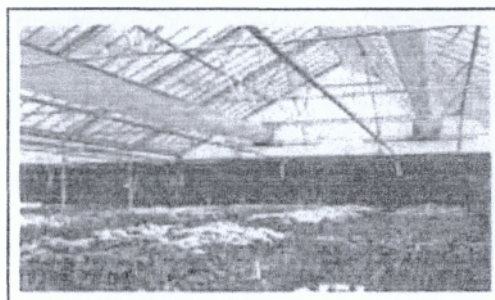
Υπολογίστηκε ότι ένα εσωτερικό ταβάνι μπορεί να μειώσει τις απαιτήσεις θερμότητας ενός θερμοκηπίου κατά 30%. Όταν το ταβάνι είναι από φωτεινό πλαστικό, μπορεί να διατηρηθεί για όλη την περίοδο θέρμανσης.

#### 4.3.4 ΠΡΟΣΩΡΙΝΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΤΑΒΑΝΙΑ

Ένα προσωρινό εσωτερικό ταβάνι μπορεί να εγκατασταθεί για τη διατήρηση της θερμότητας, σχήμα 35. Αυτού του είδους το ταβάνι τοποθετείται κάθε βράδυ και αφαιρείται κάθε πρωί. Είναι παρόμοιο με τις μεθόδους που χρησιμοποιούν οι καλλιεργητές για να δημιουργούν τεχνητές μικρές



ημέρες, έτσι ώστε να μπορούν να ανθίσουν τα χρυσάνθεμα εκτός εποχής. Μαύρο μεταξωτό ύφασμα τοποθετείται πάνω σε σύρματα και τραβιέται πάνω στα φυτά ως μονωτικό κάλυμμα. Όταν το ύφασμα τοποθετείται από υδρορροή σε υδρορροή και στους πλαϊνούς τοίχους, οι ανάγκες θερμότητας μειώνονται κατά 50% ή περισσότερο. Η ημιαυτόματες μηχανές σκίασης μαύρου υφάσματος απλοποιούν αυτή τη δουλειά. Το σύστημα μπορεί να αυτοματοποιηθεί πλήρως με τη χρήση ενός ρολογιού.



**Σχήμα 35.** Το μαύρο ύφασμα είναι τοποθετημένο πάνω από τα φυτά για να σκιάζει και να λειτουργεί ως κάλυμμα θερμότητας.

#### 4.3.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Αρκετά πειραματικά συστήματα διατήρησης της θερμότητας εξετάζονται. Για παράδειγμα, ένα σύστημα χρησιμοποιεί ένα φουσκωτό εσωτερικό ταβάνι για να παρέχει μόνωση. Σε ένα άλλο σύστημα, η απόσταση ανάμεσα στην οροφή διπλού στρώματος πλαστικού γεμίζει με αφρό για να μειώνεται η απώλεια θερμότητας. Κατά τη διάρκεια του ηλιακού φωτός, ο αφρός παίρνει υγρή μορφή, ώστε να μπορεί να αποθηκεύεται και να ξαναχρησιμοποιείται.

Προτάθηκε η κάλυψη ολόκληρου του θερμοκηπίου με λεπτά κομμάτια πολυστυρένιου, πάχους 5 cm ή κάποιου άλλου σκληρού μονωτικού υλικού. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος δεν εφαρμόστηκε με επιτυχία σε εμπορικά θερμοκήπια.

Καθώς η αποθήκευση της ενέργειας γίνεται ολοένα και πιο δύσκολη, θα μελετηθούν πολλές άλλες μέθοδοι διατήρησης της θερμότητας και θα υιοθετηθούν από τα θερμοκήπια.

#### 4.4 ΗΛΙΑΚΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Τα θερμοκήπια χρησιμοποιούνταν ως ηλιακοί συλλέκτες πολύ πριν οι επιστήμονες ξεκινήσουν την έρευνα αποδοτικών μεθόδων αποθήκευσης και χρήσης της ηλιακής ενέργειας. Ως ηλιακός συλλέκτης, το θερμοκήπιο αιχμαλωτίζει την ενέργεια του ήλιου. Δυστυχώς, η ποσότητα της θερμότητας που συγκρατείται στο θερμοκήπιο δεν είναι αρκετή για να διατηρεί την επιθυμητή θερμοκρασία τις μεγάλες νύχτες του χειμώνα. Ωστόσο, μπορεί να αποθηκευτεί η ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται την ημέρα, έτσι ώστε να μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες του θερμοκηπίου για θέρμανση κατά τη διάρκεια της νύχτας. Δύο από τα πιο συνηθισμένα υλικά αποθήκευσης είναι το νερό και το

χαλίκι. Όταν χρησιμοποιείται το νερό, πρέπει να κατασκευάζεται μία δεξαμενή που θα λειτουργεί ως αποθήκη θερμότητας. Επίσης, χρησιμοποιούνται περίπλοκα συστήματα σωληνώσεων με εναλλάκτες θερμότητας. Αυτοί μεταφέρουν τη θερμική ενέργεια από τον ήλιο μέσα στο χώρο αποθήκευσης και μετά τη μετατρέπουν σε μία μορφή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα θερμοκήπια.

Όταν χρησιμοποιείται χαλίκι για την αποθήκευση θερμότητας από τον ήλιο, χρειάζεται ένα παρόμοιο αλλά λιγότερο περίπλοκο σύστημα εναλλακτών θερμότητας. Οι μηχανικοί αυτών των μεθόδων αποθήκευσης της ηλιακής ενέργειας δουλεύουν πάνω σε μικρές κλίμακες, αλλά τέτοιου είδους συστήματα δεν είναι ακόμα έτοιμα για εφαρμογή σε εγκαταστάσεις μεγάλων θερμοκηπίων. Μέρος του προβλήματος της χρήσης της ηλιακής ενέργειας είναι η έλλειψη ελέγχου του συστήματος θέρμανσης. Απαιτείται πολύ έρευνα ακόμα, πριν τα συστήματα ηλιακής ενέργειας μπορέσουν να προσαρμοστούν και να παράσχουν αποδοτική ποσότητα θέρμανσης στα θερμοκήπια.

## **4.5 ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ**

### **4.5.1 ΕΙΔΗ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ**

Υπάρχουν τρεις λόγοι για τους οποίους ένα θερμοκήπιο πρέπει να εξαερίζεται:

- 1) για να μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα όταν φτάνει σε πολύ υψηλά επίπεδα,
- 2) για να αλλάζει ο αέρας και να ανανεώνεται η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα από τη φωτοσύνθεση και
- 3) για να μειώνεται η σχετική υγρασία στο θερμοκήπιο ως μέσω ελέγχου των ασθενειών.

#### **Εξαερισμός για τη μείωση της θερμοκρασίας του Αέρα**

Τα φυτά δεν μπορούν να επιβιώσουν όταν οι θερμοκρασίες ξεπερνούν ορισμένα επίπεδα. Για την πλειοψηφία των καλλωπιστικών φυτών που καλλιεργούνται μέσα σε θερμοκήπια, η μέγιστη θερμοκρασία στην οποία συνεχίζουν να λειτουργούν είναι γύρω στους 35° C. Πάνω από αυτή τη θερμοκρασία, η θερμότητα ασκεί μία αφύσικη πίεση στην εσωτερική δομή του φυτού και προκαλεί την καταστροφή του. Επομένως, τα θερμοκήπια εξαερίζονται για να διατηρείται η θερμοκρασία σε ένα σωστό για την ανάπτυξη των φυτών επίπεδο.

#### **Εξαερισμός για την Παροχή Διοξειδίου του Άνθρακα**

Η φυσική ατμόσφαιρα περιέχει περίπου 0,03% διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) ή 300 μέρη ανά εκατομμύριο. Επειδή τα φυτά χρησιμοποιούν διοξείδιο του άνθρακα για τη φωτοσύνθεση, καινούργια ποσοτικά διοξείδιο του άνθρακα πρέπει να διατίθεται κατά καιρούς στα φυτά. Αν ένα θερμοκήπιο είναι κλειστό για μεγάλο χρονικό διάστημα, μπορεί να υπάρξει έλλειμμα CO<sub>2</sub> και ως εκ τούτου να περιοριστεί η ανάπτυξη των φυτών.

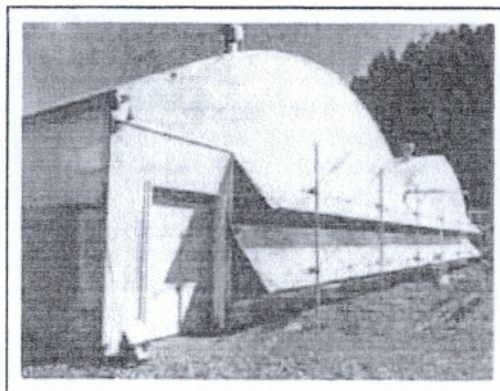
## Εξαερισμός για τη Μείωση της Σχετικής Υγρασίας

Πολλά σπόρια μυκήτων βλαστάνουν μόνο όταν η σχετική υγρασία είναι πολύ υψηλή ή όταν υπάρχει ένα στρώμα νερού πάνω στα φύλλα των φυτών. Οι συνθήκες υψηλής υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο μπορεί να κάνουν τους ατμούς του νερού στον αέρα να συμπυκνωθούν και να πέσουν πάνω στα φυτά. Έτσι, παρέχονται οι ιδανικές συνθήκες για την δημιουργία και εξάπλωση ασθενειών. Ο εξαερισμός ελέγχει τη σχετική υγρασία και βοηθάει στη μείωση των ασθενειών των φυτών.

### 4.5.2 ΕΙΔΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ

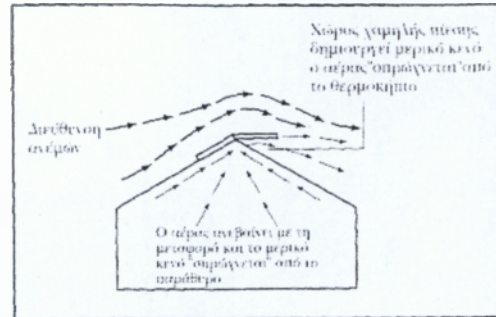
#### Κίνηση Φυσικού Αέρα

Καθώς ο αέρας θερμαίνεται, γίνεται λιγότερο πυκνός και ανεβαίνει. Ο καλλιεργητής χρησιμοποιεί αυτό το "φαινόμενο-καπνοδόχος" για να ψύξει το θερμοκήπιο. Όταν τα παράθυρα στην οριζόντια δοκό του θερμοκηπίου είναι ανοιχτά, ο ζεστός αέρας που ανεβαίνει στην κορυφή του θερμοκηπίου βγαίνει από εκεί. Αν χρησιμοποιούνται και παράθυρα στους πλαϊνούς τοίχους, σχήμα 36, η ροή του αέρα αυξάνει μέσα από τα παράθυρα οροφής.



Σχήμα36. Τα διπλά παράθυρα στον πλαϊνό τοίχο αυξάνουν το φαινόμενο-καπνοδόχος.

Όποτε φυσάει, το παράθυρο οροφής πρέπει να είναι ανοιχτό περισσότερο από εκείνο που βρίσκεται αντίθετα από τη διεύθυνση του ανέμου. Η ροή του αέρα σε αυτό το παράθυρο δημιουργεί μία μερική αναρρόφηση που βοηθάει στην έξοδο του αέρα από το θερμοκήπιο, σχήμα 37.



**Σχήμα 37.** Ένα μερικό κενό δημιουργείται από τα ρεύματα αέρα πάνω από το παράθυρο. Η χαμηλή πίεση βγάζει τον αέρα από το θερμοκήπιο.

Το άνοιγμα του παράθυρου που βλέπει στον άνεμο είναι επικίνδυνο. Όταν ο άνεμος είναι πολύ δυνατός, το παράθυρο μπορεί να αποσπαστεί από το θερμοκήπιο. Έτσι, όταν το μετεωρολογικό δελτίο προβλέπει δυνατούς ανέμους λόγω καταιγίδων και θυελλών, τα παράθυρα της οριζόντιας δοκού πρέπει να μένουν εντελώς κλειστά.

Οι φυσικές μέθοδοι εξαερισμού γίνονται ολοένα και πιο δημοφιλείς, λόγω της αύξησης του κόστους της ενέργειας. Παρόλο που οι ανεμιστήρες και η ψύξη με ανεμιστήρα και επικάλυμμα τοίχου παρέχουν πιο θετικό έλεγχο του εξαερισμού του θερμοκηπίου, το κόστος του ηλεκτρισμού αναγκάζει τους καλλιεργητές να αναθεωρούν τη λύση του φυσικού εξαερισμού.

Στα μικρά θερμοκήπια, πλάτους λιγότερο από 7 μέτρα, μόνο τα παράθυρα οροφής μπορούν να διατηρήσουν τη θερμοκρασία του θερμοκηπίου στο επιθυμητό επίπεδο. Τα μεγάλα ανεξάρτητα θερμοκήπια πρέπει να εξοπλίζονται με παράθυρα στους πλαϊνούς τοίχους. Τα οδοντωτά θερμοκήπια μπορεί να χρειάζονται μία διπλή σειρά παράθυρων οροφής, για να εξασφαλίζεται η κατάλληλη ποσότητα ανταλλαγής αέρα. Τα μεγάλα θερμοκήπια, πλάτους άνω των 17 μέτρων χρειάζονται όσο το δυνατόν μεγαλύτερα σε μήκος παράθυρα. Για να επιτευχθεί ο καλύτερος εξαερισμός, τα πολύ μεγάλα θερμοκήπια πρέπει να έχουν διπλή σειρά παράθυρων οροφής, πλάτους 1,4 μέτρων καθώς και διπλή σειρά πλαϊνών παράθυρων.

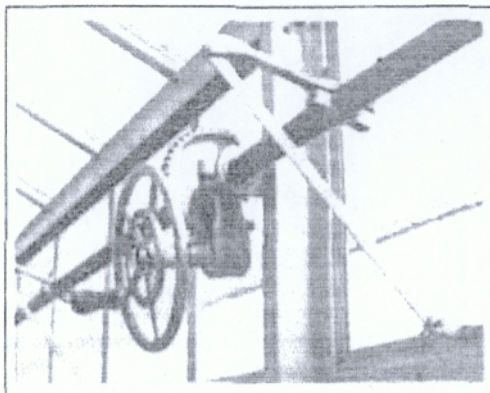
Στην Ευρώπη, τα παράθυρα 1,4 μέτρων είναι πολύ συνηθισμένα. Ωστόσο, οι κατασκευαστές θερμοκηπίων στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιούν σπάνια αυτά τα φαρδιά παράθυρα. Αντίθετα, τοποθετούν παράθυρα πλάτους 46 cm ή 61 cm. Περιστασιακά, μπορεί να χρησιμοποιηθούν και παράθυρα πλάτους 112 cm.

#### **Λειτουργία Εξαερισμού Ανασυρόμενης επιφάνειας**

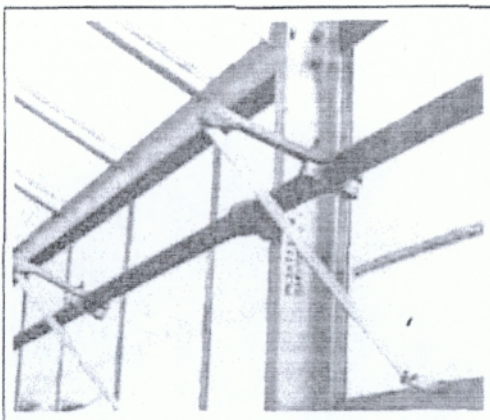
**Χειροκίνητο σύστημα.** Χειροκίνητες μανιβέλες, λαβές από αλυσίδες ή μοχλοί χρησιμοποιούνται για το άνοιγμα και το κλείσιμο των παράθυρων. Οι ανασυρόμενες επιφάνειες στα θερμοκήπια τύπου Dutch-Venlo λειτουργούν με μοχλούς που συνδέονται σε ράβδους που σπρώχνουν και τραβούν τα παράθυρα.

Επίσης, χρησιμοποιούνται συχνά και μηχανοκίνητα παράθυρα. Η μηχανοκίνητη μονάδα

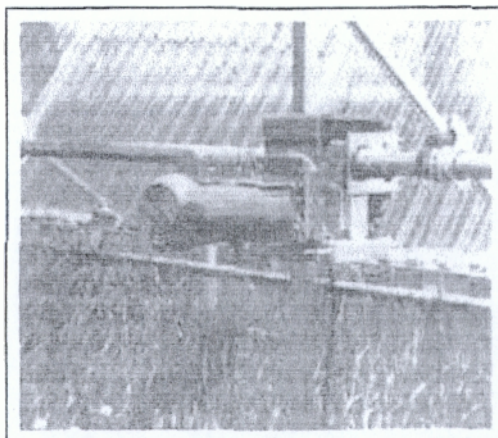
συνδέεται στο παράθυρο με έναν γωνιώδη βραχίονα, σχήματα 38 και 39, ή με μία συσκευή οδοντωτής ράβδου με οδοντωτό τροχό, σχήμα 40. Η μονάδα της οδοντωτής ράβδου με τον οδοντωτό τροχό είναι πιο ισχυρή από το γωνιώδη βραχίονα. Επίσης, είναι ευκολότερη η προσαρμογή σε μηχανική λειτουργία, αν χρειάζεται.



**Σχήμα38.** Μανιβέλα και γωνιώδης βραχίονας για το άνοιγμα των πλαϊνών παράθυρων.



**Σχήμα 39.** Κοντινό του γωνιώδους βραχίονα.

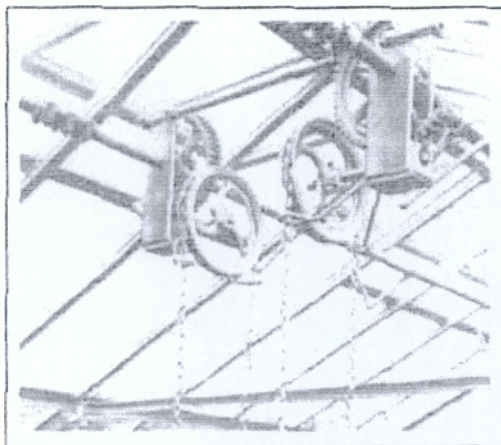


**Σχήμα 40.** Μηχανισμός παράθυρου με οδοντωτή ράβδο και οδοντωτό τροχό τοποθετημένος έξω από το θερμοκήπιο για το άνοιγμα των πλαϊνών παράθυρων. Προσέξτε το πολυανθρακικό υλικό κάλυψης. (Ludy Greenhouse Company, New Madison , Ohio 45346 )

**Μηχανικό σύστημα.** Στα μικρά θερμοκήπια, η χειροκίνητη λειτουργία των παράθυρων είναι πρακτική. Στα μεγάλα θερμοκήπια, όμως, η μηχανική λειτουργία είναι πιο αποτελεσματική και εξοικονομεί εργατικό δυναμικό. Στη μηχανική λειτουργία, η ανασυρόμενη επιφάνεια ανεβαίνει ή κατεβαίνει αυτόματα από ηλεκτρικές μηχανές. Ένας θερμοστάτης μπορεί να συνδεθεί στο σύστημα της ανασυρόμενης επιφάνειας έτσι ώστε να γίνει πλήρως αυτόματο. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό την άνοιξη και το φθινόπωρο, όπου οι θερμοκρασίες ποικίλουν πολύ, καθώς ο ήλιος παίζει κρυφτό με τα σύννεφα.

Οι διακόπτες του θερμοστάτη ρυθμίζονται στην κατάλληλη θερμοκρασία. Όταν το θερμοκήπιο θερμανθεί, τα παράθυρα ανοίγουν για να επιτρέψουν στον αέρα να βγει. Πολλοί διακόπτες έχουν ένα πρόσθετο ή ρυθμιζόμενο χαρακτηριστικό, βάση του οποίου το παράθυρο ανοίγει μόνο δύο ίντσες όταν πρώτα χρειάζεται να γίνει ψύξη. Αν, με αυτό τον τρόπο, η θερμοκρασία δεν μειωθεί αρκετά, η ανασυρόμενη επιφάνεια ανοίγει περισσότερο. Αυτή η διαδικασία συνεχίζει ώσπου το παράθυρο ανοίξει διάπλατα ή ώσπου η ρύθμιση αυτή φτάσει στο υψηλότερο σημείο της. Αν μία ανασυρόμενη επιφάνεια πρέπει να μετακινηθεί από ένα εντελώς κλειστό χώρο σε έναν εντελώς ανοιχτό, θα υπάρξουν μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις μέσα στο θερμοκήπιο. Ο ρυθμιζόμενος διακόπτης εμποδίζει τέτοιων είδους αλλαγές. Τα περισσότερα συστήματα ελέγχου των παράθυρων των θερμοκηπίων έχουν διακόπτες με όρια ανοίγματος και κλεισίματος. Αυτοί οι διακόπτες μπορούν να περιορίσουν το άνοιγμα των ανασυρόμενων επιφανειών τις βροχερές ημέρες ή όταν φυσάει. Μπορούν επίσης να κρατήσουν την ανασυρόμενη επιφάνεια μισάνοιχτη, έτσι ώστε ο πολύ υγρός αέρας να μπορεί να βγαίνει από το θερμοκήπιο τη νύχτα.

Αν η ανασυρόμενη επιφάνεια λειτουργεί μηχανικά, θα πρέπει να υπάρχουν τρόποι ανοίγματος των παράθυρων και χειροκίνητα, σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος, σχήμα 41. Οι περισσότερες διακοπές ρεύματος γίνονται το χειμώνα όταν τα παράθυρα είναι συνήθως κλειστά. Ωστόσο, διακοπές γίνονται και άλλες στιγμές. Για παράδειγμα, μια μεγάλη καταιγίδα μπορεί να κόψει το ρεύμα. Αν σε αυτή την περίπτωση τα παράθυρα ήταν ανοιχτά, θα έπρεπε να κλείσουν καλά για να μην σπιάσουν από τον άνεμο. Τα παράθυρα πρέπει να κλείνουν πριν ξεσπάσει η καταιγίδα.



**Σχήμα 41.** Αλυσίδες που ανοίγουν και κλείνουν το παράθυρο της οροφής.

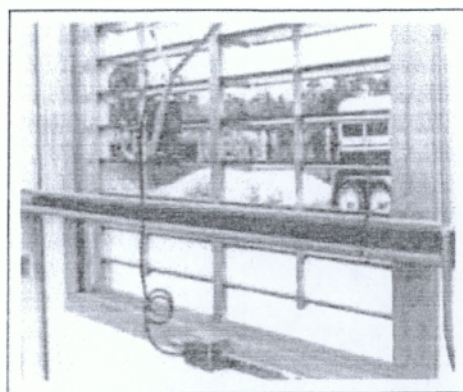
### Εξαερισμός με Ανεμιστήρα

Οι ανεμιστήρες χρησιμοποιούνται συχνά για τον εξαερισμό των θερμοκηπίων με πλαστικό κάλυμμα. Επιπλέον αέρας πρέπει να μπει στο θερμοκήπιο για να αντικαταστήσει τον καυτό αέρα που αναρροφήθηκε από τους ανεμιστήρες. Έτσι, πρέπει να υπάρχουν ανοίγματα στις πλευρές ή στις άκρες του θερμοκηπίου, απέναντι από τους ανεμιστήρες, σχήματα 42 και 43. Η είσοδος πιο κρύου εξωτερικού αέρα μέσα στο θερμοκήπιο δεν αποτελεί πρόβλημα στα τέλη της άνοιξης ή στην αρχή του φθινοπώρου. Ιδιαίτερα ψυχρός αέρας μπορεί να μπει στο θερμοκήπιο στα τέλη του φθινοπώρου, το χειμώνα και στην αρχή της άνοιξης, προκαλώντας σοβαρές ζημιές στα φυτά. Για τον εξαερισμό το χειμώνα, ο κρύος εξωτερικός αέρας πρέπει να μπαίνει στο θερμοκήπιο μέσω σωλήνων από πολυαιθυλένιο. Ο κρύος αέρας που βγαίνει από τους σωλήνες αναμιγνύεται με το ζεστό αέρα του θερμοκηπίου σε μία απόσταση 20-30 φορές τη διάμετρο της τρύπας του σωλήνα. Αυτή η ανάμιξη μετριάζει τη θερμοκρασία του αέρα και αποτρέπει το αιφνίδιο πάγωμα των φυτών.

Ένα παράθυρο με γρίλιες που λειτουργεί με τη βαρύτητα τοποθετείται συνήθως στο άνοιγμα του σωλήνα που εκτίθεται στον καιρό. Το παράθυρο αυτό εμποδίζει το χιόνι και τη βροχή να μουν μέσα στο σωλήνα. Ένα τέτοιο παράθυρο που λειτουργεί είτε με τη βαρύτητα είτε μηχανικά τοποθετείται στο εξωτερικό του αναρροφητικού ανεμιστήρα, έτσι ώστε να αποτραπεί η είσοδος του ψυχρού αέρα μέσα στο θερμοκήπιο, όταν κλείσει ο ανεμιστήρας.



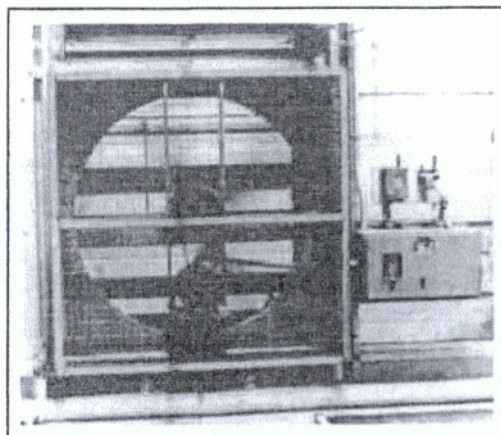
Σχήμα 42. Παράθυρο με γρίλιες για τον εξαερισμό του ανεμιστήρα.



Σχήμα 43. Παράθυρο με γρίλιες που λειτουργεί ηλεκτρικά.

**Προσοχή:** Όλα τα ανοίγματα πρέπει να προστατεύονται από συρμάτινο πλέγμα με τρύπες όχι μεγαλύτερες από 2,5 cm, σχήμα 44. Το πλέγμα προστατεύει τους ανθρώπους από την πτώση μέσα στους περιστρεφόμενους έλικες τους ανεμιστήρα, όταν αυτός λειτουργεί.

**Μέγεθος ανεμιστήρα.** Ο αναρροφητικός ανεμιστήρας είναι η καρδιά του εξαεριστικού συστήματος σε ένα σύγχρονο θερμοκήπιο. Η κατάλληλη επιλογή του ανεμιστήρα είναι πολύ σημαντικός παράγοντας. Οι κατασκευαστές θερμοκηπίων προτείνουν την ολική αλλαγή του αέρα του θερμοκηπίου κάθε λεπτό, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Οι ανεμιστήρες ρυθμίζονται με βάση την ποσότητα του αέρα που μπορούν να κινηθούν. Αυτή η ρύθμιση γίνεται σε κυβικά μέτρα ανά λεπτό (cm m). Αυτή η ρύθμιση σε cm m καθορίζεται συνήθως για μία στατική πίεση 3,2 mm. Η στατική πίεση είναι ένα μέτρο της ποσότητας της δύναμης που χρειάζεται για να κινηθεί ο αέρας. Οι ανεμιστήρες πρέπει να είναι ικανοί να δίνουν 423 cm m σε 507 cm m ανά ίππο. Το μέγεθος και ο αριθμός των απαραίτητων ανεμιστήρων καθορίζεται με τον υπολογισμό του όγκου του αέρα που πρέπει να κινηθεί.



Σχήμα 44. Αναρροφητικός ανεμιστήρας κατάλληλα προστατευμένος για την προστασία των εργατών.

Ο όγκος του αέρα υπολογίζεται, καθορίζοντας πρώτα τον όγκο του θερμοκηπίου. Ο όγκος αντιστοιχεί στο μήκος, το πλάτος και το ύψος του θερμοκηπίου ως τις μαρκίζες, σχήμα 45. Αν το θερμοκήπιο έχει πλάτος 9,1 m, μήκος 30,5 m και ύψος ως τις μαρκίζες 1,8 m, ο όγκος είναι  $9,1 * 30,5 * 1,8 \text{ m} = 507 \text{ m}^3$

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του όγκου του θερμοκηπίου πάνω από τις μαρκίζες. Αυτός ο υπολογισμός αφορά τρίγωνα και είναι λίγο πιο περίπλοκος. Το εμβαδόν του τριγώνου ισούται με το μισό του ύψους της βάσης επί το ύψος ή  $1/2$  βάσης \* ύψος. Ο όγκος του εμβαδού που καλύπτεται από την οροφή ισούται με το εμβαδόν του τριγώνου επί το ύψος του κτιρίου.

Για να υπολογιστεί το θερμοκήπιο, η βάση του τριγώνου που σχηματίζεται από την οροφή είναι 9,1 m σε μήκος. Το ύψος της κορυφής της οριζόντιας δοκού πάνω από τις μαρκίζες είναι 2,7 m. Το εμβαδόν της οροφής πάνω από τις μαρκίζες είναι  $1/2 * 9,1\text{m} * 2,7 \text{ m} = 12,5 \text{ m}^2$ .



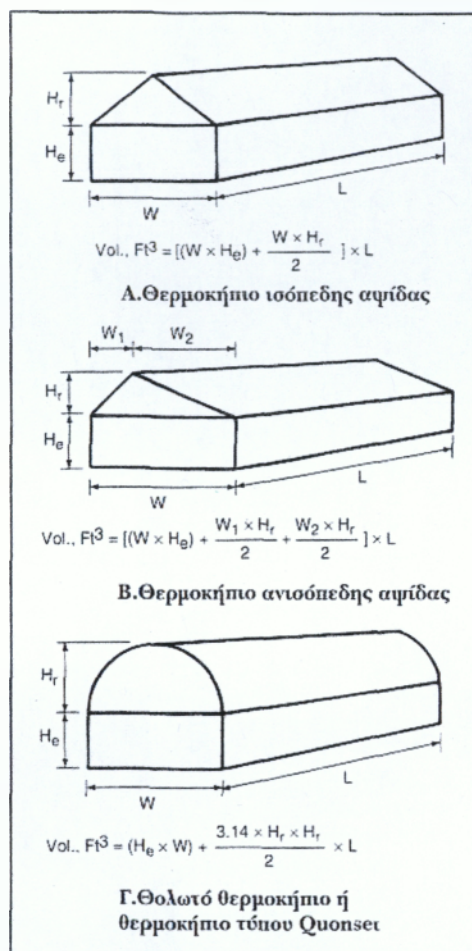
Πολλαπλασιάζοντας αυτό το εμβαδόν με το μήκος της οροφής, βγαίνει ο όγκος  $12,5 \text{ m}^2 * 30,5 \text{ m} = 308,3 \text{ m}^3$ . Ο συνολικός όγκος του θερμοκηπίου είναι  $507 \text{ m}^3 + 308,3 \text{ m}^3 = 887 \text{ m}^3$

Επομένως, ένας ανεμιστήρας ρυθμισμένος στα 887 cm m χρειάζεται για να ανανεώσει τον αέρα ανά λεπτό. Σε ένα θερμοκήπιο αυτού του μεγέθους, ένας πολύ μεγάλος ανεμιστήρας δεν θα ήταν πρακτικός. Για τους ίδιους λόγους που ένας μόνο μεγάλος θερμαντήρας δεν δίνει ομοιόμορφη θερμότητα, ένας μεγάλος ανεμιστήρας δεν θα κάνει ομοιόμορφη ψύξη. Περισσότερο αποτελεσματική ψύξη επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση πολλών μικρών ανεμιστήρων σε ίση απόσταση, κατά μήκος ενός τοίχου του θερμοκηπίου, σχήμα 46. Η ψύξη γίνεται πιο ομοιόμορφα, με αυτό το είδος διάταξης. Οι ανεμιστήρες δεν πρέπει να είναι μεταξύ τους σε απόσταση μεγαλύτερη των 7,6 m. Για αυτό το θερμοκήπιο, τέσσερις ανεμιστήρες είναι αρκετοί αν ο καθένας έχει απόδοση 226,5 cm m.

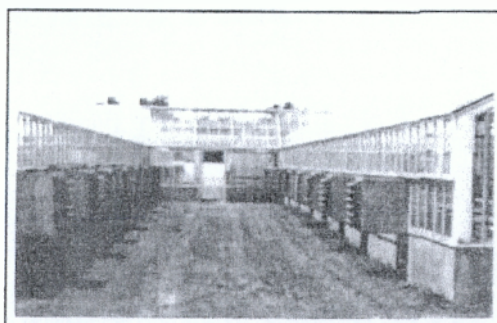
Οι ανεμιστήρες πρέπει να είναι τοποθετημένοι στο πλάι του θερμοκηπίου, μακριά από τους ισχυρούς ανέμους, σχήμα 47. Όταν είναι τοποθετημένοι προς τους ανέμους, η αποδοτικότητα τους μειώνεται.

Στα θερμοκήπια με πλαστικό κάλυμμα, χρειάζεται ένας εμπειρικός κανόνας γενικής χρήσης για να καθοριστεί το μέγεθος του απαραίτητου ανεμιστήρα. Περισσότερες διευκρινήσεις χρειάζονται για την κίνηση 2,1 cm m σε 3 cm m αέρα ανά τετραγωνικό μέτρο του εμβαδού του πατώματος. Χρησιμοποιώντας την τιμή 2,1 cm m, η κίνηση του αέρα που χρειάζεται ένα θερμοκήπιο διαστάσεων  $9,1 * 30,5 \text{ m}$  είναι  $9,1 * 30,5 * 2,1 = 583 \text{ cm m}$ . Αυτός ο όγκος αέρα είναι τα δύο τρίτα του όγκου που υπολογίστηκε προηγουμένως. Χρησιμοποιώντας την τιμή 3 cm, ο συνολικός όγκος αέρα που θα κινηθεί ισούται με 833 cm m. Αυτή η τιμή είναι πιο κοντά στον προηγούμενο υπολογισμό. Ορισμένοι ειδικοί ισχυρίζονται ότι ο αέρας στην κορυφή του θερμοκηπίου δεν διανέμεται και δεν πρέπει να περιλαμβάνεται στους υπολογισμούς. Αυτό μπορεί να αληθεύει στην περίπτωση που υπάρχει εσωτερικό ταβάνι. Ωστόσο, χωρίς ταβάνι, υπάρχει μία αναταραχή λόγω της κίνησης του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Αυτή η αναταραχή φτάνει μέχρι τον καυτό αέρα της κορυφής του θερμοκηπίου. Το αποτέλεσμα είναι να αναμειγνύεται ο καυτός αέρας με τον κρύο που μπαίνει στο θερμοκήπιο. Αυτή η ανάμιξη επιβαρύνει περισσότερο τους αναρροφητικούς ανεμιστήρες. Για αυτό το λόγο, είναι πολύ καλύτερο οι ανεμιστήρες να έχουν μεγαλύτερη απόδοση από αυτήν που χρειάζεται.

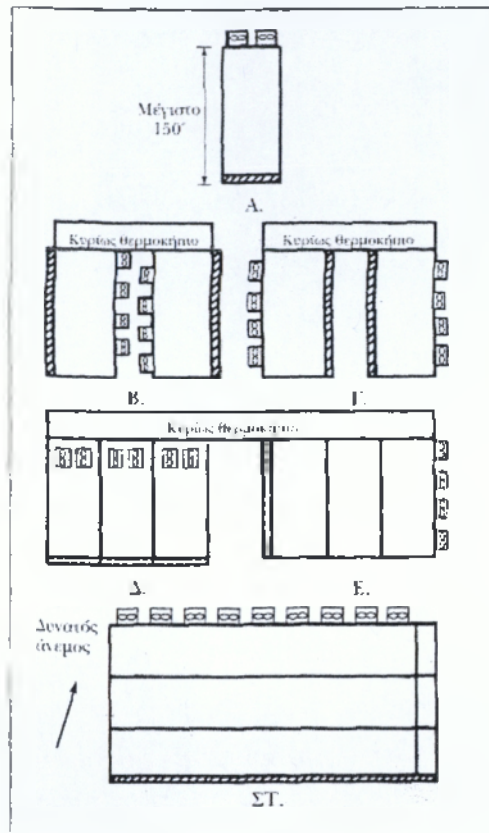
Όταν δεν χρειάζεται η πλήρης απόδοση ψύξης των ανεμιστήρων, ένας ή δύο ανεμιστήρες είναι ικανοί να λειτουργήσουν με τη διπλή ταχύτητα. Αυτή η διάταξη επιτρέπει διαφορετικά επίπεδα εξαερισμού.



Σχήμα 45. Υπολογισμός του όγκου ενός θερμοκηπίου σε κυβικά μέτρα.



Σχήμα 46. Παρατεταγμένη διάταξη αντικριστών, μικρών ανεμιστήρων.



**Σχήμα 47.** Διάφορες μέθοδοι εγκατάστασης ανεμιστήρων και επί καλυμμάτων τοίχου για εξαερισμό και ψύξη.

A. Εγκατάσταση σε ένα μόνο θερμοκήπιο.

B. Εγκατάσταση σε διπλό θερμοκήπιο. Οι ανεμιστήρες είναι τοποθετημένοι έτσι ώστε οι μόν να μην φυσούν κατευθείαν πάνω στους δέ. Ο αέρας των ανεμιστήρων δεν πρέπει ποτέ να κατευθύνεται πάνω στο επικάλυμμα τοίχου ενός άλλου θερμοκηπίου.

Γ. Εσωτερικός διάδρομος με επικαλύμματα τοίχου και στις δύο πλευρές του. Ο επιπλέον αέρας εισχωρεί από τα παράθυρα του διαδρόμου που βρίσκονται ψηλά.

Δ. Εναλλακτική διάταξη με ανεμιστήρες τοποθετημένους στην οροφή. Αυτή η διάταξη δεν είναι τόσο αποτελεσματική όσο εκείνη των ανεμιστήρων στους τοίχους.

Ε. Προτιμώμενη εγκατάσταση για οδοντωτό θερμοκήπιο.

ΣΤ. Προτιμώμενη εγκατάσταση για μακρύ για οδοντωτό θερμοκήπιο.

### Έλεγχος του θερμοστάτη των Ανεμιστήρων

Η λειτουργία των ανεμιστήρων πρέπει να ελέγχεται από έναν θερμοστάτη. Η κλίμακα ελέγχου πρέπει να είναι από τους 7 °C ως τους 32 °C. Μία μικρότερη κλίμακα δεν ενδείκνυται, γιατί οι ανεμιστήρες θα ξεκινούν και θα σταματούν πιο συχνά από ότι χρειάζεται. Αυτή η συχνή λειτουργία

μειώνει τη ζωή των κινητήρων. Όταν ο θερμοστάτης είναι αρκετά ευαίσθητος, οι ανεμιστήρες ξεκινούν όταν η θερμοκρασία δεν είναι περισσότερο από 2°C πάνω από την επιθυμητή ένδειξη. Και θα σταματήσει όταν η θερμοκρασία δεν είναι περισσότερο από 2°C κάτω από την επιθυμητή ένδειξη.

Το μήκος της διαδρομής του αέρα από την είσοδο ως τον αναρροφητικό ανεμιστήρα δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 30,5 m. Στα πολύ μεγάλα οδοντωτά θερμοκήπια, αυτή η απόσταση μπορεί να σημαίνει ότι οι έξοδοι του αέρα βρίσκονται στο κέντρο του θερμοκηπίου και οι ανεμιστήρες γύρω από όλους τους περιμετρικούς τοίχους. Στο σχήμα 47 φαίνονται διάφορες μέθοδοι εγκατάστασης σε αυτή την απόσταση.

#### 4.5.3 ΕΙΔΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΨΥΞΗΣ

##### Ψύξη με Ανεμιστήρα και Επικάλυμμα Τοίχου

Ένα διάβροχο επικάλυμμα τοίχου μπορεί να προστεθεί στο εξαεριστικό σύστημα του θερμοκηπίου, για να αυξήσει το ψυκτικό αποτέλεσμα των ανεμιστήρων. Όταν οι ανεμιστήρες αναρροφούν τον αέρα, ένα μερικό κενό δημιουργείται μέσα στο θερμοκήπιο. Ο επιπλέον αέρας μπαίνει στο θερμοκήπιο μέσα από ένα συνεχώς βρεγμένο επικάλυμμα τοίχου που ψύχει τον αέρα.

Ο ψυχρός αέρας συγκρατεί τη θερμότητα καθώς κινείται πάνω από τα φυτά του θερμοκηπίου. Τότε, οι αναρροφητικοί ανεμιστήρες ωθούν αυτό το θερμαινόμενο αέρα έξω από το θερμοκήπιο.

Τα ψυκτικά συστήματα με ανεμιστήρα και επικάλυμμα τοίχου λειτουργούν καλύτερα σε περιοχές με χαμηλή σχετική υγρασία. Η ψύξη οφείλεται στη διαφορά ανάμεσα στη σχετική υγρασία του αέρα που περνάει μέσα από το επικάλυμμα και τη σχετική υγρασία του ή 100%. Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά της σχετικής υγρασίας, τόσο καλύτερα γίνεται η ψύξη. Τα ψυκτικά συστήματα με ανεμιστήρα και επικάλυμμα τοίχου λειτουργούν πολύ καλά στα μεγάλα και ξηρά υψόμετρα του Ντένβερ, στο Κολοράντο. Δεν είναι όμως πολύ αποτελεσματικά στις υγρές περιοχές της Φλόριντα. Τα επικαλύμματα τοίχου πρέπει να εγκαθίστανται στην πλευρά του θερμοκηπίου που δέχεται τους ανέμους. Αυτό το ψυκτικό σύστημα είναι πιο αποδοτικό όταν οι φυσικοί άνεμοι δεν φυσούν πάνω στους ανεμιστήρες. Ο αέρας πρέπει να ρέει από τα επικαλύμματα προς τον ανεμιστήρα, κατά μήκος του θερμοκηπίου, αν είναι δυνατόν. Αυτή η διάταξη είναι πιο αποτελεσματική από τη ροή του αέρα μέσα σε ένα στενό θερμοκήπιο. Η απόσταση των ρευμάτων αέρα πρέπει να είναι μικρότερη από 77 m. Το σύστημα έχει τη μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σε μία απόσταση 51 m. Όταν η απόσταση αυξάνει πάνω από αυτό το νούμερο, η απόδοση ψύξης μειώνεται. Στο σχήμα 47 φαίνονται οι συνηθισμένες εγκαταστάσεις ανεμιστήρων και επικαλυμμάτων σε διάφορες περιπτώσεις.

**Μέγεθος επικαλυμμάτων.** Η ποσότητα επικαλυμμάτων που χρειάζεται για να ψύξει είναι περίπου 1 τετραγωνικό πόδι ανά εμβαδόν επικαλύμματος για κάθε 4,2 cm<sup>3</sup> αέρα που κινείται κάθε λεπτό. Έτσι,

μία ροή αέρα 850 cm χρειάζεται 18,5 m<sup>2</sup> εμβαδού επικαλύμματος.

Συντελεστές διόρθωσης χρησιμοποιούνται (1) καθώς η απόσταση μεταξύ του ανεμιστήρα και του επικαλύμματος μειώνεται κάτω των 30,5 m και (2) για διάφορα υψόμετρα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας. Η υψομετρική διόρθωση γίνεται γιατί ο αέρας είναι ελαφρύτερος σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Επομένως, πρέπει να κινείται περισσότερος αέρας μέσα στο θερμοκήπιο για να διατηρείται η ίδια ψύξη. Αυτοί οι συντελεστές διόρθωσης δίνονται στους Πίνακες 4 και 5.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 4

Συντελεστής διόρθωσης που χρησιμοποιείται για υψόμετρα πάνω από το επίπεδο της θάλασσας.							
Υψόμετρο σε μέτρα	Επίπεδο θάλασσας στα 303 m	303-606 m	606-909 m	909-1212 m	1212-1515 m	1515-1818 m	1818-2121 m
Συντελεστής	1,0	1,4	1,08	1,12	1,17	1,22	1,27

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Συντελεστής διόρθωσης που χρησιμοποιείται όταν η απόσταση ανεμιστήρα- επικαλύμματος είναι μικρότερη από 30,5 m.						
Μέτρα	6-9	9-14	14-18	18-26	26-30.5	άνω των 30,5
Feet	20-30	30-45	45-60	60-85	85-100	άνω των 100
Συντελεστής	1.70	1.56	1.42	1.28	1.14	1.00

Το θερμοκήπιο που χρησιμοποιήθηκε στα προηγούμενα παραδείγματα έχει διαστάσεις 9,1 m \* 30,5 m. Η υπολογισμένη ροή αέρα σε αυτό το θερμοκήπιο είναι 850 cm m. Εφαρμόζοντας το συντελεστή διόρθωσης 1,56 από τον Πίνακα 5, προκύπτει ότι χρειάζεται εξαερισμός 1325 cm m. Αν το θερμοκήπιο βρίσκεται σε υψόμετρο 1064 m, η ανάγκη εξαερισμού παραμένει η ίδια, γιατί ο συντελεστής διόρθωσης 1,56 για την απόσταση είναι μεγαλύτερος από το συντελεστή 1,12 για το υψόμετρο. Αν η απόσταση ανεμιστήρα-επικαλύμματος είναι 30,5 m ή περισσότερο, χρησιμοποιείται ο συντελεστής διόρθωσης 1,12. Επομένως, η ανάγκη εξαερισμού είναι 952 cm m.

Αν το θερμοκήπιο χρειάζεται κίνηση αέρα 1325 cm m, χρειάζεται εμβαδόν επικαλύμματος 29,3 m<sup>2</sup>. Για μέγιστη αποδοτικότητα, το επικάλυμμα του θερμοκηπίου πρέπει να τοποθετείται συνεχόμενο, σχήμα 48Α. Αν είναι τοποθετημένο σε κομμάτια, με μία απόσταση μεταξύ τους, εκεί μπορεί να αναπτυχθούν καντά ή ζεστά σημεία. Όταν το εμβαδόν του επικαλύμματος είναι μεγαλύτερο από τη διαθέσιμη επιφάνεια του τοίχου, τότε μπορεί να τοποθετηθεί όπως φαίνεται στο σχήμα 48Β. Η κυματοειδής διάταξη των επικαλυμμάτων δημιουργεί μεγαλύτερο εμβαδόν επιφάνειας σε σύγκριση με

τη γραμμική απόσταση.

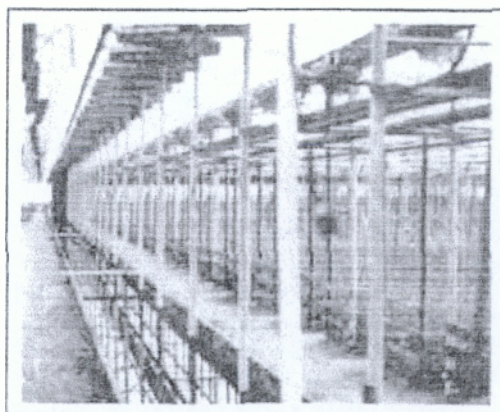
**Υλικά επικαλυμμάτων τοίχου.** Κάποτε, στα εξατμιστικά ψυκτικά συστήματα, χρησιμοποιούνταν επικαλύμματα από ίνες λεύκας. Αυτά είχαν συνήθως μικρή διάρκεια ζωής, λόγω των φυκών που αναπτύσσονταν μέσα τους καθώς και λόγω της καταστροφής των ινών. Αυτά αντικαταστάθηκαν από επικαλύμματα τοίχου σχηματισμένου χαρτιού.

Ένα εμπορικό όνομα είναι το **Kool-cel**, σχήμα 49. Τα επικαλύμματα τοίχου που χρησιμοποιούνται περισσότερο έρχονται σε κομμάτια πάχους 10 cm. Διατίθενται και σε άλλα πάχη, όταν πρόκειται για μία ειδική εγκατάσταση. Το ύψος και πλάτος τους ποικίλει ανάλογα με το σχέδιο του εμβადού τους. Είναι εύκολα στην τοποθέτηση και έχουν διάρκεια ζωής τουλάχιστον 10 χρόνια, όταν συντηρούνται σωστά. Η ανάπτυξη φυκών εξακολουθεί να αποτελεί πρόβλημα που μπορεί όμως να ελεγχθεί με χημικά που τοποθετούνται στο φρεάτιο συγκέντρωσης νερού.

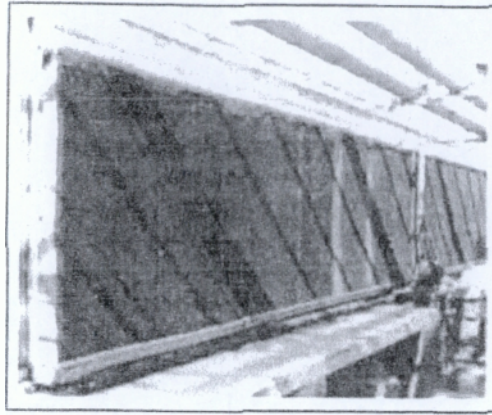
Το σύστημα επικαλυμμάτων τοίχου μπορεί να τοποθετηθεί μέσα ή έξω από το θερμοκήπιο. Όταν τα επικαλύμματα τοποθετούνται έξω από τα θερμοκήπια σε βόρεια κλίματα, πρέπει να προστατεύονται από το κρύο του χειμώνα, την περίοδο όπου δεν γίνεται ψύξη.



**Σχήμα 48A** .Εγκατάσταση ψυκτικών επικαλυμμάτων σε μια μεγάλη έκταση θερμοκηπίων. Το φρεάτιο νερού που βρίσκεται στο έδαφος αποτελεί μέρος της εγκατάστασης.



**Σχήμα 48 B** .Τα επικαλύμματα τοίχου που είναι τοποθετημένα μέσα έχουν κυματοειδή διάταξη για να αυξάνεται το συνολικό εμβαδόν τους.



**Σχήμα 49.** Εξατμιστικό ψυκτικό επικάλυμμα τοίχου Kool-cel.

Το νερό των επικαλυμμάτων τοίχου. Το νερό που χρησιμοποιείται στα επικαλύμματα είναι ανακυκλώσιμο, έτσι ώστε να μην σπαταλάται. Η ποσότητα του νερού που κυλάει μέσα τους δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 1,26 ανά λεπτό για κάθε 30,5cm επικαλύμματος. Αυτός ο ρυθμός ροής εξασφαλίζει μία πιο αποτελεσματική λειτουργία των επικαλυμμάτων τοίχου.

Το νερό παρέχεται στα επικαλύμματα από έναν σωλήνα. Μία σειρά τρυπών, σε ίση απόσταση η μία από την άλλη, βρίσκεται πάνω στο σωλήνα. Το νερό κυλάει μέσα στο σωλήνα με τη βοήθεια μιας τάπας. Όταν το επικάλυμμα έχει μήκος πάνω από 23m, ο σωλήνας νερού πρέπει να είναι συνδεδεμένος κοντά στο μέσο του σωλήνα διανομής. Ένα φίλτρο τοποθετείται στη γραμμή κοντά στην αντλία. Το φίλτρο αφαιρεί υλικά που διαφορετικά θα έφραζαν τις τρύπες του σωλήνα.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το σύστημα χρειάζεται μόνο 1,26 για κάθε 30,5 cm μήκος επικαλύμματος. Ωστόσο, το φρεάτιο νερού πρέπει να έχει μία χωρητικότητα 8,5 για κάθε 30,5 cm επικαλύμματος. Αν το σύστημα επικαλυμμάτων τοίχου έχει μήκος περισσότερο από 23 m , το φρεάτιο τοποθετείται κοντά στο μέσο του.

Αυτού του είδους το σύστημα χάνει νερό από την εξάτμιση. Κατά καιρούς προστίθεται επιπλέον νερό από μία αυτόματη βαλβίδα φλοτέρ που βρίσκεται μέσα στο φρεάτιο.

**Έλεγχος εντόμων.** Φυσιολογικά, τα μεγάλα ιπτάμενα έντομα δεν μπορούν να εισχωρήσουν στα επικαλύμματα. Μικρά έντομα, όπως τα θυσανόπτερα, μπορούν να ελεγχθούν με την προσθήκη ενός μη πτητικού εντομοκτόνου μέσα στο νερό. Τα παιδιά και τα ζώα πρέπει να μένουν μακριά από το νερό στο οποίο έχουν προστεθεί εντομοκτόνα και άλλα χημικά.

### **Ψύξη με Ομίχλη Υψηλής Πίεσης**

Η ψύξη με ανεμιστήρες και επικαλύμματα τοίχου βασίζεται στην αρχή ότι το εξατμισμένο νερό συγκρατεί τη θερμότητα από τον αέρα. Αυτή η ίδια αρχή εφαρμόζεται στην ψύξη με ομίχλη υψηλής πίεσης, σχήμα 50. Σε αυτό το σύστημα, το νερό πρέζεται μέσα από μικρά ακροφύσια σε μία πίεση 500-600 psi. Τα ακροφύσια βρίσκονται σε ίση απόσταση μεταξύ τους μέσα στο θερμοκήπιο,

περίπου 3 μέτρα πάνω από τα φυτά. Τα ακροφύσια ψεκάζουν μία πολύ λεπτή ομίχλη που εξατμίζεται και ψύχει τον αέρα μέσα στο θερμοκήπιο.

Αυτό το σύστημα χρειάζεται:

- (1) νερό απαλλαγμένο από ιλύ, άμμο ή άλλα υλικά,
- (2) μία ή περισσότερες αντλίες που να μπορούν να δώσουν νερό στις 500 με 600 psi,
- (3) ένα σύστημα ελέγχου, συνήθως έναν υγροστάτη, που ενεργοποιεί την αντλία και
- (4) ακροφύσια που να μπορούν να δώσουν νερό σε υψηλή πίεση σε ρυθμό 2,25 ανά λεπτό.

Το νερό που περιέχει ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου φράζει γρήγορα τις λεπτές τρύπες των ακροφύσιων. Πρέπει να χρησιμοποιείται μία συσκευή μαλακτοποίησης νερού που θα κατεργάζεται το νερό, πριν αυτό περάσει μέσα από το σύστημα. Αν δεν γίνει αυτό, το σκληρό νερό μπορεί να αφήσει ένα ανεπιθύμητο στρώμα πάνω στα φύλλα των φυτών. Τα μαλακό νερό όχι μόνο ποτίζει τα φυτά, αλλά αναμειγνύεται στην ανάπτυξη τους.

Η μονάδα ελέγχου αυτού του συστήματος χρησιμοποιείται για να παρέχει ομίχλη για τριάντα δευτερόλεπτα και να σταματάει για τα επόμενα τριάντα. Η υγρασία του αέρα αυξάνει σταδιακά, έως ότου φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο. Ο υγροστάτης ελέγχει τον κύκλο της ομίχλης.

Τα ακροφύσια του καυστήρα πετρελαίου από ανοξείδωτο ατσάλι τοποθετούνται πάνω σε κοντές "λεπτές και αιχμηρές υποδοχές" που μπορούν να προσαρμοστούν σε κάθε διεύθυνση. Αυτές οι υποδοχές στερεώνονται σε χάλκινους σωλήνες. Τα ακροφύσια τοποθετούνται σε διαστήματα 5 ποδιών. Μία κεντρική γραμμή μπορεί να εξυπηρετήσει ένα θερμοκήπιο πλάτους ως και 6,1 m, ενώ χρειάζονται δύο γραμμές σε θερμοκήπια πλάτους 7,6 ως 13,6 m, τρεις σε θερμοκήπια πλάτους 13,6 ως 18,2 m και τέσσερις σε θερμοκήπια πλάτους πάνω από 18,2 m. Οι γραμμές πρέπει να τοποθετούνται έτσι ώστε τα ακροφύσια να μπορούν να καθαρίζονται περιοδικά. Αν είναι δυνατόν, τα παράθυρα της οριζόντιας δοκού και των πλευρών πρέπει να είναι διάπλατα ανοιχτά κατά τη διάρκεια της ψύξης με ομίχλη. Επίσης, οι ανεμιστήρες κυκλοφορίας του αέρα πρέπει να λειτουργούν, αν υπάρχουν.

Όταν η εξάτμιση γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η υγρασία που προστίθεται στον αέρα να εξατμίζεται σωστά, η ψύξη επιτυγχάνεται χωρίς η υγρασία να μένει πάνω στα φύλλα. Όταν προστίθεται πολύ υγρασία, μπορεί να μείνει πάνω στα φύλλα και να προκαλέσει ασθένειες στα φυτά.

Μία μέθοδος ψύξης έκτακτης ανάγκης πρέπει να χρησιμοποιείται, σε περίπτωση που το σύστημα της ομίχλης αποτύχει να ψύξει τον καυτό αέρα. Τα φυτά που αναπτύσσονται κάτω από ψύξη με ομίχλη υψηλής πίεσης είναι πολύ ευαίσθητα στη χαμηλή σχετική υγρασία και στο βάρος της υγρασίας. Τραυματίζονται εύκολα όταν το νερό κόβεται έστω και για λίγες ώρες τις ζεστές ημέρες. Ένα ελικόπτερο που ψεκάζει ασβέστη πάνω από το θερμοκήπιο είναι μία μέθοδος γρήγορης σκίασης του θερμοκηπίου προς αποφυγή σημαντικών απωλειών των φυτών.

Το σύστημα ομίχλης υψηλής πίεσης χρησιμοποιείται στα τριαντάφυλλα και τις ορχιδέες γένους *cymbidium*. Χρησιμοποιείται επίσης και στις πρασινάδες αλλά όχι ιδιαίτερα σε άλλα φυτά.

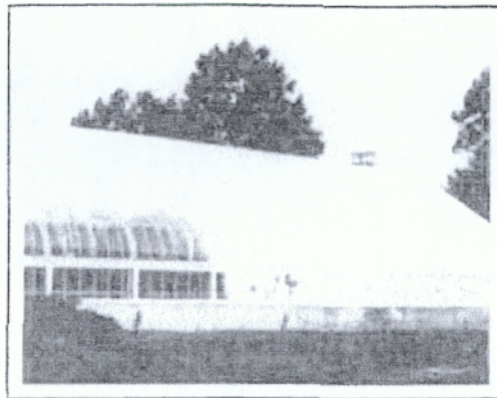




**Σχήμα 50.** Εγκατάσταση ομίχλης υψηλής πίεσης σε σειρά τριαντάφυλλων.

### **Η Σκίαση ως Ψυκτικό Μέσο**

Οι θερμοκρασίες θερμοκηπίου μπορούν να μειωθούν με την εφαρμογή υλικών σκίασης πάνω στο τζάμι, σχήμα 51. Ο ασβέστης, οι εμπορικές ενώσεις σκίασης και ακόμα και η λάσπη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να σκιάσουν τα φυτά. Καθώς η ένταση του φωτός που φτάνει στα φυτά μειώνεται, μειώνεται και η θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο. Όταν εφαρμόζεται πολύ σκιά, η θερμοκρασία μπορεί να μειωθεί σε φυσιολογικά επίπεδα για τους εργάτες, αλλά η ένταση του φωτός είναι τόσο μικρή που επηρεάζει την ποιότητα των φυτών. Δηλαδή, τα φυτά γίνονται πολύ ψηλά, έχουν αδύναμα στελέχη και κακή ποιότητα.



**Σχήμα 51.** Σκιά εφαρμόζεται για τη μείωση της θερμοκρασίας. Ο χώρος που έχει μείνει ασκίαστος είναι για τα φυτά που χρειάζονται μεγάλη ένταση φωτός.

### **Σκιά Τρέχοντος Νερού**

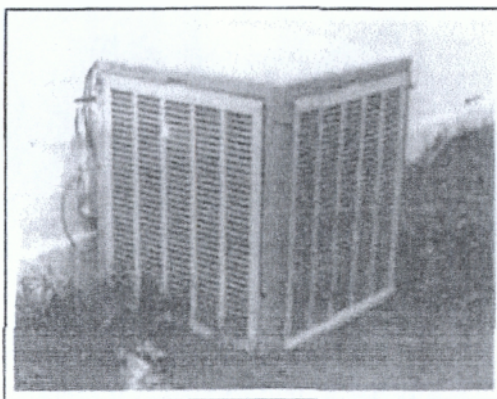
Υπάρχει μία άλλη μέθοδος σκίασης που δεν χρησιμοποιείται στις Ηνωμένες Πολιτείες. Ορισμένοι ευρωπαίοι καλλιεργητές χρησιμοποιούν νερό που ρέει πάνω από την οροφή του θερμοκηπίου σαν σκιά. Το νερό αντλείται ως την οροφή του θερμοκηπίου, όπου διανέμεται μέσα από έναν διάτρητο σωλήνα. Κυλάει σαν λεπτό στρώμα προς τα κάτω, στο εξωτερικό μέρος του τζαμιού του θερμοκηπίου. Το νερό είναι χρωματισμένο πράσινο, γιατί αυτό το χρώμα απορροφά τη θερμότητα

της υπέρυθρης ακτινοβολίας και την εμποδίζει να μπει στο θερμοκήπιο. Το νερό κυλάει σε μία υδρορροή και οδηγείται σε ένα φρεάτιο για ανακύκλωση. Όταν το νερό ζεσταίνεται πολύ καθώς κυλάει πάνω από την οροφή, μπορεί να δροσιστεί μηχανικά μέσα στο φρεάτιο. Μερική από την ψύξη του νερού γίνεται ακόμα και όταν αυτό απορροφάει θερμότητα από την οροφή. Αυτό το σύστημα σκίασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο αν το τζάμι είναι ερμητικά σφραγισμένο. Ακόμα και το παραμικρό κενό στο τζάμι μπορεί να σημαίνει την απώλεια νερού από το σύστημα. Αυτό το σύστημα δεν έχει δοκιμαστεί σε θερμοκήπια με πλαστικό κάλυμμα.

### **Μηχανικός Κλιματισμός**

Η χρήση μηχανικού κλιματισμού δεν είναι πρακτική για την ψύξη θερμοκηπίων. Η θερμότητα που συσσωρεύεται μέσα στο θερμοκήπιο είναι πολύ μεγάλη για μία μηχανική συσκευή. Θα χρειαζόταν μία κλιματιστική συσκευή 50-100 τόνων για να ψύξει ένα θερμοκήπιο μεσαίου μεγέθους. Το μέγεθος μίας τέτοιας συσκευής μπορεί να γίνει αντιληπτό, αν σημειωθεί ότι το κλιματιστικό ενός σπιτιού μπορεί να αντιστοιχεί σε 1/4 ή 1/2 τόνο.

Τα μικρά ερασιτεχνικά θερμοκήπια χρησιμοποιούν πακέτα ψυκτικών σωμάτων που ονομάζονται ψυκτικά σώματα ερήμου, σχήμα 52. Αυτές οι συσκευές λειτουργούν όπως και τα ψυκτικά συστήματα ανεμιστήρα και επικαλύμματος τοίχου. Στην πραγματικότητα, πρόκειται για μία συσκευή ανεμιστήρα και επικαλύμματος σε πακέτο. Δεν είναι πρακτικά για τα μεγάλα εμπορικά θερμοκήπια.



**Σχήμα 52.** Εγκατάσταση ψυκτικού σώματος ερήμου, σε μικρό θερμοκήπιο

## **4.6 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ**

### **4.6.1 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ**

Το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) είναι το τρίτο πιο άφθονο αέριο στην ατμόσφαιρα. Για πολλά χρόνια, η συγκέντρωση 0,03% ή 300 ppm (μέρη ανά εκατομμύριο) ήταν η μέση υπολογίσιμη ποσότητα. Καθώς τα κράτη γίνονταν όλο και πιο βιομηχανοποιημένα, η καύση των

φυσικών καυσίμων μαζί με τα καυσαέρια των αυτοκινήτων, των φορτηγών, των αεροπλάνων και των τρένων αύξησαν τη μέση ποσότητα CO<sub>2</sub> στα 340 ppm ή περισσότερο. Γύρω από μερικές βιομηχανοποιημένες περιοχές, η ποσότητα CO<sub>2</sub> στον αέρα υπολογίζεται στο 0,05% ή στα 500 ppm. Υπάρχει η ανησυχία σε πολλά κράτη ότι η ολοένα και αυξανόμενη ποσότητα CO<sub>2</sub> μπορεί να έχει επιβλαβή αποτελέσματα σε όλες τις μορφές ζωής.

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι το τελικό προϊόν της αναπνοής τόσο των φυτών όσο και των ζώων. Επίσης, εκλύεται όταν αποσυντίθεται οργανική ύλη.

Τα φυτά χρησιμοποιούν διοξείδιο του άνθρακα στη φωτοσύνθεση. Μία σειρά χημικών αντιδράσεων μετατρέπει το διοξείδιο του άνθρακα, το νερό και το οξυγόνο σε υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ενώσεις. Αυτές οι ενώσεις είναι οι βασικοί θεμέλιοι λίθοι των φυτών.

#### **4.6.2 ΠΑΡΟΧΗ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ**

Στο παρελθόν, οι εμπορικοί καλλιεργητές λουλουδιών βασίζονταν στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου ως προς την παροχή διοξειδίου του άνθρακα που χρειαζόνταν τα φυτά για τη φωτοσύνθεση. Η παροχή διοξειδίου του άνθρακα ήταν σε γενικές γραμμές εφικτή όταν το θερμοκήπιο εξαεριζόταν, έτσι ώστε να μπαίνει φρέσκος αέρας. Το χειμώνα, όμως, τα παράθυρα παρέμεναν κλειστά για ημέρες ή και εβδομάδες. Τις ηλιόλουστες ημέρες, τα φυτά χρησιμοποιούσαν γρήγορα το διοξείδιο του άνθρακα του θερμοκηπίου για τη φωτοσύνθεση. Τότε, η έλλειψη CO<sub>2</sub> γινόταν περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη, καθώς μειωνόταν η παραγωγή τροφής. Τότε, οι καλλιεργητές δεν γνώριζαν ότι υπήρχε πολύ λίγο CO<sub>2</sub> για τη βέλτιστη παραγωγή. Γνώριζαν μόνο ότι τα φυτά τους δεν αναπτύσσονταν τόσο γρήγορα όσο θα έπρεπε.

Μετά την εισαγωγή των ψυκτικών συστημάτων ως μέσο εξαερισμού του θερμοκηπίου, ορισμένοι καλλιεργητές ανακάλυψαν ότι μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν τον αναρροφητικό ανεμιστήρα για να ανταλλάξουν μία πολύ μικρή ποσότητα αέρα, τις καθαρές, κρύες ημέρες του χειμώνα. Οι ανεμιστήρες λειτουργούσαν σε χαμηλή ταχύτητα, για να επιτυγχάνεται μία αργή αλλαγή του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Ο φρέσκος αέρας έμπαινε μέσα από κενά του τζαμιού. Όποτε οι ανεμιστήρες λειτουργούσαν την ημέρα, ακόμα και για λίγα λεπτά, τα φυτά αναπτύσσονταν καλύτερα. Από τότε θεωρήθηκε ότι η ανανέωση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου βελτιώνει την ανάπτυξη.

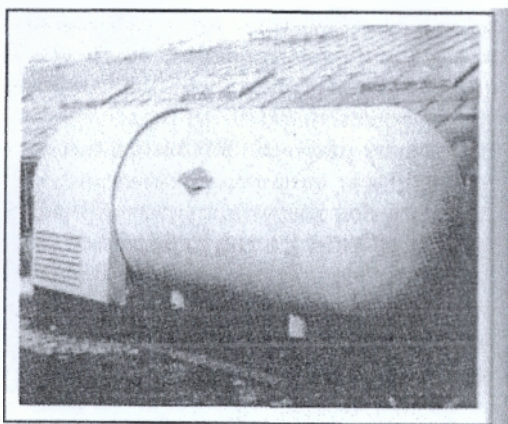
#### **4.6.3 ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΜΕΣΑ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ**

Παράλληλα με την ανακάλυψη των καλλιεργητών ότι ο εξαερισμός επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών, οι ερευνητές άρχισαν να πειραματίζονται, αυξάνοντας τα επίπεδα του CO<sub>2</sub> μέσα στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου με τεχνητά μέσα. Τα αποτελέσματα των πειραματισμών τους

εφαρμόστηκαν γρήγορα από εμπορικούς καλλιεργητές τριαντάφυλλων, για να αυξήσουν την παραγωγή τους.

**Ξηρός πάγος.** Μία από τις πρώτες μεθόδους παροχής CO<sub>2</sub> γινόταν με μεγάλες μονωμένες δεξαμενές γεμάτες με ξηρό πάγο (ο ξηρός πάγος είναι αέριο διοξείδιο του άνθρακα που έχει παγώσει σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία και συμπιεστεί). Καθώς ο ξηρός πάγος εξαχνωνόταν ή άλλαζε μορφή από στερεό σε αέριο, το αέριο CO<sub>2</sub> έμπαινε από σωλήνες μέσα στο θερμοκήπιο και αναμιγνυόταν με τον αέρα με τη βοήθεια των ανεμιστήρων. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, από αργά το Νοέμβριο ως νωρίς τον Απρίλιο, οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> διατηρούνταν στα 1.000 με 1.200 ppm ή περισσότερο. Τον υπόλοιπο χρόνο, δεν παρέχόταν, γιατί τα παράθυρα ήταν ανοιχτά, έτσι ώστε να μειώνουν τα επίπεδα της θερμότητας και το CO<sub>2</sub> θα διέφευγε προς τα έξω. Μία σύγχρονη συσκευή ξηρού πάγου φαίνεται στο σχήμα 53.

Οι καλλιεργητές τριαντάφυλλων και γαρίφαλων ήταν από τους πρώτους στη βιομηχανία που χρησιμοποίησαν την παροχή διοξειδίου του άνθρακα στα φυτά τους. Ανακάλυπταν ότι με την προσθήκη διοξειδίου του άνθρακα, οι βλαστοί γίνονταν δυνατότεροι και μακρύτεροι, τα λουλούδια μεγαλύτερα και η παραγωγή περισσότερη.



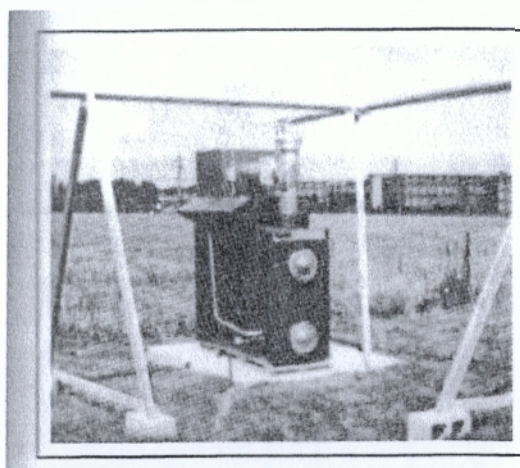
**Σχήμα 53.** Μετατροπέας ξηρού πάγου που χρησιμοποιείται για την παροχή διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου.

**Αέριο προπάνιο.** Η μέθοδος του ξηρού πάγου ήταν ακριβή και περίπλοκη. Έτσι, η έρευνα συνεχίστηκε σε άλλες μεθόδους προσθήκης CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου. Ανακαλύφθηκε ότι το αέριο προπάνιο καιγόταν τελείως με την παρουσία οξυγόνου και έδινε διοξείδιο του άνθρακα, νερό και θερμότητα. Κάθε λίβρα αερίου προπανίου που καιγόταν έδινε 3 λίβρες διοξειδίου του άνθρακα και 1,6 λίβρες νερού.

Χρησιμοποιούνται διάφορα είδη καυστήρων. Ορισμένοι καυστήρες τοποθετούνται έξω από το θερμοκήπιο και το αέριο μπαίνει μέσα από ένα σωλήνα. Ένας τέτοιο καυστήρας, η συσκευή Tectrol, φαίνεται στο σχήμα 54. Άλλοι καυστήρες, όπως η συσκευή Hy-Lo, σχήμα 55, μπορεί να τοποθετηθεί από άκρο σε άκρο του θερμοκηπίου. Η παροχή CO<sub>2</sub> της κάθε συσκευής είναι γνωστή.

Έτσι, μπορεί να υπολογιστεί ο αριθμός καυστήρων που χρειάζονται για να διατηρηθεί το επίπεδο του CO<sub>2</sub> στους 1.000 με 1.200 ppm.

Η πρακτική προσθήκης διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου δεν χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα. Οι λόγοι της αποτυχίας του είναι άγνωστοι. Ορισμένοι καλλιεργητές τριαντάφυλλων με μεγάλες εκτάσεις θερμοκηπίων είναι οι μόνοι που εξακολουθούν να προσθέτουν CO<sub>2</sub> στα θερμοκήπια τους το χειμώνα.



Σχήμα 54. Η συσκευή Tectrol καίει αέριο προπάνιο για την παροχή διοξειδίου του άνθρακα.



Σχήμα 55. Αυτή η συσκευή καίει αέριο προπάνιο για την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα που βελτιώνει την ανάπτυξη των φυτών.

#### 4.6.4 ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΣΤΟ ΧΩΜΑ

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που περιέχεται στο χώμα είναι πολύ περισσότερο από εκείνο που υπάρχει στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου.

Οι μέσες συγκεντρώσεις στο χώμα ποικίλουν από 0,20 ως 0,25%. Ωστόσο, κάτω από ορισμένες συνθήκες τα επίπεδα μπορεί να είναι πολύ υψηλότερα. Το διοξείδιο του άνθρακα στο χώμα προέρχεται

από δύο πηγές. Η αποσύνθεση της οργανικής ύλης παρέχει τη μεγαλύτερη ποσότητα  $\text{CO}_2$ . Η αναπνοή των ριζών των φυτών συνεισφέρει, δίνοντας μία μικρή ποσότητα.

Το διοξείδιο του άνθρακα κινείται αργά μέσα στο χώμα μέσω μίας διαδικασίας που ονομάζεται διάχυση. Στην επιφάνεια του εδάφους γίνεται μία ανταλλαγή αερίων. Το διοξείδιο του άνθρακα εισχωρεί στον αέρα από το χώμα, και το οξυγόνο εισχωρεί στο χώμα από τον αέρα. Το διοξείδιο του άνθρακα που εκλύεται στον αέρα χρησιμοποιείται από το φυτό στη φωτοσύνθεση.

Το διοξείδιο του άνθρακα στο χώμα μπορεί να ενωθεί με τα ιόντα υδρογόνου ( $\text{H}^+$ ) από το νερό του χώματος και σχηματίζει ανθρακικό οξύ ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Επίσης, σχηματίζονται ανθρακικά και διττανθρακικά άλατα ασβεστίου, ποτάσιου και μαγνησίου. Ο ρόλος του ανθρακικού οξέος στη διαδικασία που κάνει τα νιτρικά άλατα διαθέσιμα για απορρόφηση από τα φυτά, περιγράφεται αργότερα στο κεφάλαιο.

Όταν το επίπεδο του διοξειδίου του άνθρακα γίνεται πολύ μεγάλο, η ανάπτυξη των φυτών μπορεί να καθυστερήσει. Συνήθως, το πλεόνασμα διοξειδίου του άνθρακα στο χώμα μειώνει την ποσότητα οξυγόνου στο χώμα. Αυτός ο παράγοντας είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο η ανάπτυξη είναι μικρή. Η κακή απορροή και το υπερβολικό πότισμα που οδηγούν στην μικρή αεροχωρητικότητα, προκαλούν υψηλά επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα και χαμηλά επίπεδα οξυγόνου.

#### **4.7 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΙ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ**

Για τη σωστή ανάπτυξη των καλλιεργειών στο θερμοκήπιο είναι απαραίτητο να διατηρηθεί η σχετική υγρασία στα επιθυμητά, για την κάθε καλλιέργεια, επίπεδα.

Η διατήρηση της σχετικής υγρασίας στις επιθυμητές τιμές είναι απαραίτητη για τη σωστή ανάπτυξη και απόδοση της καλλιέργειας, γιατί:

- Πολύ χαμηλό ποσοστό υγρασίας σημαίνει κλείσιμο σωματίων, παύση λειτουργίας διαπνοής, κακή ποιότητα φυλλώματος, άνθους, καρπών.
- Πολύ υψηλό ποσοστό υγρασίας σημαίνει γρήγορη ανάπτυξη ασθενειών, υποβάθμιση ποιότητας ανθέων.

Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής των φυτών είναι μεγαλύτερος κατά τη διάρκεια της ημέρας και επομένως είναι αυξημένη και η πυκνότητα των υδρατμών στο χώρο του θερμοκηπίου.

Η συμπύκνωση των υδρατμών συμβαίνει κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας και οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας (από ημέρα σε νύχτα) σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και υγρασία του αέρα. Αποτελεί σημαντικό πρόβλημα για το θερμοκήπιο γιατί ευθύνεται για τα περισσότερα φυτοπαθολογικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η καλλιέργεια, καθώς και μείωση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος.

Τα σοβαρότερα προβλήματα που σχετίζονται με τη ρύθμιση της σχετικής υγρασίας στο θερμοκήπιο είναι η μείωση του ποσοστού της κάτω από το 90% το χειμώνα και ανύψωση του

ποσοστού αυτού το καλοκαίρι σύμφωνα με τις εκάστοτε απαιτήσεις των φυτών.

Για τη μείωση της υπερβολικής υγρασίας στο θερμοκήπιο θα πρέπει:

- Να αποφεύγεται η υπερβολική δια βροχή εδάφους και φυτών, κατά τη διάρκεια του χειμώνα.
- Να γίνεται χρήση του συστήματος θέρμανσης για μικρό διάστημα.
- Να γίνεται εξαερισμός ανοίγοντας τα παράθυρα.
- Να χρησιμοποιούνται ειδικά συστήματα για τη ρύθμιση της υγρασίας και της θερμοκρασίας του αέρα.

#### 4.7.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

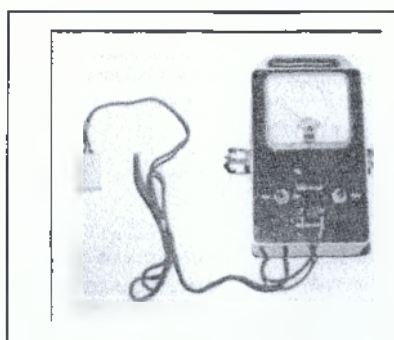
Για ένα μεγάλο αριθμό καλλιεργειών, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου είναι από τους πιο κρίσιμους κλιματικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη σωστή ανάπτυξη τους. Σ' αυτές τις καλλιέργειες για να διατηρηθούν οι παραπάνω κλιματικοί παράγοντες (θερμοκρασία, υγρασία) στα επιθυμητά επίπεδα μέσα στο θερμοκήπιο, είναι σημαντικό να υπάρχει η δυνατότητα ελέγχου τους.

Τα τελευταία χρόνια προκειμένου να εξασφαλιστεί ο ιδανικότερος έλεγχος των παραπάνω συνθηκών, μέσα στο θερμοκήπιο, χρησιμοποιούνται διάφορα σύγχρονα συστήματα όπως:

- Ανεμιστήρες κυκλοφορίας του αέρα.
- Συστήματα ομίχλης (fog system).
- Πάνελ δροσισμού με ανεμιστήρες (pad and fan).



Σχήμα 56. Οι δύο ανιχνευτές υγρασίας στα αριστερά έχουν ενσωματωμένους μετρητές φωτός.

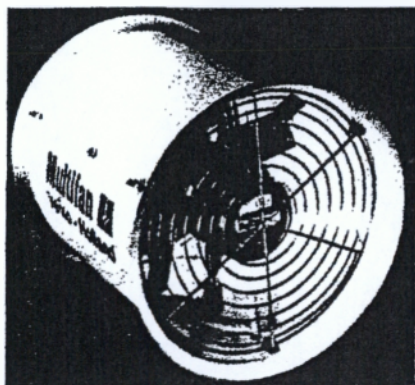


Σχήμα 57. Συσσκευή bouyoucos από γυψοκόνιο και ένας μετρητής υγρασίας.

### Ανεμιστήρες κυκλοφορίας του αέρα

Οι ανεμιστήρες κυκλοφορίας είναι μικρού μεγέθους, οι οποίοι τοποθετούνται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και κινούν συνεχώς τον αέρα.

Σκοπό έχουν να μειώσουν τα επίπεδα υγρασίας, αλλά και τις θερμοκρασιακές διαφορές που δημιουργούνται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (με αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη ανάπτυξη της καλλιέργειας).



Σχήμα 58. Ανεμιστήρας κυκλοφορίας αέρα στο θερμοκήπιο.

Οι θερμοκρασιακές αυτές διαφορές μπορεί να οφείλονται:

- Στον προσανατολισμό του θερμοκηπίου.
- Στην ανομοιομορφία θέρμανσης.
- Στις διάφορες εισόδους του αέρα από το σκελετό.
- Στη διαφορά θερμοκρασίας που υπάρχει μεταξύ κατώτερου και ανώτερου τμήματος του φυτού.

Για να μετριαστούν οι θερμοκρασιακές διαφορές θα πρέπει πρώτα να εντοπιστούν, να προσδιοριστεί η αιτία των διαφορών αυτών και στη συνέχεια να επισημανθούν οι περιοχές στις οποίες υπάρχει μεγάλη θερμοκρασιακή απόκλιση.

Σε περιπτώσεις που οι θερμοκρασιακές αποκλίσεις είναι μεγάλες, η εγκατάσταση ανεμιστήρων είναι η μόνη λύση προκειμένου να βελτιωθεί το κλίμα του θερμοκηπίου.

Οι ανεμιστήρες κυκλοφορίας διαδόθηκαν ευρέως γιατί:

- Εναλλάσσουν τον αέρα του θερμοκηπίου πολλές φορές (ανάλογα με τον τύπο του ανεμιστήρα).
- Ρυθμίζουν ικανοποιητικά τη σχετική υγρασία του αέρα, λόγω συνεχούς κίνησης του μέσα στο θερμοκήπιο.

Για τη σωστή εφαρμογή ενός συστήματος κυκλοφορίας του αέρα στο θερμοκήπιο συνήθως χρησιμοποιούνται δύο τύποι αερισμού:



## 1. Παράλληλος αερισμός

Ακολουθώντας το σύστημα του παράλληλου αερισμού, οι ανεμιστήρες τοποθετούνται ο ένας δίπλα στον άλλο και φυσούν από τον κεντρικό διάδρομο προς την άκρη του θερμοκηπίου ή ανάποδα (σχήμα 59).

Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται σε καλλιέργειες με μεγάλο ύψος.

Οι ανεμιστήρες που έχουν τοποθετηθεί κατ' αυτόν τον τρόπο σιγουρεύουν τη δυναμική ροή αέρα πάνω από την καλλιέργεια μετριάζοντας έτσι σε μεγάλο βαθμό τις διαφορές θερμοκρασίας μέσα στην καλλιέργεια. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται έτσι ώστε κάθε ανεμιστήρας να μη ρουφάει αέρα από τους άλλους. Για την εφαρμογή παράλληλου αερισμού προτιμούνται οι στρογγυλοί ανεμιστήρες.

## 2. Σειριακός αερισμός

Σύμφωνα με το σύστημα αυτό, οι ανεμιστήρες τοποθετούνται ο ένας πίσω από τον άλλο (σε σειρά). Δηλαδή ο ένας τοποθετείται στο σημείο που τελειώνει το ρεύμα αέρα που δημιουργεί ο άλλος (σχήμα 60).

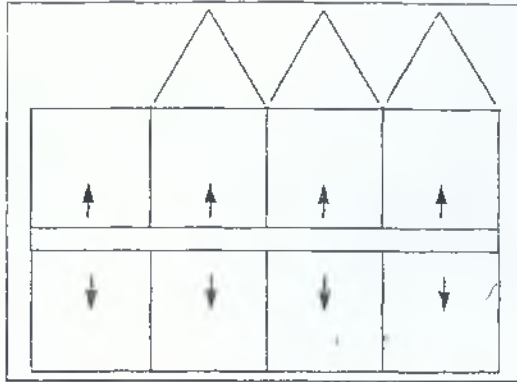
Αυτού του είδους ο αερισμός έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση αέρα πάνω από την καλλιέργεια. Το ρεύμα αέρα πρέπει να διατηρείται οριζόντιο.

Ενδείκνυται για καλλιέργειες με χαμηλό ύψος.

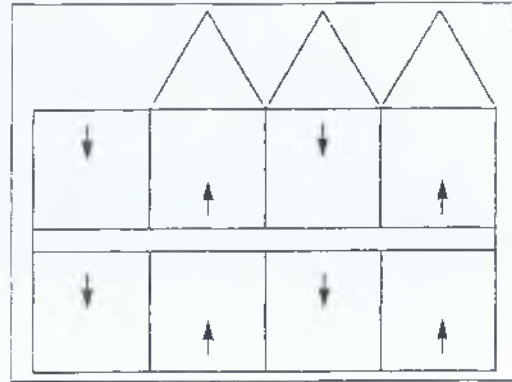
Για τη σωστή εφαρμογή του συστήματος αυτού είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε τετράγωνους ανεμιστήρες χαμηλής ταχύτητας ή ανεμιστήρες με ελεγχόμενη ταχύτητα.

Ένας σωστός ανεμιστήρας κυκλοφορίας του αέρα θα πρέπει:

- Να έχει μικρό όγκο, ώστε να μη σκιάζει την καλλιέργεια.
- Να έχει μικρή κατανάλωση ενέργειας.
- Να έχει μικρό βάρος.
- Να μην κάνει θόρυβο.
- Να είναι κατασκευασμένος από υλικά ανθεκτικά στις συνθήκες του θερμοκηπίου.
- Να διαθέτει προστατευτικό πλέγμα και από τις δυο πλευρές.



**Σχήμα 59.** Διάταξη ανεμιστήρων ακολουθώντας το σύστημα του παράλληλου αερισμού.



**Σχήμα 60.** Διάταξη ανεμιστήρων για την εφαρμογή του συστήματος του σειριακού αερισμού.

### Σύστημα ομίχλης (fog system)

Το σύστημα ομίχλης χρησιμοποιείται στα θερμοκήπια γι' αύξηση της υγρασίας και ταυτόχρονη μείωση της θερμοκρασίας.

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος αυτού στηρίζεται στον ψεκασμό του νερού σε πολύ μικρές σταγόνες (μορφή ομίχλης), οι οποίες λόγω του πολύ μικρού μεγέθους τους (10 μικρά) δε βρέχουν τα φύλλα των φυτών (ξηρή ομίχλη) και αιωρούνται στον αέρα του θερμοκηπίου για περισσότερο χρόνο με αποτέλεσμα να εξατμίζονται εύκολα απορροφώντας θερμότητα (η εξάτμιση 1 κιλού νερού προκαλεί τον ίδιο δροσισμό όπως και η τήξη 7 κιλών πάγου),

Για να επιτευχθεί όλη αυτή η διαδικασία το μέγεθος, η μάζα, αλλά και το βάρος των σωματιδίων του νερού θα πρέπει να μειωθεί τόσο που να έχουν μορφή σαν "σπρέι". Τα σωματίδια του νερού θα πρέπει να διασκορπίζονται ομοιόμορφα και με τη μεγαλύτερη πυκνότητα, έτσι ώστε να καλύπτουν όλο το χώρο του θερμοκηπίου.

Σε μετρήσεις που έγιναν σε θερμοκήπια διαπιστώθηκε ότι χρησιμοποιώντας το fog system η θερμοκρασία μπορεί να μειωθεί μέχρι 14°C , με ταυτόχρονη αύξηση της σχετικής υγρασίας σε επιθυμητά επίπεδα (65-85%).

Τα οφέλη από τη χρήση του fog system μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

- Μείωση της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο περίπου 10 - 12°C.
- Αύξηση της σχετικής υγρασίας σε επιθυμητά επίπεδα (έως 100%).
- Εξισορρόπηση της θερμοκρασίας σε όλο το χώρο του θερμοκηπίου, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές συνθήκες.
- Υγρανση και δροσισμός από την ίδια μονάδα.
- Αποφυγή πτώσης σταγόνων επάνω στα φυτά. Μέγεθος σταγόνων 10 μικρά (ομίχλη), οι οποίες

παραμένουν στον αέρα του θερμοκηπίου.

- Μικρή κατανάλωση νερού.
- Εξασφάλιση ποιότητας των ανθέων και του φυλλώματος.
- Αποτελεί ιδανική λύση για καλλιέργειες με μεγάλη πυκνότητα φύτευσης.
- Αύξηση της παραγωγής λόγω καλύτερου ελέγχου του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου.
- Γρήγορη ανάπτυξη των φυτών.
- Παρόλη την αύξηση της σχετικής υγρασίας, δεν παρατηρείται ανάπτυξη ασθενειών που οφείλονται στην υπερβολική διαβροχή των φύλλων.
- Εκτός από το δροσισμό, η μονάδα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ψεκασμό φυτοπροστατευτικών προϊόντων.
- Η παραγωγή δεν παρουσιάζει ανομοιομορφία στην ποιότητα.
- Γρήγορη και εύκολη εγκατάσταση

Το FOG SYSTEM είναι ιδανικό για την ανάπτυξη φυτών ευαίσθητων στις ασθένειες που έχουν όμως μεγάλη ανάγκη σε υψηλά ποσοστά υγρασίας. Στην πράξη πολύ καλά αποτελέσματα αναφέρθηκαν σε ριζωτήρια μοσχευμάτων, σπόρων, εμβολιασμένων φυτών, όπως και σε θερμοκήπια ανάπτυξης μεριστωματικών φυτών.

### **Πάνελ δροσισμού , με ανεμιστήρες (pad and fan)**

Με τα πάνελ επιτυγχάνεται έλεγχος της θερμοκρασίας και της υγρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου κάτω ακόμα και από τις πιο αντίξοες συνθήκες.

Το σύστημα δροσισμού αποτελείται από:

1. Πάνελ: τα ειδικά πάνελ είναι κυψελοειδούς κατασκευής πάχους 10 ε-κατ. από πεπιεσμένο χαρτί, εμποτισμένο με ρητίνη. Το υλικό είναι απρόσβλητο από χημικά με σύνθεση που δεν επιτρέπει το σάπισμα και εξασφαλίζει την μεγάλη διάρκεια ζωής του υλικού.
2. Πάνελ διανομής: είναι μια λωρίδα πάνελ, με αντίθετη φορά από αυτή του κεντρικού πάνελ, η οποία τοποθετείται στο επάνω μέρος των πάνελ και έχει σαν σκοπό την τέλεια διανομή του νερού σε όλη την επιφάνεια τους.
3. Σύστημα συλλογής και διανομής του νερού: Είναι οι υδρορροές που περιβάλουν τα πάνελ (γαλβανισμένες ή ανοξείδωτες) και τροφοδοτούν με νερό τα πάνελ διανομής και συγκεντρώνουν το νερό που δε χρησιμοποιείται.
4. Ανεμιστήρες: είναι ειδικοί ανεμιστήρες μεγάλων διαστάσεων με δυνατότητα πλήρους αυτοματοποίησης για τη δυναμική εισαγωγή του αέρα μέσα από τα πάνελς (ίδιοι με αυτούς που χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή δυναμικού αερισμού).
5. Δεξαμενή νερού με φλοτέρ.

6. Εμβαπτίζομενη αντλία.
7. Ειδικοί σύνδεσμοι.
8. Αυτοματισμοί.

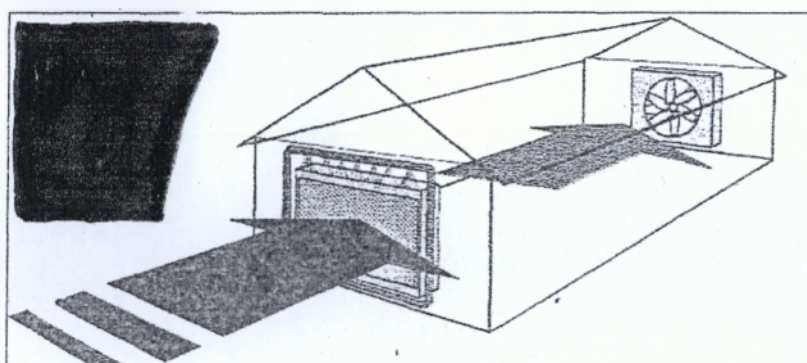
### Τρόπος λειτουργίας

Η καρδιά του συστήματος είναι τα ειδικά πάνελ μέσα από τα οποία το νερό εξατμίζεται.

Το νερό από τη δεξαμενή με την εμβαπτίζομενη αντλία εισέρχεται στα πάνελ διανομής και από εκεί στα ειδικά πάνελ. Το νερό που δε χρησιμοποιείται επιστρέφει στη δεξαμενή. Στο εσωτερικό της δεξαμενής υπάρχει φλοτέρ ώστε να αποφεύγεται η υπερχειλίση.

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στη δυναμική είσοδο του αέρα διαμέσω των πάνελ με τη βοήθεια των ανεμιστήρων που βρίσκονται απέναντι τους. Ο υγρός αέρας που μπαίνει στο χώρο του θερμοκηπίου προκαλεί πτώση της θερμοκρασίας και αύξηση της υγρασίας, (σχήμα 61)

Για τη σωστή ρύθμιση της θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται συστήματα αυτοματισμού που ρυθμίζουν τον αριθμό των ανεμιστήρων που θα λειτουργούν κάθε φορά ανάλογα με τη θερμοκρασία που θέλουμε να επιτύχουμε στο χώρο του θερμοκηπίου.



Πίνακας μεταβολής της θερμοκρασίας και υγρασίας πριν και μετά το πάνελ.

Εξωτερική Υγρασία (%)	Εξωτερική Θερμοκρασία °C	Μετά το πάνελ Υγρασία (%)	Μετά το πάνελ Θερμοκρασία °C
5	45	62	24
5	40	63	21
5	35	65	19
5	30	66	16
10	45	66	26
10	40	67	23
10	35	69	20
10	30	70	17
20	45	73	29
20	40	73	26
20	35	74	22
20	30	74	19

Σχήμα 61. Σχηματική απεικόνιση της λειτουργίας του συστήματος δροσίσιμου με ανεμιστήρες και πάνελ.

## 4.8 ΕΞΟΠΑΙΣΜΟΣ ΣΚΙΑΣΗΣ

Είναι ήδη γνωστό ότι τα περισσότερα φυτά προκειμένου να αναπτυχθούν σωστά και να αποδώσουν καινοπονητικά πρέπει στο θερμοκήπιο να υπάρχει σκίαση 40-60% περίπου, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες.

Για τη μείωση της έντασης του φωτισμού μέσα στο θερμοκήπιο εκτός από τις κλασικές μεθόδους (βαφή με ασβέστη, στόκο ή πλαστικό χρώμα), στα σύγχρονα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται οι θερμοκουρτίνες.

Με τη χρήση της κουρτίνας εξασφαλίζεται:

1. Εξοικονόμηση ενέργειας αφού μειώνει την απώλεια ενέργειας τη νύχτα (από το θερμοκήπιο προς το περιβάλλον), μειώνοντας τις ενεργειακές απαιτήσεις (ιδίως τις νύχτες χωρίς νέφωση) μέχρι και 70%.
2. Μείωση της θερμοκρασίας τις ώρες της ημέρας με έντονη ακτινοβολία και αποφυγή εγκαυμάτων στα φύλλα των φυτών.
3. Μείωση της ανάγκης κάλυψης του θερμοκηπίου με στόκο και αποφυγή των επανειλημμένων ψεκασμών, αφού την άνοιξη που υπάρχει το πρόβλημα των βροχοπτώσεων, που απομακρύνουν το στρώμα του στόκου, η κουρτίνα καλύπτει πλήρως τις ανάγκες σκίασης του θερμοκηπίου.

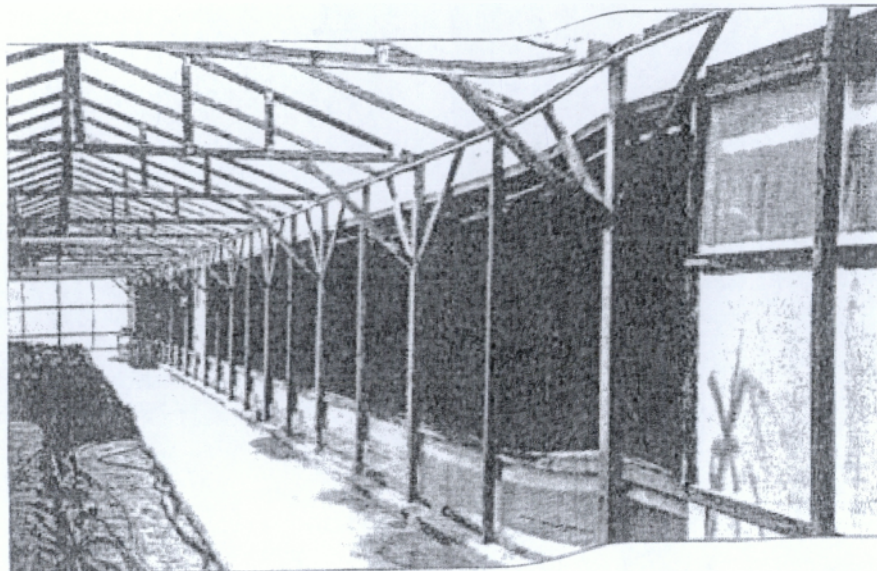
### 4.8.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΘΕΡΜΟΚΟΥΡΤΙΝΑΣ

Το ύφασμα της κουρτίνας έχει σύνθεση από ακρυλικό και πολυεστέρα. Στην επάνω επιφάνεια της κουρτίνας υπάρχουν λωρίδες αλουμινίου, όπου ανάλογα με τον αριθμό τους αντανακλούν περισσότερο ή λιγότερο την ηλιακή ακτινοβολία, δίνοντας και ανάλογο ποσοστό σκίασης. Για παράδειγμα κουρτίνα με δύο λωρίδες αλουμινίου στην επιφάνειά της δίνει σκίαση έως 60% και εξοικονόμηση ενέργειας έως 55%.

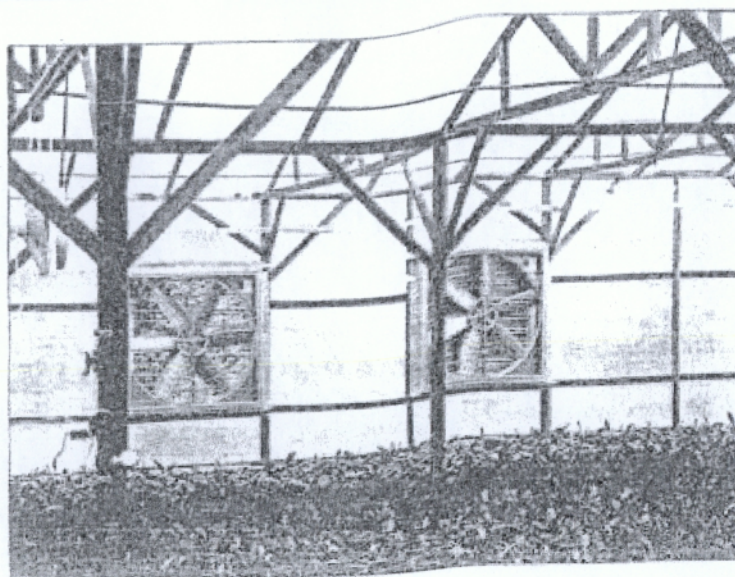
Η χρησιμοποίηση θερμοκουρτινών με πυκνή ύφανση έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση-διατήρηση υψηλών ποσοστών υγρασίας στα φυτά, ενώ αν χρησιμοποιηθεί κουρτίνα με αραή ύφανση, και επομένως μεγαλύτερη διαπερατότητα της υγρασίας, επιτυγχάνεται η διατήρηση χαμηλών ποσοστών υγρασίας μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου.

Εκτός από τις παραπάνω κουρτίνες υπάρχουν και οι μαύρες θερμοκουρτίνες πλήρους σκίασης (100%) ή φωτοπερίόδου που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της ημέρας. Οι κουρτίνες αυτές είναι απαραίτητες σε θερμοκήπια που καλλιεργούν φυτά μικρής φωτοπερίόδου (π.χ. χρυσάνθεμο, καλαγχόη, γυσοφίλη κ.λπ.) τα οποία για να έρθουν στο στάδιο της ανθοφορίας χρειάζονται συνθήκες μικρής ημέρας.

Οι μπλε κουρτίνες έχουν μεγαλύτερη απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας που έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη ανάπτυξη ορισμένων φυτών.



Πάνελ  
δροσισμού



Ανεμιστήρες  
δροσισμού

Σχήμα 62

#### 4.8.2 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Η κίνηση της κουρτίνας γίνεται με μοτέρ και συρματόσχοινα. Ο οδηγός της κουρτίνας είναι γαλβανισμένος σωλήνας διατομής 19 χλσ. Η σύνδεση του οδηγού με τα συρματόσχοινα γίνεται με ειδικά αλουμιένια εξαρτήματα. Όλη η κουρτίνα στηρίζεται επάνω σε ειδικά σύρματα (πετονιά) από πολυεστέρα.

#### 4.8.3 ΠΙΝΑΚΕΣ - ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ

Ο μηχανισμός της κουρτίνας λειτουργεί μέσω πίνακα, ο οποίος παρέχει:

1. Ασφάλιση των γραμμών τροφοδοσίας από βραχυκύκλωμα.

2. Θερμική προστασία του κινητήρα από ζόρισμα ή αδυναμία να μαζέψει ή να απλώσει την κουρτίνα.
3. Εντολές ελέγχου μέσω διακόπτη με θέσεις: off «άπλωσε», «μάζεψε», auto. Στην θέση auto η λειτουργία γίνεται με βάση τη θερμοκρασία ή το φωτισμό.

Για την αυτοματοποιηθεί η κίνηση της κουρτίνας είναι απαραίτητο να χρησιμοποιήσουμε έναν αυτόματο ελεγκτή κίνησης κουρτίνας, ο οποίος θα λειτουργεί σύμφωνα με τα παρακάτω.

#### 4.8.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Σε περίπτωση υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας ή χαμηλής εξωτερικής θερμοκρασίας, η κουρτίνα πρέπει να μπορεί να απλώνεται.

Με ένα χρονοδιακόπτη η κουρτίνα μπορεί να απλώνεται ή να μαζεύεται σε συγκεκριμένες ώρες (μαύρη κουρτίνα φωτοπεριόδου).

Η κουρτίνα πάντοτε θα πρέπει να μαζεύεται σταδιακά, με βήματα. Αυτό γίνεται για να μην πέφτει απότομα η θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου κάτω από την κουρτίνα (ο αέρας του θερμοκηπίου πάνω από την κουρτίνα είναι ψυχρότερος από τον αέρα που βρίσκεται κάτω απ' αυτήν).

Όταν η κουρτίνα είναι απλωμένη, και η θερμοκρασία κάτω από αυτήν υψηλή (π.χ. κατά τους καλοκαιρινούς μήνες) μπορεί να ανοίξει μόνο ένα τμήμα ώστε να βελτιωθεί ο αερισμός του χώρου.

#### 4.8.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ο αυτόματος ελεγκτής κίνησης κουρτίνας πληροί τις προδιαγραφές μόνωσης IP 50 για προστασία από νερό και σκόνη.

Στην πρόσοψη υπάρχουν 2 μεγάλοι περιστροφικοί διακόπτες για ρύθμιση της ελάχιστης εξωτερικής θερμοκρασίας και του μέγιστου επιπέδου ακτινοβολίας στα οποία η κουρτίνα πρέπει να απλώνεται.

Επιπλέον υπάρχουν αρκετές φωτεινές ενδείξεις (Led) για:

1. Ηλεκτρική τάση.
2. Ακτινοβολία πολύ υψηλή.
3. Εσωτερική θερμοκρασία πολύ υψηλή.
4. Εξωτερική θερμοκρασία πολύ χαμηλή.

Στο εσωτερικό του ελεγκτή υπάρχουν 4 ρυθμιστικά ποτενσιόμετρα που ρυθμίζουν:

1. Επίπεδο ακτινοβολίας για μάζεμα κουρτίνας.
2. Μέγιστη θερμοκρασία αέρα.
3. Χρόνος λειτουργίας κουρτίνας.

4. Μέγιστη «χαραμάδα» (όταν η κουρτίνα είναι απλωμένη και η θερμοκρασία του χώρου κάτω από την κουρτίνα ανέβει, ο ελεγκτής δίνει εντολή να ανοίξει λίγο η κουρτίνα ώστε να ελαττωθεί η θερμοκρασία στο χώρο).

#### **Επίπεδο ακτινοβολίας για μάζεμα κουρτίνας (0-150 W/τμ.)**

Καθορίζει το επίπεδο της ακτινοβολίας πάνω από το οποίο η κουρτίνα μαζεύεται το πρωί. Σε περίπτωση που η κουρτίνα είναι απλωμένη και η θερμοκρασία μέσα στον χώρο, κάτω από την κουρτίνα ξεπεράσει τη μέγιστη θερμοκρασία αέρα (10 - 35°C) η κουρτίνα θα αρχίσει αναλογικά ν' ανοίγει (2%/°C), έτσι ώστε ν' απομακρυνθεί ο ζεστός αέρας προς την οροφή και τα παράθυρα του θερμοκηπίου.

Χρόνος λειτουργίας κουρτίνας (0-15 λεπτά)

Λόγω του ότι κάθε σύστημα κουρτίνας έχει διαφορετικό χρόνο λειτουργίας (από τελείως κλειστή - έως τελείως ανοικτή θέση) βάζοντας τον πραγματικό χρόνο λειτουργίας ο αυτόματος ελεγκτής κίνησης κουρτίνας προσαρμόζεται απόλυτα στο εκάστοτε σύστημα.

Οι παραπάνω παράμετροι συνήθως ρυθμίζονται εφάπαξ γι' αυτό και τα ποτενσιόμετρα βρίσκονται στο εσωτερικό του οργάνου.

#### **4.9 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ**

Με τη θέρμανση των θερμοκηπίων επιδιώκουμε την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και του εδάφους στα επιθυμητά για κάθε καλλιέργεια επίπεδα αλλά και τη μείωση της σχετικής υγρασίας του αέρα.

Στις θερμοκηπιακές μονάδες που κατασκευάζονται τα τελευταία χρόνια η εγκατάσταση κεντρικού συστήματος θέρμανσης αποτελεί μία από τις πιο απαραίτητες και πιο σημαντικές δαπάνες κατασκευής.

Με τη θέρμανση των θερμοκηπίων επιτυγχάνεται:

- Η αισθητή μείωση του κινδύνου ανάπτυξης μυκητολογικών και βακτηριακών ασθενειών που οφείλονται στην υπερβολική υγρασία του αέρα. Έτσι έχουμε αύξηση της ποσότητας και βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου προϊόντος.
- Προώθηση της παραγωγής.
- Καλλιέργεια φυτών που δε θα μπορούσαν να επιβιώσουν σε συνθήκες υπαίθρου.

Η πλήρης οργάνωση της παραγωγής ακολουθώντας ένα πρόγραμμα καλλιέργειας σε όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Τα συστήματα θέρμανσης διακρίνονται στα:

1. Στατικά ή κεντρικής κυκλοφορίας θερμού νερού σε σωλήνες, με τα οποία μεταδίδεται η θερμότητα με ακτινοβολία, μεταφορά και επαγωγή μέσω μιας θερμαινόμενης επιφάνειας, όπως είναι οι μεταλλικοί ή πλαστικοί σωλήνες. Αποτελούνται από: το λέβητα, τον καυστήρα, τον κυκλοφορητή, τις τετράοδες



ηλεκτροβάνες και τους σωλήνες διανομής. Για να ξεκινήσει η λειτουργία του συστήματος, ο θερμοστάτης δίνει εντολή να ανοίξει η τετράοδη για να περάσει το νερό από το λέβητα, όπου θερμαίνεται και μέσω κυκλοφορητών προωθείται στους σωλήνες του θερμοκηπίου. Για τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας του νερού στους σωλήνες θέρμανσης είναι απαραίτητη η χρήση αναμικτικής ηλεκτροβάνας, όπως και ο έλεγχος αυτής μέσω αυτόματου ελεγκτή θέρμανσης.

Το νερό που κυκλοφορεί στους σωλήνες θερμαίνεται στους 60-90°C.

Η τοποθέτηση των σωλήνων στο χώρο του θερμοκηπίου γίνεται:

- Στις πλευρές του θερμοκηπίου.
- Επάνω στο έδαφος του θερμοκηπίου.
- Σε παράλληλη διεύθυνση με τις γραμμές των φυτών.
- Στην οροφή του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα σε περιοχές με μεγάλες χιονοπτώσεις και σε θερμοκήπια που καλλιεργούνται δρεπτά άνθη.

Με τη χρήση στατικών συστημάτων θέρμανσης επιτυγχάνεται:

- Η θέρμανση εδάφους-αέρα. .
- Μείωση της θερμοκρασίας του χώρου με αργό ρυθμό σε περίπτωση ξαφνικής βλάβης του συστήματος.
- Ικανοποιητική μείωση της σχετικής υγρασίας.
- Καλή ομοιογένεια θέρμανσης.

Τα αρνητικά σημεία που παρουσιάζονται και θα πρέπει να προσέξει κανείς είναι τα εξής:

- Σε πολλές καλλιέργειες είναι αδύνατη η εφαρμογή τους γιατί εμποδίζουν κατά πολύ τις καλλιεργητικές εργασίες.
- Έχουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.
- Είναι αρκετά δύσκολη η ρύθμιση της λειτουργίας τους.

Θερμοδυναμικά, με τα οποία η θερμότητα μεταδίδεται με μεταφορά και επαγωγή μέσω του θερμού αέρα που παράγεται από γεννήτριες θερμού αέρα ή από αερόθερμα. Τα θερμοδυναμικά συστήματα αποτελούνται από τα αερόθερμα και τα μέσα διανομής του θερμού αέρα.

Η θερμοκρασία που βγαίνει από το αερόθερμο είναι 35-45°C και δε θα πρέπει να πηγαίνει κατευθείαν στα φυτά. Τα αερόθερμα μπορούν να τοποθετηθούν στο κέντρο, στις πλευρές ή στα μετωπικά του θερμοκηπίου. Η θέρμανση με αερόθερμα είναι πολύ διαδεδομένη γιατί έχει σχετικά μικρό κόστος

εγκατάστασης υψηλή αποδοτικότητα, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται γρήγορη θέρμανση του χώρου και εύκολη αυτοματοποίηση του συστήματος.

Τα αερόθερμα που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι τα αερόθερμα ζεστού νερού.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των θερμοδυναμικών συστημάτων είναι:

- Καλή ομοιομορφία θέρμανσης.
- Μικρός όγκος, για εξοικονόμηση χώρου μέσα στο θερμοκήπιο.
- Μείωση της συμπύκνωσης των υδρατμών στην εσωτερική επιφάνεια του υλικού κάλυψης.
- Γρήγορη θέρμανση των φυτών.
- Εύκολη ρύθμιση της λειτουργίας.
- Χαμηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.

Τα μειονεκτήματα συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Δε θερμαίνεται το έδαφος.
- Μειώνεται σημαντικά η σχετική υγρασία του αέρα.
- Μειώνεται ταχύτητα η θερμοκρασία αέρα του θερμοκηπίου σε περίπτωση βλάβης του συστήματος.

Για τη σωστή θέρμανση των θερμοκηπίων θα πρέπει να υπάρχει:

1. Ομοιογένεια θέρμανσης, ώστε όλα τα σημεία στο θερμοκήπιο να έχουν όσο είναι δυνατό την ίδια θερμοκρασία.
2. Μικρή ταχύτητα του αέρα που επιτυγχάνεται με αύξηση του αριθμού συσκευών θέρμανσης.
3. Σωληνώσεις και γενικότερα συστήματα θέρμανσης που να μην καταλαμβάνουν πολύ χώρο, και επομένως εμποδίζουν τις λειτουργίες του θερμοκηπίου.

Για την επιλογή, αλλά και εφαρμογή ενός συστήματος θέρμανσης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

1. Το είδος και επομένως οι ανάγκες της καλλιέργειας σε θερμότητα.
2. Η ομοιογένεια θέρμανσης που εξασφαλίζει στο θερμοκήπιο.
3. Οι διαστάσεις και το είδος του θερμοκηπίου.
4. Ο τρόπος καλλιέργειας.
5. Το είδος του καυσίμου.
6. Η ευκολία συντήρησης και επισκευής του.
7. Η οικονομική ευχέρεια του παραγωγού.

Στις περισσότερες σύγχρονες θερμοκηπιακές μονάδες τα συστήματα θέρμανσης αποτελούνται από επιδαπέδια θέρμανση με σωλήνες ζεστού νερού σε συνδυασμό με αξονικά αερόθερμα.

Με τον τρόπο αυτό οι παραγωγοί μπορούν να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα και των δύο μεθόδων θέρμανσης, δημιουργώντας έτσι το καταλληλότερο γι' αυτούς σύστημα θέρμανσης.

#### Αυτοματισμοί θέρμανσης

Για την αυτοματοποίηση του συστήματος θέρμανσης, τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται οι αυτόματοι ελεγκτές θέρμανσης για συστήματα θερμού αέρα ή θερμού νερού.

### 4.9.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ο έλεγχος της θέρμανσης με τους ελεγκτές θερμότητας βασίζεται στη μετρούμενη θερμοκρασία αέρα στο χώρο του θερμοκηπίου. Με έναν εξωτερικό διακόπτη 24ωρης λειτουργίας μπορούν να καθοριστούν οι περίοδοι ημέρας-νύχτας και να οριστεί διαφορετική επιθυμητή θερμοκρασία σε κάθε περίοδο.

Η μετάβαση από την ημέρα στη νύχτα και από τη νύχτα στην ημέρα γίνεται σταδιακά (30 λεπτά). Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου η θερμοκρασία αναλογικά αυξάνεται ή μειώνεται.

### 4.9.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Οι ελεγκτές θερμοκρασίας πληρούν τις προδιαγραφές μόνωσης IP 50 για προστασία από νερό και σκόνη. Πάνω στο όργανο υπάρχουν περιστροφικοί διακόπτες για ρύθμιση της επιθυμητής θερμοκρασίας ημέρας και νύχτας.

Επιπλέον υπάρχουν αρκετές φωτεινές ενδείξεις (Led) για:

- Ηλεκτρική τάση.
- Απαίτηση για θέρμανση.
- Θερμοκρασία πολύ υψηλή.
- Θερμοκρασία νερού θέρμανσης πολύ υψηλή (Led αναμμένο)/πολύ χαμηλή (Led αναβοσβήνει).
- Περίοδος νύχτας – ενεργη.
- Περίοδος ημέρας – ενεργη.

#### Θέρμανση με θερμό αέρα

Στα συστήματα θέρμανσης με θερμό αέρα, η θέρμανση ξεκινά όταν η θερμοκρασία του αέρα πέσει κάτω από την επιθυμητή τιμή.

Στο εσωτερικό του ελεγκτή υπάρχουν δύο ρυθμιστικά ποτενσιόμετρα για:

- Ανώτατο όριο θέρμανσης.
- Ελάχιστο χρόνο λειτουργίας.

Το ανώτατο όριο θέρμανσης (0-2,5°C) είναι ο αριθμός των βαθμών Κελσίου που η θερμοκρασία πρέπει ν' ανέβει πάνω από την επιθυμητή θερμοκρασία πριν το σύστημα θέρμανσης κλείσει.

Ο ελάχιστος χρόνος λειτουργίας (0-5 λεπτά) είναι ο ελάχιστος χρόνος που το σύστημα θέρμανσης θα παραμείνει ανοιχτό.

**Θέρμανση με θερμό νερό.**

Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας με θερμό νερό είναι απαραίτητη η εγκατάσταση ενός μετατροπέα και ενός εμβλαπτιζόμενου αισθητηρίου θερμοκρασίας νερού.

Ο αυτόματος ελεγκτής θερμότητας προορίζεται για συστήματα θέρμανσης τα οποία έχουν κυκλοφορητή και ανάμεικτική βάνα.

Επιπλέον υπάρχει ενσωματωμένο σύστημα προφύλαξης που δεν αφήνει την αναμεικτική βάνα και τον κυκλοφορητή να «κολλήσουν» εάν δε χρησιμοποιούνται για πολύ καιρό. Σε περίπτωση που ο κυκλοφορητής δε λειτουργήσει για 24 ώρες θα ενεργοποιηθεί για 1 λεπτό. Όμοια και η αναμεικτική βάνα.

Στο εσωτερικό του οργάνου υπάρχουν 4 ρυθμιστικά ποτενσιόμετρα για :

- Αύξηση.
- Χρόνο λειτουργίας αναμεικτικής βάνας.
- Ελάχιστη θερμοκρασία νερού θέρμανσης.
- Μέγιστη θερμοκρασία νερού θέρμανσης.

Διευκρινίζεται ότι:

**Αύξηση (0-10°C/°C):** Ο αριθμός των βαθμών Κελσίου, που η θερμοκρασία του νερού θέρμανσης πρέπει να αυξηθεί ή να μειωθεί για κάθε βαθμό διαφοράς μεταξύ της επιθυμητής και μετρούμενης θερμοκρασίας του αέρα.

**Χρόνος λειτουργίας αναμεικτικής βάνας (0-10 δευτ./°C):** Ο αριθμός σε δευτερόλεπτα που η αναμεικτική βάνα πρέπει να ενεργοποιείται για κάθε βαθμό διαφοράς μεταξύ της επιθυμητής και μετρούμενης θερμοκρασίας του νερού.

**Ελάχιστη θερμοκρασία νερού θέρμανσης (0-50°C):** Είναι η απολύτως ελάχιστη θερμοκρασία ζεστού νερού κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Η ελάχιστη θερμοκρασία ζεστού νερού που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα ελέγχου είναι η ανώτερη τιμή + 5°C (ζώνη ασφαλείας).

**Μέγιστη θερμοκρασία νερού θέρμανσης (50-120°C):** Είναι η απολύτως μέγιστη

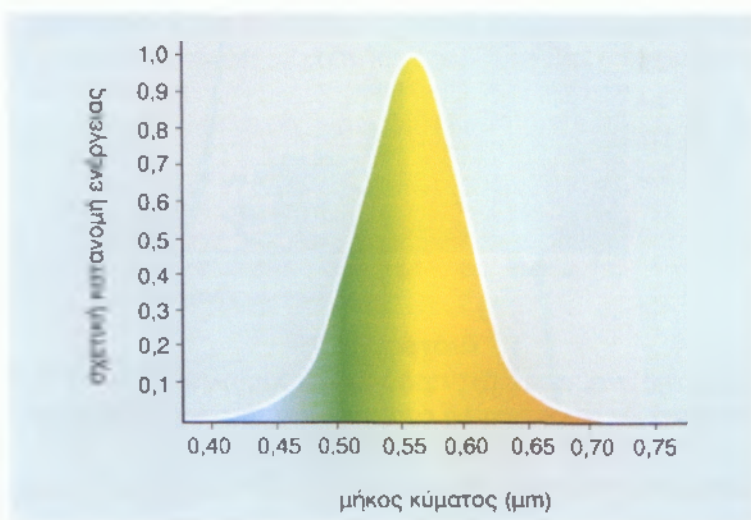
θερμοκρασία ζεστού νερού κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Η μέγιστη θερμοκρασία ζεστού νερού που χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα ελέγχου είναι η ανωτέρω τιμή  $-10^{\circ}\text{C}$  (ζώνη ασφαλείας).

Κάτω από την απολύτως ελάχιστη θερμοκρασία θερμού νερού ή πάνω από την απόλυτα μέγιστη θερμοκρασία ενεργοποιείται alarm. Οι παραπάνω παράμετροι συνήθως ρυθμίζονται εφάπαξ γι' αυτό τα ποτενσιόμετρα βρίσκονται στο εσωτερικό του οργάνου.

#### 4.10 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

Με στόχο την αύξηση της παραγωγής της φωτοσύνθεσης σε περιόδους που δεν είναι αρκετός ο φυσικός φωτισμός, χρησιμοποιείται συμπληρωματικός φωτισμός, ώστε να συμπληρώνεται 12 -16 ώρες φως την ημέρα. Ο τεχνητός φωτισμός εφαρμόζεται κυρίως σε καλλωπιστικά φυτά, καθώς και σε σπορεία κηπευτικών φυτών. Η πυκνότητα του φωτισμού για τα καλλωπιστικά φυτά γλάστρας είναι 6 κlux και άνω ενώ για τα δρεπτά άνθη και τα κηπευτικά 20 κlux και άνω. Οι λαμπτήρες αποτελούν τις πηγές τεχνητού φωτισμού. Η αποτελεσματικότητα ενός λαμπτήρα που χρησιμοποιείται στο θερμοκήπιο προσδιορίζεται κυρίως από δύο παράγοντες:

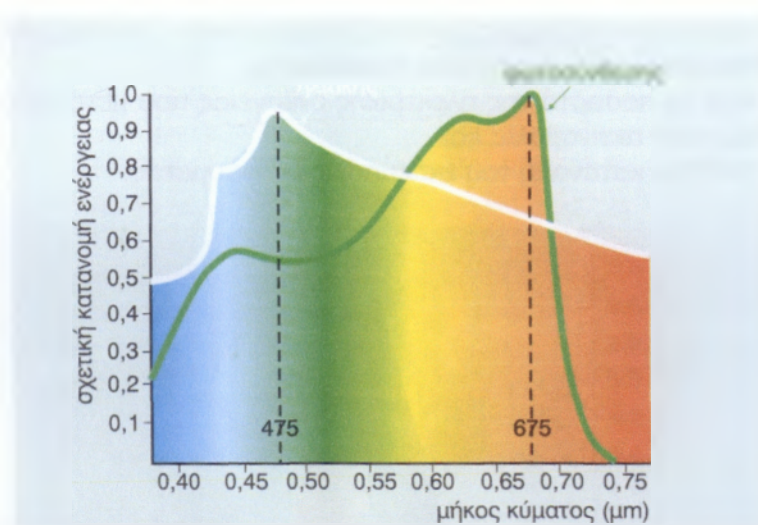
- α. Από το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σε φωτεινή ακτινοβολία και
- β. Από την κατανομή του εκπεμπόμενου φάσματος.



**Διάγραμμα 4.** Καμπύλη ευαισθησίας του ανθρώπινου ματιού

Το ανθρώπινο μάτι έχει τη μέγιστη του ευαισθησία στην ακτινοβολία μήκους κύματος 0,555 μm (κίτρινο). Αυτή η ευαισθησία μειώνεται και προς τα μεγαλύτερα μήκη κύματος και προς τα

μικρότερα. Στην περιοχή του κόκκινου χρώματος το ανθρώπινο μάτι έχει μόνο το 1/10 της ευαισθησίας που έχει στα 0,555 μm, με άλλα λόγια απαιτείται 10 φορές περισσότερο κόκκινο φως για να αποκτήσει το μάτι την ίδια αίσθηση φωτισμού με αυτήν που προέρχεται από φως μήκους κύματος 0,555 μm. Η μεγαλύτερη ευαισθησία στην περίπτωση της φωτοσύνθεσης παρουσιάζεται στα 0,675 μm (στην περιοχή του κόκκινου -πορτοκαλί) και κάπως μικρότερη ευαισθησία αλλά σχετικά μεγάλη στα 0,450μm (στην περιοχή του μπλε), διάγραμμα 4 με ελάχιστο στα 0,500 μm (στην περιοχή του πράσινου). Ένας σωστός λαμπτήρας από πλευράς ενεργειακής κατανάλωσης και από πλευράς επίδρασης στις μορφογενετικές διαδικασίες του φυτού καλά είναι να αποδίδει φως σε όλο το φάσμα απορρόφησης της χλωροφύλλης.



**Διάγραμμα 5.** Καμπύλη της ενέργειας της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σχετικά με την καμπύλη ευαισθησίας της φωτοσύνθεσης.

Οι διάφοροι λαμπτήρες που χρησιμοποιούνται ως πηγές τεχνητού φωτισμού είναι:

- **Λαμπτήρες πυρακτώσεως.** Μόνο το 6-10% της καταναλισκόμενης ενέργειας αποδίδεται σε ορατό φως. Το 20% είναι υπέρυθρο. Οι λαμπτήρες αυτοί είναι ενεργοβόροι και γι' αυτό δεν χρησιμοποιούνται για την αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών. Χρησιμοποιούνται όμως για αύξηση του μήκους της ημέρας στη ρύθμιση της φωτοπεριόδου, γιατί αποδίδουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας στην περιοχή του ερυθρού και του κοντινού υπέρυθρου, που ενεργοποιεί το φυτόχρωμα.
- **Κοινοί σωληνωτοί λαμπτήρες φθορισμού.** Η αποδοτικότητα τους είναι πολύ πιο μεγάλη από τους προηγούμενους, 22-27 % περίπου στο ορατό φως, με πολύ μικρή ποσότητα ακτινοβολίας στην περιοχή του υπέρυθρου. Δεν χρησιμοποιούνται για ρύθμιση της φωτοπεριόδου, αλλά κυρίως για αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας σε νεαρά φυτά. Περιοριστικός παράγοντας στη χρησιμοποίησή τους σε ευρεία κλίμακα, αποτελεί το γεγονός ότι έχουν μικρή ισχύ (μέχρι 60W). Αυτό αυξάνει πολύ τον αριθμό των λαμπτήρων στο χώρο, με συνέπεια μεγαλύτερη δαπάνη και περισσότερη σκίαση στο θερμοκήπιο. Συχνά

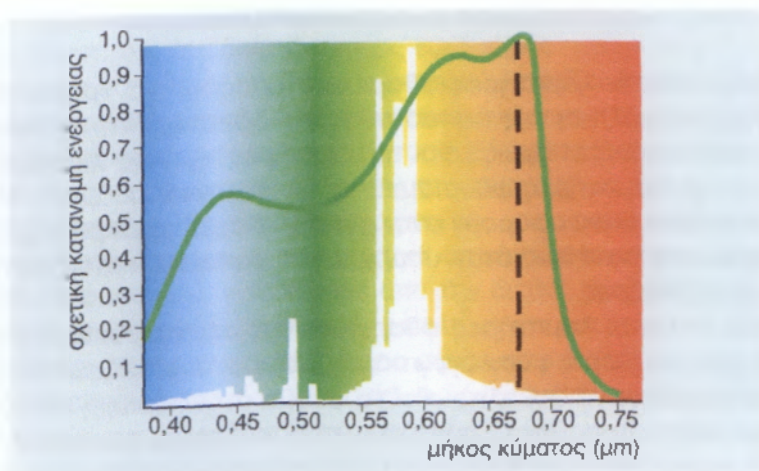
χρησιμοποιούνται σε θαλάμους αναπτύξεως φυτών.

- **GRO LUX.** Είναι λαμπτήρες φθορισμού, όπως οι προηγούμενοι αλλά ευρύτερου φάσματος, ειδικά κατασκευασμένοι για φωτοσύνθεση και ρύθμιση της φωτοπεριόδου. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε κλειστούς θαλάμους ανάπτυξης φυτών.
- **Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης με εσωτερικό ανακλαστήρα.** Είναι λαμπτήρες φθορισμού πολύ μεγαλύτερης ισχύος (400W). Το 12-17% της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε φως.
- **Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης με πρόσθετα μέταλλο - αλογόνου.** Είναι λαμπτήρες φθορισμού μεγάλης ισχύος (400W). Είναι σχετικά διαδεδομένη η χρησιμοποίηση τους σε θερμοκήπια για αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας. Το 23% της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε φως.
- **Λαμπτήρες υψηλής πίεσης Νατρίου (HPS).** Είναι και αυτοί λαμπτήρες φθορισμού μεγάλης ισχύος και είναι οι περισσότερο χρησιμοποιούμενοι λαμπτήρες στα θερμοκήπια για αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών. Το φάσμα τους έχει ένα μέγιστο στα 0,589 μm. (κίτρινο) και εκτείνεται από 0,400-0,850 μm. Το 32% της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε φως.
- **Λαμπτήρες φθορισμού με ηλεκτρονική ρύθμιση και ενσωματωμένο ballast** Χρησιμοποιούνται σε αρκετές περιπτώσεις στα θερμοκήπια. Κυκλοφορούν σε διάφορα μεγέθη, μέχρι 150Watt. Είναι πολύ αποδοτικοί λαμπτήρες σε φως, το 32%-35% της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε ορατή ακτινοβολία. Έχουν μεγάλο χρόνο ζωής. Έχουν μικρότερη ισχύ από αυτούς της υψηλής πίεσης αλλά έχουν το πλεονέκτημα να έχουν τον μετατροπέα υψηλής τάσης (ballast) ενσωματωμένο στον λαμπτήρα κι έτσι μπορούν και τοποθετούνται στις ίδιες θέσεις που τοποθετούνται και οι κοινοί λαμπτήρες πυρακτώσεως. Σε αντίθεση με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως, οι λαμπτήρες αυτοί μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στα φυτά χωρίς κίνδυνο υπερθερμάνσεως.

Γενικά όλοι οι λαμπτήρες φθορισμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών, αποδοτικότεροι όμως είναι οι λαμπτήρες υψηλής πίεσης Νατρίου και οι λαμπτήρες φθορισμού με ηλεκτρονική ρύθμιση. Οι τελευταίοι επειδή κυκλοφορούν στην αγορά σε σχετικά μικρή ισχύ χρησιμοποιούνται συνήθως όταν υπάρχει ήδη κάποια εγκατάσταση για κοινούς λαμπτήρες.

Όταν οι κοινοί λαμπτήρες φθορισμού χρησιμοποιούνται σε κλειστούς χώρους χωρίς φυσικό φωτισμό (θάλαμοι αναπτύξεως φυτών), είναι απαραίτητο να συμπληρωθεί το φάσμα στην περιοχή κοντά στο κόκκινο με την προσθήκη λαμπτήρων πυρακτώσεως, που καλύπτουν το 10% της απαιτούμενης φωτεινής ενέργειας.

Όλοι οι λαμπτήρες που δεν φέρουν εσωτερικό ανακλαστήρα θα πρέπει να συνοδεύονται από εξωτερικούς ανακλαστήρες, ώστε όλο το φως να κατευθύνεται προς τα φυτά.



**Διάγραμμα 6.** Κατανομή της ενέργειας του λαμπτήρα υψηλής πίεσης Νατρίου



**Σχήμα 63.** Στην οροφή διακρίνεται ο εξοπλισμός τεχνητού φωτισμού, για αύξηση της παραγωγής της φωτοσύνθεσης.

Στο σχεδιασμό της εγκατάστασης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι η απόδοση των λαμπτήρων υποβαθμίζεται με την πάροδο του χρόνου. Ενώ οι λαμπτήρες μπορεί να διαρκούν 28 000 ώρες, παρουσιάζεται πτώση της απόδοσης από τις 8000 ώρες.

Η χρησιμοποίηση τεχνητού φωτισμού κοστίζει πολύ. Κοστίζει η αρχική εγκατάσταση αλλά και η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους. Ελάχιστα θερμοκήπια χρησιμοποιούν σήμερα στην Ελλάδα τεχνητό φωτισμό με σκοπό την αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, και αφορά κυρίως καλλωπιστικά φυτά. Σχετικά με τα πρακτικά αποτελέσματα της χρήσης του τεχνητού φωτισμού, γνωρίζουμε από την διεθνή εμπειρία ότι:

α) Σε νεαρά φυτά μαρουλιού, φωτισμός επί επτάωρο, το χειμώνα, ώστε να συμπληρωθεί 16ωρο συνολικού φωτισμού, έχει θετικό οικονομικό αποτέλεσμα, διότι αυξάνει το βάρος παραγωγής και



μειώνει την καλλιεργητική περίοδο, εξοικονομώντας καύσιμο,

β) σε φυτά φυτωρίου (τομάτα, αγγούρι και άλλα κηπευτικά), 9 ώρες τεχνητού φωτισμού, ώστε να συμπληρωθεί 16ωρο, χρησιμοποιείται πολύ το χειμώνα, στη Β. Ευρώπη, και έχει θετικό οικονομικό αποτέλεσμα, γιατί με αυτό τον τρόπο αναπτύσσονται ταχύτερα τα νεαρά φυτάρια και καθίστανται ευρωστότερα, ώστε και η ανάπτυξη τους μετά τη μεταφύτευση στην οριστική τους θέση να είναι ταχύτερη και η παραγωγή πρωϊμότερη.

γ) θετικό οικονομικό αποτέλεσμα συμβαίνει και στην τριανταφυλλιά και σε μερικά άλλα καλλωπιστικά φυτά, που απολαμβάνουν υψηλές τιμές κατά τη διάρκεια του χειμώνα, γιατί η ποιότητα των λουλουδιών βελτιώνεται πάρα πολύ, η ποσότητα αυξάνει σημαντικά και ο χρόνος ανάπτυξης του άνθους είναι πολύ ταχύτερος.

Ο τεχνητός φωτισμός για την αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας μπορεί να είναι συνεχής, αλλά και κυκλικός, με μετακινούμενες σειρές λαμπτήρων που η κάθε σειρά περιλαμβάνει 4, 6, 8 ή 10 λαμπτήρες. Η κάθε σειρά λαμπτήρων κρέμεται και μετακινείται στους σωλήνες θέρμανσης της οροφής. Η ταχύτητα μετακίνησης είναι συνήθως 1 m ανά λεπτό. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μικρότερο κόστος εγκατάστασης, περίπου το 40% αυτής με συνεχή φωτισμό.

Ο χρόνος της λειτουργίας του φωτισμού θεωρείται ότι είναι αποτελεσματικότερος όταν γίνεται από τα μεσάνυχτα και μετά, παρά όταν γίνεται από τις βραδινές ώρες μέχρι τα μεσάνυχτα, διότι η τάση του δικτύου είναι πιο σταθεροποιημένη και η απόδοση σε φως των λαμπτήρων είναι καλύτερη (1% μείωση της τάσης συνεπάγεται 3% μείωση της απόδοσης σε φως).

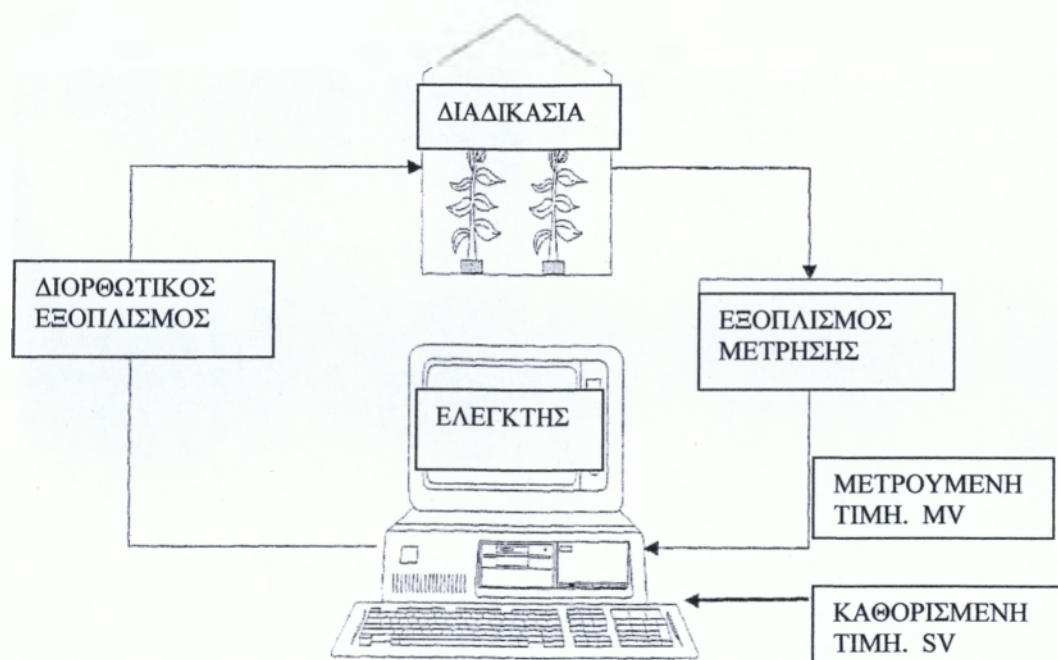
Σε πολλές θερμοκηπιακές μονάδες της Β. Ευρώπης για τη μείωση των δαπανών φωτισμού και την εξοικονόμηση ενέργειας χρησιμοποιούνται γεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο χώρο του θερμοκηπίου αξιοποιώντας ταυτόχρονα τη θερμική ενέργεια από την ψύξη της μηχανής για θέρμανση του θερμοκηπίου. Με την ολοκληρωμένη αυτή αντιμετώπιση του φωτισμού και της θέρμανσης επιτυγχάνεται ένας πολύ μεγάλος βαθμός αξιοποίησης της ενέργειας των συμβατικών καυσίμων. Ένας άλλος τρόπος μείωσης των δαπανών φωτισμού στο χώρο του θερμοκηπίου επιτυγχάνεται με τη σύναψη ειδικών συμβάσεων μεταξύ θερμοκηπιακής επιχείρησης και εταιριών παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου συμφωνείται η χρησιμοποίηση ηλεκτρικής ενέργειας δικτύου από το θερμοκήπιο τις ώρες της νύχτας που στο δίκτυο, ενώ υπάρχει φορτίο, η ζήτηση από τους καταναλωτές είναι ελάχιστη. Σε αυτή την περίπτωση η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας που συμφωνείται είναι υποπολλαπλάσια της κανονικής.

## Ε.ΑΥΤΟΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

### 5.1 ΚΥΚΛΩΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

Ένας υπολογιστής μπορεί να ελέγχει τη διαδικασία «περιβάλλον θερμοκηπίου», η οποία με τη σειρά της αποτελείται από πέντε υποδιαδικασίες: θερμοκρασία, διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), σχετική υγρασία (RH), φως και κίνηση αέρα. Για τον έλεγχο, ο υπολογιστής πρέπει να ελέγχει διαφορετικά τμήματα εξοπλισμού όπως εξαεριστήρες, το σύστημα θέρμανσης, οθόνες κλπ. (σχήμα 64).

ΣΧΗΜΑ 64



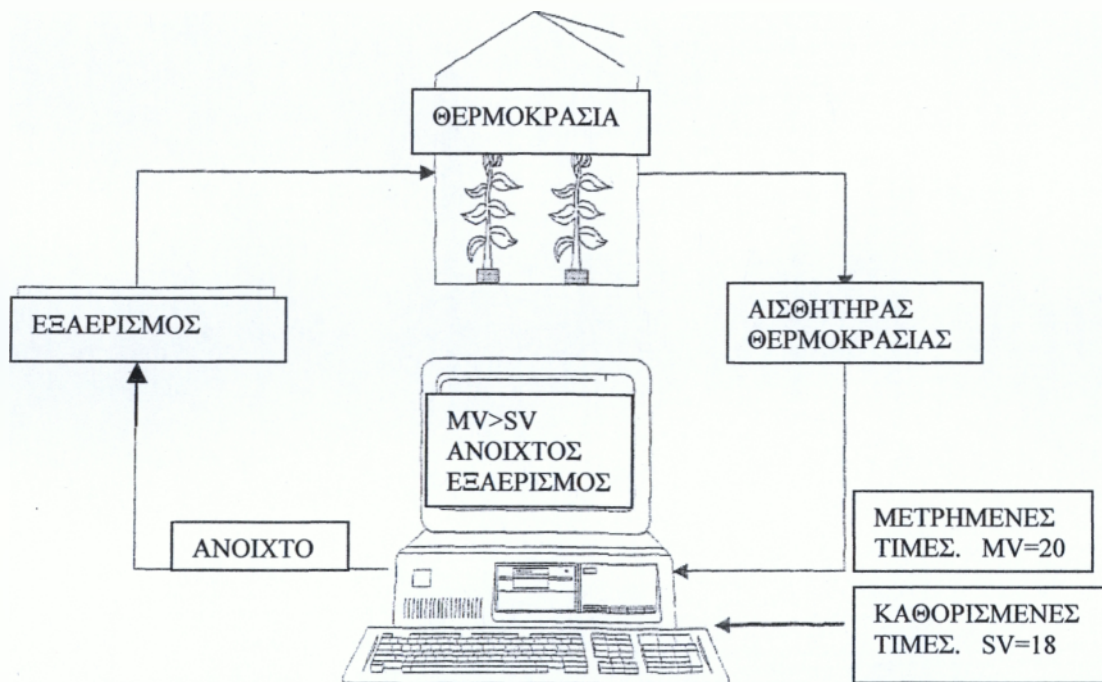
Ο έλεγχος της θερμοκρασίας μέσω εξαερισμού για παράδειγμα.

Μια ΚΑΘΟΡΙΣΜΕΝΗ ΤΙΜΗ εισάγεται στον υπολογιστή (=ΕΛΕΓΚΤΗ): Θερμοκρασία εξαερισμού. Όταν η μετρημένη θερμοκρασία του θερμοκηπίου υπερβαίνει τη θερμοκρασία του εξαερισμού, ο υπολογιστής ανοίγει τους εξαεριστήρες. Το κύκλωμα ελέγχου αποτελείται από τέσσερα μέρη:

- διαδικασία (μέτρηση θερμοκρασίας)
- εξοπλισμός μετρήσεως (αισθητήρας θερμοκρασίας)
- ελεγκτής (υπολογιστής περιβαλλοντικού ελέγχου)
- διορθωτικός εξοπλισμός (εξαεριστήρες)

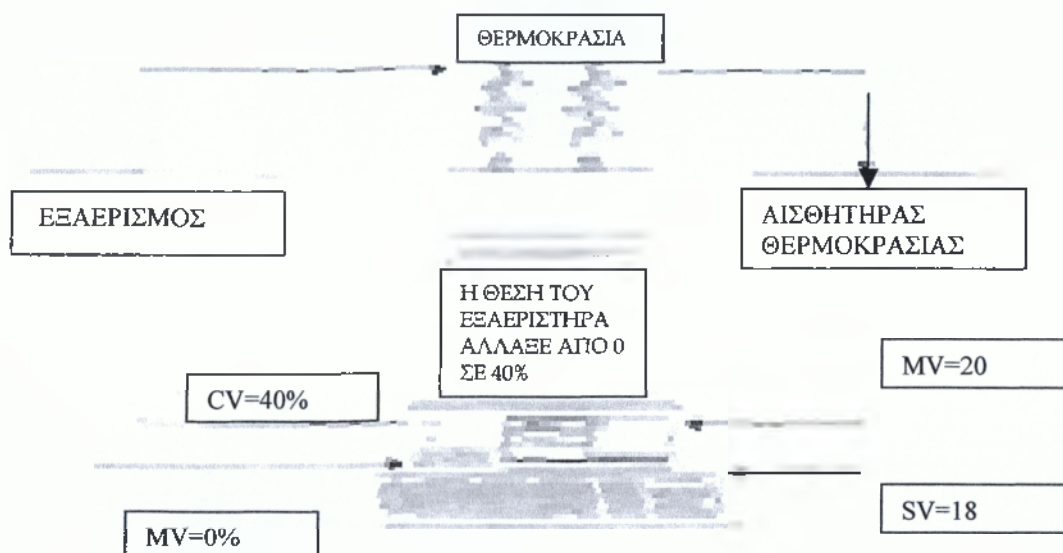
Ο υπολογιστής ελέγχει τη διαδικασία «θερμοκρασία». Ο υπολογιστής περιβαλλοντικού ελέγχου λαμβάνει τη μετρημένη τιμή (MV) από τον αισθητήρα θερμοκρασίας. Μια τιμή έχει ορισθεί στον υπολογιστή για τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Η καθορισμένη τιμή είναι συντημημένη ως SV. Ο υπολογιστής συγκρίνει την μετρημένη με την καθορισμένη τιμή κάθε 60 δευτερόλεπτα. Εάν η μετρημένη τιμή διαφέρει από την καθορισμένη, το άνοιγμα του εξαεριστήρα (διορθωτικός εξοπλισμός) προσαρμόζεται για να διορθώσει τη θερμοκρασία.

**ΣΧΗΜΑ 65**



Η καθορισμένη τιμή είναι 18 °C, η μετρημένη τιμή είναι 20 °C. Η μετρημένη πρέπει να φτάσει στους 18 °C και για να το επιτύχει αυτό οι εξαεριστήρες ανοίγουν. Το κύκλωμα ελέγχου στο σχήμα 66 είναι το κύριο κύκλωμα ελέγχου για να ελέγχει τη διαδικασία «θερμοκρασία» με εξαερισμό.

ΣΧΗΜΑ 66



Ο υπολογιστής υπολογίζει, ανάλογα με τις συνθήκες, τη σωστή θέση του εξαεριστήρα (υπολογισμένη τιμή της θέσης του εξαεριστήρα = CV) για να απομακρύνει τη διαφορά ανάμεσα στη μετρημένη τιμή και την καθορισμένη τιμή για τη θερμοκρασία θερμοκηπίου.

Ένα δευτερεύον κύκλωμα ελέγχου χρειάζεται για να τοποθετηθούν οι εξαεριστήρες σωστά. Στο παράδειγμα, οι εξαεριστήρες πρέπει να ανοιχτούν 40%. Για να τοποθετηθούν οι εξαεριστήρες στη σωστή θέση εξαερισμού ο υπολογιστής μετράει την πραγματική θέση εξαερισμού (=MV μετρημένη τιμή εξαεριστήρα). Στο παράδειγμα, η υπολογισμένη τιμή εξαεριστήρα (CV) είναι υψηλότερη από τη μετρημένη τιμή εξαεριστήρα (MV), επομένως οι εξαεριστήρες ανοίγουν (σχήμα 66).

#### Αναταράξεις, έλεγχος και ενεργοποίηση

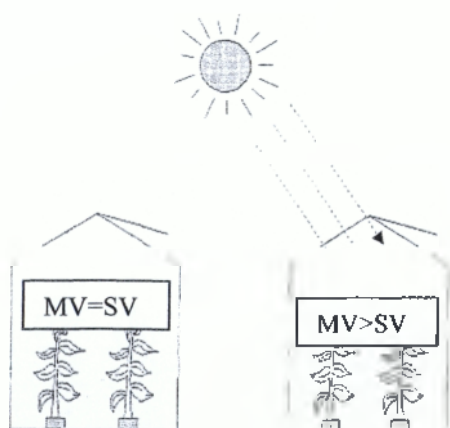
Το εξωτερικό περιβάλλον έχει μεγάλη επίδραση στο περιβάλλον του θερμοκηπίου. Η διαδικασία «θερμοκρασία» επηρεάζεται συνεχώς από διάφορες εξωτερικές συνθήκες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα διαφορές ανάμεσα στη μετρημένη τιμή και την καθορισμένη τιμή που χρειάζονται διόρθωση. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία ονομάζονται ΑΝΑΤΑΡΑΞΕΙΣ. Παραδείγματα αναταράξεων είναι: ηλιακή ακτινοβολία που ποικίλλει, εξωτερική θερμοκρασία, ταχύτητα του ανέμου και βροχή. Ο υπολογιστής μπορεί να αντιδράσει στις αναταράξεις με δύο τρόπους:

1. Με έλεγχο
2. Με ενεργοποίηση

### 1. Έλεγχος

Ο υπολογιστής ελέγχου περιβάλλοντος αντιδρά έμμεσα στις αναταράξεις. Μόνο αφού έχει προκαλέσει μια ανατάραξη αλλαγή στη θερμοκρασία, θα αναλάβει δράση ο υπολογιστής.

**ΣΧΗΜΑ 67**



### Παράδειγμα

Η ταχύτητα του ανέμου ξαφνικά αυξάνεται, δημιουργώντας πτώση στη θερμοκρασία του θερμοκηπίου. Αφού αντιληφθεί αυτήν την πτώση, ο υπολογιστής υπολογίζει ένα μειωμένο άνοιγμα των εξαεριστήρων: οι εξαεριστήρες κλείνουν ως αποτέλεσμα της μειωμένης θερμοκρασίας θερμοκηπίου. Η βασική αιτία (ανατάραξη) είναι αυξημένη ταχύτητα ανέμου.

### 2. Ενεργοποίηση

Ο υπολογιστής αντιδρά ΑΜΕΣΑ στις αναταράξεις.

### Παράδειγμα

Η ταχύτητα του ανέμου ξαφνικά αυξάνεται. Υπάρχει μια μόνιμη σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία θερμοκηπίου και την ταχύτητα του ανέμου. Αφού αντιληφθεί μια αλλαγμένη ταχύτητα ανέμου ο υπολογιστής υπολογίζει ένα μειωμένο άνοιγμα εξαερισμού αμέσως: οι εξαεριστήρες κλείνουν ως αποτέλεσμα της αυξημένης ταχύτητας ανέμου.

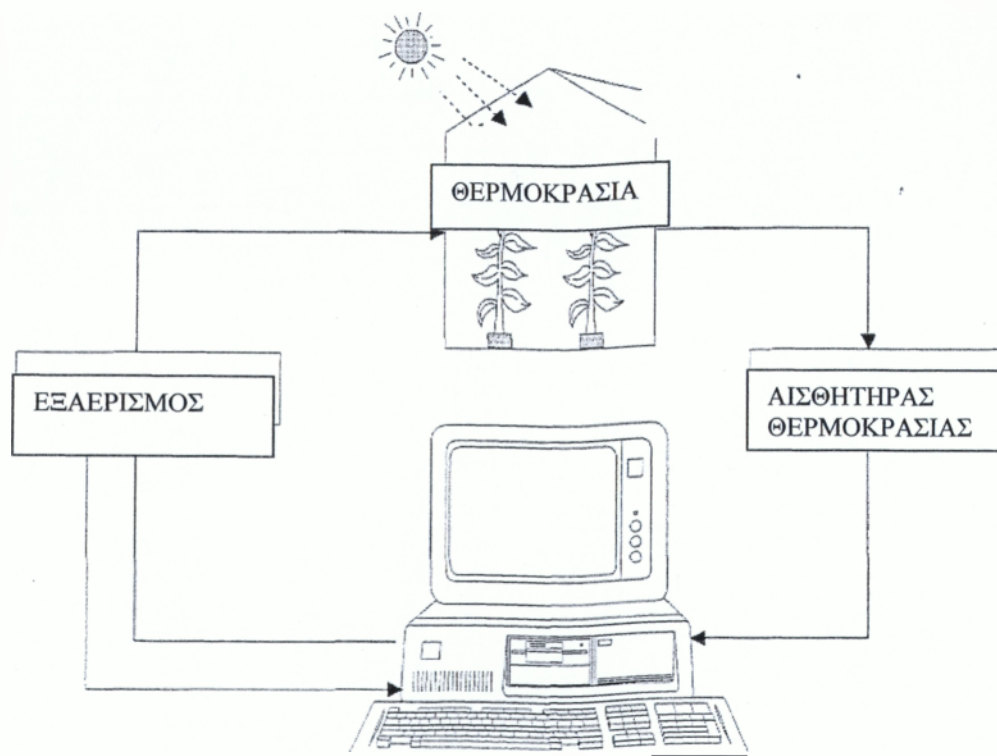
Γενικά μιλώντας η «ενεργοποίηση» είναι ανάληψη δράσης προκαταβολικά ως αποτέλεσμα συνθηκών που αλλάζουν. Παραδείγματα ενεργοποίησης είναι:

- Η ταχύτητα του ανέμου επηρεάζει τη θέση του εξαεριστήρα
- Η ένταση του φωτός ανοίγει και κλείνει την οθόνη.

Ο «έλεγχος» λαμβάνει χώρα όταν δράσεις ελέγχου εκτελούνται ως αποτέλεσμα αλλαγών του περιβάλλοντος θερμοκηπίου. Παραδείγματα ελέγχου είναι:

- Η θερμοκρασία των σωλήνων αυξάνεται για να διορθώσει μια χαμηλή θερμοκρασία θερμοκηπίου.
- Εάν η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) είναι πολύ χαμηλή, τότε ανοίγει η εγκατάσταση εμπλουτισμού του διοξειδίου του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ). Όταν δράσεις ελέγχου λαμβάνουν χώρα σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, αυτό επίσης ονομάζεται ενεργοποίηση. Παραδείγματα ενεργοποίησης σε συγκεκριμένες στιγμές:
  - μία ώρα μετά την ανατολή ανοίγει η θερμική οθόνη
  - Στις 14:00 αυξάνεται η θερμοκρασία των σωλήνων για να δώσει ώθηση/ενίσχυση στη θερμότητα.

**ΣΧΗΜΑ 68**



## 5.2 ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΛΙΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕΣΩ Η/Υ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SYNOPTA

Το πρόγραμμα SYNOPTA είναι ένα πρόγραμμα ελέγχου και διαχείρισης των παραμέτρων της θερμοκηπιακής μονάδας μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.

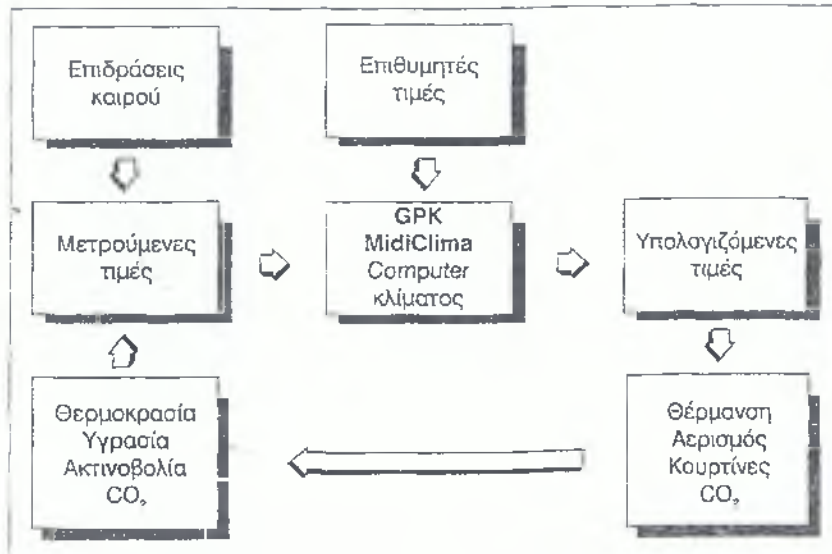
Ειδικότερα είναι ένα πρόγραμμα επικοινωνίας του χρήστη-παραγωγού με τον υπολογιστή κλίματος ή λίπανσης που χρησιμοποιεί. Το SYNOPTA μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο στην περίπτωση που είναι συνδεδεμένο με υπολογιστή κλίματος GPK ή υπολογιστή λίπανσης GPS της ολλανδικής εταιρείας Vanvliet.

Το πρόγραμμα καταγράφει, ελέγχει και ρυθμίζει όλους τους μηχανισμούς (εξοπλισμούς), που βρίσκονται εγκατεστημένοι σε ένα θερμοκήπιο.

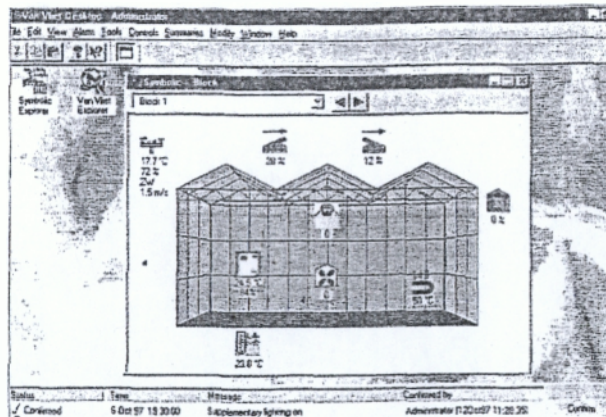
Το πρόγραμμα SYNOPTA είναι βασισμένο στα Windows 95, αυτό κάνει τη χρήση του γρήγορη, εύκολη και ευχάριστη. Η δυνατότητα του να λειτουργεί μόνο με την είσοδο κωδικού από τον χρήστη εξασφαλίζει την ασφάλεια του προγράμματος και επομένως όλης της καλλιέργειας.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση του SYNOPTA συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Ευκολότερη παρακολούθηση και απεικόνιση των κλιματολογικών συνθηκών μέσα και έξω από το θερμοκήπιο.
- Απεικόνιση της λειτουργίας των διαφόρων συστημάτων (π.χ. παράθυρα, κουρτίνες, θέρμανση κ.λπ.).
- Δυνατότητα να δει ο χρήστης τι συμβαίνει στο θερμοκήπιο και για ποιο λόγο συμβαίνει (σε περίπτωση προβλήματος).
- Ευκολότερος χειρισμός και αλλαγή δεδομένων.
- Συλλογή κλιματικών δεδομένων.
- Επεξεργασία κλιματικών δεδομένων και παρουσίαση τους με διάφορους τρόπους (τρέχουσες τιμές, μέσοι όροι περιόδων, γραφικές παραστάσεις, ιστογράμματα κ.λπ.).
- Έλεγχος και επέμβαση στις συνθήκες του θερμοκηπίου από μακριά μέσω modem.
- Εξοικονόμηση χρόνου για τον παραγωγό γιατί μπορεί να ελέγχει το θερμοκήπιο του γρήγορα, εύκολα, αξιόπιστα και από μακριά.



Σχήμα 69. Σχηματική παράσταση του συστήματος ελέγχου κλίματος θερμοκηπίου.



Σχήμα 70. Με ένα απλό κλικ στο εικονίδιο που θα επιλέξουμε εμφανίζεται ένας πίνακας, ο οποίος δείχνει τις επιθυμητές τιμές που εμείς έχουμε ορίσει. Επιπλέον δίνεται η δυνατότητα να δούμε ποιές τιμές επικρατούν τη δεδομένη στιγμή στο θερμοκήπιο.

Setting	Read-out	Advanced		
		Block 1	Block 2	Block 3
Ventilation setpoint period 1 (°C)		19.0	20.3	19.5
Ventilation setpoint period 2 (°C)		21.4	22.5	21.0
Ventilation setpoint period 3 (°C)		20.0	21.5	20.5
Ventilation setpoint period 4 (°C)		16.0	19.0	18.0
Minimum vent position period 1 (°C)		30.0	30.0	30.0
Minimum vent position period 2 (°C)		20.0	20.0	20.0
Minimum vent position period 3 (°C)		20.0	20.0	20.0
Minimum vent position period 4 (°C)		20.0	20.0	20.0

Σχήμα 71. Για παράδειγμα αν επιλέξουμε τα παράθυρα της υπήνεμης πλευράς μπορούμε να δούμε στον πίνακα τις τιμές που έχουμε επιλέξει ως ιδανικές για την καλλιέργεια (setting) αλλά και τις τιμές που έχουν καταγραφεί και επικρατούν στο θερμοκήπιο (read out).



Παρακάτω δίνονται μερικά παραδείγματα απλού ελέγχου, καταληπτά και στον πιο απλό χρήστη, χωρίς να χρειάζονται επεξηγήσεις.

### 5.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ

#### Λειτουργία της θέρμανση με στόχο έναν ελάχιστο μέσο όρο θερμοκρασίας

Η τυπική μέθοδος καθορισμού της επιθυμητής θερμοκρασίας σε ένα θερμοκήπιο συνίσταται στον καθορισμό δύο τιμών: μία τιμή αποτελεί το χαμηλό όριο της θερμοκρασίας στο οποίο ενεργοποιείται η θέρμανση κατά τη διάρκεια της νύχτας και μία δεύτερη τιμή αποτελεί την αντίστοιχη τιμή για την διάρκεια της ημέρας. Βέβαια για μια παγερή ημέρα θα έπρεπε να ισχύει κάτι ενδιάμεσο. Σύγχρονα συστήματα (MACQU) έχουν την δυνατότητα να συναρτούν τη θερμοκρασία θέρμανσης με την ηλιακή ακτινοβολία. Ο τρόπος αυτός οδηγεί στη χρήση «μερικών» ή «επιμέρους» προτύπων των βιολογικών διεργασιών, των οποίων η χρήση είναι και πιο αξιόπιστη από αυτές των ολικών προτύπων (π.χ. TOMGROW – ολικό πρότυπο τομάτας).

Από διάφορα ερευνητικά αποτελέσματα έχει αποδειχθεί ότι, για την πλειοψηφία των φυτών, η ανάπτυξη της καλλιέργειας ανταποκρίνεται στην μέση θερμοκρασία μακρών περιόδων παρά σε συγκεκριμένες στιγμιαίες τιμές. Δηλαδή, είναι προτιμότερο για μια χρονική περίοδο να παρουσιάζεται διακύμανση των θερμοκρασιών αρκεί να εξασφαλίζουμε ότι η μέση θερμοκρασία της περιόδου θα κυμαίνεται στα επιθυμητά επίπεδα, παρά να επιδιώκουμε να κρατήσουμε σταθερή την θερμοκρασία κατά την διάρκεια της ημέρας και της νύχτας στα επίπεδα που καθορίζονται από την άριστη θερμοκρασία ημέρας και νύχτας αντίστοιχα, όπως γνωρίζαμε μέχρι σήμερα. Έτσι γεννήθηκε ο νέος όρος ότι τα φυτά λειτουργούν ως «ολοκληρωτές» θερμοκρασίας. Όπως την αφύπνιση από τον χειμερινό λήθαργο την μετράμε σε «ψυχρώρες» έτσι και την επιθυμητή θερμοκρασία την μετράμε σε «θεμώρες» ορισμένης περιόδου.

Η περίοδος αυτή, δηλαδή η "αποθηκευτική θερμοκρασιακή ικανότητα" των φυτών, ποικίλει από 10 ημέρες για τα γογγύλια έως και 1 ημέρα για τα νεαρά φυτά αγγουριάς. Βασιζόμενοι σε αυτά τα αποτελέσματα έχουμε τη δυνατότητα να αναπροσαρμόζουμε την εκάστοτε επιθυμητή τιμή της θερμοκρασίας ώστε να πετύχουμε έναν επιθυμητό μέσο όρο, για μία συγκεκριμένη περίοδο, και έτσι να έχουμε και ταυτόχρονη εξοικονόμηση ενέργειας. Η εξοικονόμηση ενέργειας επιτυγχάνεται

αυξάνοντας την επιθυμητή τιμή όταν οι συνθήκες είναι ευνοϊκές και μειώνοντάς την αντίστοιχα όταν έχουμε συνθήκες που ευνοούν τις μεγάλες απώλειες θερμότητας από το θερμοκήπιο. Με τον τρόπο αυτό έχουμε στην ουσία μεταφορά βαθμοωρών θερμοκρασίας από μία ζεστή σχετικά χειμωνιάτικη ημέρα στην επόμενη ημέρα. Έτσι, εκμεταλλευόμαστε ουσιαστικά τις ζεστότερες ημέρες με σκοπό να μην καταναλώσουμε πολλή ενέργεια για θέρμανση κατά την διάρκεια των ψυχρότερων ημερών. Η νέα αυτή τάση ενισχύει τη φιλοσοφία των ψυχρών θερμοκηπίων, π.χ. της Βορείου Αμερικής, ενώ στις δικές μας συνθήκες ενισχύεται η φιλοσοφία του «χαλαρού ελέγχου» θερμοκρασίας. Ο όρος αυτός είναι ολίγον ανώτερος από τον απλό έλεγχο ψυχρού στρες.

Μία απλή και σίγουρη μέθοδος με την οποία μπορούμε να επιτύχουμε την ελάχιστη μέση επιθυμητή θερμοκρασία σε μία θερμοκηπιακή καλλιέργεια, είναι η μέθοδος που βασίζεται στην προσαρμογή της επιθυμητής θερμοκρασίας με χρήση των προηγούμενων τιμών της θερμοκρασίας. Το σύστημα δηλαδή, διαθέτει ένα είδος μνήμης το οποίο το βοηθά να «καταλάβει» να θερμάνει περισσότερο μία μέρα που ακολουθεί ψυχρή μέρα, ή να θερμάνει λιγότερο αν προηγήθηκε θερμή μέρα, έτσι ώστε ο μέσος όρος της θερμοκρασίας να διατηρηθεί στα επιθυμητά επίπεδα. Η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί την γνώση ή τη χρήση πολύπλοκων μοντέλων υπολογισμού της φωτοσύνθεσης ή της ανάπτυξης των φυτών. Ταυτόχρονα η μέθοδος αυτή μπορεί να συνυπάρχει με περιόδους συγκεκριμένης τιμής ή τροχιάς της θερμοκρασίας, που επιβάλλονται για άλλους λόγους π.χ. εκδίαυση υγρασίας το πρωί με αερισμό και θέρμανση.

Με τον τρόπο αυτό ο παραγωγός έχει τη δυνατότητα να καθορίσει κάποιες συγκεκριμένες πολιτικές θερμοκρασίας για κάποιες περιόδους της ημέρας ενώ ο αλγόριθμος του επιθυμητού μέσου όρου ενεργεί ελεύθερα με στόχο τον επιθυμητό μέσο όρο κατά τη διάρκεια μεγαλύτερης περιόδου.

Παράδειγμα εφαρμογής της μεθόδου με το σύστημα MACQU

Στόχος μας είναι να επιτύχουμε μία ελάχιστη Μέση Θερμοκρασία Ημέρας - DTAvg για μία περίοδο 24 ωρών (μίας ημέρας) από τις 06:00 έως τις 06:00 της επόμενης ημέρας.

Μπορούμε να χωρίσουμε το εικοσιτετράωρο σε τέσσερις (ή περισσότερες) περιόδους.

### **Περίοδος 1:**

Η περίοδος 1 (Σχήμα 1) ξεκινά πριν από την ανατολή του ηλίου, έστω για παράδειγμα ότι διαρκεί από τις 06:00 έως τις 08:00. Η τροχιά της θερμοκρασίας για την περίοδο αυτή θα είναι γραμμή από οποιαδήποτε θερμοκρασία είχε το θερμοκήπιο στις 06:00 μέχρι την τιμή των 20°C στις 08:00. Δηλαδή, αν το θερμοκήπιο στις 06:00 είχε 16 °C, η θερμοκρασία του θα ανέβει σταδιακά στους 20°C ως τις 08:00 και μάλιστα στις 07:00 θα είναι στους 18°C.

Τα αριθμητικά αυτά αποτελέσματα είναι εύκολο να επιτευχθούν σε συστήματα με επανακυκλοφορία (τρίοδη ή τετράοδη βάνα θέρμανσης). Στην περίπτωση του απλού καυστήρα (ON/OFF) το ίδιο θα επιτευχθεί με λίγο «παζάρεμα» αριθμητικού αποτελέσματος και σεβασμού των αρχών λειτουργίας του καυστήρα.

#### **Περίοδος 2 :**

Η δεύτερη περίοδος είναι η περίοδος της ηλιοφάνειας και έστω για το παράδειγμά μας ότι ξεκινά στις 08:00 και διαρκεί μέχρι τις 18:00. Για την περίοδο αυτή η τροχιά της θερμοκρασίας εξαρτάται από την ηλιοφάνεια και ισούται με το αποτέλεσμα της εξίσωσης

$$SoR\_HSP = Td + 0.01 * So.$$

Όπου Td είναι η επιθυμητή τιμή για την ημέρα και So η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Υπόψη ότι η SoR\_HSP διέρχεται από ορισμένα φίλτρα για την αποφυγή συχνών μεταβολών στη θέρμανση όταν η ημέρα έχει εναλλαγές νέφους-ηλίου.

Η εξίσωση αυτή είναι μόνο ένα απλό παράδειγμα από μια μεγάλη ποικιλία πολιτικών για τον καθορισμό της τροχιάς της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της ημέρας.

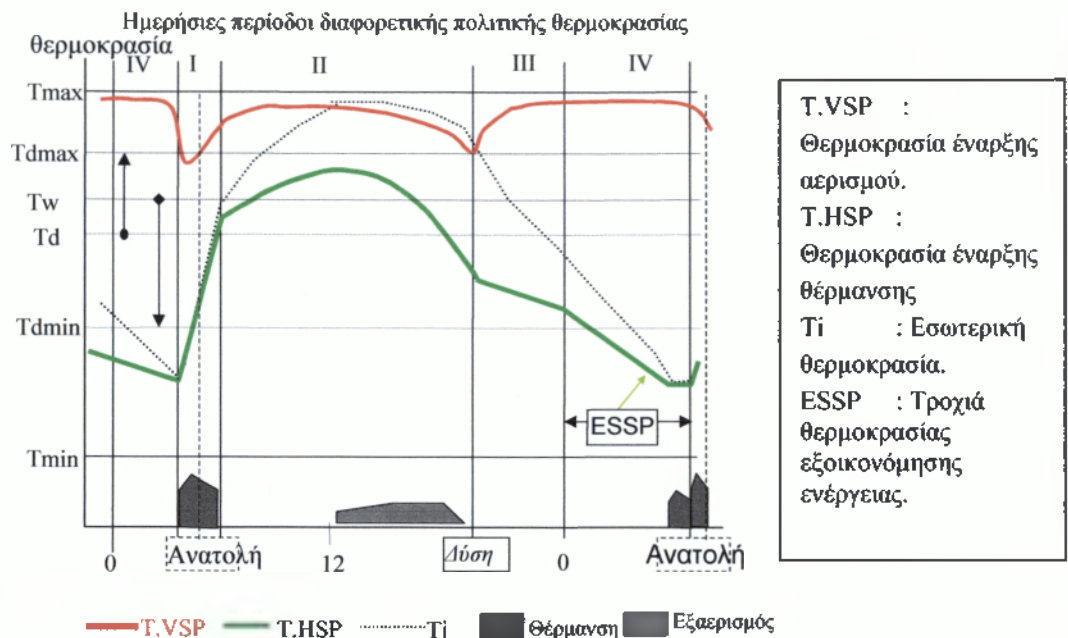
#### **Περίοδος 3 :**

Η τρίτη περίοδος ακολουθεί τη δύση του ηλίου και στο παράδειγμά μας ξεκινά στις 18:00 και καταλήγει μερικές ώρες αργότερα, π.χ. τα μεσάνυχτα στις 24:00. Σε αυτή την περίοδο η τροχιά της θερμοκρασίας είναι γραμμική από τη θερμοκρασία που είχε το θερμοκήπιο στις 18:00 με την τιμή Tn. Η τιμή Tn μπορεί να είναι μία σταθερή τιμή π.χ. 17°C ή να έχει υπολογιστεί βάση του ολοκληρώματος της ημερήσιας ηλιοφάνειας. Η περίοδος αυτή εξασφαλίζει την μεταφορά των προϊόντων της φωτοσύνθεσης σε άλλα όργανα. Υπόψη ότι κανονικά ανάλογα με τις συνθήκες της ημέρας προσαρμόζεται και η χρονική διάρκεια και η Tn.

#### **Περίοδος 4 :**

Η τέταρτη περίοδος ξεκινά τα μεσάνυχτα στις 24:00 και καταλήγει στις 06:00 το πρωί. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου η τροχιά της επιθυμητής θερμοκρασίας (ESSP Energy Saving Set Point) είναι τέτοια ώστε η μέση θερμοκρασία του εικοσιτετραώρου μέχρι τις 06:00 να είναι τουλάχιστον ίση με DTavg. Λέμε τουλάχιστον ίση διότι η θερμοκρασία δεν επιτρέπεται να κατέλθει κάτω από ένα όριο ασφαλείας Tmin ή να ξεπεράσει ένα όριο ασφαλείας Tmax.

Το θερμοκρασιακό προφίλ του παραπάνω παραδείγματος φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 72):



**Σχήμα 72:** Παράδειγμα λειτουργίας της θέρμανσης με έλεγχο μέσης θερμοκρασίας.

Παρακάτω φαίνεται η εφαρμογή του παραδείγματος μέσω του διαλόγου καθορισμού ημερήσιου προγράμματος επιθυμητών τιμών του συστήματος αυτοματισμού MACQU.

**Ράμπες** [X]

Όνομα:

Μονάδες:

Ελάχιστη Τιμή:

Μέγιστη Τιμή:

OK Cancel Βοήθεια

Ωρα (hh:mm)	Επιλογή Μεταβλητής για έξοδο
1 06:00	ANY
2 08:00	20.0
3 08:01	Sor_HSP
4 18:00	Sor_HSP
5 18:01	ANY
6 00:00	Tn
7 00:01	ESSP
8 05:59	ESSP
9 00:00	None
10 00:00	None

Διάλογος για τη ρύθμιση της τροχιάς της θερμοκρασίας για ένα 24ωρο.

## Παράδειγμα δημιουργίας προγράμματος ελέγχου της θερμοκρασίας

Επιθυμητά στοιχεία:

Τις ώρες 00:00 έως 08:00 η θερμοκρασία θέλουμε να κυμαίνεται από 16 °C η χαμηλή έως 25 η υψηλή. Τις ώρες 08:01 έως 18:00 η θερμοκρασία θέλουμε να κυμαίνεται από 20 °C η χαμηλή έως 30 °C η υψηλή. Τις ώρες 18:01 έως 23:59 η θερμοκρασία θέλουμε να κυμαίνεται από 18 °C η χαμηλή έως 27 °C η υψηλή.

Στον διάλογο της Θέρμανσης και εξαερισμού εισάγουμε τις ανάλογες ώρες και δίπλα τα αντίστοιχα όρια θερμοκρασιών όπου ενεργοποιείται ή όχι ο κάθε μηχανισμός.

	Ωρα (hh:mm)	Θέρμανση	Αερισμός
1	00:00	16	25
2	08:00	16	25
3	08:01	20	30
4	18:00	20	30
5	18:01	18	27
6	23:59	18	27
7	00:00	0.000000	0.000000
8	00:00	0.000000	0.000000
9	00:00	0.000000	0.000000
10	00:00	0.000000	0.000000

Ενεργοποίηση Θέρμανσης  Ενεργοποίηση Αερισμού

OK Άκυρο Εφαρμογή

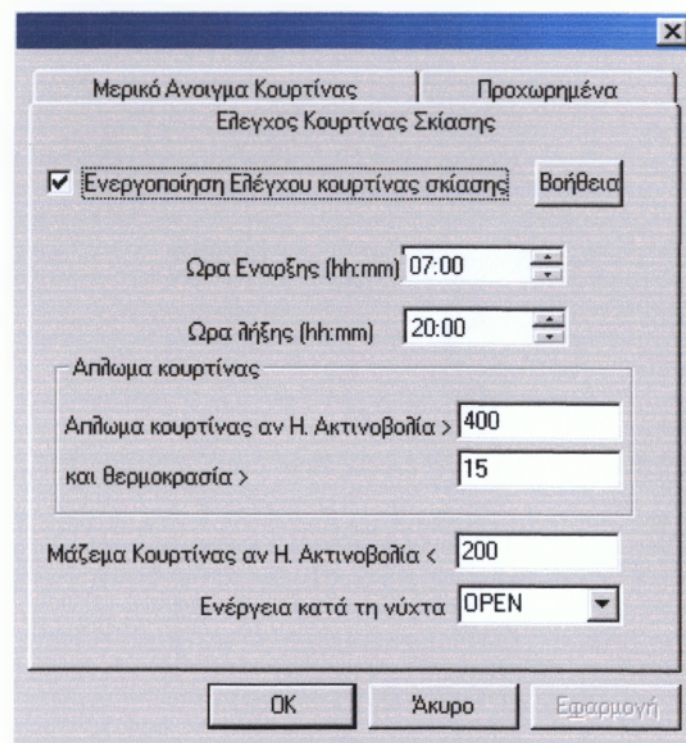
## Παράδειγμα δημιουργίας προγράμματος ελέγχου της κουρτίνας σκίασης

Επιθυμητά στοιχεία:

Μεταξύ 07:00 και 20:00 η κουρτίνα θέλουμε να σκιάζει όταν η ηλιοφάνεια ξεπερνά τα 400 W/m<sup>2</sup> και η εξωτερική θερμοκρασία είναι πάνω από 15°C. Η κουρτίνα θέλουμε να μαζεύει όταν η ηλιοφάνεια πέσει κάτω από 200 W/m<sup>2</sup>. Κατά την διάρκεια της νύχτας (20:01 έως 06:59) η κουρτίνα θέλουμε να είναι απλωμένη για να χρησιμοποιείται ως θερμοκουρτίνα.

Στον διάλογο ελέγχου της κουρτίνας:

1. Ενεργοποιούμε την λειτουργία της κουρτίνας
2. Εισάγουμε τις ώρες έναρξης και λήξης του προγράμματος
3. Εισάγουμε τα επιθυμητά όρια λειτουργίας.
4. Στο πεδίο «Ενέργεια κατά την νύχτα» επιλέγουμε την επιθυμητή λειτουργία κατά την νύχτα (OPEN) -> δηλ θερμοσκίαση).



## **ΣΤ. ΟΙ ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΕΚΣΥΓΧΡΟΝΙΣΜΟ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Η εγκατάσταση μιας υπερσύγχρονης, αλλά και συνάμα κερδοφόρας θερμοκηπιακής μονάδας, αρχικά, απαιτεί δαπάνη μεγάλων χρηματικών ποσών, καθώς και συνεχή ενημέρωση του παραγωγού. Απαραίτητη προϋπόθεση για το ξεκίνημα αυτής της δραστηριότητας είναι η εκπόνηση μιας αναλυτικής τεχνοοικονομικής μελέτης. Η μελέτη αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει:

- το κόστος ενυκίου ή αγοράς του χωραφιού,
- το κόστος σκελετού και κατασκευής του θερμοκηπίου,
- την αγορά και την εγκατάσταση όλων των απαραίτητων, για τη σωστή λειτουργία του θερμοκηπίου, εξοπλισμών,
- το κόστος της παραγωγής (σπόροι, λιπάσματα, φάρμακα, εργατικά κ.λπ.) την ποσότητα του παραγόμενου προϊόντος,
- την τιμή διάθεσης των προϊόντων στην αγορά (πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε δραστηριότητα θα πρέπει επίσης να έχει βρεθεί ο τόπος και ο τρόπος διάθεσης των προϊόντων),
- το επιχειρηματικό κέρδος.

Εάν όλοι οι παραπάνω παράγοντες μελετηθούν με προσοχή από την αρχή και τα αποτελέσματα της μελέτης κριθούν ικανοποιητικά, τότε η καλλιέργεια έχει μεγάλες πιθανότητες να εξελιχθεί σε κερδοφόρα επιχείρηση αποφέροντας μεγάλα οικονομικά οφέλη στον επιχειρηματία-παραγωγό.

Ένα προϊόν για να έχει άριστη ποιότητα και να είναι ανταγωνιστικό θα πρέπει να καλλιεργείται κάτω από άριστες συνθήκες. Για την επίτευξη των απαραίτητων αυτών συνθηκών (κλιματικών και μη), αλλά και των εργασιών που σχετίζονται με τη σωστή ανάπτυξη του προϊόντος, είναι απαραίτητος ο πλήρης εκσυγχρονισμός και η αυτοματοποίηση του θερμοκηπίου.

Είναι πολύ σημαντικό για την πορεία της καλλιέργειας, αλλά και το σωστό επιχειρηματικό σχεδιασμό να προσδιοριστούν από την αρχή ποιο είναι οι απαραίτητοι εξοπλισμοί. Ακόμα κι αν δεν εγκατασταθούν από την αρχή θα πρέπει να έχει εξασφαλιστεί η απαραίτητη υποδομή (τρόπος εγκατάστασης σωληνώσεων άρδευσης-θέρμανσης, παροχές ηλεκτρικού ρεύματος κ.λπ.), ώστε να γίνει σωστότερα και ευκολότερα η μελλοντική εγκατάστασή τους.

Τα περισσότερα θερμοκήπια αυτή τη στιγμή, στην Ελλάδα, δεν έχουν προβεί στην πλήρη αυτοματοποίησή τους και οι λόγοι δεν είναι μόνο οικονομικοί. Ο σπουδαιότερος λόγος είναι η έλλειψη ενημέρωσης των παραγωγών, αλλά και των επαγγελματιών που ασχολούνται με το γεωργικό τομέα, σε ότι αφορά την εξέλιξη της τεχνολογίας, αλλά και την εφαρμογή νέων τεχνικών καλλιέργειας. Εκτός αυτού επικρατεί ακόμη μεγάλος σκεπτικισμός από την πλευρά των παραγωγών, οι οποίοι είναι διστακτικοί στο να χρησιμοποιήσουν αυτοματοποιημένα συστήματα στο θερμοκήπιό τους γιατί "φοβούνται" ότι είναι δύσκολα στη ρύθμιση και στη συντήρηση. Επίσης διστάζουν να χρησιμοποιήσουν εξοπλισμούς γιατί δε γνωρίζουν εάν και πότε θα γίνει η απόσβεσή τους.

Στις χώρες της βόρειας Ευρώπης, και ιδιαίτερα στην Ολλανδία, ο εκσυγχρονισμός της γεωργίας

έχει ξεκινήσει εδώ και πολλά χρόνια με ραγδαία εξέλιξη στον τομέα των θερμοκηπίων, κατατάσσοντάς την πρώτη παγκοσμίως στην εξαγωγή γεωργικών εφοδίων, γεωργικών κατασκευών και αυτοματισμών, κηπευτικών και ανθοκομικών φυτών, αλλά κυρίως ανθέων.

Η εξέλιξη αυτή οφείλεται:

- Στην πλήρη αυτοματοποίηση των θερμοκηπίων.
- Στην έρευνα και κατασκευή θερμοκηπίων και εξοπλισμών υψηλής τεχνολογίας.
- Στην αυξημένη τεχνογνωσία παραγωγών και γεωτεχνικών και στην άμεση τεχνική υποστήριξη από τα εξειδικευμένα ινστιτούτα.
- Στο γεγονός ότι καλλιεργούνται πολύ μεγάλες εκτάσεις (το κόστος κατασκευής και εξοπλισμού ανά στρέμμα μικραίνει όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκηπιακή εγκατάσταση, ενώ η ποσότητα του παραγόμενου προϊόντος είναι μεγαλύτερη και επομένως το κέρδος).
- Στο άρτια οργανωμένο σύστημα εμπορίας και διανομής των προϊόντων.
- Στη νομοθεσία του κράτους που στηρίζει σε μεγάλο βαθμό το γεωργικό τομέα.

Στην Ελλάδα για να μπορέσουν οι θερμοκηπιακές μονάδες να εκσυγχρονιστούν και να γίνουν βιώσιμες θα πρέπει αρχικά να υπάρξει μεγάλη βοήθεια από το κράτος, αλλά και ενημέρωση των παραγωγών και όλων των σχετικών φορέων για τα πλεονεκτήματα από τη χρήση εξοπλισμών και αυτοματισμών.

Τα πλεονεκτήματα αυτά συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Καλύτερη οργάνωση των εργασιών και γενικότερα της παραγωγής.
- Εξοικονόμηση χρόνου για άλλες εργασίες.
- Μείωση των εργασιών.
- Μεγαλύτερη ασφάλεια του θερμοκηπίου από καιρικές συνθήκες και τυχόν βλάβες μηχανισμών.
- Πρωίμηση της παραγωγής.
- Μεγαλύτερη ποσότητα παραγωγής.
- Καλύτερη ποιότητα παραγόμενου προϊόντος και επομένως επίτευξη υψηλότερων τιμών.
- Ακρίβεια στο χρόνο διάθεσης των προϊόντων.

Τέλος, θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο τομέας των θερμοκηπίων, αλλά και γενικότερα ο γεωργικός τομέας, έχει αρχίσει να εξελίσσεται και σε αυτό συντελεί η εμφάνιση νέων εταιρειών και αντιπροσωπών που παρέχουν προϊόντα και υπηρεσίες υψηλής ποιότητας, καθώς και οι υψηλές επιδοτήσεις για κατασκευή νέου ή βελτίωση ήδη υπάρχοντος θερμοκηπίου, που άρχισαν να χορηγούνται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και να εγκρίνονται από το υπουργείο Γεωργίας.

Έτσι το βάρος πέφτει τώρα στους παραγωγούς, οι οποίοι θα πρέπει να επενδύσουν σωστά το ποσό της επιδότησης, με σκοπό να εγκαταστήσουν μία πλήρως αυτοματοποιημένη μονάδα ή να εκσυγχρονίσουν την ήδη υπάρχουσα, μετατρέποντας την σε κερδοφόρα επιχείρηση ισάξια και ανταγωνίσιμη των αντίστοιχων ευρωπαϊκών.



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ θερμά τους επιβλέποντες καθηγητές μου, κύριο Δημήτριο Καραμουσαντά και κύριο Κωνσταντίνο Ρούσσο για την καθοδήγηση τους και τις χρήσιμες υποδείξεις τους κατά την εκπόνηση της πτυχιακής μου μελέτης.

Επίσης ευχαριστώ τον πατέρα μου και προϊστάμενο Γραφείου ΤΕΕ Α Δ/ση Β/θμιάς Εκπ/σης Αθηνών, Γεώργιο Κ. Μακρή, την μητέρα μου Αγαθή Κ. Μακρή και τον αδερφό μου Κωνσταντίνο Γ. Μακρή διπλωματούχο του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Πολυτεχνείου για την συμπαράσταση τους.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ρήγας Δημήτριος, Βιομηχανικά ,ηλεκτρονικά και αυτοματισμοί 1992

Elgar Peter ,Αισθητήρες μέτρησης και ελέγχου 2003

Γ.Ν.Μαυρογιαννόπουλος ,Θερμοκήπια Σταμούλης 2001

P.G.H. Kamp & G.J. Timmerman Computerized Environmental Control in Greenhouses 1996

Ν.Γλώσσας & Δρ. Δ.Ι.Τσελές Αρχές Αυτοματισμού(Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια Β΄ Τάξη 1<sup>ου</sup> Κύκλου)

James W. Boodley, Επιχειρηματική ανθοκομία 1,Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις 1999

Albutt L. (1989) .Roch bed solar energy stores for greenhouses .Agricultural Engineer,44 (2), 40-43 .

Arbel B. ,(1999). Performance of a Fog System for Cooling Greenhouses .Journal of Agricultural Engineering Research, Vol.72, No 2, pp.129-136.

Boulard T. ,(1995) . Natural Ventilation of a Greenhouse with Continuous Roof Vents: Measurements and Data Analysis .Journal of Agricultural Engineering Research pp.27-36.

Critten L.D (1983).Computer model to calculate the daily light integral and transmissivity of a greenhouse.Journal of Agricultural Engineering Research pp.61-76

Froelich D.P(1979) .Steady-Periodic Analysis of Glasshouse Thermal Environment. pp.387-399.

Garzoli K. (1989) . Energy efficient greenhouses .Acta Horticulturae pp.53-62.

Garzoli K. (1989) .Climate liminations on the performance of self-contained solar greenhouses .Acta Horticulturae pp 11-16 .

Gutman P. (1993). A Non-Linear Optimal Greenhouse Control Problem Solved By Linear Programming. Journal of Agricultural Engineering Research, pp.335-351 .

Hack G. (1989) .The use of image processing under greenhouse conditions for growth  
And climate control .Acta Horticulturae No 245, 455-461.

Hanan J. (1986). Precision climate control in greenhouses .Research Bulletin, Colorado Greenhouse  
Growers' Association, No 430 ,6 .

Heij G. (1984) . Effect of CO<sub>2</sub> concentration on growth and production of glasshouse  
Vegetable crops.Acta horticulturae ,pp.591-595.

Houter G. (1989). Simulation of CO<sub>2</sub> consumption in greenhouses. Acta Horticulturae , pp.315-320 .

Ioslovich H. (1995) .Sub-optimal CO<sub>2</sub> Enrichment of Greenhouses . Journal of  
Agricultural Engineering Research ,pp.117-136.

Jones G. (1983) . Plants and Microclimate . Cambridge University Press 323 p.

Kano A. (1988) . Greenhouse Enviromental control system with a crop model  
and an expert system .Acta Horticulturae , 230, 229-236 .

Kindelan B.A.(1980) .Dynamic modelling of greenhouse environment .Transactions  
Of the ASAE 23(5): 1232-1234 .

Κίττας Κ. (1985) .Προσδιοριστικοί παράγοντες των θερμοκρασιακών ανυψώσεων  
«Υπό κάλυψη» .Εφαρμογή στον κλιματισμό των Ελληνικών θερμοκηπίων .Τεχνικά  
Χρονικά Β, Τομ.5 ,Τεύχος 4: 45-59 .

Kozai T. (1985) .Ideas of greenhouse climate control based on knowledge engineering  
Techniques .Acta Horticulturae ,No 257 ,169-182 .

Κυρίτσης Σ.- Μαυρογιαννόπουλος ,Γ .(1986) .Θερμοκήπια .Οργανισμός Εκδόσεων  
Διδακτικών Βιβλίων , Αθήνα .

Leung Cm.(1985) .A knowledge based system for the control of a greenhouse  
Environment .Acta Horticulturae ,No 174 ,425-431 .