

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (ΤΕΙ)

ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΤΩΝ  
ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕΣΩ Η/Υ**

ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ:  
ΒΑΡΖΑΚΑΚΟΥ ΓΙΩΡΓΟΥ

ΚΑΛΑΜΑΤΑ, ΜΑΙΟΣ 2006

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (ΤΕΙ)**

**ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΤΩΝ  
ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΜΕΣΩ Η/Υ**

**ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ:**

**ΒΑΡΖΑΚΑΚΟΥ ΓΙΩΡΓΟΥ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΛΙΝΑΡΔΟΠΟΥΛΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ**

**ΚΑΛΑΜΑΤΑ, ΜΑΙΟΣ 2006**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
---------------	---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

1.1	Εισαγωγή.....	10
1.2	H/Y περιβαλλοντικών συνθηκών.....	10
1.2.1	Hardware (υλικό) – Software (λογισμικό).....	10
1.2.2	Μετρήσεις.....	12
1.2.3	Το δυαδικό σύστημα ψηφίων.....	12
1.2.4	Αναλογική – Ψηφιακή μετατροπή.....	12
1.2.5	Πολυδιακλαδωτής (multiplexer).....	15
1.2.6	Μνήμη H/Y περιβαλλοντικών συνθηκών.....	16
1.2.7	Σήματα ελέγχου.....	19
1.3	Εξοπλισμός διόρθωσης.....	22
1.3.1	Σωληνώσεις θέρμανσης.....	22
1.3.2	Σωληνώσεις θέρμανσης και περιβάλλον του θερμοκηπίου.....	24
1.3.3	Αερόθερμα.....	25
1.3.4	Αερόθερμα και περιβάλλον του θερμοκηπίου.....	26
1.3.5	Εξαερισμός.....	27
1.3.6	Εξαερισμός και περιβάλλον του θερμοκηπίου.....	28
1.3.7	Κουρτίνες.....	28
1.3.8	Κουρτίνες και περιβάλλον του θερμοκηπίου.....	31
1.3.9	Εμπλουτισμός με CO <sub>2</sub> .....	34
1.3.10	Εμπλουτισμός με CO <sub>2</sub> και περιβάλλον του θερμοκηπίου.....	41
1.4	Εξοπλισμός μέτρησης.....	42
1.4.1	Εισαγωγή.....	42
1.4.2	Μέτρηση θερμοκρασίας.....	45
1.4.3	Μέτρηση υγρασίας.....	49

1.4.4	Μετρητές ακτινοβολίας και αισθητήρες φωτός.....	54
1.4.5	Μετρητής CO <sub>2</sub> .....	57
1.4.6	Ανεμόμετρο.....	58
1.4.7	Κατεύθυνση ανέμου.....	59
1.4.8	Μετρητής ύψους βροχόπτωσης.....	60
1.4.9	Σημεία αναφοράς.....	60

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

2.1	Εισαγωγή.....	63
2.2	Γενικές αρχές της τεχνολογίας ελέγχου.....	63
2.2.1	Κυκλικός έλεγχος (control loop).....	63
2.2.2	Διαταραχή, έλεγχος και αντίδραση.....	66
2.2.3	Σύγκριση μεταξύ 'ελέγχου' και 'αντίδρασης'.....	68
2.2.4	Ταυτόχρονος 'έλεγχος' και 'αντίδραση'.....	72
2.3	Πρότυπα (models).....	73
2.4	Ομαδοποίηση του εξοπλισμού διόρθωσης.....	76
2.5	Έλεγχος ON / OFF.....	77
2.5.1	Χρονικές καθυστερήσεις.....	78
2.5.2	Νεκρή περίοδος.....	79
2.5.3	Μέσες μετρήσεις.....	81
2.6	Εύρος εναλλαγών ON/OFF και εύρος διαδικασίας.....	83
2.7	Μεταβαλλόμενος (αναλογικός) έλεγχος – εξαερισμός.....	84
2.7.1	Εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου (P-band).....	84
2.7.2	Εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου και εξωτερική θερμοκρασία.....	86
2.7.3	Εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου, εξωτερική θερμοκρασία και ταχύτητα ανέμου.....	88
2.7.4	Χαρακτηριστικά του εύρους μεταβαλλόμενου ελέγχου – διαγράμματα.....	89
2.8	Μεταβαλλόμενος - Αναπόσπαστος έλεγχος.....	90



2.9	Έλεγχος θέρμανσης.....	92
2.9.1	Μεταβαλλόμενος έλεγχος θέρμανσης.....	92
2.9.2	Έλεγχος πί για το σύστημα θέρμανσης.....	96

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟΥ

3.1	Εισαγωγή.....	99
3.2	PC CENTER.....	99
3.2.1	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής.....	99
3.2.2	Αρχεία δεδομένων PC CENTER.....	100
3.2.3	Backup και Restore.....	101
3.2.4	Λειτουργία Demo/Simulator.....	102
3.2.5	Αναφορές – Reports.....	103
3.2.6	Παράθυρο κλιματικού ελέγχου.....	106
3.3	Έλεγχος θερμοκρασίας.....	108
3.3.1	Όριο θέρμανσης και εξαερισμού.....	108
3.3.2	Νεκρή περίοδος.....	111
3.3.3	Χρόνος.....	112
3.3.4	Εξάρτηση ελέγχου από το φώς.....	113
3.3.5	Επίδραση εξωτερικής θερμοκρασίας στον εξαερισμό.....	113
3.3.6	Διπλά ανοίγματα εξαερισμού.....	115
3.4	Έλεγχος κλιματικών συνθηκών.....	116
3.4.1	Σχέσεις μεταξύ κλιματικών παραγόντων.....	116
3.4.2	Υπολογισμός περιβάλλοντος.....	119
3.4.3	Υπολογισμένο περιβάλλον και εξοπλισμός διόρθωσης.....	120
3.4.4	Υπολογισμένο περιβάλλον – θερμοκρασία θέρμανσης.....	121
3.4.5	Υπολογισμένο περιβάλλον – θερμοκρασία σωλήνων θέρμανσης.....	122
3.4.6	Υπολογισμένο περιβάλλον – θερμοκρασία εξαερισμού.....	124
3.4.7	Υπολογισμένο περιβάλλον – θέση ανοιγμάτων.....	125
3.4.8	Υπολογισμένο περιβάλλον – επίπεδο CO <sub>2</sub> .....	127



## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωργική παραγωγή του ανοιχτού αγρού εξαρτάται από ασταθείς και αβέβαιες εξέλιξης μετεωρολογικούς παράγοντες. 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 θερμοκρασία, η υγρασία, το διοξείδιο του άνθρακα κ.α. που αποτελούν το περιβάλλον 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 των φυτών.

Γενικά σ' ένα θερμοκήπιο που έχει σχεδιαστεί και εξοπλιστεί με βάση τη 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.

Συνήθως το επιπλέον κατασκευαστικό κόστος, αν γίνεται σωστά η χρήση των μέσων παραγωγής, υπερκαλύπτεται από τον ευνοϊκό χρόνο παραγωγής. Η σωστή χρήση των μέσων παραγωγής σ' ένα θερμοκήπιο, αφορά κυρίως την οικονομικά βελτιστοποιημένη ρύθμιση των παραγόντων του περιβάλλοντος, έτσι ώστε να υπάρξει το μεγαλύτερο κάθε φορά οικονομικό όφελος. Για να γίνει δυνατό αυτό θα πρέπει να έχουν προβλεφθεί: σωστή κατασκευή και σωστός εξοπλισμός.

Η ανάγκη για δυναμική ρύθμιση του περιβάλλοντος στο χώρο του θερμοκηπίου και τη λήψη "λογικών" αποφάσεων στο μικρότερο δυνατό χρόνο, κάνοντας επεξεργασία φυσικών δεδομένων από το περιβάλλον, βιολογικών δεδομένων από την καλλιέργεια και οικονομικών δεδομένων της αγοράς, επιβάλλει τη χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και κυκλοφορήσει στο εμπόριο διάφορα εξελιγμένα συστήματα για τον έλεγχο και ρύθμιση του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Τα συστήματα αυτά βασίζονται κυρίως στην τεχνολογία των PC και προγραμματίζονται έτσι ώστε να κάνουν πιο 'έξυπνο' έλεγχο στις κλιματικές συνθήκες, χρησιμοποιώντας κάποιο πρότυπο ενεργειακής συμπεριφοράς του θερμοκηπίου, εξοικονομώντας σημαντικές ποσότητες ενέργειας.

Σήμερα γίνονται προσπάθειες να συνδυαστεί ένα τέτοιο φυσικό πρότυπο με ένα δυναμικό βιολογικό πρότυπο ανάπτυξης των φυτών και ένα οικονομικό πρότυπο, έτσι ώστε η λειτουργία του θερμοκηπίου να γίνει πιο αποτελεσματική και περισσότερο επωφελής οικονομικά, μια και η απόφαση για τη λειτουργία θα λαμβάνει υπόψη, πλην των φυσικών ιδιοτήτων του θερμοκηπίου, τις απαιτήσεις των φυτών με δυναμικό τρόπο αλλά και των οικονομικών στοιχείων της αγοράς.

Το 1980 ο κλιματικός έλεγχος ενός θερμοκηπίου ήταν κάτι το εντελώς καινούργιο για πολλούς. Σήμερα, σε σχέση με είκοσι χρόνια πριν που η τεχνολογία ελέγχου ήταν στις απαρχές της, η τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι αρκετά γνωστή σε πολλούς.

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής θα προσπαθήσω να αναδείξω τις διάφορες πτυχές του κλιματικού ελέγχου σ' ένα θερμοκήπιο. Επίσης σημαντικό μέρος της εργασίας αφιερώνεται στη χρήση του περιβαλλοντικού υπολογιστή.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

### 1.1 Εισαγωγή

Στον έλεγχο των κλιματικών συνθηκών ενός θερμοκηπίου χρησιμοποιούνται διάφορα μηχανήματα. Ο εξοπλισμός μπορεί να χωριστεί σε τρεις βασικές ομάδες:

1. Ελεγκτής (Controller) : Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών.
2. Εξοπλισμός διόρθωσης : θέρμανση, εξαερισμός κλπ.
3. Αισθητήρες : αισθητήρες για μέτρηση συνθηκών θερμοκηπίου και περιβάλλοντος

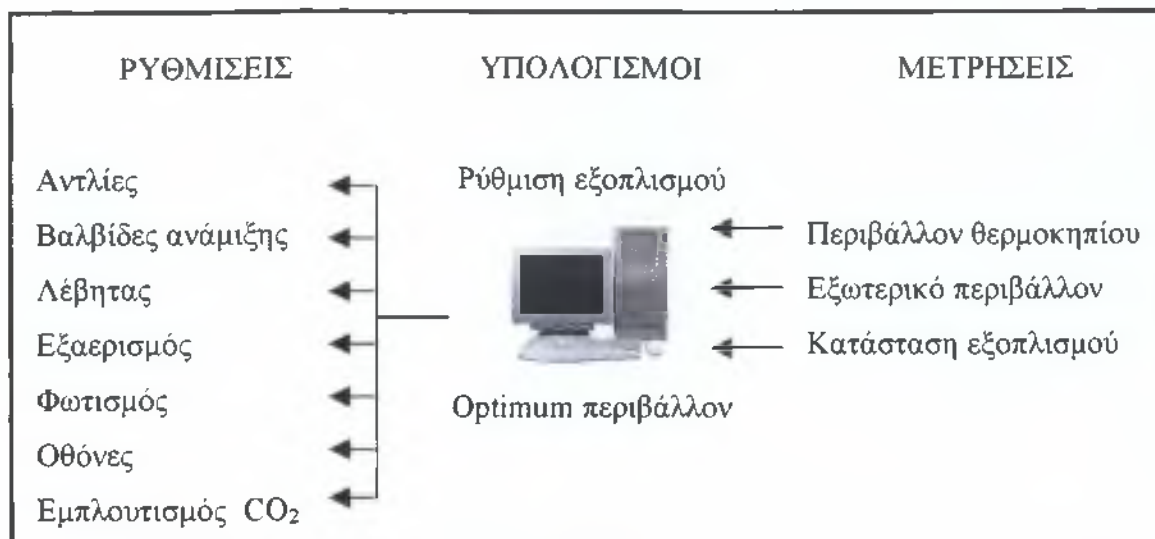
### 1.2 Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών

#### 1.2.1 Hardware (υλικό) – Software (λογισμικό)

Ένας Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών είναι ένας ελεγκτής διαδικασίας. Αυτό σημαίνει ότι ο υπολογιστής μπορεί να ελέγχει συστήματα όπως: η θερμοκρασία, RH, φωτισμός, CO<sub>2</sub> και κυκλοφορία αέρα.

Για τον έλεγχο ενός συστήματος, ένας Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών έχει τρεις εφαρμογές:

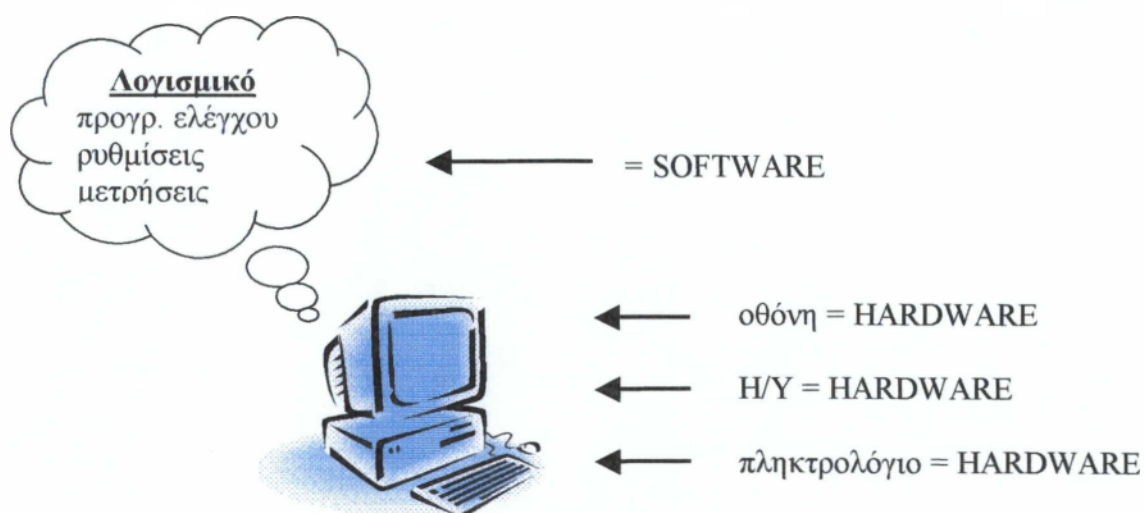
- ΜΕΤΡΗΣΗ
- ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ
- ΡΥΘΜΙΣΗ



σχήμα 1.1 Ένας Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών, μετράει και ρυθμίζει τον εξοπλισμό.

Ένας Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών αποτελείται από διάφορα συστήματα, τα οποία μπορούν να χωριστούν στο **HARDWARE** (υλικό) και στο **SOFTWARE** (λογισμικό). Το **HARDWARE** αποτελείται από τα ορατά μέρη του Η/Υ: πληκτρολόγιο, εκτυπωτής, οθόνη, επεξεργαστής κ.α.

Το **SOFTWARE** περιέχει όλες τις πληροφορίες για τη λειτουργία του Η/Υ, το πρόγραμμα ελέγχου, τις μετρήσεις, τις ρυθμίσεις κτλ. Αλλαγές στο λογισμικό (**SOFTWARE**) συχνά μπορούν να γίνουν μέσω του πληκτρολογίου (βλέπε σχήμα 1.2).



σχήμα 1.2 Hardware (υλικό) και Software (λογισμικό).

## 1.2.2 Μετρήσεις

Ένας αισθητήρας παράγει ένα μετρήσιμο σήμα, συνήθως ηλεκτρικό ρεύμα, αντίσταση ή τάση. Στη συνέχεια το μετρήσιμο σήμα πρέπει να μετατραπεί σε ψηφιακό σήμα ώστε να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί από τον υπολογιστή. Το ψηφιακό αυτό σήμα 'κατασκευάζεται' από ψηφία μηδέν και ένα (on και off): δυαδικό ψηφίο.

## 1.2.3 Το δυαδικό σύστημα ψηφίων

Η μνήμη ενός Η/Υ αποτελείται από εκατομμύρια μικροδιακόπτες. Κάθε διακόπτης μπορεί να είναι στη θέση on ή off: 1 ή 0: BITS. Με μια αλληλουχία αριθμών bit το ένα δίπλα στο άλλο (συνήθως 8), μπορούν να σχηματιστούν συνδυασμοί μηδέν και ένα. Κάθε συνδυασμός αντιπροσωπεύει και ένα αριθμό. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι κάθε δυαδικό ψηφίο μπορεί να μετατραπεί στο δεκαδικό σύστημα αριθμών και αντίστροφα.

8 bits στη σειρά σχηματίζουν μια μονάδα μέτρησης: το BYTE. Το byte ισοδυναμεί με μια τιμή στον Η/Υ. Ένα byte αποτελείται από μηδενικά και άσους. Ο μέγιστος αριθμός συνδυασμών μηδέν και ένα σε ένα byte είναι  $2^8 = 256$ .

## 1.2.4 Αναλογική – Ψηφιακή μετατροπή

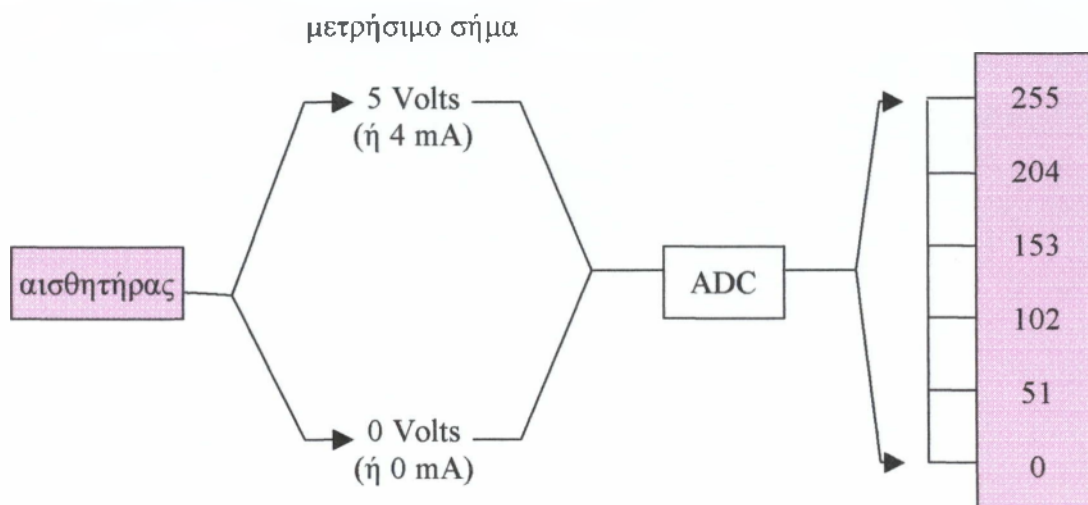
Η μνήμη και το λογισμικό ενός Η/Υ μπορούν να χειριστούν μόνο ψηφιακές πληροφορίες στη μορφή των byte. Οι μετρήσεις από τους αισθητήρες είναι σε αναλογική μορφή και πρέπει να μετατραπούν σε δυαδική μορφή. Αυτό πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός αναλογικού – ψηφιακού μετατροπέα, κοινώς ADC από τα αρχικά των ξένων λέξεων analogue – digital converter.

Ένας ADC μετατροπέας λειτουργεί με τυποποιημένο σήμα εισαγωγής π.χ. 0-5 V ή 0-4 mA (βλέπε σχήμα 1.3).

Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας σε ένα θερμοκήπιο συνήθως έχει ένα εύρος 50 °C. Έτσι, όταν π.χ. -10 °C είναι η χαμηλότερη μετρήσιμη τιμή θερμοκρασίας και 40



°C είναι η υψηλότερη μετρήσιμη τιμή του αισθητήρα. Ο αισθητήρας όταν συνδεθεί με τον Η/Υ, ο ADC καλιμπράρεται έτσι ώστε -10 °C να ισοδυναμούν με 0 V (ή 0 mA) και 40 °C να ισοδυναμούν με maximum 5 V (4 mA).

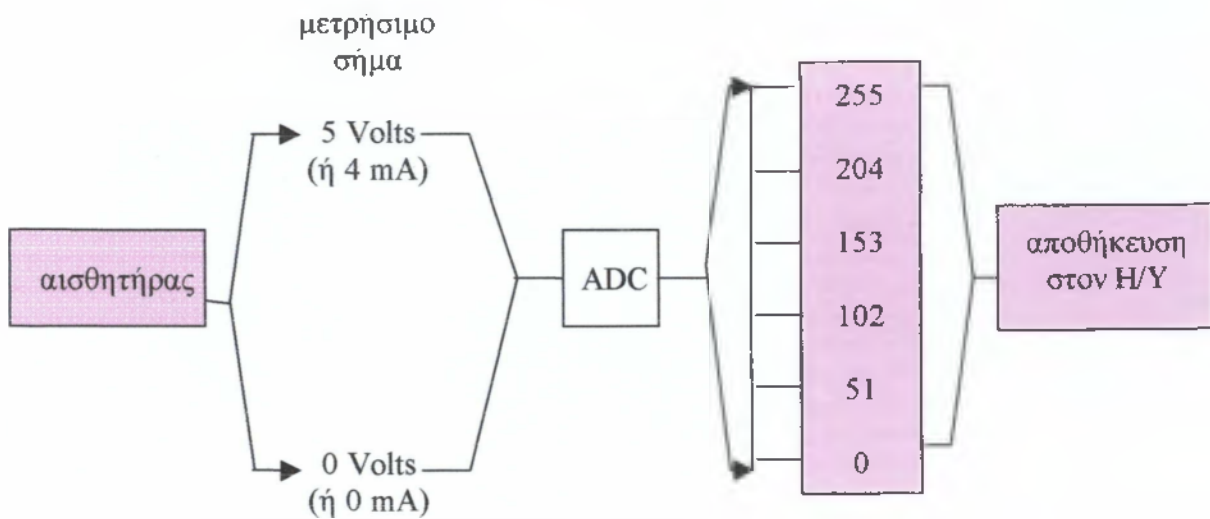


σχήμα 1.3 Το σήμα του αισθητήρα μετατρέπεται σε δυαδικό ψηφίο από τον ADC.

Το σήμα εισαγωγής του ADC κυμαίνεται μεταξύ 0 και 5 V ανάλογα με τη μετρήσιμη τιμή. Ο μετατροπέας ADC, μετατρέπει την τάση (volt) σε δυαδικό αριθμό, έτσι ώστε να μπορεί να αποθηκευτεί στον υπολογιστή (συνήθως στη τοποθεσία της μόνιμης μνήμης) και να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορους υπολογισμούς (σχήμα 1.4).

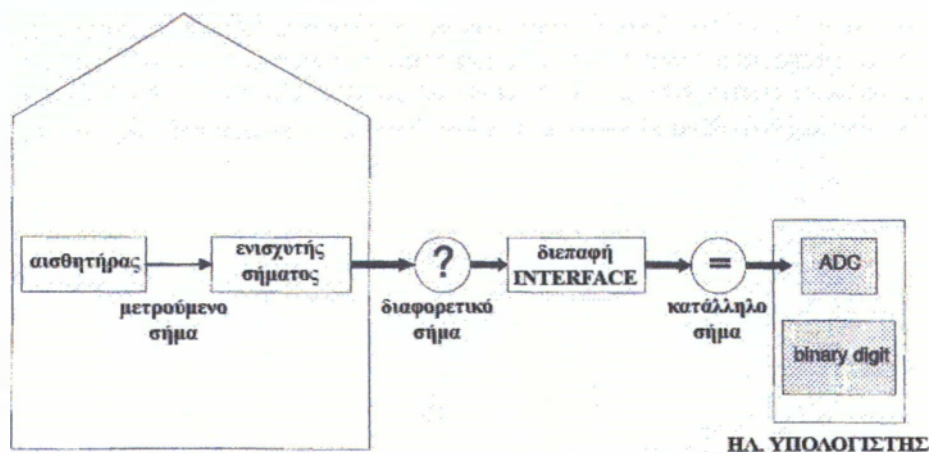
Επειδή όμως ένας υπολογιστής χρησιμοποιεί byte, τα οποία αποτελούνται από 8 bits, υπάρχουν  $2^8 = 256$  δυνατοί συνδυασμοί από μηδέν και ένα. Τότε η μέτρηση μιας θερμοκρασίας με εύρος 50 °C θα χωριζόταν από τον μετατροπέα ADC σε μια κλίμακα 256 βημάτων και επομένως οι αλλαγές της θερμοκρασίας σε βήματα των  $50/256 = 0.2$  °C. Η μέτρηση όμως της θερμοκρασίας ενός θερμοκηπίου σε βήματα των 0.2 °C δεν είναι αρκετά ακριβής. Η μέτρηση θα μπορούσε να είναι πιο ακριβής αν το μετρούμενο εύρος της θερμοκρασίας ήταν μικρότερο. Ένα εύρος 25 °C θα είχε ακρίβεια  $25/256 = 0,1$  °C. Ωστόσο ένα εύρος της τάξης των 25 βαθμών °C για την μέτρηση της θερμοκρασίας σε ένα θερμοκήπιο είναι πάρα πολύ μικρό. Μία άλλη λύση είναι η χρήση ενός μετατροπέα ADC 16 bit αντί 8 bit. Τότε ο συνολικός αριθμός δυνατών συνδυασμών είναι  $2^{16} = 65.535$





σχήμα 1.4 Ο αναλογικός – ψηφιακός μετατροπέας (ADC).

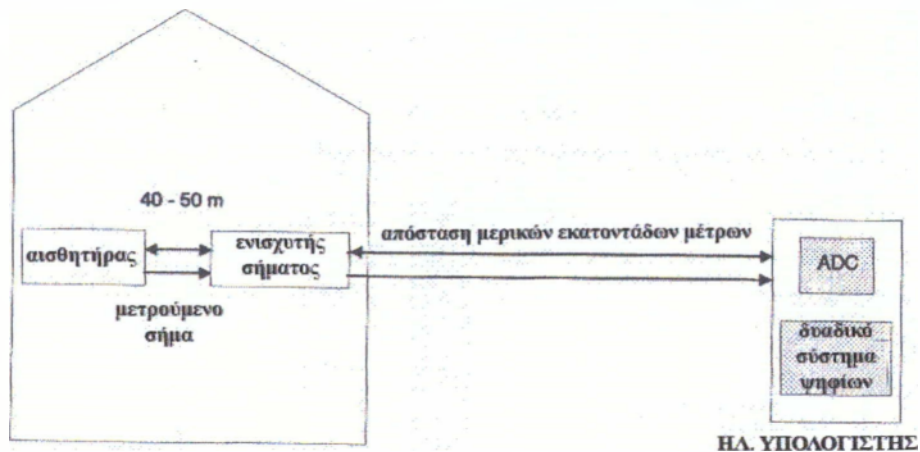
Ο Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών και ο μετατροπέας ADC χρησιμοποιούν τυποποιημένο σήμα εισαγωγής πληροφοριών. Εάν ο αισθητήρας παράγει-μεταφέρει τις πληροφορίες με διαφορετικό σήμα, τότε μπορεί να παρεμβληθεί μια διεπαφή (interface). Η διεπαφή αλλάζει το σήμα του αισθητήρα στο κατάλληλο σήμα για τον μετατροπέα (ADC) (βλέπε σχήμα 1.5).



σχήμα 1.5 Μετατροπή σήματος.

Ωστόσο, συχνά η εκπομπή του σήματος του αισθητήρα είναι αδύνατη (ασθενής). Όταν η απόσταση μεταξύ του Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών και του αισθητήρα είναι πολύ μεγάλη, ένας ενισχυτής σήματος χρησιμοποιείται. Ο ενισχυτής συνήθως εγκαθίσταται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας π.χ., πρέπει

να βρίσκονται σε μια απόσταση 40 μέτρων από τον ενισχυτή. Ενώ η απόσταση μεταξύ ενισχυτή σήματος και Η/Υ είναι λιγότερο σημαντική. (βλέπε σχήμα 1.6).



σχήμα 1.6 Ενισχυτής σήματος.

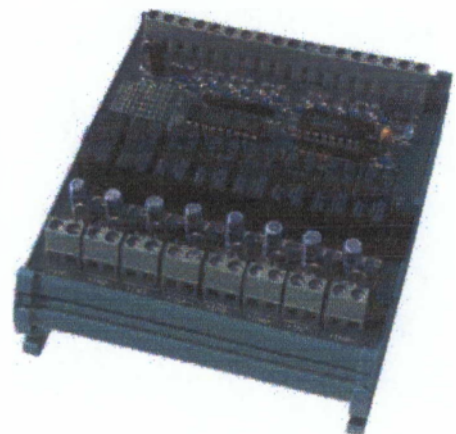
### 1.2.5 Πολυδιακλαδωτής (multiplexer)

Ένας Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών πρέπει να εκτελεί μια πληθώρα μετρήσεων:

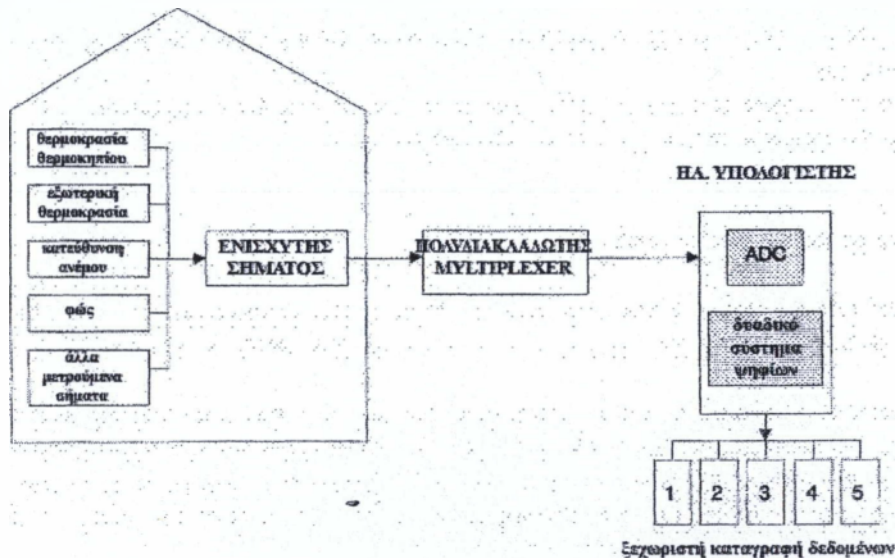
- Εξωτερικά: κατεύθυνση ανέμων, ταχύτητα ανέμων, βροχόπτωση, θερμοκρασία και φως
- Εσωτερικά: θερμοκρασία θερμοκηπίου, RH, CO<sub>2</sub>, θερμοκρασία λέβητα και σωληνώσεων, θέσεις ανοιγμάτων εξαερισμού και θέσεις κουρτινών.

Οι εσωτερικές μετρήσεις πρέπει να γίνουν για τον αριθμό των βασικών κατασκευαστικών μονάδων οι οποίες ελέγχονται από τον Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών. Ένα θερμοκήπιο με 5 βασικές κατασκευαστικές μονάδες απαιτεί περίπου 35-40 μετρήσεις.

Η συχνότητα των μετρήσεων ποικίλει μεταξύ 15 και 60 δευτερολέπτων. Όλα τα σήματα



που μετρούνται πρέπει να μετατραπούν από τον ADC. Δεν υπάρχει ξεχωριστός μετατροπέας για κάθε σήμα. Πριν τον μετατροπέα, παρεμβάλλεται ένας πολυδιακλαδωτής ο οποίος διαδοχικά εναλλάσσει τα σήματα από τους αισθητήρες στον μετατροπέα. Τα ψηφιακά πλέον σήματα καταγράφονται και αποθηκεύονται ξεχωριστά στον Η/Υ. Ο μετατροπέας μπορεί να επεξεργαστεί μέχρι και 15 διαφορετικά σήματα μετρήσεων ενώ ο πολυδιακλαδωτής εσωτερικά αποτελείται από ηλεκτρικό κύκλωμα, και δεν φέρει κινούμενα μέρη (βλέπε σχήμα 1.8).



σχήμα 1.8 Πολυδιακλαδωτής (multiplexer) αναλογικού σήματος.

### 1.2.6 Μνήμη Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών

Ο υπολογιστής πραγματοποιεί τους υπολογισμούς αμέσως μετά την συγκέντρωση των μετρούμενων τιμών. Οι υπολογισμοί αυτοί προσδιορίζουν το βέλτιστο (optimum) περιβάλλον και τις σχετικές ρυθμίσεις που πρέπει να πραγματοποιηθούν στον εξοπλισμό.

Ο κατασκευαστής του προγράμματος έχει προσδιορίσει τους αλγόριθμους που εκτελούνται για την πραγματοποίηση των μετρήσεων, και τους οποίους έχει εγκαταστήσει στον Η/Υ. Μόνο ο κατασκευαστής μπορεί να παραμετροποιήσει τα βασικά στοιχεία του προγράμματος ώστε το πρόγραμμα να ανταποκρίνεται καλύτερα στις ανάγκες και τις απαιτήσεις του παραγωγού. Συνήθως το πρόγραμμα ελέγχου

ανανεώνεται κάθε χρόνο από τον κατασκευαστή ώστε να ενσωματώνονται οι όποιες νέες εξελίξεις στον τομέα του περιβαλλοντολογικού ελέγχου. Σήμερα με τις νέες τεχνολογίες η αναβάθμιση του προγράμματος μπορεί να πραγματοποιηθεί από τον κατασκευαστή ακόμα και απομακρυσμένα από οποιοδήποτε σημείο του κόσμου είτε μέσω internet είτε ακόμα και δορυφορικά.



σχήμα 1.9 Στη μνήμη EPROM είναι εγκατεστημένο το πρόγραμμα ελέγχου.

Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται στον επεξεργαστή (CPU), βλέπε σχήμα 1.11. Ο επεξεργαστής λαμβάνει τις πληροφορίες από διαφόρων ειδών μνήμες.

1. Το πρόγραμμα ελέγχου είναι εγκατεστημένο στην μνήμη EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory).

Από την μνήμη EPROM, τα δεδομένα προσφέρονται μόνο για ανάγνωση. Η μνήμη αυτή είναι μόνιμη, πράγμα που σημαίνει ότι εάν ο υπολογιστής σβήσει το πρόγραμμα ελέγχου διατηρείται. Το πρόγραμμα μπορεί να σβηστεί εάν το chip της μνήμης εκτεθεί σε υπεριώδες ακτινοβολία, οπότε ένα νέο πρόγραμμα μπορεί να εγκατασταθεί. Όταν εγκαθίσταται ένα νέο πρόγραμμα ο τεχνικός αντικαθιστά την παλιά EPROM με μια EPROM η οποία έχει εγκατεστημένο το νέο πρόγραμμα ελέγχου. (βλέπε σχήμα 1.9).

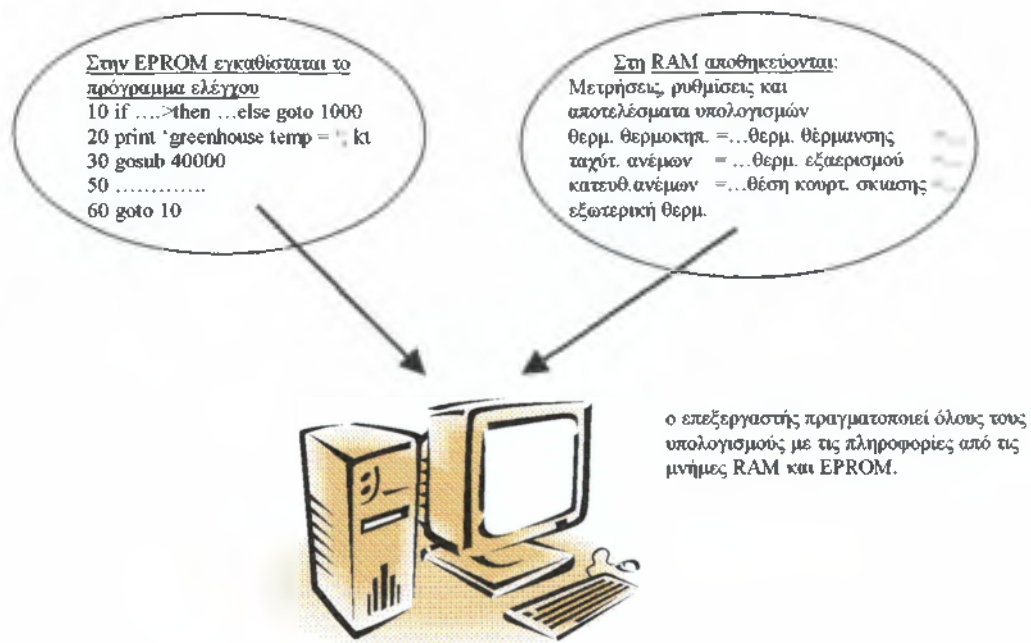
2. Οι τιμές που μετρούνται αποθηκεύονται στη μνήμη RAM (Random Access Memory). Ρυθμίσεις και αποτελέσματα μετρήσεων αποθηκεύονται επίσης στη μνήμη RAM. Όταν μια μέτρηση, ένας υπολογισμός ή μια ρύθμιση αλλάξουν, η παλιά τιμή αντικαθίσταται από τη νέα. Κάθε τιμή έχει τη δική της θέση όπου αποθηκεύεται στη μνήμη RAM. Οι τιμές που μετρούνται και πρόκειται να απεικονιστούν ή να τυπωθούν σε διαγράμματα επίσης αποθηκεύονται στη μνήμη RAM. Τα δεδομένα που αποθηκεύονται σ' αυτή τη μνήμη μπορούν να διαβαστούν αλλά και να αντικατασταθούν (βλέπε σχήμα 1.10). Όπως γίνεται κατανοητό με μια διακοπή ρεύματος όλα τα δεδομένα στη μνήμη RAM μπορούν να χαθούν. Η εγκατάσταση



μιας μονάδας UPS μπορεί να εξασφαλίσει τη διατήρηση των δεδομένων σε μια τέτοια περίπτωση.



σχήμα 1.10 Στη μνήμη RAM αποθηκεύονται μετρήσεις, ρυθμίσεις και αποτελέσματα υπολογισμών.



σχήμα 1.11 Ο επεξεργαστής (CPU) πραγματοποιεί όλους του υπολογισμούς

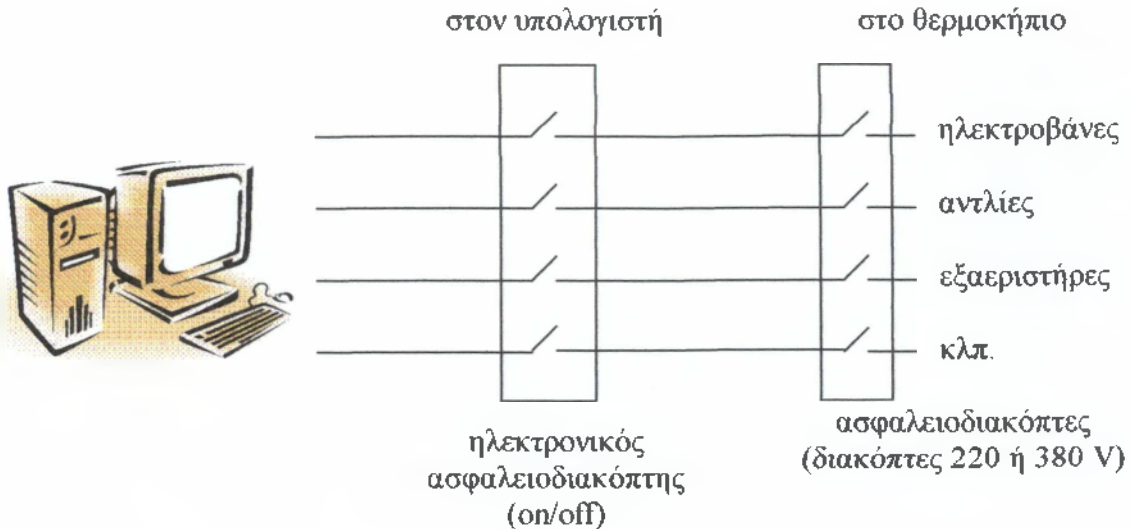
3. Ορισμένοι υπολογιστές είναι εξοπλισμένοι και με EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory), συμβατές με τις EPROM. Ενώ οι πληροφορίες στις μνήμες EPROM μπορούν να σβηστούν εκτίθοντάς τες σε UV ακτινοβολία, στις μνήμες EEPROM η διαγραφή πραγματοποιείται αν εφαρμοστεί μικρή ηλεκτρική

τάση στο chip. Οι μνήμες EEPROM χρησιμοποιούνται ως χώρος προσωρινής αποθήκευσης ρυθμίσεων προτού προωθηθούν στη μνήμη RAM επιτρέποντας έτσι στο υπολογιστικό σύστημα την πραγματοποίηση και άλλων ταυτόχρονων εφαρμογών.

Σε διακοπή ρεύματος όλες οι ρυθμίσεις που είναι αποθηκευμένες στην EEPROM διατηρούνται. Με την επαναφορά της τροφοδοσίας του υπολογιστή όλες οι πληροφορίες μπορούν να ανακτηθούν και να προωθηθούν στη RAM. Οι πληροφορίες μπορούν να αποθηκευτούν στην EEPROM οποιαδήποτε στιγμή. Μετά την αποθήκευση είναι δυνατό να εφαρμοστεί οποιοσδήποτε έλεγχος. Αν προηγούμενη κατάσταση πρέπει να ανακτηθεί, όλα τα δεδομένα λαμβάνονται από την EEPROM και τοποθετούνται πάλι στη RAM.

### 1.2.7 Σήματα ελέγχου

Ο υπολογιστής υπολογίζει τη σωστή λειτουργία του θερμοκηπιακού εξοπλισμού κάθε 15 – 60 δευτερόλεπτα. Αν χρειάζεται να πραγματοποιηθεί μια διαφορετική ρύθμιση ο υπολογιστής εκπέμπει ένα σήμα χαμηλής τάσης (24 volts). Η εκπομπή του σήματος λαμβάνει χώρα μέσω ενός ασφαλειοδιακόπτη (TRIAC), ο οποίος θέτει τον θερμοκηπιακό εξοπλισμό σε λειτουργία (κατάσταση on ή off) και μέσω ενός δεύτερου ασφαλειοδιακόπτη στον υπολογιστή. Ο υπολογιστής μπορεί να θέσει τον εξοπλισμό σε ενδιάμεσες καταστάσεις λειτουργίας υπό την έννοια των διαδοχικών επαναλαμβανόμενων καταστάσεων λειτουργίας. Μετατροπέας αναλογικού – ψηφιακού σήματος όπως είχε αναφερθεί στην περίπτωση εισαγωγής δεδομένων δεν απαιτείται καθώς τα σήματα που εκπέμπονται από τον υπολογιστή είναι ψηφιακά: YES (1) ή NO (0) σήματα (βλέπε σχήμα 1.12)



σχήμα 1.12 Εκπομπή σήματος ελέγχου.

### 1.2.8 Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών – περιφερειακός εξοπλισμός

Υπάρχουν διάφοροι τύποι Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών:

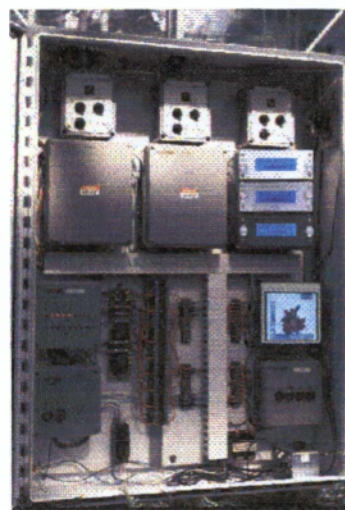
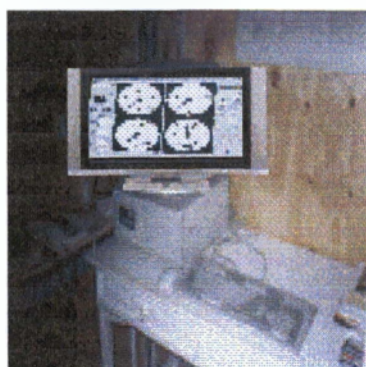
- Υπολογιστές τοίχου με πληκτρολόγιο και οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD) (βλέπε σχήμα 1.13). Συχνά συνδέεται και ένας εκτυπωτής.
- Υπολογιστές γραφείου (desktop) με αποσπώμενο πληκτρολόγιο, οθόνη και εκτυπωτή (βλέπε σχήμα 1.13)

Από καθαρά τεχνολογική άποψη υπάρχουν ελάχιστες διαφορές μεταξύ των παραπάνω τύπων Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών. Επίσης ορισμένοι κατασκευαστές συνδυάζουν στο ίδιο σύστημα και το σύστημα ελέγχου άρδευσης.

Ο Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών συνδέεται σε δίκτυο με τάση 220 volts. Στην περίπτωση όπου υπάρχει μεγάλη αυξομείωση της τάσης, υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης του συστήματος, ωστόσο υπάρχει ειδικός εξοπλισμός ο οποίος μπορεί να προστατεύσει το σύστημα από αυτό το ενδεχόμενο.

Η τοποθεσία εγκατάστασης του Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών παίζει σημαντικό ρόλο. Θα πρέπει να τοποθετείται σε μέρος το οποίο είναι:

- ξηρό και χωρίς σκόνη.
- η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 5 και 30 °C.
- δεν υπάρχει άμεση έκθεση σε ηλιακή ακτινοβολία.
- η RH (σχετική υγρασία) δεν είναι υψηλότερη από 90% όταν ο υπολογιστής είναι σε κατάσταση λειτουργίας ON.
- η RH (σχετική υγρασία) δεν είναι υψηλότερη από 75% όταν ο υπολογιστής είναι σε κατάσταση λειτουργίας OFF.



σχήμα 1.13 Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών.

Προσωπικοί υπολογιστές (PC) συχνά συνδέονται με Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών. Οι υπολογιστές αυτοί είναι συμβατοί με IBM. Οι προσωπικοί υπολογιστές συνήθως χρησιμοποιούνται ως δεύτερο τερματικό και προσφέρουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα.

- Καταγραφή περιβαλλοντικών δεδομένων.  
Μπορούν να καταγραφούν και να αποθηκευτούν τα δεδομένα μιας μεγάλης χρονικής περιόδου. Ένας Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών μπορεί να καταγράψει και να αποθηκεύσει τα δεδομένα 24 ωρών.
- Καταγραφή δεδομένων της επιχείρησης.  
Με ειδικό λογισμικό μπορούν να συμπεριληφθούν τα οικονομικά δεδομένα, η απόδοση, η ανάπτυξη των φυτών τα οποία στη συνέχεια μπορούν να αναλυθούν και να πάρουμε σημαντικές πληροφορίες ώστε να επιτύχουμε ορθότερο προγραμματισμό των εργασιών αλλά και γενικότερα για την διαχείριση της επιχείρησης.



- Σύνδεση με άλλα δίκτυα.

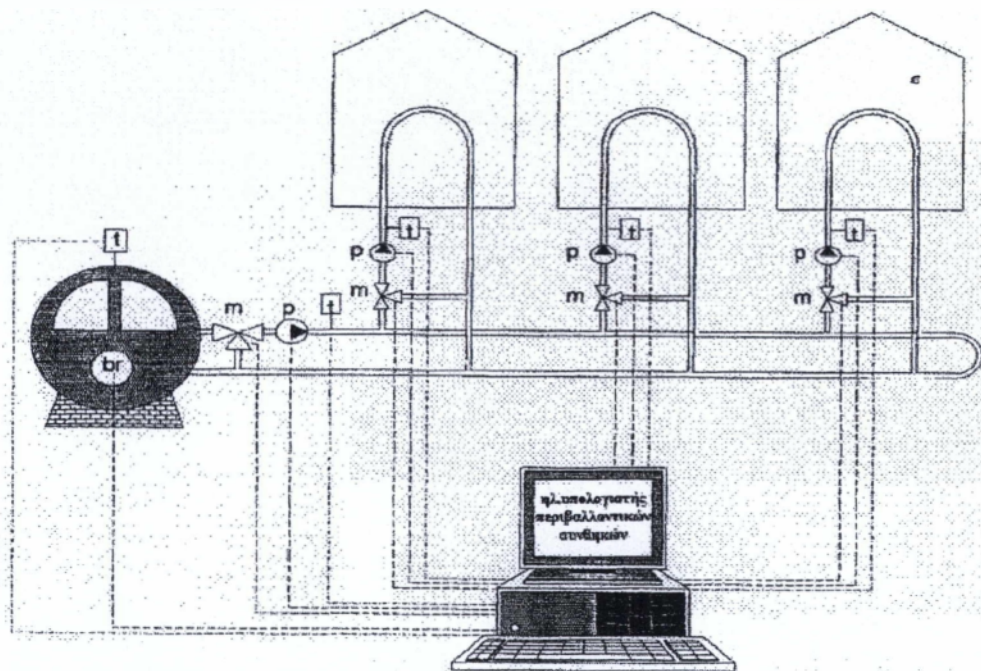
Ο υπολογιστής μπορεί να συνδεθεί με άλλα δίκτυα ώστε να λαμβάνει μετεωρολογικά δεδομένα ή ακόμα και να προσφέρει απομακρυσμένο έλεγχο του θερμοκηπίου από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου.

## 1.3 Εξοπλισμός διόρθωσης

### 1.3.1 Σύστημα θέρμανσης

Το σύστημα θέρμανσης είναι ένα είδος κεντρικής θέρμανσης και αποτελούνται από:

1. Τον λέβητα και τον καυστήρα.
2. Τον κυκλοφορητή, την βαλβίδα αναμείξεως και το κεντρικό δίκτυο σωληνώσεων.
3. Τις σωληνώσεις θέρμανσης στο θερμοκήπιο με τις βαλβίδες αναμείξεως.



br: καυστήρας    m: βαλβίδα αναμείξεως    p: κυκλοφορητής    t: αισθητήρας

σχήμα 1.14 Σύστημα θέρμανσης με καυστήρα, κυκλοφορητές και βαλβίδες αναμείξεως.

Ο καυστήρας θερμαίνει το νερό στο λέβητα. Το ζεστό νερό μέσω των κεντρικών σωληνώσεων διανέμεται στα διάφορα τμήματα του θερμοκηπίου όπου υπάρχει άλλο δίκτυο σωληνώσεων, και μέσω των σωληνώσεων επιστροφής επιστρέφει στο λέβητα. Όταν δεν απαιτείται θερμότητα στο θερμοκήπιο, τότε το νερό μπορεί να κυκλοφορεί μέσα στις σωληνώσεις με τον κυκλοφορητή χωρίς να διέρχεται από τον λέβητα. Όταν απαιτείται θερμότητα, τότε δίνεται εντολή να ανοίξει η βαλβίδα αναμείξεως για να επιτρέψει σε μια ποσότητα από το νερό των σωληνώσεων να περάσει από το λέβητα και να θερμανθεί πριν ξανακυκλοφορήσει στις σωληνώσεις θέρμανσης.

Ο καυστήρας, ο κυκλοφορητής και η βαλβίδα αναμείξεως είναι συνδεδεμένα με τον Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών (βλέπε σχήμα 1.14).

### *Ο καυστήρας*

Ο υπολογιστής μετράει τη θερμοκρασία του νερού στο λέβητα. Ανάλογα με τις ρυθμίσεις στον υπολογιστή και την μετρούμενη θερμοκρασία του νερού στο λέβητα, ο υπολογιστής μπορεί να θέσει σε λειτουργία τον καυστήρα ώστε η θερμοκρασία του νερού να διατηρείται σταθερή και να μην υπερβαίνει ένα καθορισμένο όριο (συνήθως 85 °C ή 95 °C). Η διαδικασία εκκίνησης του καυστήρα (εκροή, ανάφλεξη, έναρξη παροχής καυσίμου, έλεγχος φλόγας, παροχή καυσίμου) ελέγχονται από τον ελεγκτή (controller) του καυστήρα ανεξάρτητα από τον Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών. Το λογισμικό του Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να μπορεί να συνεργαστεί με διαφορετικούς τύπους καυστήρων.

### *Βαλβίδα αναμείξεως*

Ο υπολογιστής μετράει την πραγματική θερμοκρασία και την απαιτούμενη θερμοκρασία στα διάφορα τμήματα του θερμοκηπίου. Όταν απαιτείται θερμότητα ο υπολογιστής δίνει εντολή να ανοίξει η βαλβίδα αναμείξεως οπότε μια ποσότητα νερού περνάει από το λέβητα. Η βαλβίδα αναμείξεως ανοίγει και κλείνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα, ανάλογα με τις διαφορές της θερμοκρασίας που μετρούνται.

### *Κυκλοφορητής*

Ο υπολογιστής μπορεί να θέσει σε λειτουργία ή να απενεργοποιήσει (ON/OFF) τον κυκλοφορητή και αν απαιτείται μπορεί να τον θέσει σε κατάσταση HIGH/LOW/OFF. Όταν απαιτείται θερμότητα, ο κυκλοφορητής τίθεται σε λειτουργία. Ακόμα, μπορεί να τεθεί από κατάσταση LOW σε HIGH όταν απαιτείται αύξηση της θερμοκρασίας. Όταν η θερμοκρασία του θερμοκηπίου είναι από 0,5 έως 1,0 °C πάνω από την απαιτούμενη θερμοκρασία ο κυκλοφορητής τίθεται εκτός λειτουργίας. Αν ο κυκλοφορητής δεν χρησιμοποιηθεί για μεγάλη χρονική περίοδο (π.χ. το καλοκαίρι), μπορεί να κολλήσει. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής αποτρέπει αυτό το ενδεχόμενο με το να τον θέτει σε λειτουργία λίγα λεπτά κάθε 24ωρο.

### 1.3.2 Σωληνώσεις θέρμανσης και περιβάλλον του θερμοκηπίου

Στο σύστημα θέρμανσης με σωληνώσεις που διακλαδίζονται μέσα στο θερμοκήπιο, η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με συναγωγή και ακτινοβολία. Το ποσοστό της θερμότητας που μεταδίδεται με συναγωγή και ακτινοβολία εξαρτάται άμεσα από το είδος των σωληνώσεων αλλά και την θερμοκρασία των σωληνώσεων. Μετά τη θέρμανση του αέρα με συναγωγή από τους σωλήνες, ο θερμός αέρας μαζεύεται ψηλά στο θερμοκήπιο, όπου ψύχεται από την επαφή του με το κάλυμμα, (η εξωτερική θερμοκρασία έχει μικρότερη τιμή), αυξάνει το ειδικό βάρος του και κατέρχεται χαμηλά όπου επαναθερμαίνεται και συνεχίζεται ο κύκλος. Η ακτινοβολούμενη ενέργεια από του σωλήνες θέρμανσης θερμαίνει άμεσα τα φυτά και το έδαφος. Η θερμοκρασία των φυτών που θερμαίνονται άμεσα από την θερμική ακτινοβολία, μπορεί να είναι αρκετά υψηλότερη από αυτήν του αέρα του θερμοκηπίου.

Η θέση των σωλήνων θέρμανσης που τοποθετούνται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, εξαρτάται από τον τύπο του θερμοκηπίου και από το είδος της καλλιέργειας. Γενικά, η θέρμανση με σωληνώσεις μπορεί να διακριθεί σε δύο τύπους: σε περιμετρική και στην επιφάνεια του εδάφους. Η θέρμανση στην επιφάνεια του εδάφους γίνεται με την περιμετρική τοποθέτηση των σωληνώσεων από τις γραμμές φύτευσης. Με το σύστημα αυτό το έδαφος και τα φυτά επωφελούνται από την θερμική ακτινοβολία των

σωλήνων και ταυτόχρονα ο γύρω από αυτά αέρας θερμαίνεται με συναγωγή. Με αυτόν τον τρόπο η θερμοκρασία των φυτών ρυθμίζεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και ταυτόχρονα γίνεται σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, αφού η θερμοκρασία στην περιφέρεια μπορεί να είναι μερικούς βαθμούς χαμηλότερη από αυτή των φυτών.

Το σύστημα θέρμανση ενός θερμοκηπίου συνήθως χωρίζεται σε μικρότερα ελεγχόμενα τμήματα ( $1000 \text{ m}^2 - 1500 \text{ m}^2$ ). Αυτό επιτρέπει τον καλύτερο έλεγχο των διαφορών θερμοκρασίας στα διάφορα τμήματα. Ωστόσο ο έλεγχος μικρών τμημάτων αυξάνει το κόστος εγκατάστασης καθώς απαιτείται περισσότερος εξοπλισμός μέτρησης και ελέγχου. Έτσι, ορισμένοι παραγωγοί καταφεύγουν στον έλεγχο μεγαλύτερων τμημάτων του θερμοκηπίου της τάξης των  $5000 \text{ m}^2 - 6000 \text{ m}^2$ .

### 1.3.3 Αερόθερμα

Τα αερόθερμα τοποθετούνται στα διάφορα τμήματα του θερμοκηπίου και μπορούν να τεθούν σε κατάσταση λειτουργίας ή παύσης από τον Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών. Σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα από τότε που ο υπολογιστής θα δώσει την εντολή στο αερόθερμο να λειτουργήσει, θερμαίνεται ο αέρας του θερμοκηπίου. Το ίδιο γρήγορα ψύχεται όταν σταματήσει η λειτουργία του. Τα αερόθερμα ανάλογα με την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται διακρίνονται σε (α) σε *ηλεκτρικά* που αποτελούνται από έναν ηλεκτρικό ανεμιστήρα και ηλεκτρικές αντιστάσεις, (β) σε *ατμού ή ζεστού νερού* που χρησιμοποιούνται συνήθως ως συμπληρωματική θέρμανση σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης με σωλήνες θερμού νερού και τοποθετούνται ψηλά στο χώρο για βελτίωση της κίνησης του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο και (γ) σε *αερίου, πετρελαίου ή στερεών καυσίμων* τα οποία διαθέτουν ενσωματωμένο καυστήρα, ο οποίος μπορεί να έχει, είτε ανοιχτό θάλαμο καύσης, είτε κλειστό.

Στην περίπτωση του ανοιχτού θαλάμου καύσης, ο αναγκαίος για την καύση του καυσίμου αέρας προέρχεται από τον αέρα του θερμοκηπίου και τα καυσαέρια απελευθερώνονται πάλι μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου. Κατά την διάρκεια της ημέρας που λειτουργεί η φωτοσύνθεση, όταν τα αερόθερμα λειτουργούν και εφόσον το καύσιμο είναι καθαρό, τα φυτά επωφελούνται από το διοξείδιο του άνθρακος που



απελευθερώνεται στο χώρο. Η μείωση όμως της συγκέντρωσης του οξυγόνου όταν το θερμοκήπιο είναι κλειστό, έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητα της καύσης και την τοξικότητα του αέρα στο χώρο του καθώς μπορεί να παραχθούν αιθυλένιο,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  και  $\text{CO}_2$  και να καταστρέψουν την παραγωγή. Στα αερόθερμα που διαθέτουν κλειστό θάλαμο καύσης, ο αναγκαίος για την καύση του καυσίμου αέρας πρέπει να έρχεται με αεραγωγό από τον έξω χώρο και τα καυσαέρια να απάγονται πάλι έξω από τον χώρο του θερμοκηπίου.

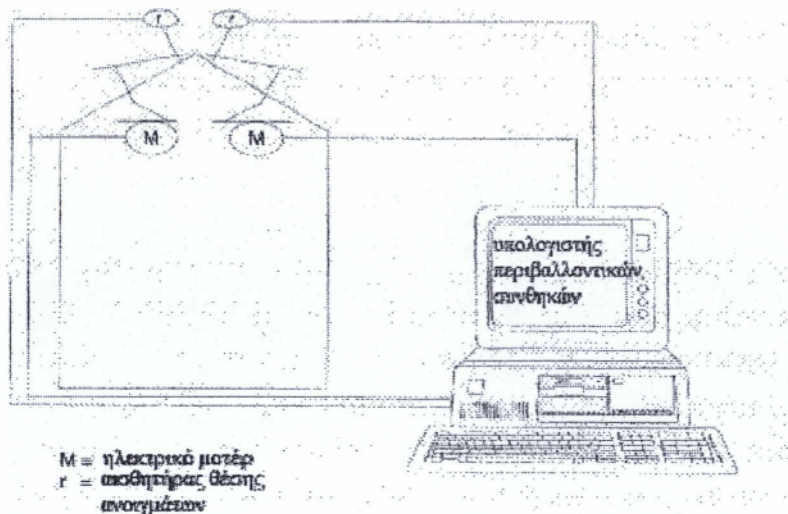
#### 1.3.4 Αερόθερμα και περιβάλλον του θερμοκηπίου

Στα μικρής έκτασης θερμοκήπια ο ζεστός αέρας του αερόθερμου κατανέμεται στο χώρο του θερμοκηπίου απ' ευθείας από την έξοδο του. Στα μεγάλης έκτασης, τοποθετείται κατά μήκος του θερμοκηπίου λεπτός, διαφανής σωλήνας πολυαιθυλενίου, που συνδέεται με την έξοδο του θερμού αέρα του αερόθερμου. Ο κάθε σωλήνας φέρει κατά μήκος στρογγυλές οπές 5-7,5 cm κατά ζεύγη. Ο ζεστός αέρας που εξέρχεται από το αερόθερμο και βγαίνει από τις οπές με ταχύτητα όπου ανακατεύεται γρήγορα με τον γύρω αέρα. Με αυτό το σύστημα εξασφαλίζεται η ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας από τη μία άκρη του θερμοκηπίου στην άλλη. Μία άλλη λύση είναι η χρήση πολλών μικρότερων αερόθερμων αντί ενός κεντρικού μεγάλου.

Τα αέρια από τα αερόθερμα ανοικτού τύπου (αποτελούμενα από  $\text{CO}_2$  και  $\text{H}_2\text{O}$ ) ανακατεύονται με τον αέρα του θερμοκηπίου, επηρεάζοντας την υγρασία και την συγκέντρωση  $\text{CO}_2$  στα φυτά. Με την καύση  $1 \text{ m}^3$  φυσικού αερίου, παράγονται 1.800 γραμ.  $\text{CO}_2$  και 1.400 γραμ.  $\text{H}_2\text{O}$ . Σε ψυχρές περιόδους η συγκέντρωση  $\text{CO}_2$  μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλά επίπεδα (πάνω από 3.000 ppm). Στις περιόδους αυτές λόγω έλλειψης οξυγόνου μπορεί να έχουμε ατελείς καύσεις. Τα αερόθερμα έχουν διακόπτες «έναρξης και παύσης» (on/off) της λειτουργίας τους και κάθε φορά που θέτονται σε λειτουργία μεσολαβεί μια μικρή περίοδος ατελούς καύσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των τοξικών αερίων. Η συχνότητα εναλλαγής από την κατάσταση λειτουργίας στην κατάσταση παύσης μπορεί να ελεγχθεί και να αξιοποιηθεί από τον Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών.

### 1.3.5 Εξαερισμός

Τα περισσότερα θερμοκήπια είναι εξοπλισμένα με ανοίγματα (παράθυρα) στις δύο πλευρές κατά μήκος της κορυφογραμμής. Κάθε πλευρά έχει ξεχωριστό ηλεκτρικό μοτέρ. Κάθε μοτέρ μπορεί να ελέγξει τα ανοίγματα για μια περιοχή 1.000 – 2.000 m<sup>2</sup>. Ωστόσο τμήματα 5.000 – 6.000 m<sup>2</sup> χρησιμοποιούνται για να μειωθεί το κόστος. Κατά την εγκατάσταση, ο τεχνικός ορίζει στον υπολογιστή τη διαδρομή του κάθε ανοίγματος. Με αυτόν τον τρόπο ο υπολογιστής μπορεί να υπολογίζει και να μετρά τη θέση των ανοιγμάτων, εκφράζοντας την σε ποσοστό επί της εκατό. Έτσι, από τη διαφορά της μετρούμενης και της υπολογισμένης θέσης των ανοιγμάτων ο υπολογιστής ανοίγει ή κλείνει τα ανοίγματα για ένα χρονικό διάστημα ή τα ορίζει σε μια συγκεκριμένη θέση.



σχήμα 1.15 Σύνδεση ανοιγμάτων με τον Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η θέση των ανοιγμάτων εκφράζεται σε ποσοστό επί της εκατό και η οποία κυμαίνεται μεταξύ 0% και 100%. Πέρα από αυτά τα όρια μια συσκευή ασφαλείας (ρελέ) ενεργοποιείται, η οποία θέτει το ηλεκτρικό μοτέρ εκτός λειτουργίας. Όταν ενεργοποιηθεί αυτή η συσκευή ασφαλείας ο υπολογιστής δεν μπορεί πλέον να δώσει εντολές στο ηλεκτρικό μοτέρ. Επιπρόσθετα τα ηλεκτρικά μοτέρ των ανοιγμάτων προστατεύονται από υπερφόρτωση με μια θερμική ασφάλεια.

### 1.3.6 Εξαερισμός και περιβάλλον του θερμοκηπίου

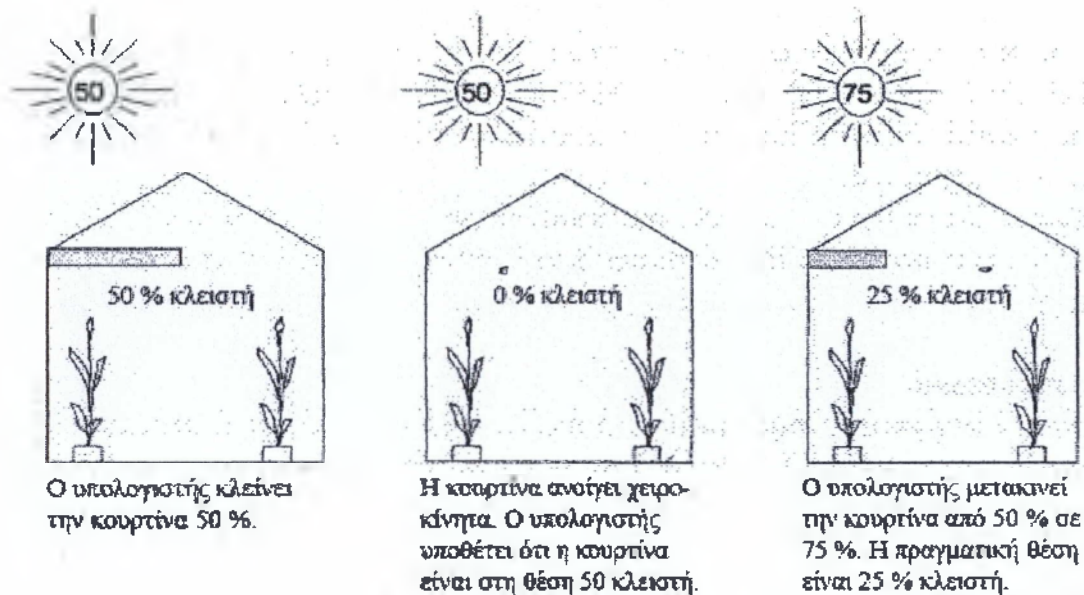
Για την μεγιστοποίηση της φυτικής παραγωγής στο θερμοκήπιο, πρέπει στην επιφάνεια των φύλλων των φυτών να πετύχουμε συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακος όσο το δυνατόν πλησιέστερα στο άριστο επίπεδο. Ο εξαερισμός είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τις συνθήκες αυτές περιορίζοντας την αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο πέρα από το επιθυμητό και διορθώνοντας την αναλογία των διαφόρων συστατικών του αέρα, όπως της συγκέντρωσης των υδρατμών, του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων. Στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες, οι ανάγκες για εξαερισμό γίνονται πολύ μεγάλες από νωρίς την άνοιξη έως και αργά το φθινόπωρο. Αντίθετα, το χειμώνα όπου η ανάγκη ελέγχου της σχετικής υγρασίας με ακρίβεια είναι μεγάλη, ένας μικρός, πολύ καλά ελεγχόμενος ρυθμός εξαερισμού είναι επιθυμητός. Επειδή ο ρυθμός και ο τρόπος αερισμού ενός θερμοκηπίου εξαρτάται από την εποχή, διακρίνουμε τον αερισμό του χειμώνα, του θέρους και της άνοιξης – φθινοπώρου.

Ο εξαερισμός θα πρέπει να ελέγχεται, όπως και η θέρμανση, σε μικρά τμήματα 1.000 – 1.500 m<sup>2</sup>. Αυτό επιτρέπει την άμεση αντίδραση στις μεταβολές της θερμοκρασίας και την γρήγορη επαναφορά στις ιδανικές συνθήκες στα διάφορα τμήματα του θερμοκηπίου.

### 1.3.7 Κουρτίνες

Οι κουρτίνες χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της φωτοπερίόδου, τη σκίαση και την εξοικονόμηση ενέργειας. Το υλικό κατασκευής τους, συχνά προσφέρει τη δυνατότητα ώστε να χρησιμοποιηθούν για πολλαπλή χρήση, π.χ. σκίαση και εξοικονόμηση ενέργειας ή έλεγχο φωτοπερίόδου και εξοικονόμηση ενέργειας. Οι κουρτίνες ελέγχονται από τον υπολογιστή από ένα διακόπτη on/off. Όλοι οι τύποι κουρτινών καθώς και οι συνδυασμοί αυτών μπορούν να ελεγχθούν από τον Η/Υ περιβαλλοντικών συνθηκών.

Ο υπολογιστής ελέγχει τις κουρτίνες με βάση τη χρονική διάρκεια λειτουργίας τους, συχνά δεν μεσολαβεί συσκευή επανατροφοδότησης (feedback control), καθώς ο χρόνος που απαιτείται από τη μία κατάσταση (κλειστές) στην άλλη (πλήρως ανοικτές) είναι ο ίδιος. Ο τεχνικός κατά την εγκατάσταση ορίζει στον υπολογιστή αυτό το χρόνο που απαιτείται. Ο υπολογιστής στη συνέχεια υπολογίζει τη θέση των κουρτινών με βάση όλες τις πραγματοποιηθείσες λειτουργίες ανοίγματος και κλεισίματος. Αν πραγματοποιηθεί άνοιγμα ή κλείσιμο των κουρτινών χειροκίνητα, ο υπολογιστής χάνει την θέση των κουρτινών. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει στον υπολογιστή να τεθεί ο αντίστοιχος ψηφιακός διακόπτης από τη θέση manual (χειροκίνητα) στην ένδειξη automatic control (αυτόματος έλεγχος) κατά τον ακόλουθο τρόπο.



σχήμα 1.16 Αν η κουρτίνα μετακινηθεί χειροκίνητα, ο υπολογιστής «χάνει» την πραγματικής της θέση.



1. Ανάγνωση της θέσης της κουρτίνας από τον υπολογιστή.
2. Μετακίνηση της κουρτίνας στην θέση που υποδεικνύεται από τον υπολογιστή χειροκίνητα (υπολογισμός με το μάτι).
3. Μετακίνηση του ψηφιακού διακόπτη στην ένδειξη automatic control – αυτόματος έλεγχος. Οπότε η πραγματική και ψηφιακή ένδειξη θα ανταποκρίνονται στα δεδομένα του υπολογιστή ξανά.

Είναι πιθανό με τον καιρό να εμφανιστεί μια διαφορά μεταξύ της πραγματικής και ψηφιακής ένδειξης στον υπολογιστή, της κουρτίνας. Ο υπολογιστής λύνει αυτό το πρόβλημα με τον ακόλουθο τρόπο:

*Παράδειγμα:*

- πραγματική θέση της κουρτίνας	5 %
- ψηφιακή ένδειξη της θέσης της κουρτίνας από τον υπολογισμό των πραγματοποιηθέντων λειτουργιών ανοίγματος και κλεισίματος	0 %

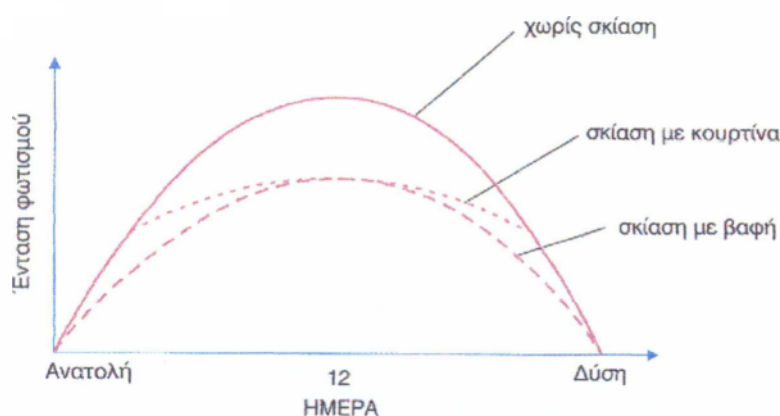
Ο υπολογιστής υποθέτει ότι η κουρτίνα είναι πλήρως ανοιχτεί, αλλά στην πραγματικότητα είναι κλειστέι κατά 5%. Ο υπολογιστής εκπέμπει κάθε λεπτό ένα σήμα. Μετά από πέντε παλμούς, κάθε παλμός ανοίγει την κουρτίνα κατά 1% επιπλέον, οπότε η κουρτίνα είναι πλήρως ανοιχτεί. Ανάλογα επαναλαμβάνεται η διαδικασία όταν η κουρτίνα είναι πλήρως κλειστέι. Με αυτή τη διαδικασία, διαφορές μεταξύ της πραγματικής και ψηφιακής ένδειξης εξαλείφονται.

Η εγκατάσταση των κουρτινών είναι εξοπλισμένη με σημεία τερματισμού. Όταν λοιπόν ο οδηγός τερματίζει, ο υπολογιστής δεν μπορεί να μετακινήσει τις κουρτίνες περαιτέρω. Το ηλεκτρικό μοτέρ τότε, προστατεύεται από υπερθέρμανση από μια ασφάλεια η οποία ενεργοποιείται όταν το μοτέρ δεχθεί πολύ πίεση. Όταν λυθεί το πρόβλημα, η ασφάλεια χειροκίνητα πρέπει να επανέλθει στην αρχική της θέση.

### 1.3.8 Κουρτίνες και περιβάλλον του θερμοκηπίου

#### Σκίαση του θερμοκηπίου

Για την μείωση της έντασης του φωτισμού στο θερμοκήπιο χρησιμοποιούνται συνήθως κουρτίνες και ειδικές άσπρες βαφές. Πρακτικά έχει αποδειχθεί ότι ο καλύτερος τρόπος για να μειωθεί η ένταση του φωτισμού είναι οι κουρτίνες αραιής ύφανσης, που τοποθετούνται μέσα στο θερμοκήπιο και κλείνουν ή ανοίγουν ανάλογα με την ένταση του φωτισμού. Έτσι, νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα, η μειωμένη ένταση του φωτισμού στο χώρο του θερμοκηπίου δεν μειώνεται ακόμα παραπάνω, όπως γίνεται με τις βαφές.



σχήμα 1.17 Ένταση φωτισμού στο χώρο του θερμοκηπίου όταν χρησιμοποιείται σκίαση με βαφή του διαφανούς καλύμματος και σκίαση με κουρτίνα.

Με τις εσωτερικές κουρτίνες, όταν επιδιώκουμε και μείωση της θερμοκρασίας στο χώρο του θερμοκηπίου, θα πρέπει να έχουμε υπ' όψη μας ότι η ηλιακή ενέργεια εξακολουθεί να μπαίνει στο χώρο του θερμοκηπίου (ένα πολύ μεγάλο της μέρος όμως ανακλάται προς τα έξω). Γενικά, η θερμοκρασία των φυτών που σκιάζονται με την κουρτίνα σκίασης είναι 5 °C περίπου μικρότερη, από αυτή των φυτών που βρίσκονται σε μη σκιαζόμενη περιοχή.

Στα θερμοκήπια που χρησιμοποιείται κουρτίνα για σκίαση, συνίσταται οι υαλοπίνακες της οροφής να έχουν την εσωτερική τους πλευρά κυματοειδή ή φολιδωτή έτσι ώστε το φως στο χώρο του θερμοκηπίου να εισέρχεται στο μεγαλύτερο ποσοστό του

διάχυτο, ώστε να κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλα τα φυτά ανεξάρτητα του ποσοστού ανοίγματος της κουρτίνας.

#### *Ρύθμιση της φωτοπεριόδου*

Το καλοκαίρι συχνά απαιτείται αύξηση της διάρκειας της νύχτας. Αυτό επιτυγχάνεται με τις κουρτίνες που απαγορεύουν την είσοδο του φωτός. Συνήθως η κουρτίνα που χρησιμοποιείται είναι από μέσα μαύρη για μείωση του φωτισμού και από έξω λευκή ή ανακλαστική ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του χώρου.

Οι κουρτίνες συνήθως κλείνουν από τις 7 το απόγευμα έως της 7 ή και αργότερα το πρωί. Εάν κλείσουν νωρίτερα, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος να δημιουργηθεί μεγάλη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο, με αποτέλεσμα να καθυστερήσει η άνθιση ή ακόμα και να πέσουν οι οφθαλμοί.

Πολλά διαφορετικά υλικά χρησιμοποιούνται στις κουρτίνες. Κάθε υλικό έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και επηρεάζουν το περιβάλλον του θερμοκηπίου διαφορετικά.

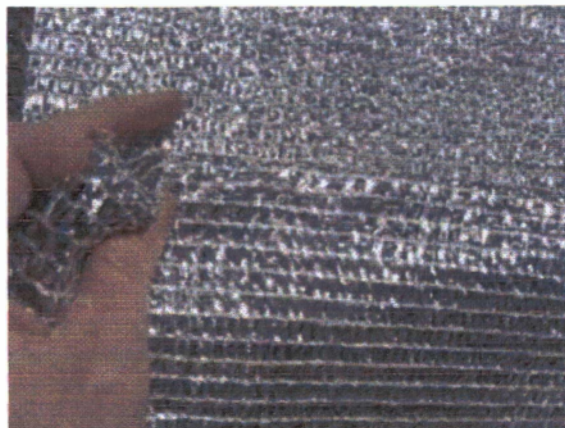
Οι πιο σημαντικές ιδιότητες είναι:

- περατότητα στο φως
- μονωτικές ιδιότητες
- συμπεριφορά στην υγρασία

Η κατασκευή κουρτινών γίνεται κυρίως από φύλλα αλουμινίου και υφασμένα υλικά. Καθώς η διαπερατότητα των φύλλων αλουμινίου είναι μικρότερη από αυτή των υφαντών υλικών, κάτω από τα φύλλα αλουμινίου η σχετική υγρασία είναι υψηλότερη από ότι κάτω από τα υφαντά υλικά. Γι' αυτό, συχνά, τα φύλλα αλουμινίου χρησιμοποιούνται όταν είναι επιθυμητή η αύξηση της σχετικής υγρασίας σε νέα φυτά.

Οι μονωτικές ιδιότητες των υλικών εξαρτώνται από την ύφανση. Μία αραιή ύφανση έχει μικρή εξοικονόμηση ενέργειας (15-20 %), αλλά έχει υψηλή περατότητα στο φως. Υλικά με πυκνότερη ύφανση μπορούν να εξοικονομήσουν έως και 40% ενέργεια, αλλά η περατότητα στο φως θα είναι μικρότερη. Οι ιδιότητες αυτές μπορούν να βελτιωθούν αν στα προηγούμενα υλικά τοποθετηθούν *λωρίδες* φύλλου αλουμινίου. Έτσι, σε ηλιόλουστες μέρες, οι λωρίδες αντανακλούν την ακτινοβολία του ηλίου ενώ αντίθετα

σε λιγότερο ηλιόλουστες μέρες η απώλεια θερμότητας από ανάκλαση στην οροφή του θερμοκηπίου ελαττώνεται. Αυξομειώνοντας τις λωρίδες που τοποθετούνται στο υλικό μπορεί να βρεθεί μια ισορροπία μεταξύ εξοικονόμησης ενέργειας και περατότητας στο φως.



σχήμα 1.21 Κουρτίνα από φύλλα αλουμινίου.

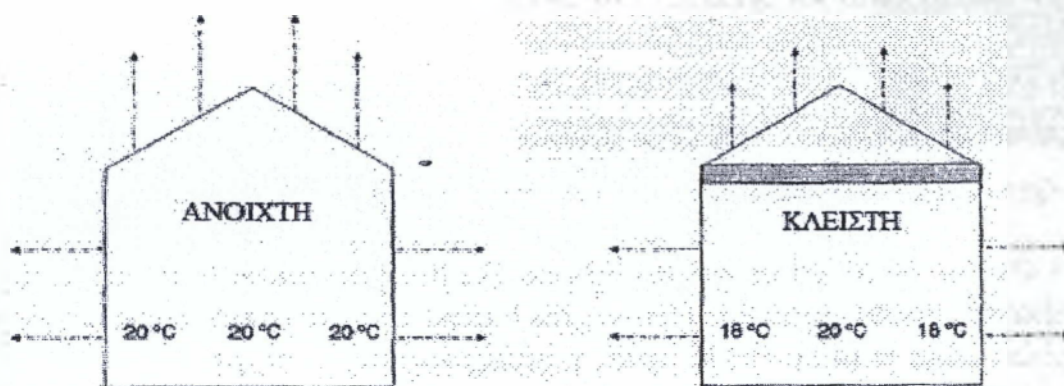
Για τον έλεγχο της φωτοπερίοδου (blackout) τα υλικά πρέπει να είναι αδιαφανή (μέγιστη περατότητα στο φως 0,1 %). Υλικά όπως μαύρα φύλλα αλουμινίου ή μαύρα υφαντά μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Αρκετές φορές είναι απαραίτητο οι κουρτίνες σκίασης (blackout) να κλείσουν το απόγευμα όσο τα φυτά ιδρώνουν ακόμα έντονα. Τότε, θα εμφανιστούν υδρατμοί ιδικά κάτω από τα μαύρα φύλλα αλουμινίου. Στην περίπτωση αυτή κάποιο υφαντό υλικό (πιο περατό) θα ήταν πιο κατάλληλο.

Όταν μια κουρτίνα κλείσει πλήρως, υπάρχει ελάχιστη εναλλαγή αέρα μεταξύ οροφής και χαμηλότερης επιφάνειας. Αν μια κουρτίνα εξοικονόμησης ενέργειας δεν κλείσει πλήρως, τότε ισχυρά ρεύματα αέρα αναπτύσσονται (ψυχρό σοκ – cold shock). Και μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας αναπτύσσονται τοπικά. Τότε αυτό μπορεί να οδηγήσει σε συμπύκνωση στα ψυχρά μέρη.

Από την άλλη πλευρά, όταν χρησιμοποιούνται κουρτίνες για να αποφευχθεί η υψηλή έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, τότε η εναλλαγή αέρα πάνω και κάτω από την κουρτίνα μπορεί να περιοριστεί έντονα: και ένα αποπνικτικά ζεστό περιβάλλον να αναπτυχθεί (υψηλή θερμοκρασία και σχετική υγρασία).

Ένα πρόβλημα με τις θερμικές κουρτίνες και τις κουρτίνες συσκότισης είναι η συμπύκνωση που εμφανίζεται στο υλικό, ειδικά στα φύλλα αλουμινίου. Αυτό μπορεί να προκαλέσει ένα υδάτινο ντους επάνω στα φυτά όταν ανοίξουν οι κουρτίνες. Το προηγούμενο φαινόμενο μπορεί να ελαχιστοποιηθεί αν χρησιμοποιηθεί ένα στρώμα αντισυμπύκνωσης που θα σκορπίσει τα σταγονίδια συμπύκνωσης.

Οριζόντιες διαφορές θερμοκρασίας μπορούν να αναπτυχθούν όταν χρησιμοποιούνται κουρτίνες για εξοικονόμησης ενέργειας. Οι θέρμανση με σωλήνες έχει υπολογιστεί για ένα θερμοκήπιο χωρίς κουρτίνες. Όταν οι κουρτίνες κλείνουν, η απώλεια θερμότητας προς τη στέγη μειώνεται και η απώλεια κοντά στα πλευρικά τοιχώματα παραμένει η ίδια, με συνέπεια να υπάρχουν χαμηλότερες θερμοκρασίες κατά μήκος των πλευρών. Αυτό μπορεί να λυθεί με τη χρησιμοποίηση πλευρικών κουρτινών, την χρήση ανεμιστήρων ή την εγκατάσταση ενός πρόσθετου σωλήνα θέρμανσης πλευρικά (βλέπε σχήμα 1.18).



σχήμα 1.18 Οριζόντιες διαφορές θερμοκρασίας όταν η κουρτίνα είναι κλειστή.

### 1.3.9 Εμπλουτισμός με CO<sub>2</sub>

Ο εμπλουτισμός του χώρου του θερμοκηπίου με διοξείδιο του άνθρακος (CO<sub>2</sub>) και μάλιστα με συγκεντρώσεις ανώτερες από αυτές που υπάρχουν στη φύση, έχει σημαντική επίδραση στην αύξηση της παραγωγής ποσοτικά και ποιοτικά. Εκτός της αναπλήρωσης του καταναλισκόμενου από τη φωτοσύνθεση CO<sub>2</sub> μέσα στον περιορισμένο



χώρο του θερμοκηπίου, αποδεικνύεται ότι οι υψηλές συγκεντρώσεις κάνουν αποδοτικότερη τη φωτοσύνθεση και μειώνουν το ρυθμό της φωτοαναπνοής.

Οι συγκεντρώσεις που είναι επιθυμητές για το θερμοκήπιο κυμαίνονται μεταξύ 0,08 – 0,18 % (800-1.800 ppm).

Οι μέθοδοι εμπλουτισμού με CO<sub>2</sub> είναι οι ακόλουθοι:

- Καύση προπανίου σε ειδικούς καυστήρες τέλειας καύσης.
- Εξάτμιση υγρού CO<sub>2</sub>.
- Χρήση αερίων των καυστήρων.

#### *Καύση προπανίου σε ειδικούς καυστήρες τέλειας καύσης*

Οι καυστήρες αυτή συνθήκως κρέμονται από την οροφή του θερμοκηπίου και είναι καυστήρες τέλειας καύσης. Ένας ανεμιστήρας τοποθετημένος μπροστά από τον θάλαμο καύσης προκαλεί ένα ισχυρό ρεύμα αέρα και διανέμει την παραχθείσα θερμότητα και το CO<sub>2</sub> στο θερμοκήπιο. Η παροχή αέρα από το εξωτερικό του θερμοκηπίου στον καυστήρα είναι απαραίτητη στα πολύ μικρά θερμοκήπια. Επίσης, το καύσιμο εκτός από προπάνιο μπορεί να είναι φυσικό αέριο ή κηροζίνη.

Με κάθε καύση παράγεται επίσης NO<sub>x</sub>. Η ζημία που προκαλείται από το NO<sub>x</sub> δεν είναι πάντα ορατή. Η αρνητική επίπτωση του NO<sub>x</sub> μπορεί να φανεί μόνο από συγκριτικά tests. Το CO<sub>2</sub> απορροφάται από τα φυτά, αλλά το NO<sub>x</sub> και άλλα αέρια παραμένουν στο θερμοκήπιο και μπορούν να συσσωρευθούν σε πολύ υψηλά επίπεδα, ειδικά στα μικρά θερμοκήπια.



σχήμα 1.19 Καυστήρας CO<sub>2</sub>

#### *Εξάτμιση υγρού CO<sub>2</sub>*

Το CO<sub>2</sub> μπορεί να κατασκευαστεί με βιομηχανικές μεθόδους όπως η θέρμανση του ασβεστόλιθου. Επιπλέον το CO<sub>2</sub> παράγεται στις διάφορες χημικές διαδικασίες, παραδείγματος χάριν στην κατασκευή των ανόργανων λιπασμάτων.

Το υγρό CO<sub>2</sub> αέριο είναι επίσης διαθέσιμο στην αγορά, και αποθηκεύεται σε δεξαμενές υπό σταθερή ατμοσφαιρική πίεση (73 Bar σε 20 °C).

Τα πλεονεκτήματα του καθαρού CO<sub>2</sub> είναι:

- Κανένα επιβλαβές υποπροϊόν.
- Η παροχή CO<sub>2</sub> είναι ανεξάρτητη από την παραγωγή θερμότητας.
- Το CO<sub>2</sub> μπορεί να διανεμηθεί καλά στο θερμοκήπιο.

- Ο έλεγχος είναι απλός, μια βαλβίδα θέτει τον εξοπλισμό σε κατάσταση 'λειτουργίας' και 'παύσης'.

Το κύριο μειονέκτημα του υγρού CO<sub>2</sub> είναι το υψηλό κόστος.



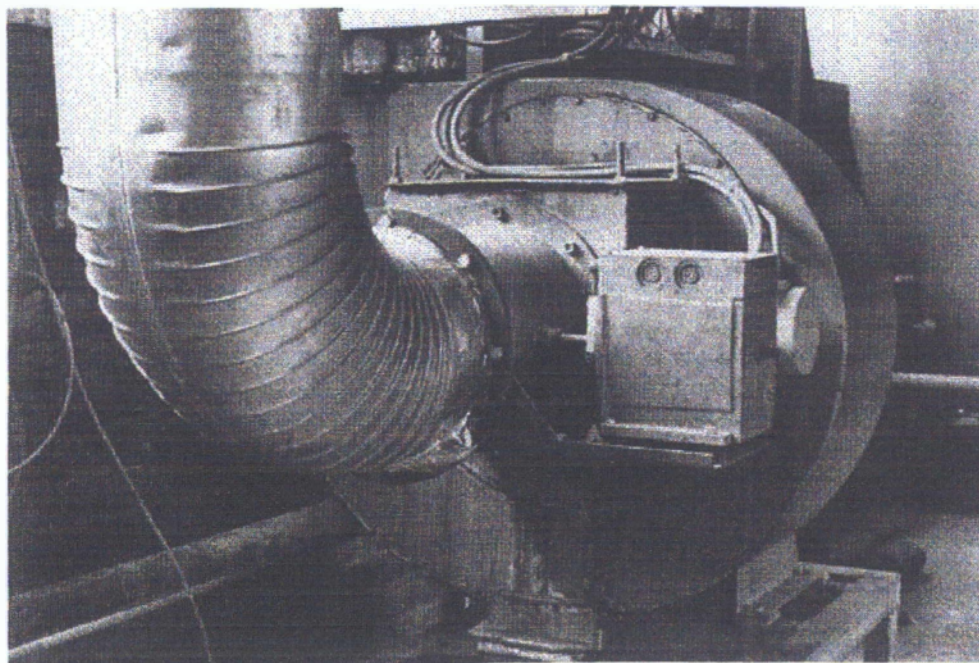
σχήμα 1.20 Υγρό CO<sub>2</sub>



### *Χρήση αερίων των καυστήρων*

Όταν ο καυστήρας χρησιμοποιεί φυσικό αέριο, το CO<sub>2</sub> από τα εξερχόμενα αέρια μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Από την καύση 1 m<sup>3</sup> φυσικού αερίου, 1.800 γραμμάρια CO<sub>2</sub> και 1.400 γραμμάρια υδρατμού παράγονται. Ένας ανεμιστήρας ωθεί τα αέρια προς την έξοδο. Σε αυτό το σημείο η θερμοκρασία των αερίων είναι 200 °C. Αυτή η θερμοκρασία είναι πάρα πολύ υψηλή για να προωθηθούν τα αέρια άμεσα στο θερμοκήπιο. Τα αέρια αναμιγνύονται με το φρέσκο αέρα για να μειωθεί η θερμοκρασία στους 60 °C και παρέχονται έπειτα στο θερμοκήπιο μέσω ενός συστήματος διανομής.

Με ένα ικανοποιητικό σύστημα θέρμανσης, 85% της θερμότητας διοχετεύεται στο νερό των σωλήνων θέρμανσης. Το άλλο 15% παραμένει στο σωλήνα ως αέριο. Με τη χρησιμοποίηση ενός συμπυκνωτή αερίων, ο υδρατμός μπορεί να συμπυκνωθεί και μέρος της θερμότητας (θερμότητα συμπύκνωσης) να απελευθερωθεί. Αυτή η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση χώματος ή τσιμεντένιων δαπέδων. Μέσα στο συμπυκνωτή, 70% του υδρατμού συμπυκνώνεται, και η θερμοκρασία των αερίων μειώνεται στους 40 °C. Με τη χρησιμοποίηση ενός συμπυκνωτή αερίων ο όγκος των αερίων μειώνεται. Για την καλή διανομή στο θερμοκήπιο μια ποσότητα φρέσκου εξωτερικού αέρα απάγεται στο εσωτερικό και αναμιγνύεται με τα αέρια.



σχήμα 1.21 Μονάδα εμπλουτισμού CO<sub>2</sub>

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού συχνά δεν υπάρχει ανάγκη θέρμανσης, αλλά μόνο για εμπλουτισμό με CO<sub>2</sub>. Οπότε ο καυστήρας τίθεται σε λειτουργία μόνο για την παραγωγή CO<sub>2</sub>.

Η θερμότητα είναι έπειτα ένα άχρηστο προϊόν. Υπάρχουν τρεις επιλογές είτε για την αποθήκευση, είτε για την χρησιμοποίηση αυτής της θερμότητας:

- Αύξηση της θερμοκρασίας του λέβητα κατά 10-15 °C, έχει ως αποτέλεσμα ο λέβητας να δρα ως συσσωρευτής θερμότητας.
- Συσσωρευτής ζεστού νερού, το πλεονάζον ζεστό νερό αποθηκεύεται σε μια μεγάλη δεξαμενή. Τη νύχτα το ζεστό νερό από τον συσσωρευτή χρησιμοποιείται για να θερμάνει το θερμοκήπιο.
- Η πλεονάζον θερμότητα διανέμεται στο σύστημα θέρμανσης σωλήνων (που αυξάνει την ελάχιστη θερμοκρασία σωλήνων). Σε αυτήν την περίπτωση, η θερμότητα δεν χρησιμοποιείται πολύ αποτελεσματικά.



σχήμα 1.22 Αποθήκευση θερμότητας κατά τη διάρκεια εμπλουτισμού με CO<sub>2</sub>.

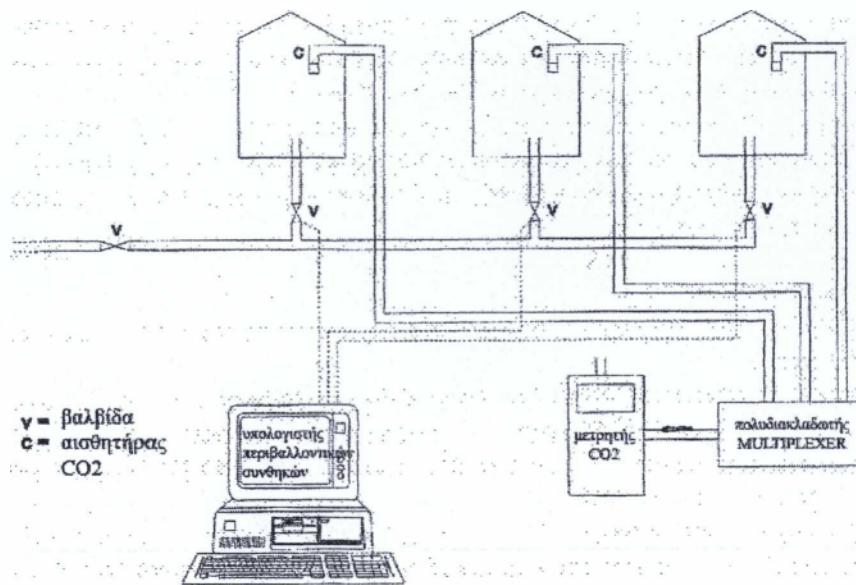
Όταν ο εμπλουτισμός με CO<sub>2</sub> λαμβάνει χώρα σε περίοδο που δεν υπάρχει καμία απαίτηση θερμότητας, ο καυστήρας τίθεται στη χαμηλότερη θέση. Ο καυστήρας μπορεί να εξοπλιστεί με συσκευή «ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ CO<sub>2</sub>». Αυτή η λειτουργία καυστήρων παρέχει ικανοποιητική παραγωγή CO<sub>2</sub> αλλά λίγη θερμότητα. Ένας καυστήρας με λειτουργία HIGH/LOW παράγει πολλή θερμότητα ακόμα και στη χαμηλή θέση (LOW). Με μικρή ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας, ο εμπλουτισμός μπορεί μόνο να παρασχεθεί για μικρές χρονικές περιόδους μόνο.

#### *Η λειτουργία μιας κεντρικής μονάδας εμπλουτισμού με CO<sub>2</sub>*

Το σχήμα 1.23 δείχνει τη σύνδεση μεταξύ του υπολογιστή περιβαλλοντικών συνθηκών και του συστήματος εμπλουτισμού με CO<sub>2</sub>.

1. Ο υπολογιστής μπορεί να θέσει σε λειτουργία το σύστημα εμπλουτισμού με CO<sub>2</sub> (π.χ. ανεμιστήρα), όταν υπάρχει απαίτηση για CO<sub>2</sub> σε ένα από τα συνδεδεμένα τμήματα. Ο ανεμιστήρας του συστήματος εμπλουτισμού θα ωθήσει το αέριο στο σωλήνα διανομής. Μπορεί να μην είναι απαραίτητο να εμπλουτιστεί ένα τμήμα, οπότε ο υπολογιστής μπορεί να προσδιορίσει τον αριθμό των τμημάτων που απαιτείται να εμπλουτιστούν προκειμένου να ενεργοποιηθεί το σύστημα.
2. Ο υπολογιστής μπορεί να ανοίξει ή να κλείσει την βαλβίδα σε κάθε τμήμα. Από τους κεντρικούς αγωγούς, το CO<sub>2</sub> μπορεί να ωθηθεί στο τμήμα(τα) όπου απαιτείται εμπλουτισμός.
3. Ο υπολογιστής μπορεί να ενεργοποιήσει τον καυστήρα σε περιόδους που δεν απαιτείται θερμότητα. Ο υπολογιστής ανάβει τον καυστήρα στη χαμηλότερη θέση του (ενδεχομένως στη CO<sub>2</sub>-θέση).
4. Ο υπολογιστής μπορεί να ελέγξει την αποθήκευση θερμότητας κατά τη διάρκεια του εμπλουτισμού με CO<sub>2</sub>:
  - \* η θερμοκρασία στο λέβητα αυξάνει,
  - \* η βαλβίδα μίξης του συστήματος θέρμανσης ανοίγει για να εκρεύσει η πλεονάζον θερμότητα,
  - \* ο συσσωρευτής θερμότητας ενεργοποιείται μέσω των βαλβίδων.





σχήμα 1.23 Σύνδεση μεταξύ του υπολογιστή περιβαλλοντικών συνθηκών και του συστήματος εμπλουτισμού με CO<sub>2</sub>.

- Εάν η ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας είναι μικρή, δύο επίπεδα CO<sub>2</sub> μπορούν να τεθούν στον υπολογιστή. Όταν απαιτείται θερμότητα, το CO<sub>2</sub> παρέχεται από το κεντρικό σύστημα. Ελλείψει της απαίτησης θερμότητας, ο υπολογιστής θέτει εκτός λειτουργίας τη κεντρική μονάδα εμπλουτισμού από τους διακόπτες και διοχετεύει υγρό CO<sub>2</sub>. Το υγρό CO<sub>2</sub> διανέμεται στο θερμοκήπιο μέσω του ίδιου συστήματος σωλήνων.

### 1.3.10 Εμπλουτισμός με CO<sub>2</sub> και περιβάλλον του θερμοκηπίου

Με την καύση του φυσικού αερίου, εκτός από CO<sub>2</sub>, παράγονται και υδρατμοί που επηρεάζουν τη σχετική υγρασία (RH). Όταν το αέριο οδηγείται σ' ένα συμπυκνωτή, 70% του υδρατμού αφαιρείται, και η επιρροή στην RH είναι ελάχιστη. Χωρίς το συμπυκνωτή η RH θα αυξηθεί σημαντικά.

Για να επιτευχθεί καλή διανομή του CO<sub>2</sub>, το αέριο πρέπει να εισαχθεί στο θερμοκήπιο με μικρό ρυθμό. Παρά το γεγονός ότι το CO<sub>2</sub> είναι βαρύτερο από τον αέρα, τείνει να διαφύγει ακόμα και μέσω των ανοιγμάτων. Αυτό συμβαίνει επειδή το αέριο είναι θερμό και ανεβαίνει ψηλά.

Για καλή οριζόντια διανομή του CO<sub>2</sub>, οι οπές διαφυγής (διατρήσεις) στους σωλήνες διανομής δεν πρέπει να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες: πρέπει να υπάρχουν λίγες διατρήσεις κοντά στο στόμιο εισαγωγής που αυξάνονται σε περισσότερες στο άκρο του αγωγού.

Στην περίπτωση εμπλουτισμού με γεννήτρια CO<sub>2</sub>, αρκετές φορές η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> μπορεί να τείνει σε υψηλά ποσοστά. Το επίπεδο του CO<sub>2</sub>, εντούτοις, δεν μπορεί να αυξάνεται απεριόριστα δεδομένου ότι θα βλάψει τα φυτά. Πρώτα τα στομάτια κλείνουν (η εφίδρωση μειώνεται), και σε πολύ υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης CO<sub>2</sub>, τα φυτά παρουσιάζουν ορατές ζημιές (μάρανση).

## 1.4 Εξοπλισμός μέτρησης

### 1.4.1 Εισαγωγή

Ένας υπολογιστής περιβαλλοντικών συνθηκών χρειάζεται τα δεδομένα μέτρησης για να ελέγξει το περιβάλλον του θερμοκηπίων. Τα δεδομένα συλλέγονται από:

- το περιβάλλον του θερμοκηπίου: θερμοκρασία, RH και CO<sub>2</sub>.
- το εξωτερικό περιβάλλον: θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου, κατεύθυνση ανέμου, ακτινοβολία (φως).
- εξοπλισμό: θερμοκρασία σωλήνων, θέση ανοιγμάτων αερισμού, θέση κουρτινών.

Για τις μετρήσεις ο υπολογιστής χρησιμοποιεί τους αισθητήρες. Οι αισθητήρες λειτουργούν με την εμπέδηση, το ρεύμα ή την τάση. Στον υπολογιστή ένα τυποποιημένο σήμα χρησιμοποιείται για όλους τους τύπους σημάτων: παραδείγματος χάριν 0 έως 5



Volt ή 0 έως 4 mA. Αυτά τα σήματα μετατρέπονται έπειτα σε έναν αριθμό από τον υπολογιστή περιβαλλοντικών συνθηκών, και οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο. Οι τιμές μέτρησης, καταγράφονται και απεικονίζονται σε γραφικές παραστάσεις και πίνακες. Κατά αυτόν τον τρόπο ο καλλιεργητής μπορεί να ελέγξει τις μετρούμενες τιμές σε σχέση με τις επιδιωκόμενες στο περιβάλλον του θερμοκηπίου.

Όταν αγοράζονται όργανα μέτρησης, η χρήση για την οποία προορίζονται είναι πολύ σημαντική. Είναι ανώφελο να μετρηθεί η θερμοκρασία ενός θερμοκηπίου με ένα εύθραυστο κλινικό θερμόμετρο. Τα ακόλουθα κριτήρια είναι σημαντικά:

#### *Εύρος μέτρησης*

Η τιμή μεταξύ ανώτερου και χαμηλότερου ορίου λειτουργίας.

#### *Παράδειγμα*

Η θερμοκρασία των θερμοκηπίων μπορεί να μετρηθεί από -10 έως +40 °C. Αν το εύρος μέτρησης επεκτείνεται από -10 + σε 40 °C, υψηλότερες ή χαμηλότερες θερμοκρασίες δεν μπορούν να μετρηθούν.

#### *Έκταση μέτρησης*

Η διαφορά μεταξύ της υψηλότερης και χαμηλότερης τιμής.

#### *Παράδειγμα*

Η θερμοκρασία θερμοκηπίων μετριέται από -10 έως +40 °C. Η έκταση είναι 50 °C.

#### *Ανακρίβεια*

Η διαφορά μεταξύ της πραγματικής τιμής και της μετρημένης τιμής, εκφρασμένη σε ποσοστό επί της μετρούμενης έκτασης.

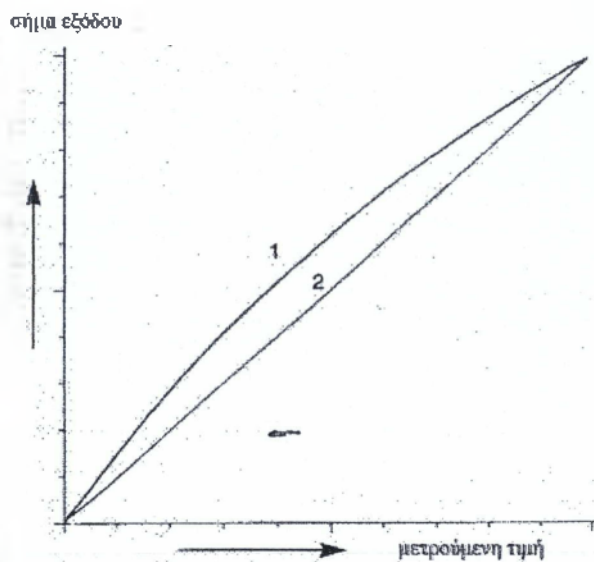
#### *Παράδειγμα*

Πραγματική τιμή 20 °C

Μετρούμενη τιμή 21 °C

Έκταση μέτρησης 50 °C

Ανακρίβεια  $(21 - 20) / 50 * 100 \% = 2 \%$



1. μη γραμμική
2. γραμμική

σχήμα 1.24 Γραμμικότητα.

#### *Γραμμικότητα*

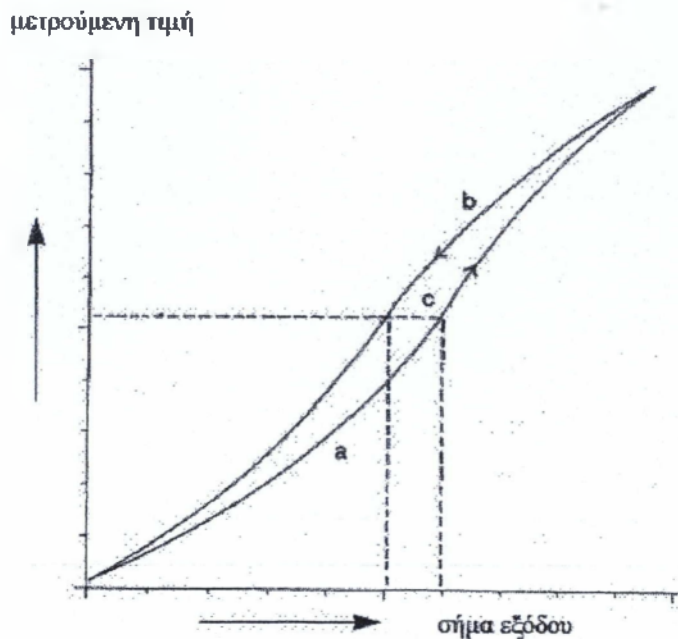
Ο βαθμός στον οποίο μια άνοδος στο μετρούμενο σήμα αντιστοιχεί σε μια αύξηση της μετρούμενης τιμής (βλέπε σχήμα 1.24).

#### *Ανταπόκριση*

Η μικρότερη αλλαγή της μετρούμενης τιμής λόγω μιας αλλαγής του μετρούμενου σήματος.

#### *Υστέρηση*

Η διαφορά μεταξύ δύο μετρήσεων για την ίδια τιμή που πρόκειται να μετρηθεί, ανάλογα με το εάν αυτή η τιμή προσεγγίζεται από μια υψηλότερη ή χαμηλότερη τιμή (βλέπε σχήμα 1.25).



Γράφημα σήματος εξόδου μετά από:

- a) αύξηση της μετρούμενης τιμής
- b) μείωση της μετρούμενης τιμής

Η υστέρηση (c) είναι η διαφορά μεταξύ του σήματος εξόδου (a) και του σήματος εξόδου (b).

σχήμα 1.25 Καμπύλη υστέρησης.

#### 1.4.2 Μέτρηση θερμοκρασίας

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα θερμομέτρα. Στη φυτική παραγωγή χρησιμοποιείται ο ακόλουθος εξοπλισμός:

- θερμομέτρο γυαλιού
- διμεταλλικό θερμομέτρο (θερμο-υγρογράφος / thermo-hygrograph)
- θερμομέτρο αντίστασης
- θερμοηλεκτρικό ζεύγος

### 1. Θερμόμετρο γυαλιού

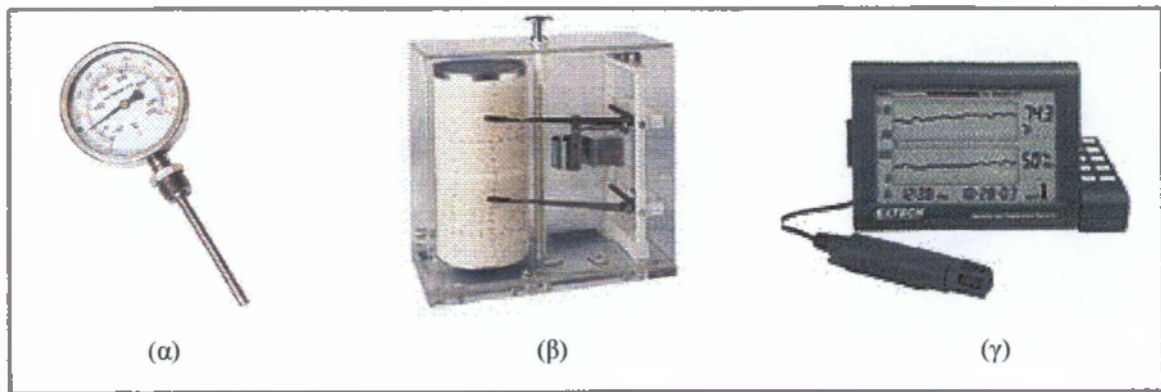
Ένα θερμόμετρο γυαλιού αποτελείται από έναν λεπτό γυάλινο σωλήνα με μια μικρή δεξαμενή στη βάση (βολβός). Αυτή η δεξαμενή περιέχει μια υγρή πλήρωση, συνήθως υδράργυρο. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, ο όγκος του υδραργύρου αυξάνεται. Η άνοδος είναι ανάλογη προς τη θερμοκρασία. Δίπλα στο γυάλινο σωλήνα υπάρχει μια κλίμακα. Το ύψος του υδραργύρου στο γυάλινο σωλήνα δείχνει τη θερμοκρασία και διαβάζεται από την κλίμακα σε βαθμούς Κελσίου.

Τα θερμόμετρα γυαλιού είναι φτηνά, αλλά εύθραυστα και ο λεπτός γυάλινος σωλήνας δεν είναι εύκολο να διαβαστεί. Το θερμόμετρο γυαλιού δεν είναι κατάλληλο για εισαγωγή μετρήσεων στον υπολογιστή. Η κύρια χρήση τους είναι στον έλεγχο των άλλων οργάνων μέτρησης θερμοκρασίας.

### 2. Διμεταλλικό θερμόμετρο (θερμο-υγρογράφος / thermo-hygrograph)

Ένα διμεταλλικό θερμόμετρο κατασκευάζεται από μια διμεταλλική λουρίδα, η διμεταλλική λουρίδα αποτελείται από δύο στρώματα μετάλλου που συνδέονται το ένα με το άλλο, κάθε στρώματα μετάλλου έχει διαφορετικό συντελεστή στρέβλωσης. Καθώς η θερμοκρασία αυξάνεται, ο διμεταλλική λουρίδα στρεβλώνει. Αυτή η στρέβλωση είναι προς το μέταλλο με το μικρότερο συντελεστή στρέβλωσης. Το διμέταλλο κάμπτεται συχνά σπειροειδώς. Μια μικρή αλλαγή στη θερμοκρασία οδηγεί έπειτα σε μια μεγάλη στρέβλωση.

Ένα διμεταλλικό θερμόμετρο είναι χρήσιμο όταν μετράται μεγάλο εύρος θερμοκρασίας (-30 °C έως +55 °C). Το διμεταλλικό θερμόμετρο είναι λιγότερο εύθραυστο από ένα γυάλινο θερμόμετρο, και χρησιμοποιείται στο thermo-hygrograph (βλέπε σχήμα 1.26). Μια άλλη χρήση του διμεταλλικού θερμομέτρου βρίσκεται στο θερμοστάτη. Με τη στρέβλωση του μετάλλου, μια επαφή μπορεί να ανοίξει ή να κλείσει ένα κύκλωμα σε μια καθορισμένη θερμοκρασία. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, όπως μια βλάβη που μπορεί να προκληθεί από μια αστραπή, ο θερμοστάτης μπορεί να αναλάβει τον έλεγχο θέρμανσης από τον υπολογιστή.



σχήμα 1.26 (α) διμεταλλικό θερμόμετρο  
 (β) θερμο-υγραγράφος (thermo-hygrograph)  
 (γ) ψηφιακός θερμο-υγραγράφος

### 3. Θερμόμετρο αντίστασης

Σε ένα θερμόμετρο αντίστασης υπάρχει ένα μέταλλο ή ένα κεραμικό καλώδιο, το οποίο έχει μια ορισμένη αντίσταση και από το οποίο μπορεί να διέλθει ηλεκτρικό ρεύμα. Υπό την επίδραση θερμοκρασίας, η αντίσταση αλλάζει. Μια αύξηση θερμοκρασίας θα δώσει μια γραμμική αλλαγή της αντίστασης. Καθώς η θερμοκρασία αλλάζει, η αντίσταση μπορεί είτε να αυξηθεί είτε να μειωθεί, ανάλογα με τον τύπο του υλικού:

PTC → αύξηση θερμοκρασίας: αύξηση αντίστασης

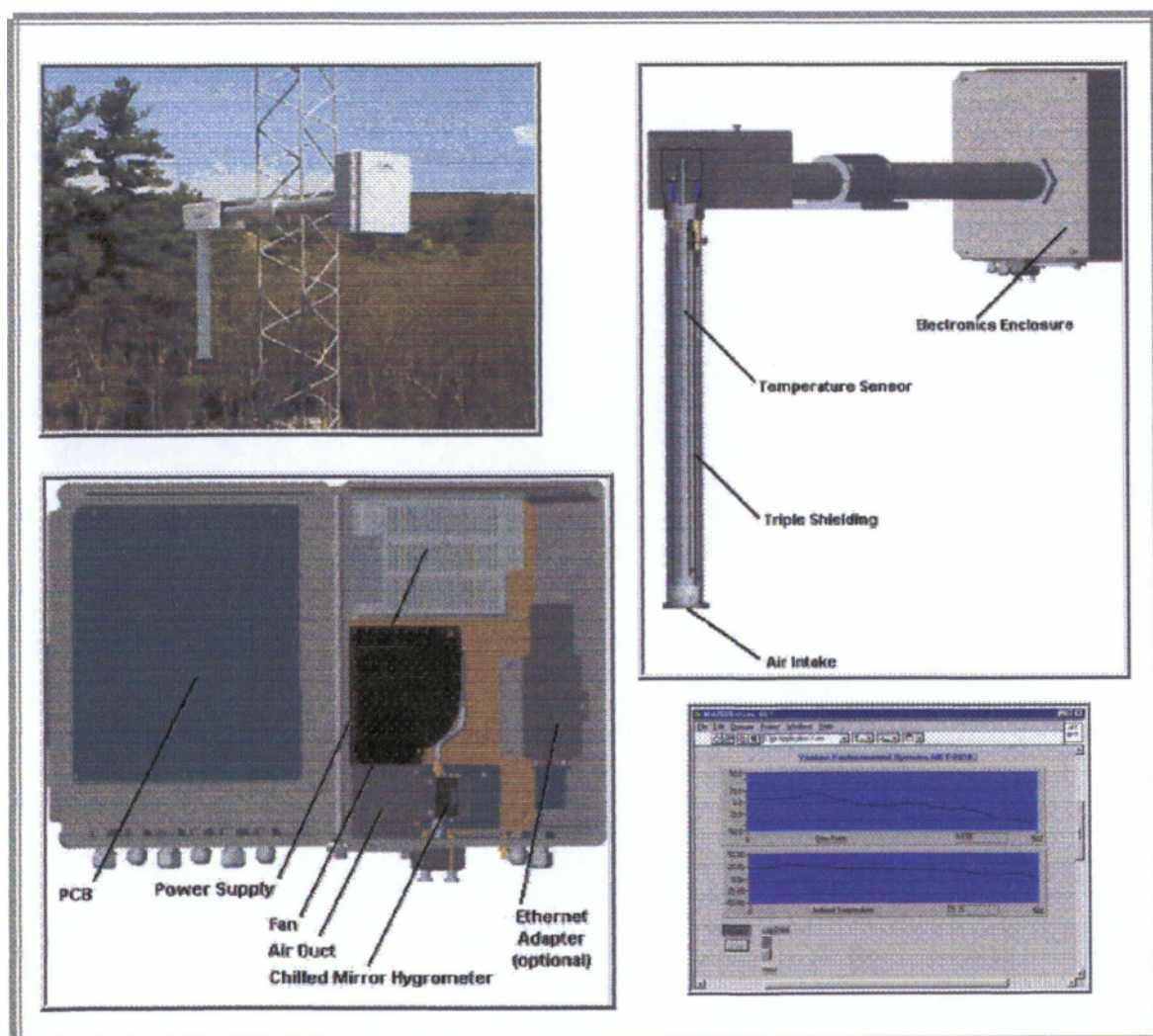
Σε ένα θερμόμετρο αντίστασης με θετικό συντελεστή θερμοκρασίας (Positive Temperature Coefficient - PTC), έχουμε αύξηση της αντίστασης με άνοδο της θερμοκρασίας. Ένα συνήθως χρησιμοποιούμενο στοιχείο είναι ο λευκόχρυσος-100 (PT-100). Τα θερμόμετρα PT-100 σε 0 °C έχουν αντίσταση ακριβώς 100 Ohm. Σε 100 °C η αντίσταση είναι 138.5 Ohm. Τα PT-100 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν τη θερμοκρασία του αέρα σ' ένα θερμοκήπιο και τη θερμοκρασία των σωλήνων θέρμανσης.



NTC → αύξηση θερμοκρασίας: μείωση αντίστασης

Υπάρχουν επίσης θερμομέτρα αντίστασης, όπου η αντίσταση μειώνεται με άνοδο της θερμοκρασίας. Αυτά καλούνται NTC (Negative Temperature Coefficient). Τα NTC είναι επίσης κατάλληλα για τη μέτρηση της θερμοκρασίας των θερμοκηπίων. Το πλεονέκτημά τους είναι ότι η αλλαγή στην αντίσταση είναι 10 έως 20 φορές μεγαλύτερη απ' ό τι στα PTC, έτσι έχουν μεγαλύτερη ανταπόκριση.

Τα θερμομέτρα αντίστασης είναι δυνατό να συνδεθούν με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, για να συνδεθούν χρησιμοποιείται ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα γνωστό με την ονομασία "Wheatstone bridge".



σχήμα 1.27 Εξωτερικό θερμομέτρο αντίστασης με θερμο-υγραγράφο.

#### 4. Θερμοηλεκτρικό ζεύγος

Σε ένα θερμόμετρο θερμοηλεκτρικών ζευγών, δύο καλώδια μετάλλων συνδέονται το ένα με το άλλο. Αυτά τα καλώδια μετάλλων αποτελούνται το καθένα από ένα διαφορετικό μέταλλο ή κράμα, παραδείγματος χάριν χαλκό και κράμα νικελίου χαλκού. Τα καλώδια ενώνονται μεταξύ τους. Η τάση μεταξύ των δύο μετάλλων εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Η τάση μπορεί να μετρηθεί με ένα ευαίσθητο βολτόμετρο. Η δε θερμοκρασία μπορεί να καθοριστεί από τη μετρούμενη τάση.

Το καλώδιο θερμοηλεκτρικών ζευγών είναι φτηνό και εύκολο στη χρήση του. Χρησιμοποιώντας μια ταινία, διάφορα θερμοηλεκτρικά ζεύγη μπορούν να συνδεθούν σε ένα σημείο μέτρησης (π.χ. φύλλα, μίσχους, καρπούς). Έπειτα τα καλώδια θερμοηλεκτρικών ζευγών μπορούν να συνδεθούν με έναν απλό πολυδιακλαδοτή, και με ένα απλό όργανο μέτρησης τα κανάλια μπορούν διαδοχικά να επιλεχθούν και να μετρηθούν.

#### 1.4.3 Μέτρηση υγρασίας

Για τη μετρήσει της ατμοσφαιρικής υγρασία σε ένα θερμοκήπιο τρία όργανα χρησιμοποιούνται συχνά:

- υγρόμετρο τρίχας
- ψυχρόμετρο / psychrometer (ξηρού και υγρού βολβού)
- χωρητικός μετρητής υγρασίας.

##### 1. Υγρόμετρο τρίχας

Σε ένα υγρόμετρο τρίχας μια δέσμη τρίχας τεντώνεται και κρατιέται κάτω από ορισμένη ένταση από ένα ελατήριο. Η τρίχα επιμηκύνεται όταν έχουμε αύξηση της ατμοσφαιρικής υγρασία. Αυτό εμφανίζεται περισσότερο ή λιγότερο γραμμικά μεταξύ ενός RH 40 % και 90 %. Η αλλαγή στο μήκος της τρίχας διαβιβάζεται έπειτα σε ένα βαθμονομημένο όργανο με κλίμακα από 0 % έως 100 %. Είναι σημαντικό να ελέγχεται η ακρίβεια του υγρομέτρου τρίχας τακτικά, καθώς μετά από μια μεγάλη περίοδο χρήσης χάνει την ακρίβειά του. Η τρίχα υπό την επίδραση του ελατηρίου τεντώνεται περαιτέρω,

γίνεται βρώμικη με τη σκόνη κ.λ.π. Διαφορές της τάξης του 10 % μεταξύ της πραγματικής και της μετρούμενης τιμής είναι κανόνας παρά εξαίρεση. Η ρύθμιση (καλιμπράρισμα) του υγρομέτρου τρίχας γίνεται απλά με την τοποθέτηση ενός υγρού υφάσματος πάνω από το όργανο. Μετά από λίγα λεπτά το όργανο θα πρέπει να δείχνει 100 %. Εάν όχι, το όργανο ρυθμίζεται με τη βοήθεια μιας βίδας που διαθέτει.

Το υγρόμετρο τρίχας συνδυάζεται συχνά με ένα διμεταλλικό θερμομέτρο (βλέπε σχήμα 1.26) σε έναν θερμο-υγρογράφο (thermo-hygrograph). Και τα δύο συνδέονται με ένα τόμπανο σχεδίων, όπου η ακίδα κινείται πάνω σε ένα διάγραμμα. Το διάγραμμα οδηγείται από ένα ρολόι και τρέχει παραδείγματος χάριν για μια εβδομάδα. Το αποτέλεσμα είναι ένα γραφικό αρχείο της θερμοκρασίας και του RH.

## 2. Ψυχρόμετρο (Psychrometer)

Ένα ψυχρόμετρο (Psychrometer) κάνει τις μετρήσεις δύο θερμοκρασιών:

- ξηρής θερμοκρασίας (Dry Bulb Temperature - DBT)
- υγρής θερμοκρασίας (Wet Bulb Temperature - WBT)

Για τη μέτρηση της υγρασίας DBT και WBT, απαιτούνται δύο αισθητήρες θερμοκρασίας, οι οποίοι μπορούν να είναι είτε θερμομέτρα γυαλιού είτε θερμομέτρα αντίστασης. Ο DBT-αισθητήρας μετρά τη θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου. Ο αισθητήρας WBT εσωκλείεται σε ένα βρεγμένο φυτίλι από το οποίο το νερό μπορεί να εξατμίσει ελεύθερα. Για την εξατμίση αυτού του ύδατος απαιτείται θερμότητα. Αυτή η θερμότητα παρέχεται από τον WBT-αισθητήρα. Καθώς η υγρασία ελαττώνεται, περισσότερο ύδωρ εξατμίζεται από το φυτίλι και ο αισθητήρας WBT μετράει μια χαμηλότερη θερμοκρασία.

Όταν οι τιμές DBT και το WBT είναι γνωστές το RH μπορεί να διαβαστεί από το διάγραμμα *mollier*. Οι υδρατμοί πρέπει να αφαιρεθούν από τον αισθητήρα WBT, αλλά εάν η ταχύτητα του αέρα είναι πάρα πολύ μικρή, πολύ λίγο υδρατμοί εξατμίζονται. Τότε, ο αισθητήρας WBT θα δώσει μια πάρα πολύ υψηλή τιμή. Ο υπολογιστής μετρά τη DBT και τη WBT με τα θερμομέτρα αντίστασης. Οι DBT και οι WBT τοποθετούνται μέσα σε ένα προστατευμένο κυτίο (βλέπε σχήμα 1.28). Το κυτίο προστατεύει τους αισθητήρες θερμοκρασίας από τις άμεσες επιρροές όπως η ηλιακή ακτινοβολία και η υγρασία. Ένας

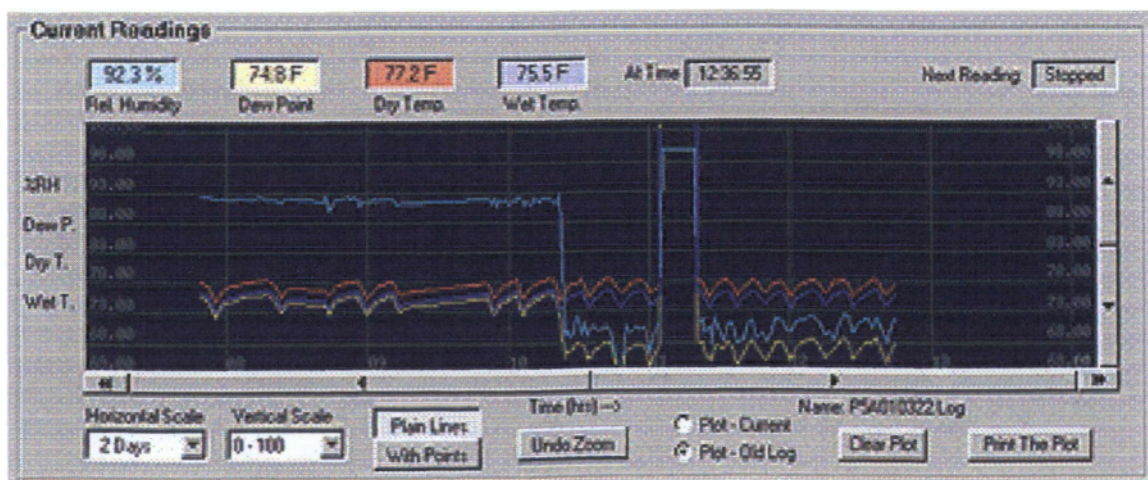


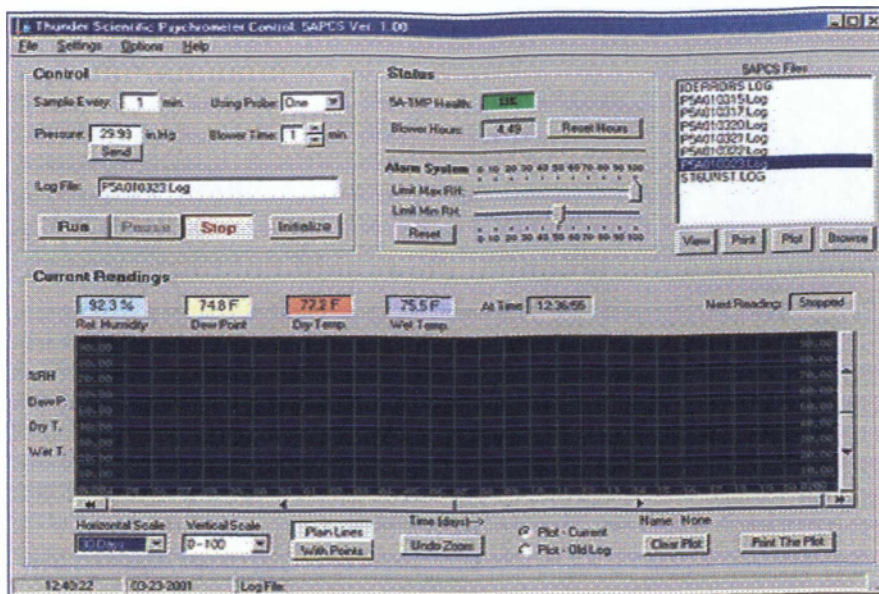
ανεμιστήρας τοποθετημένος μετά από τους αισθητήρες ωθεί τον αέρα προς τα έξω με ταχύτητα 2 m/s.



σχήμα 1.28 Ψυχρόμετρα.

Το ψυχρόμετρο Assman είναι ένας φορητός μετρητής (βλέπε σχήμα 1.30) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο των αισθητήρων DBT και WBT. Η απαραίτητη κυκλοφορία αέρα παράγεται με ένα ελατήριο. Επίσης υπάρχουν και ψηφιακοί φορητοί μετρητές (βλέπε σχήμα 1.28) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο των αισθητήρων.



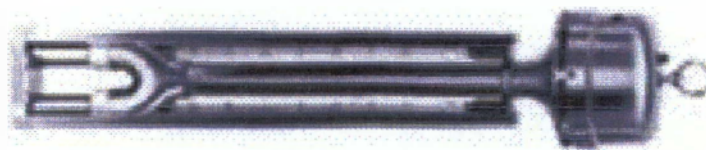


```

View File: C:\PROGRAM FILES\SAPCS\PSA010322 Log
SAPCS Psychrometer Log File
Operator = Mike
SA-IMP Coefficients for Probe Number: 1
Dry Bulb Linearity:      8.2440000E-05
Dry Bulb Span:          8.8235135E-01
Dry Bulb Zero:          4.0164000E+02
Dry Bulb Ohms Linearity: 0.0000000E+00
Dry Bulb Ohms Span:     3.3333333E-03
Dry Bulb Ohms Zero:     4.6000000E+02
Wet Bulb Linearity:     8.2440000E-05
Wet Bulb Span:          8.8235135E-01
Wet Bulb Zero:          4.0164000E+02
Wet Bulb Ohms Linearity: 0.0000000E+00
Wet Bulb Ohms Span:     3.3333333E-03
Wet Bulb Ohms Zero:     4.6000000E+02
SA-IMP,03-22-2001,07:49:17,1, 92.3, 24.3, 25.7, 24.7,0.97427,0.91880,0.89849
SA-IMP,03-22-2001,07:52:20,1, 92.2, 23.9, 25.3, 24.3,0.95145,0.89717,0.87675
SA-IMP,03-22-2001,07:55:23,1, 92.0, 22.4, 23.0, 22.8,0.87164,0.82167,0.80158
SA-IMP,03-22-2001,07:58:26,1, 92.1, 23.6, 25.0, 24.0,0.93474,0.88119,0.86123
SA-IMP,03-22-2001,08:01:28,1, 91.8, 23.8, 25.3, 24.2,0.94983,0.89343,0.87203
SA-IMP,03-22-2001,08:04:31,1, 92.0, 24.1, 25.4, 24.4,0.96057,0.90444,0.88369
SA-IMP,03-22-2001,08:07:33,1, 92.0, 24.2, 25.6, 24.6,0.96759,0.91102,0.89016
SA-IMP,03-22-2001,08:10:36,1, 91.9, 24.3, 25.7, 24.6,0.97292,0.91555,0.89450
SA-IMP,03-22-2001,08:13:38,1, 92.4, 24.4, 25.8, 24.8,0.97867,0.92411,0.90390
SA-IMP,03-22-2001,08:16:41,1, 91.9, 24.5, 25.9, 24.9,0.98878,0.93061,0.90959

```

σχήμα 1.29 Οθόνη καταγραφής δεδομένων υγρασίας στον υπολογιστή.

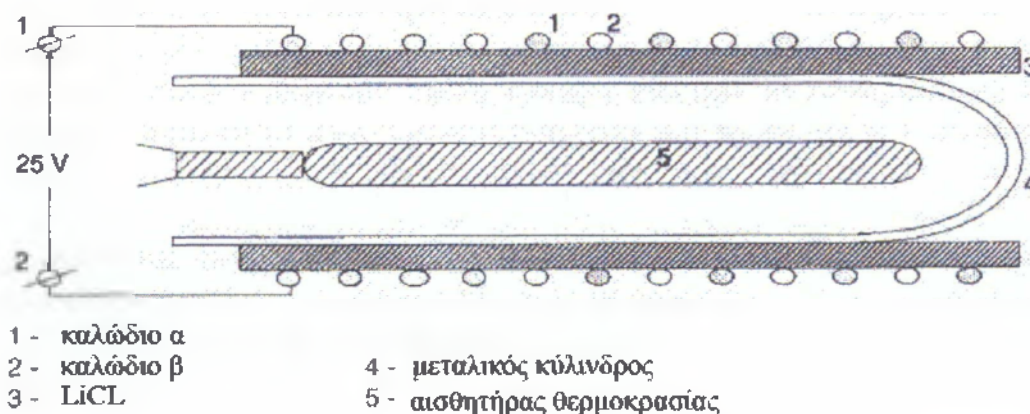


σχήμα 1.30 Ψυχρόμετρο Assman



### 3. Χωρητικός μετρητής υγρασίας

Ο χωρητικός μετρητής υγρασίας λειτουργεί διαφορετικά από τη μέτρηση με τους αισθητήρες DBT και WBT. Μέσα στο μετρητή υπάρχει ένα άλας: χλωριούχο λίθιο (βλέπε σχήμα 1.31). Το άλας είναι υγροσκοπικό (απορροφά την υγρασία). Υπάρχουν δύο καλώδια πέρα από το στρώμα άλατος, τα οποία αποτελούνται από ασήμι ή χρυσό. Αυτά τα καλώδια συνδέονται με μια πηγή 25 Volts. Όταν το άλας είναι ξηρό, το ρεύμα δεν μπορεί να περάσει από αυτά τα καλώδια. Όταν το άλας είναι υγρό, μπορεί να γίνει αγωγός ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε από τα δύο καλώδια διέρχεται ρεύμα. Όταν υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα, απελευθερώνεται θερμότητα. Μέσα στο μεταλλικό κύλινδρο υπάρχει ένας αισθητήρας θερμοκρασίας. Καθώς η υγρασία αυξάνεται το άλας γίνεται περισσότερο υγρό, οπότε θα υπάρξει ισχυρότερο ρεύμα και περισσότερη θερμότητα θα απελευθερωθεί. Τότε, ο αισθητήρας θερμοκρασίας καταχωρεί μια υψηλότερη θερμοκρασία.



σχήμα 1.31 Σχηματική παράσταση χωρητικού μετρητή υγρασίας.

Όταν το άλας γίνεται υγρό γίνεται αγωγός ρεύματος. Λόγω της απελευθέρωσης θερμότητας το άλας διατηρείται ξηρό. Όταν το RH είναι πολύ υψηλό η απελευθερωμένη θερμότητα είναι ανεπαρκής να κρατήσει το άλας ξηρό, οπότε οι κρύσταλλοι άλατος διαλύονται. Αυτό θα καταστήσει το μετρητή ακατάλληλο προς χρήση. Έτσι, θα πρέπει πάντα να υπάρχει μια τάση στο μετρητή, ακόμα και όταν δεν χρησιμοποιείται.

Το εύρος λειτουργίας ενός χωρητικού υγρομέτρου είναι μεταξύ RH 40 % και 90 %. Επίσης, η ανακρίβεια της μέτρησης μειώνεται με τις υψηλές και χαμηλές υγρασίες.

Το υγρόμετρο είναι επίσης ευαίσθητο στη μόλυνση από τη σκόνη (π.χ. φυτοφάρμακα). Το πλεονέκτημα ενός χωρητικού μετρητή υγρασίας είναι η ελάχιστη συντήρηση σε σύγκριση με τη μέτρηση της υγρασίας με αισθητήρες DBT και WBT.

#### 1.4.4 Μετρητές ακτινοβολίας και αισθητήρες φωτός

Για τη μετρήσει της ακτινοβολίας και του φωτός οι ακόλουθοι μετρητές χρησιμοποιούνται:

- μετρητής ακτινοβολίας (Kipp Solarimeter)
- αισθητήρας PAR
- φωτόμετρο.

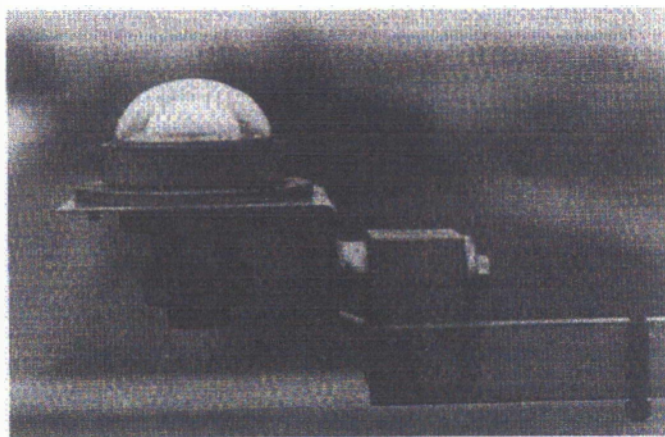
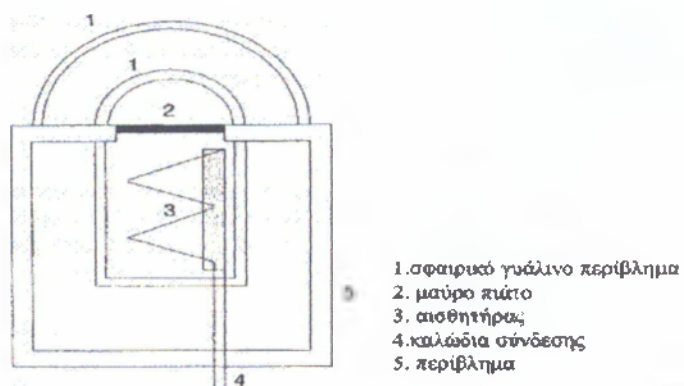
##### *1. Μετρητής ακτινοβολίας (Kipp Solarimeter)*

Το σχήμα 1.32 είναι μια γραφική αντιπροσώπευση ενός μετρητή ακτινοβολίας. Αυτός ο μετρητής μετρά την ακτινοβολία σε ένα μήκος κυμάτων μεταξύ 300 και 3000 nm. Σε αυτό το εύρος μπορεί να μετρηθεί η υπεριώδης ακτινοβολία, το θρατό φως, η υπέρυθρη ακτινοβολία και η ακτινοβολούμενη θερμότητα. Ο μετρητής ακτινοβολίας τοποθετείται σε ένα σταθμό μέτρησης έξω από το θερμοκήπιο, και μέτρα το σύνολο της ενέργειας που παραλαμβάνεται από το θερμοκήπιο.

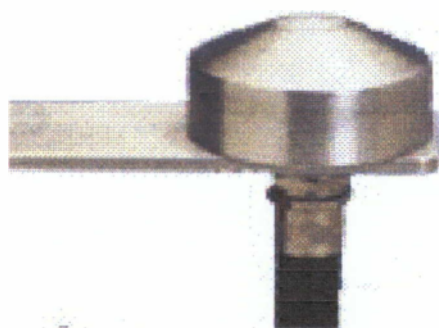
Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στο μαύρο πιάτο (βλέπε σχήμα 1.32), το οποίο απορροφά όλη την ενέργεια. Καθώς η ακτινοβολία αυξάνεται, το μαύρο πιάτο θερμαίνεται και ακτινοβολεί τη θερμότητα επάνω στον αισθητήρα. Ανάλογα με την ακτινοβολία αναπτύσσεται θερμοκρασία. Η λειτουργία του αισθητήρα μπορεί να συγκριθεί με αυτή του θερμοηλεκτρικό ζεύγους (βλέπε παράγραφο 1.4.2).

Υπάρχουν επίσης μετρητές ακτινοβολίας χωρίς το μαύρο πιάτο. Αυτοί οι μετρητές έχουν έναν "γυμνό" αισθητήρα (βλέπε σχήμα 1.33), και μετράτε μόνο την ακτινοβολούμενη θερμότητα (> 700 nm). Φτηνότεροι μετρητές ακτινοβολίας είναι διαθέσιμοι από διάφορους κατασκευαστές υπολογιστών περιβαλλοντικού ελέγχου. Οι αναγνώσεις αυτών των φτηνών μετρητών ακτινοβολίας είναι συχνά ανακριβείς

δεδομένου ότι ορισμένα χρώματα του φάσματος δεν μετρούνται καθόλου ή μετρούνται λανθασμένα.



σχήμα 1.32 Μετρητής ακτινοβολίας.

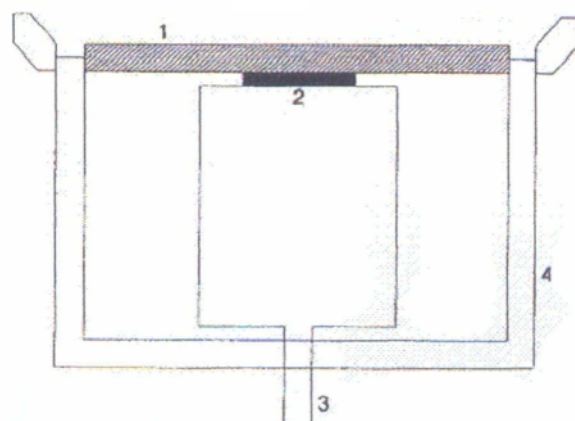


σχήμα 1.33 Μετρητής ακτινοβολίας με "γυμνό" αισθητήρα.

## 2. Μετρητής PAR

Στο σχήμα 1.34 υπάρχει μια γραφική παράσταση ενός μετρητή PAR.

Σε έναν μετρητή PAR υπάρχει ένα πιάτο σιλικόνης, το οποίο είναι ημιαγωγός. Μέσω αυτού του ημιαγωγού μπορεί να περάσει ηλεκτρικό ρεύμα. Το μέγεθος του ρεύματος εξαρτάται από το ποσό ορατό φως προσπίπτει πάνω στη σιλικόνη. Όσο περισσότερο φως προσπίπτει στη σιλικόνη, τόσο η αντίσταση ελαττώνεται και τόσο ισχυρότερο ρεύμα περνάει.



1. λευκό γυάλινο πιάτο
2. πιάτο σιλικόνης
3. καλώδια σύνδεσης
4. περίβλημα

σχήμα 1.34 Γραφική παράσταση μετρητή PAR.



σχήμα 1.35 Μετρητές PAR.

Οι μετρήσεις ενός μετρητή PAR είναι παρόμοιες με την ευαισθησία των φυτών στο φως. Αυτό επιτυγχάνεται με φίλτρα και την τάση στο πιάτο σιλικόνης. Έτσι η κόκκινη ακτινοβολία μετριέται πιο εντατικά από ότι η πράσινη, η μπλε και η κίτρινη ακτινοβολία. Η μονάδα που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση PAR είναι η ίδια όπως για το μετρητή ακτινοβολίας:  $W/m^2$ . Ο μετρητής PAR χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του τεχνητού φωτισμού.

### 3. Φωτόμετρο

Το φωτόμετρο καλείται επίσης lux-meter και μετρά το φως στη ζώνη 400-700 nm. Όπως και με τον μετρητή PAR έτσι και το φωτόμετρο έχει ένα πιάτο σιλικόνης. Όσο περισσότερο φως προσπίπτει, τόσο η αντίσταση ελαττώνεται και ισχυρότερο ρεύμα διέρχεται μέσω της σιλικόνης. Η διέλευση ρεύματος εκτρέπει το δείκτη. Η μέτρηση είναι παρόμοια με την ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού. Έμφαση δίνεται στη μέτρηση κίτρινου/πράσινου φωτός με μήκος κύματος 500-600 nm. Για τη φωτοσύνθεση, τα φυτά χρειάζονται το κόκκινο και μπλε φως. Αυτό καθιστά το φωτόμετρο λιγότερο κατάλληλο για τη σύνδεση στον υπολογιστή ελέγχου περιβαλλοντικού συνθηκών.

### 1.4.5 Μετρητής CO<sub>2</sub>

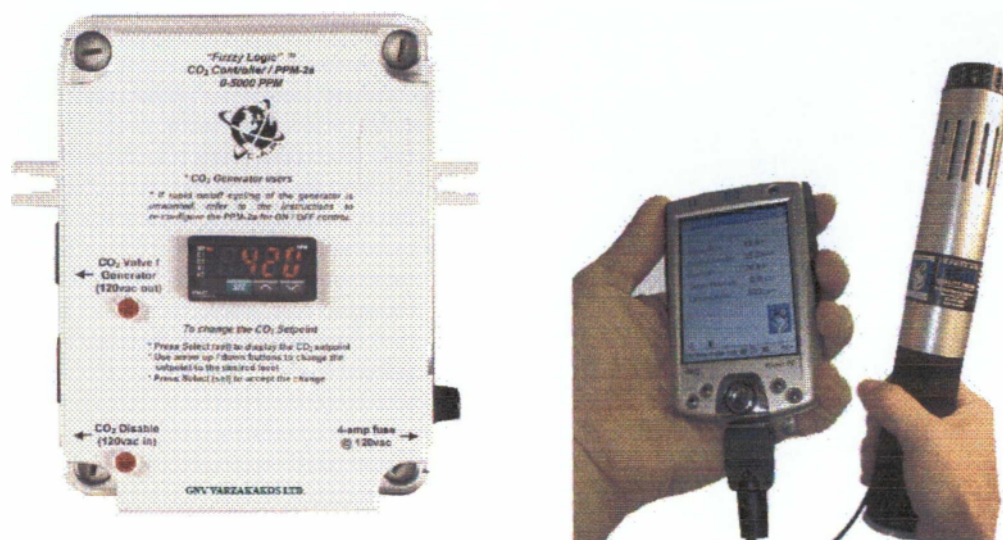
Ο αέρας από τα τμήματα του θερμοκηπίου εισέρχεται στον μετρητή μέσω μιας αντλίας που διαθέτει ο μετρητής. Ο αέρας πριν εισαχθεί στο θάλαμο μέτρησης της συσκευής περνά μέσα από ένα φίλτρο σκόνης και μια παγίδα υγρασίας. Δίπλα σε αυτόν τον θάλαμο βρίσκεται μια πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας, η ακτινοβολία περνά μέσα από ένα φίλτρο και μπαίνει στο θάλαμο μέτρησης.

Το CO<sub>2</sub> απορροφά αυτήν την ακτινοβολία, με συνέπεια την αλλαγή της πίεσης μέσα στο θάλαμο μέτρησης. Αυτή η αλλαγή στην πίεση μετριέται με τη βοήθεια ενός μικρού μικροφώνου (ακουστικό σήμα). Όσο περισσότερο CO<sub>2</sub>, τόσο μεγαλύτερη η διαφορά στην πίεση.

Η μέτρηση διαρκεί περίπου 10 δευτερόλεπτα. Οπότε σε ένα θερμοκήπιο με αρκετά τμήματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μετρητής και ένας πολυδιακλαδωτής και



δεδομένου ότι ο κύκλος μετρήσεων του υπολογιστή περιβαλλοντικών συνθηκών είναι 60 δευτερόλεπτα. Έξι τμήματα του θερμοκηπίου μπορούν να συνδεθούν με έναν μετρητή CO<sub>2</sub> μέσω ενός πολυδιακλαδωτή.

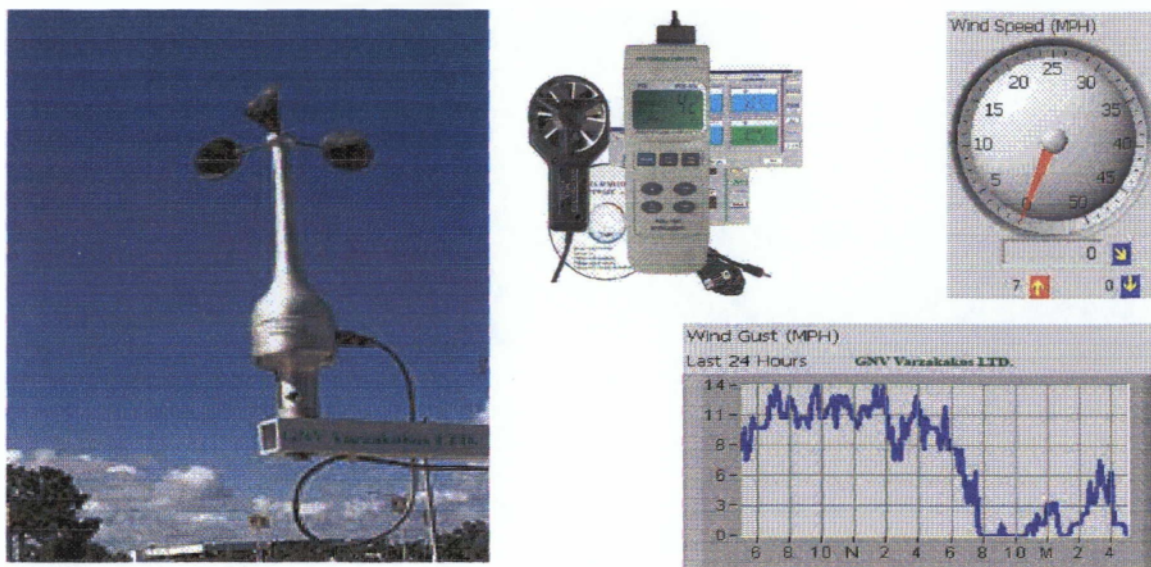


σχήμα 1.36 Μετρητές CO<sub>2</sub>. Στην εικόνα δεξιά φαίνεται ένας μετρητής CO<sub>2</sub> συνδεδεμένος σ' ένα υπολογιστή παλάμης.

#### 1.4.6 Ανεμόμετρο

Ένα ανεμόμετρο μοιάζει πολύ με ένα μικρό ανεμόμυλο και εγκαθίσταται σε έναν μετεωρολογικό σταθμό (βλέπε σχήμα 1.37). Όταν ο μύλος οδηγείται από τον αέρα, ένα δυναμό παράγει μια τάση. Η παραγμένη τάση αυξάνεται όσο γρηγορότερα περιστρέφεται ο μύλος καθώς η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται.

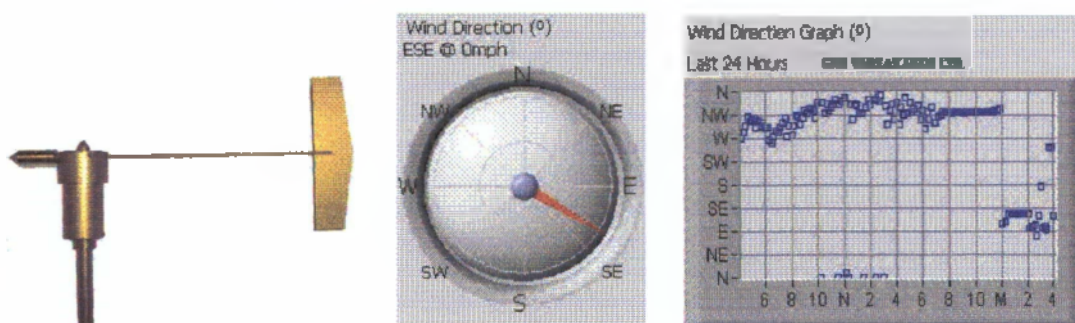
Η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου μπορεί να είναι λανθασμένη λόγω αναταραχής του ανέμου πάνω από το θερμοκήπιο. Η καλύτερη θέση για να τοποθετηθεί ένα ανεμόμετρο είναι 5-10 μέτρα επάνω από το υψηλότερο σημείο της περιοχής. Ταχύτητες αέρα άνω των 20 m/s δεν μετρούνται με ακρίβεια. Ο εξοπλισμός χρειάζεται έλεγχο για την ομαλή λειτουργία του και περιστασιακά χρειάζεται λίπανση.



σχήμα 1.37 Ανεμόμετρο. Δεξιά: φορητό ανεμόμετρο, απεικόνιση στον Η/Υ της ταχύτητας του ανέμου καθώς και διάγραμμα των τελευταίων 24 ωρών.

#### 1.4.7 Κατεύθυνση ανέμου

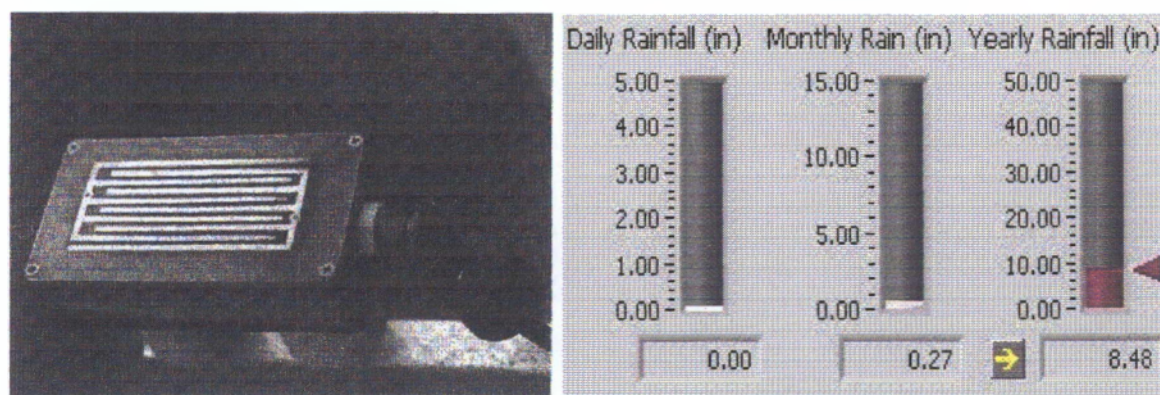
Ένας μετρητής κατεύθυνσης ανέμου σε έναν μετεωρολογικό σταθμό δείχνει την κατεύθυνση που φυσά ο άνεμος (βλέπε σχήμα 1.38). Στον άξονα του μετρητή υπάρχουν οκτώ επαφές πάνω στις οποίες ο δείκτης μπορεί να κινείται ελεύθερα. Ανάλογα με την κατεύθυνση του ανέμου από κάθε επαφή διαβιβάζεται μια τάση. Ο υπολογιστής περιβαλλοντικών συνθηκών καταγράφει την κατεύθυνση του ανέμου σε βαθμούς τόξου.



σχήμα 1.38 Μετρητής κατεύθυνσης ανέμου. Δεξιά: απεικόνιση στον Η/Υ της κατεύθυνσης του ανέμου καθώς και διάγραμμα των τελευταίων 24 ωρών.

#### 4.4.8 Μετρητής ύψους βροχόπτωσης

Στην επιφάνεια ενός μετρητή ύψους βροχόπτωσης υπάρχουν δύο αισθητήρες - λουρίδες (βλέπε σχήμα 1.39). Όταν βρέχει, το νερό διέρχεται μεταξύ των αισθητήρων και δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό το σήμα μεταφέρεται προς τον υπολογιστή. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο μετρητής στέλνει σήμα στον υπολογιστή μόνο όταν βρέχει. Ο μετρητής τοποθετείται με μια μικρή κλίση ώστε να μπορεί το νερό της βροχής να φεύγει. Όταν η βροχή σταματά ένα θερμαντικό στοιχείο στεγνώνει την επιφάνεια. Ο μετρητής χρειάζεται συχνό καθαρισμό με καθαρό νερό. Εάν ο μετρητής δεν καθαρίζεται κατάλληλα, θα υπάρξει μια συνεχής επαφή μεταξύ των αισθητήρων, και ο υπολογιστής θα καταγράψει 24 ώρες βροχής ανά ημέρα.



σχήμα 1.39 Μετρητής ύψους βροχόπτωσης. Δεξιά: απεικόνιση στον υπολογιστή του ημερήσιου-μηνιαίου-ετήσιου ύψους βροχόπτωσής.

#### 1.4.9 Σημεία αναφοράς

Για ακριβείς μετρήσεις είναι σημαντικό να υπάρχουν σωστά σημεία δειγματοληψίας. Εδώ θα αναφερθούν οι καλύτερες θέσεις για τη μέτρηση των τιμών θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο, της ατμοσφαιρικής υγρασίας, του CO<sub>2</sub> και των εξωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών.



### Μετεωρολογικός σταθμός

Ο υπολογιστής χρειάζεται τις μετρήσεις του εξωτερικού περιβάλλοντος προκειμένου να ελέγξει το περιβάλλον στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Οι αισθητήρες για το εξωτερικό περιβάλλον τοποθετούνται σε έναν μετεωρολογικό σταθμό. Αυτός ο σταθμός έχει τους αισθητήρες για τη μετρήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας, της ηλιακής ακτινοβολίας (φως), της ταχύτητας του ανέμου, της κατεύθυνσης του ανέμου και του ύψος βροχόπτωσης. Ένας μετεωρολογικός σταθμός είναι επαρκές για να ελέγξει το περιβάλλον σε ένα θερμοκήπιο με αρκετά τμήματα. Οι αισθητήρες στον μετεωρολογικό σταθμό πρέπει να είναι σε εξωτερικό χώρο. Οι μετρήσεις δεν πρέπει να επηρεάζονται από κατασκευές και αντικείμενα όπως κτήρια, δωμάτιο λεβήτων και δέντρα, και πρέπει επομένως να εγκαθίστανται 5 έως 10 μέτρα πάνω από το υψηλότερο σημείο της περιοχής.



σχήμα 1.40 Μετεωρολογικός σταθμός

### Αισθητήρες μέτρησης περιβάλλοντος θερμοκηπίου

Κάθε τμήμα του θερμοκηπίου έχει αισθητήρες για τον έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών. Τα τμήματα δεν πρέπει να είναι πάρα πολύ μεγάλα, ώστε οι μετρήσεις να είναι αντιπροσωπευτικές για το περιβάλλον σε κάθε τμήμα. Όταν τα



τιμήματα είναι πάρα πολύ μεγάλα τότε παραδείγματος χάριν, υπάρχουν διαφορές θερμοκρασίας.

Ο κύριος στόχος του περιβαλλοντικού ελέγχου είναι να ελεγχθεί η ανάπτυξη και η εξέλιξη των φυτών. Η θέση των αισθητήρων επομένως εξαρτάται άμεσα από την καλλιέργεια και τα καλλιεργούμενα φυτά. Η καλύτερη θέση για τους αισθητήρες είναι μεταξύ των φυτών. Σε ψηλά φυτά (ντομάτα, αγγούρι) οι αισθητήρες πρέπει να κινούνται προς τα πάνω ανάλογα του ύψους των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου.

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα απαιτούνται δύο αισθητήρες: ένας ξηρής θερμοκρασίας (Dry Bulb Temperature – DBT) και ένας υγρής θερμοκρασίας (Wet Bulb Temperature – WBT). Αυτοί οι αισθητήρες τοποθετούνται μέσα σε ένα προστατευόμενο κυτίο.

Το κυτίο αποκλείει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία όπου χωρίς προστασία οι αισθητήρες θα έδειχναν πάρα πολύ υψηλή τιμή. Το κυτίο προστατεύει επίσης τους αισθητήρες από το νερό, παραδείγματος χάριν, το σύστημα υδρονέφωσης. Σε διαφορετική περίπτωση το θερμόμετρο ξηρής θερμοκρασίας θα κατέγραφε πάρα πολύ μικρή τιμή. Μέσα στο κυτίο, ο αέρας εισέρχεται στους αισθητήρες από έναν ανεμιστήρα. Η ταχύτητα αέρα πρέπει να είναι 2 m/s. Ο ανεμιστήρας τοποθετείται στην οροφή του κυτίου, έτσι ώστε οι μετρήσεις να μην επηρεάζονται από τη θερμότητα του ανεμιστήρα.

Το δοχείο νερού πρέπει να γεμίζει τακτικά με αποσταγμένο νερό για τη σωστή μέτρηση από το θερμόμετρο υγρής θερμοκρασίας. Το βρώμικο νερό ή το νερό με άλατα μπορεί να προκαλέσει ανακριβή καταγραφή. Τα άλατα κατακρατούν νερό και έτσι το θερμόμετρο μετράει πάρα πολύ υψηλή τιμή. Όταν το φυτίλι του θερμομέτρου υγρής θερμοκρασίας σκληραίνει πρέπει να αντικαθίσταται αμέσως.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

# ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

### 2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζονται οι τεχνολογικές πτυχές του συστήματος περιβαλλοντικού ελέγχου. Καταρχήν, έμφαση δίνεται σε γενικές διαδικασίες όπως ο έλεγχος, οι ρυθμίσεις, οι διαταραχές στο περιβάλλον του θερμοκηπίου και ο έλεγχος βάση των εξωτερικών περιβαλλοντικών επιδράσεων. Οι πιο πρόσφατες εξελίξεις στον περιβαλλοντικό έλεγχο θα αναφέρονται ως: πρότυπα (models).

Το δεύτερο μέρος του κεφαλαίου εξετάζει τη διαδικασία ελέγχου 'λειτουργία ON/OFF' του εξοπλισμού (σκίαση, φωτισμός, αερόθερμα) καθώς επίσης και τον δυναμικό έλεγχο του εξοπλισμού εξαερισμού και θέρμανσης.

### 2.2 Γενικές αρχές της τεχνολογίας ελέγχου

#### 2.2.1 Κυκλικός έλεγχος (control loop)

Ένας υπολογιστής μπορεί να ελέγξει τη διαδικασία «περιβάλλον θερμοκηπίου», η οποία αποτελείται από πέντε υπο-διαδικασίες: θερμοκρασία, CO<sub>2</sub>, RH, φως και κίνηση αέρα. Για τον έλεγχο, ο υπολογιστής πρέπει να ελέγξει διαφορετικά τμήματα του εξοπλισμού όπως τα ανοίγματα, το σύστημα θέρμανσης, τις κουρτίνες κ.λ.π.

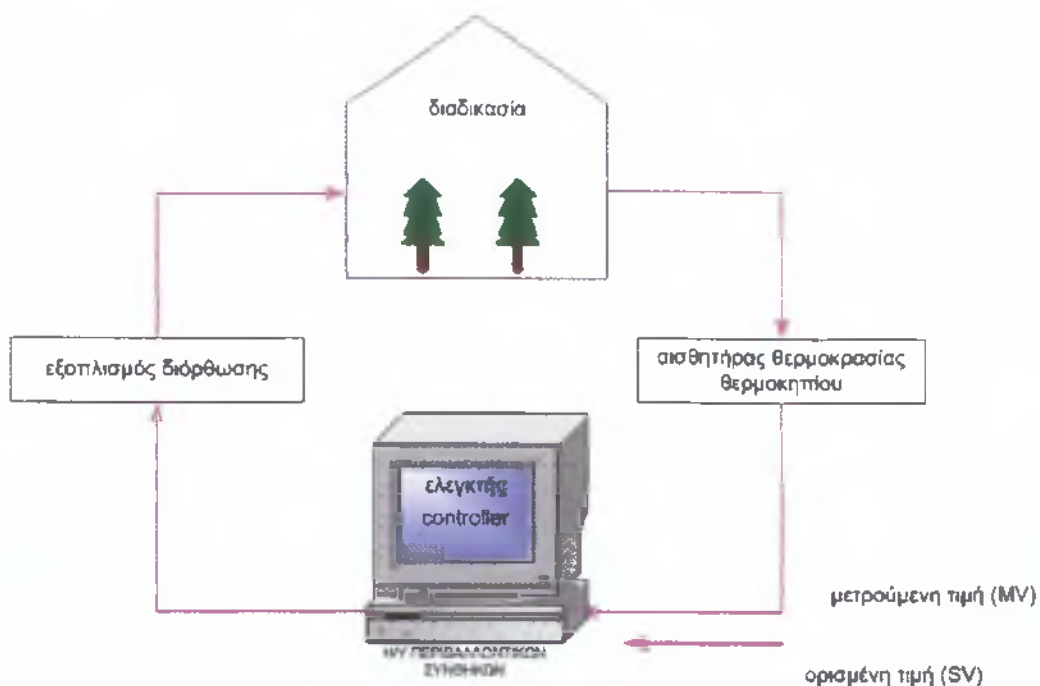
Για παράδειγμα ο έλεγχος της θερμοκρασίας με χρήση του εξοπλισμού εξαερισμού. Εισάγεται στον υπολογιστή μια ορισμένη τιμή: *Θερμοκρασία εξαερισμού*. Όταν η μετρούμενη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο υπερβαίνει τη θερμοκρασία εξαερισμού ο υπολογιστής ανοίγει τα ανοίγματα. Ο κυκλικός έλεγχος αποτελείται από τέσσερα μέρη:

### Κυκλικός έλεγχος

- διαδικασία
- όργανα μέτρησης
- ελεγκτής (controller)
- εξοπλισμός διόρθωσης

### Παραδειγμα

- θερμοκρασία
- αισθητήρας θερμοκρασίας
- υπολογιστής περιβαλλοντικού ελέγχου
- ανοίγματα

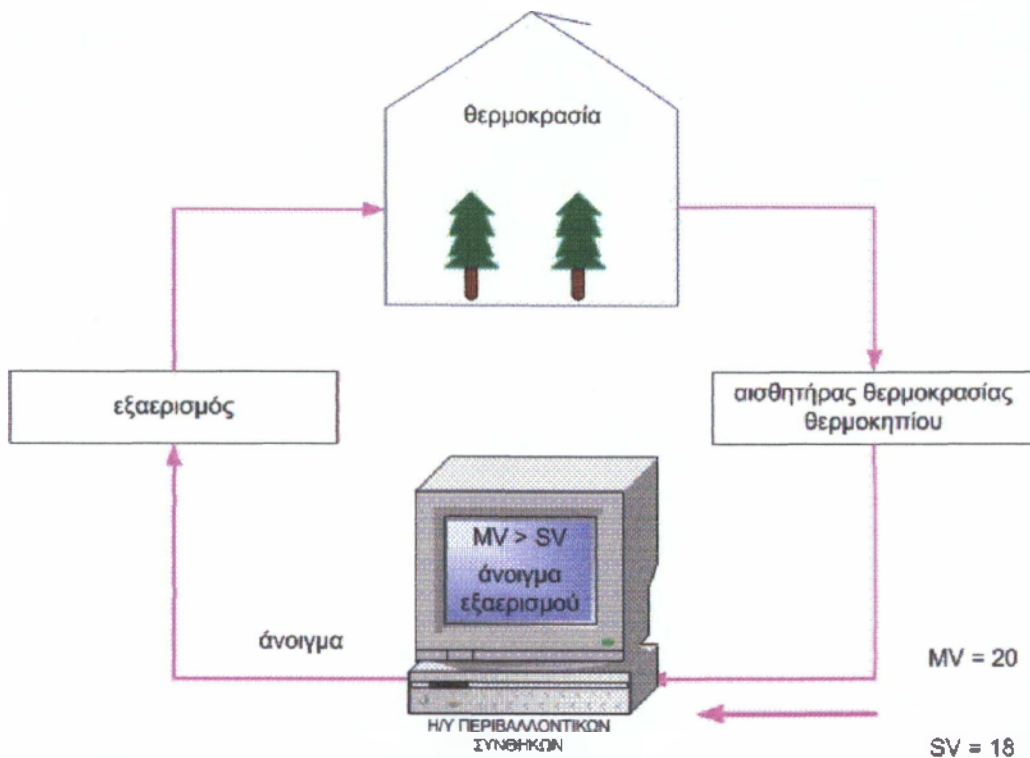


σχήμα 2.1 Κυκλικός έλεγχος.

Ο υπολογιστής ελέγχει τη διαδικασία «θερμοκρασία». Ο υπολογιστής περιβαλλοντικού ελέγχου λαμβάνει τη μετρημένη τιμή (Measured Value - MV) από τον αισθητήρα θερμοκρασίας. Στον υπολογιστή έχει ορισθεί μια τιμή για τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Η καθορισμένη τιμή αναφέρεται ως 'ορισμένη τιμή' (Set Value - SV). Ο υπολογιστής συγκρίνει την MV και την SV κάθε 60 δευτερόλεπτα. Εάν η MV διαφέρει από την SV, τα ανοίγματα ανοίγουν (εξοπλισμός διόρθωσης) όσο χρειάζεται για τη διορθώσει της θερμοκρασίας.

Η SV είναι 18 °C, η MV είναι 20 °C. Η MV πρέπει να κατέβει στους 18 °C και για να επιτευχθεί αυτό ανοίγουν τα ανοίγματα. Ο κυκλικός έλεγχος στο σχήμα 2.2

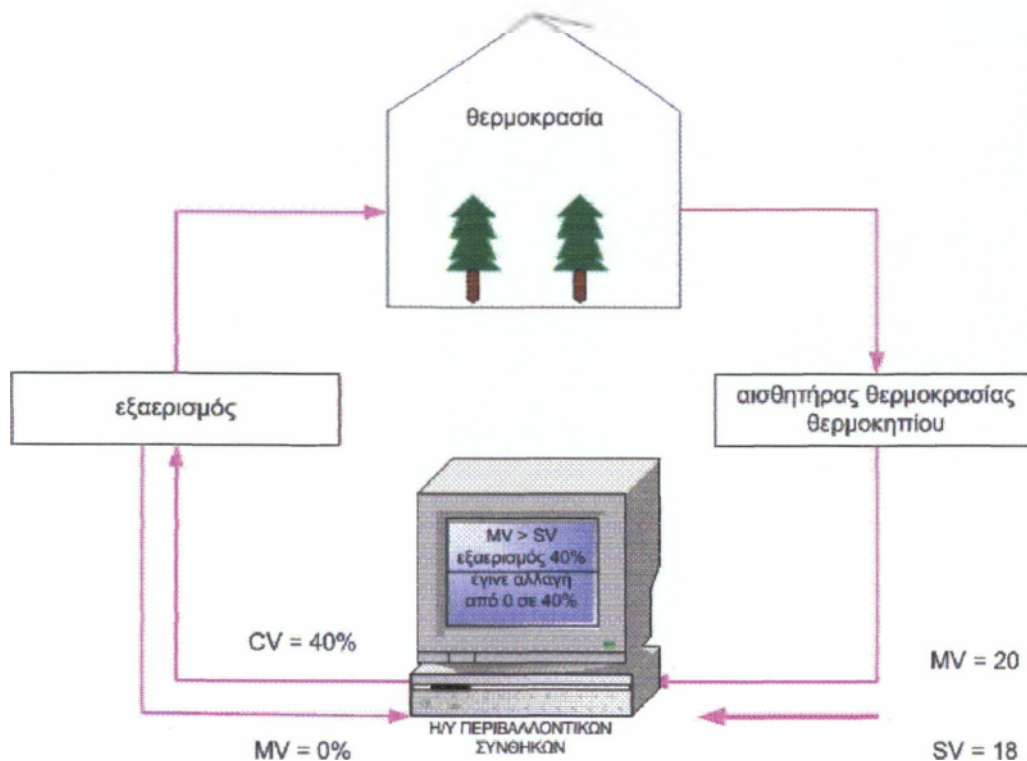
είναι το πρώτο βήμα του κυκλικού ελέγχου για τον έλεγχο της διαδικασίας «έλεγχος θερμοκρασία» με χρήση του εξαερισμού.



σχήμα 2.2 Παράδειγμα πρώτου σταδίου κυκλικού ελέγχου.

Ο υπολογιστής, ανάλογα με τα δεδομένα, υπολογίζει τη σωστή θέση των ανοιγμάτων (υπολογισμένη τιμή θέσης ανοιγμάτων = CV Calculated Value) του θερμοκηπίου αφαιρώντας τη διαφορά μεταξύ της MV και της SV. Οπότε ένα δεύτερο στάδιο κυκλικού ελέγχου απαιτείται για την τοποθέτηση των ανοιγμάτων στη σωστή θέση. Στο παράδειγμα, τα ανοίγματα πρέπει να ανοίξουν κατά 40%. Για να ανοίξει ο υπολογιστής τα ανοίγματα στη σωστή θέση, μετράει την πραγματική θέση των ανοιγμάτων (πραγματική θέση ανοιγμάτων = MV Measured Vent). Στο παράδειγμα, η τιμή CV είναι υψηλότερη από την τιμή της MV, οπότε τα ανοίγματα ανοίγουν (βλέπε σχήμα 2.3).





σχήμα 2.3 Δεύτερο στάδιο κυκλικού ελέγχου.

### 2.2.2 Διαταραχή, έλεγχος και αντίδραση

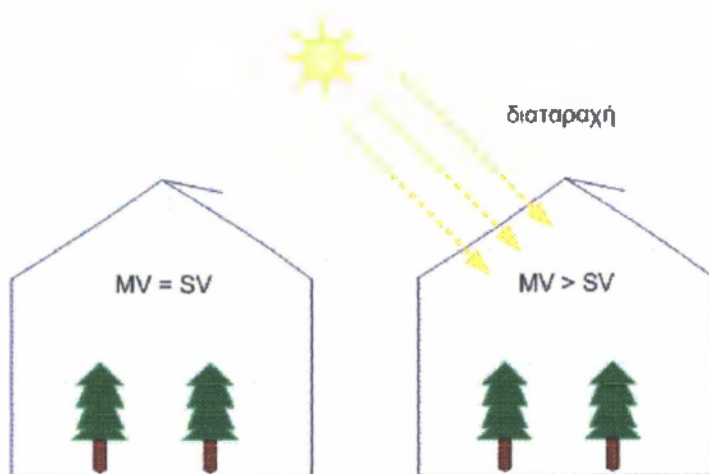
Το εξωτερικό περιβάλλον ασκεί μεγάλη επιρροή στο περιβάλλον του θερμοκηπίου. Η διαδικασία «θερμοκρασία» επηρεάζεται συνεχώς από ποικίλους εξωτερικούς παράγοντες. Αυτό οδηγεί σε διαφορές μεταξύ της  $MV$  και της  $SV$  και απαιτείται διόρθωση. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία καλούνται ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ. Υπάρχουν ποικίλα παραδείγματα διαταραχών: ποικίλη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, εξωτερική θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου και βροχόπτωση.

Ο υπολογιστής μπορεί να αντιδράσει στις διαταραχές με δύο τρόπους:

1. Με τον έλεγχο.
2. Με την αντίδραση.

## 1. Έλεγχος

Ο υπολογιστής περιβαλλοντικού ελέγχου αντιδρά ΕΜΜΕΣΑ στις διαταραχές. Μόνο μετά και αφού έχει λάβει χώρα μια διαταραχή και έχει προκαλέσει μια αλλαγή στη θερμοκρασία, ο υπολογιστής θα λάβει μέτρα.



σχήμα 2.4 Διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας διαταράσσει το περιβάλλον του θερμοκηπίου.

### Παράδειγμα

Η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται ξαφνικά, προκαλώντας μια πτώση της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο. Ο υπολογιστής αφού αντλήσει αυτήν την πτώση της θερμοκρασίας, υπολογίζει μια μείωση της τιμής των ανοιγμάτων: τα ανοίγματα κλείνουν ως συνέπεια της μείωσης της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου. Η αρχική αιτία (διαταραχή) είναι η αύξηση της ταχύτητας του αέρα.

## 2. Αντίδραση

Ο υπολογιστής αντιδρά ΑΜΕΣΩΣ στις διαταραχές.

### Παράδειγμα

Η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται ξαφνικά. Υπάρχει μια μόνιμη σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου και της ταχύτητας του αέρα. Ο υπολογιστής αφού αντλήσει αυτήν την πτώση της θερμοκρασίας, υπολογίζει μια μείωση της τιμής των

ανοιγμάτων και αμέσως: τα ανοίγματα κλείνουν ως συνέπεια της αύξησης της ταχύτητας του αέρα.

Γενικά η 'αντίδραση' είναι μια πράξη που λαμβάνει χώρα εκ των προτέρων ως συνέπεια της αλλαγής των συνθηκών

Παραδείγματα 'αντίδρασης' είναι:

- Η ταχύτητα του αέρα επηρεάζει τη θέση των ανοιγμάτων
- Η ένταση φωτός επηρεάζει το άνοιγμα και κλείσιμο των κουρτινών

Ο 'έλεγχος' λαμβάνει χώρα όταν ενέργειες ελέγχου πραγματοποιούνται ως αποτέλεσμα της αλλαγής του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου.

Παραδείγματα 'ελέγχου' είναι:

- Η θερμοκρασία των σωλήνων θέρμανσης αυξάνεται για τη διόρθωση μιας χαμηλής τιμής θερμοκρασίας του θερμοκηπίου.
- Εάν η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> είναι πάρα πολύ χαμηλή, ο εξοπλισμός εμπλουτισμού τίθεται σε λειτουργία.

Όταν ενέργειες «ελέγχου» λαμβάνουν χώρα σε ένα ορισμένο χρονικό σημείο, αυτό καλείται επίσης 'αντίδραση'.

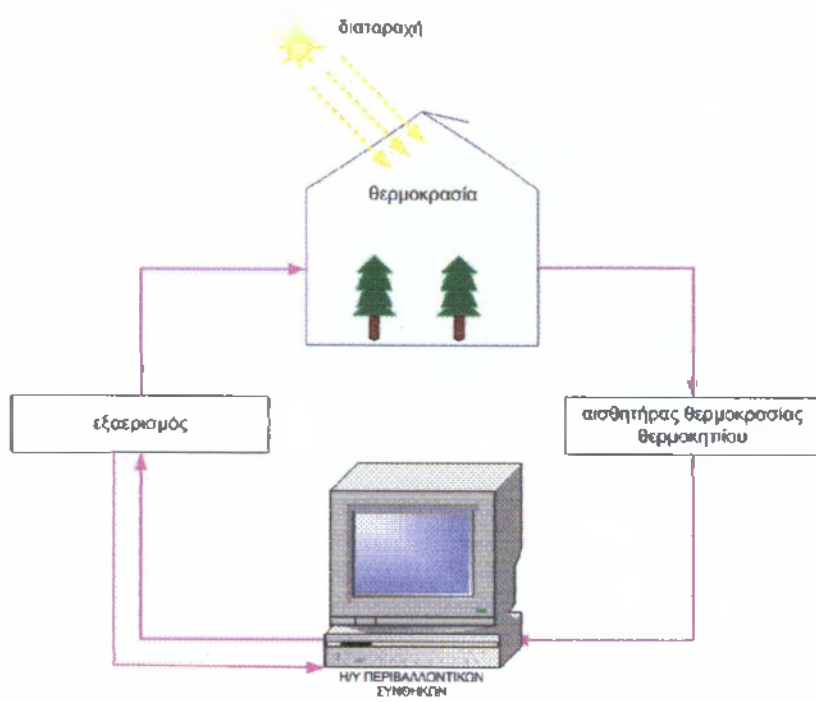
Παραδείγματα 'αντίδρασης' σε προγραμματισμένους χρόνους είναι:

- 1 ώρα μετά από την ανατολή του ήλιου η θερμική κουρτίνα ανοίγει
- Στις 14:00 μ.μ. η θερμοκρασία των σωλήνων θέρμανσης αυξάνεται για να δώσει μια ώθηση θερμότητας.

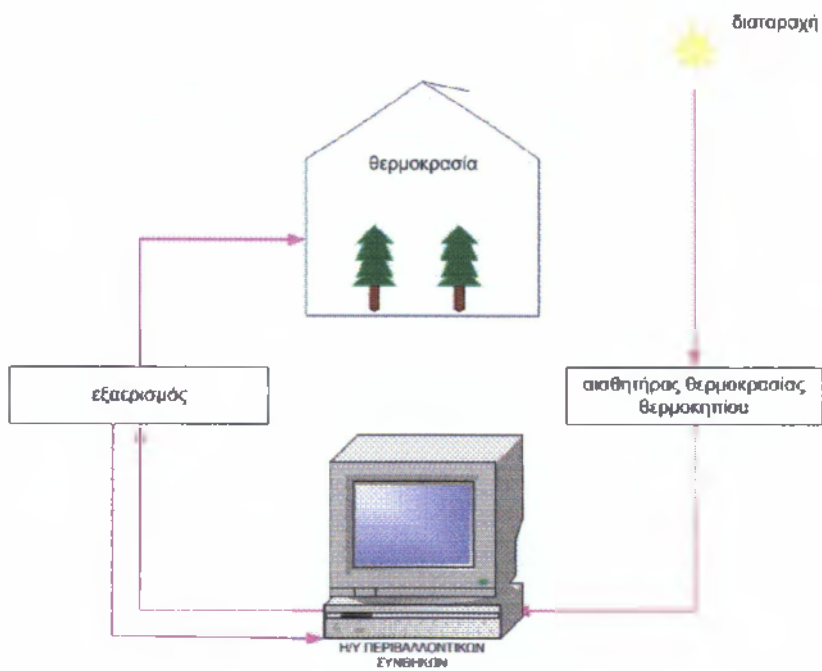
### 2.2.3 Σύγκριση μεταξύ 'ελέγχου' και 'αντίδρασης'

*Χαρακτηριστικά του ελέγχου:*

Η διαδικασία «θερμοκρασία» πρέπει να ελεγχθεί. Μια ξαφνική πτώση στη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος προκαλεί επίσης μια πτώση στη θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Οπότε εμφανίζεται μια διαφορά μεταξύ της SV και της MV, και ενεργοποιείται ο εξοπλισμός διόρθωσης:



σχήμα 2.5 Έμμεση αντίδραση σε μια διαταραχή: έλεγχος



σχήμα 2.6 Άμεση αντίδραση σε μια διαταραχή: αντίδραση

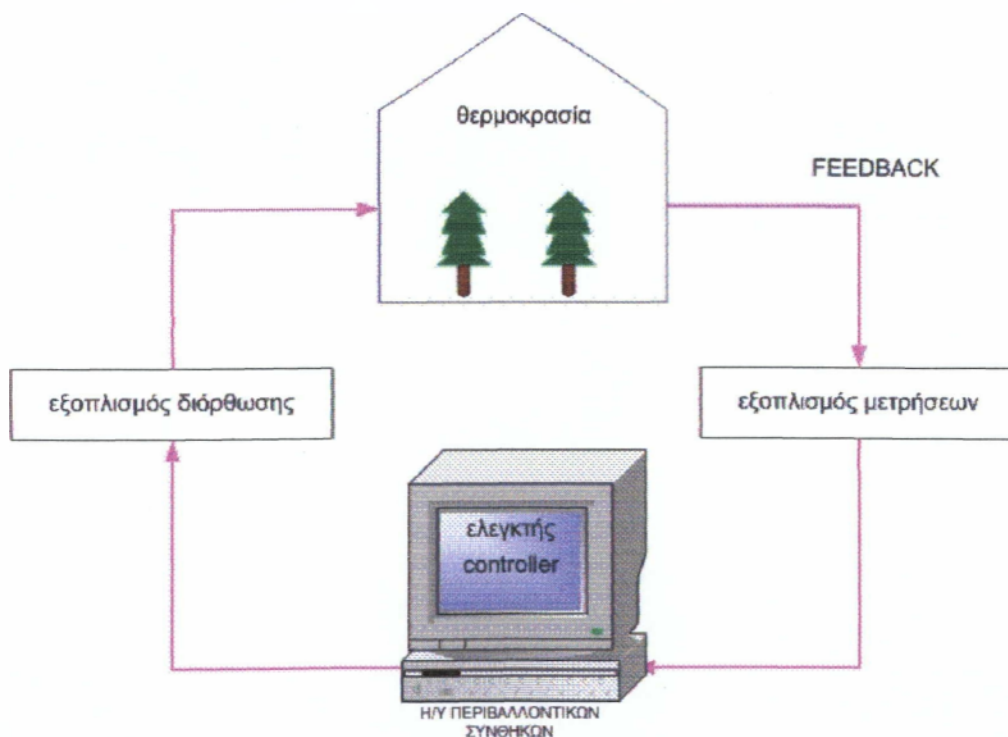


Τίθεται σε λειτουργία η θέρμανση.

Κλείνουν τα ανοίγματα.

Πρώτα ανιχνεύθηκε μια διαφορά μεταξύ της SV και της MV πριν ενεργοποιηθούν η θέρμανση και τα ανοίγματα. Ο υπολογιστής έτσι πάντα αντιδρά κατόπιν: πρώτα η πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας πρέπει να επηρεάσει τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μόνο τότε η θέρμανση και τα ανοίγματα ενεργοποιούνται. Μετά από την εκτέλεση των ενεργειών ελέγχου (θέρμανση/εξαερισμός) η θερμοκρασία του θερμοκηπίου (διαδικασία) επηρεάζεται. Επειδή ο υπολογιστής πραγματοποιεί μετρήσεις ανά λεπτό είναι σε θέση να αντληφθεί και να ελέγξει τα αποτελέσματα των ενεργειών ελέγχου που έλαβε. Αυτό καλείται FEEDBACK (βλέπε σχήμα 2.7).

Εάν για κανέναν προφανή λόγο η θέρμανση έχει ορισθεί πάρα πολύ υψηλά, η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου θα αυξηθεί πάρα πολύ. Με την επόμενη μέτρηση ο υπολογιστής αντιλαμβάνεται αυτή την απότομη αύξηση και θέτει τη θέρμανση χαμηλότερα. Έτσι, ο υπολογιστής έχει τη δυνατότητα να διορθώνει απότομες ή λανθασμένες ενέργειες ελέγχου μέσω της διαδικασίας FEEDBACK.



σχήμα 2.7 Έλεγχος και Feedback.

*Χαρακτηριστικά της 'αντίδρασης':*

Η 'αντίδραση' μπορεί να λάβει χώρα με δύο τρόπους, ως συνέπεια:

1. Τρεχουσών μετρήσεων.
2. Εμπειρίας του χρήστη.

*1. 'Αντίδραση' βάσει τρεχουσών μετρήσεων (εξωτερικού περιβάλλοντος)*

Η επίδραση της διαταραχής στη διαδικασία μπορεί να καθοριστεί:

- Εάν η ταχύτητα αέρα αυξηθεί κατά 1 m/s, η θερμοκρασία του θερμοκηπίου θα μειωθεί.
- Εάν η εξωτερική θερμοκρασία μειωθεί κατά 1 °C, η θερμοκρασία του θερμοκηπίου θα μειωθεί.

Υπάρχει μια ΜΟΝΙΜΗ ΣΧΕΣΗ μεταξύ της ΔΙΑΤΑΡΑΧΗΣ και της ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.

Η επίδραση του εξοπλισμού διόρθωσης στη διαδικασία μπορεί επίσης να καθοριστεί:

- Εάν η θερμοκρασία των σωλήνων θέρμανσης αυξηθεί κατά 1 °C, η θερμοκρασία του θερμοκηπίου θα αυξηθεί.
- Εάν η θέση των ανοιγμάτων αυξηθεί κατά 1%, η θερμοκρασία του θερμοκηπίου θα μειωθεί.

Υπάρχει μια ΜΟΝΙΜΗ ΣΧΕΣΗ μεταξύ της επίδρασης του ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ και της ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ.

*2. 'Αντίδραση' βάσει της εμπειρίας*

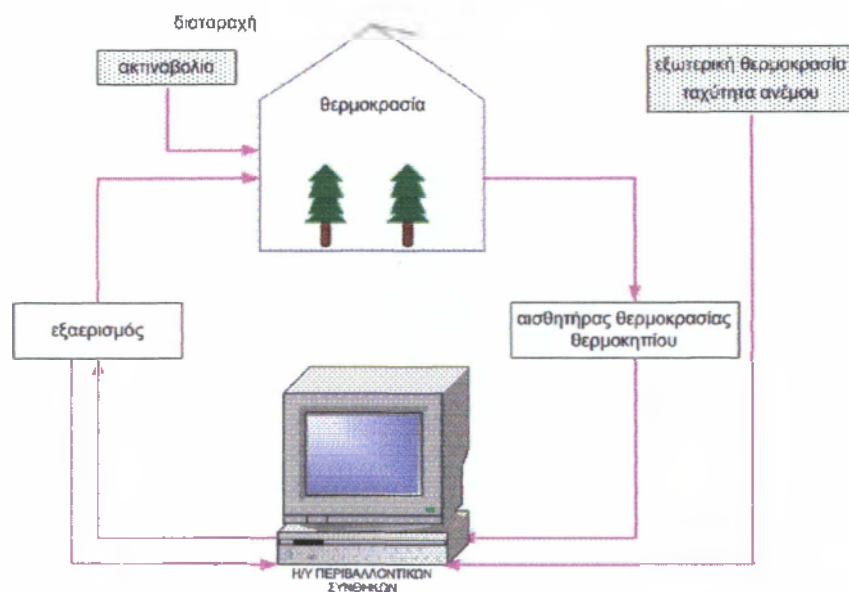
Η κυκλοφορία αέρα (παράγοντας αύξησης) δεν μετριέται από τον υπολογιστή. Όμως, διάφορες ρυθμίσεις χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της κυκλοφορίας του αέρα (συνδυασμός με το RH), παραδείγματος χάριν η ελάχιστη θέση των ανοιγμάτων και η ελάχιστη θερμοκρασία των σωλήνων θέρμανσης. Οι τιμές αυτών των ρυθμίσεων προέρχονται από την εμπειρία στο παρελθόν και τις αναμενόμενες κλιματικές συνθήκες (μετεωρολογική πρόβλεψη). Οι ρυθμίσεις αυτές επηρεάζουν την κυκλοφορία του αέρα.

## 2.2.4 Ταυτόχρονος 'έλεγχος' και 'αντίδραση'

Στη διαχείριση μιας διαδικασίας, συνήθως δεν είναι θέμα 'έλεγχου' ή 'αντίδρασης', αλλά συχνά είναι συνδυασμός των δύο παραπάνω.

### Παράδειγμα 1 - εξαερισμός

Όταν έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας ( $MV > SV$ ) πάνω από το όριο της καθορισμένης τιμής της θερμοκρασίας στον υπολογιστή, λόγω της αύξησης της ηλιακής ακτινοβολίας, ο υπολογιστής θέτει σε λειτουργία τον εξαερισμό. Αυτή είναι μια πράξη 'έλεγχου', καθώς πρώτα μια διαφορά της SV και της MV εμφανίζεται. Εάν μετά από αυτή τη πράξη αλλάξει η ταχύτητα του αέρα ή η εξωτερική θερμοκρασία, ο υπολογιστής ρυθμίζει τη θέση των ανοιγμάτων εκ των προτέρων: 'αντίδραση'.

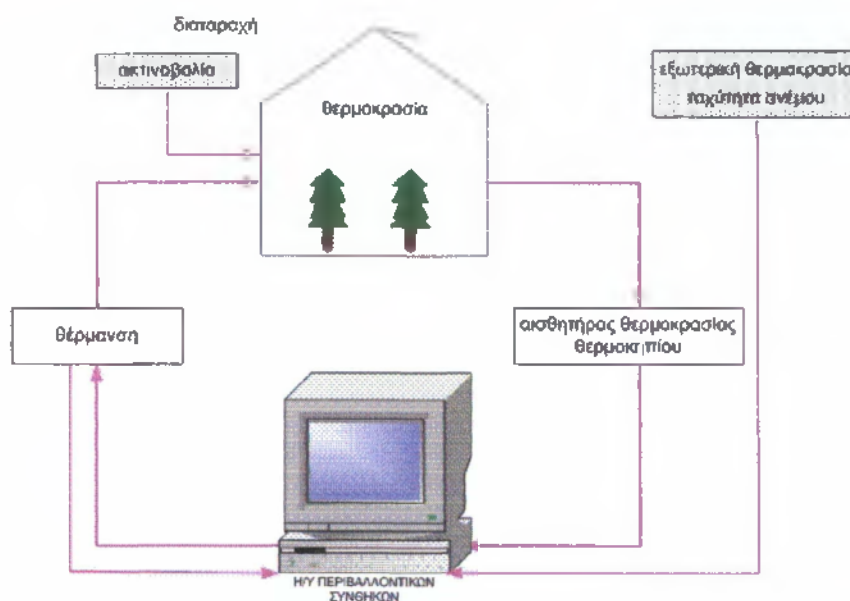


σχήμα 2.8 'Έλεγχος' και 'αντίδραση' μέσω εξαερισμού.

### Παράδειγμα 2 - θέρμανση των σωλήνων θέρμανσης

Με πάρα πολύ χαμηλή θερμοκρασία θερμοκηπίου ( $MV < SV$ ) ο υπολογιστής αυξάνει τη θερμοκρασία των σωλήνων θέρμανσης: 'έλεγχος'.

Μερικά συστήματα θα ελέγξουν τη θερμοκρασία του θερμοκηπίου εν μέρει με τη θέρμανση. Αυτό καλείται «ελέγχοντας σύμφωνα με τις επικρατούσες εξωτερικές κλιματικές συνθήκες». Με μια μείωση της εξωτερικής θερμοκρασίας και μια αύξηση της ταχύτητας του αέρα ΑΜΕΣΩΣ θα έχουμε μια αύξηση της θερμοκρασίας των σωλήνων θέρμανσης: ‘αντίδραση’.



σχήμα 2.9 ‘Έλεγχος’ και ‘αντίδραση’ μέσω θέρμανσης.

### 2.3 Πρότυπα (models)

Οι κατασκευαστές υπολογιστών κάθε χρόνο βγάζουν μια αναβάθμιση των προγραμμάτων ελέγχου (λογισμικό) για τους υπολογιστές ελέγχου περιβαλλοντικών συνθηκών. Τα προγράμματα αυτά ολοένα και περισσότερο ελέγχουν το περιβάλλον με βάση της αρχή της ‘αντίδρασης’. Αυτή η πράξη λαμβάνει χώρα βάσει της μόνιμης σχέσης μεταξύ της διαταραχής, της διαδικασίας και του εξοπλισμού διόρθωσης. Κάθε χρόνο όλο και περισσότερα στοιχεία γίνονται διαθέσιμα από την έρευνα σχετικά με αυτή την σχέση και μπορούν να ενσωματωθούν στα προγράμματα ελέγχου.

Εάν το περιβάλλον του θερμοκηπίου ελέγχεται εξ ολοκλήρου βάσει της ‘αντίδρασης’, αυτό καλείται ΠΡΟΤΥΠΟ (MODEL). Ένα πρότυπο είναι μια



απλουστευμένη περιγραφή της πραγματικότητας. Όλες οι διαταραχές στη διαδικασία καθορίζονται με σχέσεις. Όταν προκύπτει μια διαταραχή ο υπολογιστής μπορεί να υπολογίσει ακριβώς ποιες θα είναι οι συνέπειες για τη θερμοκρασία, το επίπεδο της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> και το RH. Μόλις ο υπολογιστής κάνει όλους τους υπολογισμούς, καθορίζεται ποιες ενέργειες ελέγχου πρέπει να ληφθούν για τη διατήρηση της θερμοκρασίας, RH και CO<sub>2</sub> στο σωστό επίπεδο.

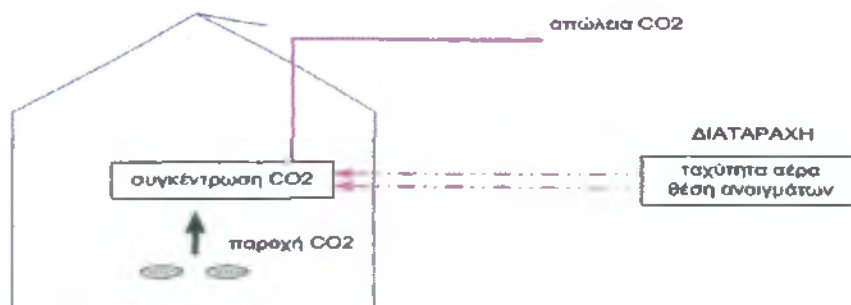
Τα πρότυπα μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες:

- φυσικά
- φυσιολογικά

#### Φυσικό πρότυπο

Σε ένα φυσικό πρότυπο η αφετηρία είναι το θερμοκήπιο. Μέσα στο θερμοκήπιο πρέπει να υπάρξει ένα ορισμένο περιβάλλον, το οποίο επηρεάζεται από το εξωτερικό περιβάλλον. Με το φυσικό πρότυπο, ο υπολογιστής μπορεί να υπολογίσει ποιο ποσό θερμότητας, CO<sub>2</sub> και υδρατμού ανταλλάσσεται μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα η απώλεια CO<sub>2</sub> θα αυξηθεί, και ο υπολογιστής θα υπολογίσει το πρόσθετο CO<sub>2</sub> που απαιτείται. Η απώλεια παρέχεται εκ των προτέρων με εμπλουτισμό CO<sub>2</sub>.

Το σχήμα 2.10 δείχνει τη γραφική παράσταση της διαδικασίας «CO<sub>2</sub>». Η συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> μέσα στο θερμοκήπιο επηρεάζεται από την ταχύτητα του αέρα και τη θέση των ανοιγμάτων εξαερισμού: αυτές είναι διαταραχές. Ο υπολογιστής μπορεί να υπολογίσει ακριβώς το ποσό του CO<sub>2</sub> που χάνεται, ανάλογα με τη θέση των ανοιγμάτων και την ταχύτητα του αέρα. Όταν χαθεί πάρα πολύ CO<sub>2</sub>, το επίπεδο του CO<sub>2</sub> θα ελαττωθεί. Για να αποτρέψει τη μείωση της συγκέντρωσης CO<sub>2</sub>, ο υπολογιστής παρέχει CO<sub>2</sub> εκ των προτέρων.



σχήμα 2.10 Φυσικό πρότυπο.

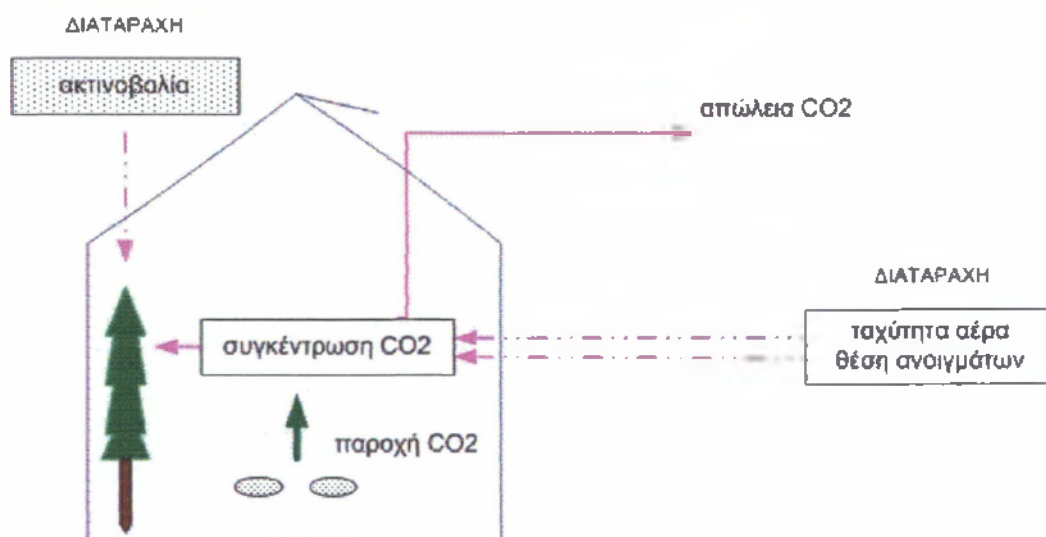
### Φυσιολογικό πρότυπο

Σε ένα φυσιολογικό πρότυπο η αφετηρία είναι τα φυτά τα οποία έχουν μεγάλη επιρροή στο περιβάλλον του θερμοκηπίου. Οι σημαντικότερες επιδράσεις είναι:

- εφίδρωση: αλλαγή στην υγρασία και τη θερμοκρασία αέρα
- λήψη CO<sub>2</sub>: τα φυτά απορροφούν CO<sub>2</sub> υπό την επήρεια φωτός

Τα φυτά είναι μια διαταραχή στη διαδικασία «συγκέντρωση CO<sub>2</sub>». Κάτω από καλές συνθήκες φωτισμού η λήψη από τα φυτά CO<sub>2</sub> είναι υψηλή και μικρότερη υπό κακές συνθήκες φωτισμού. Για τον υπολογισμό της επιρροής των φυτών στη συγκέντρωση του CO<sub>2</sub> πρέπει να μετρηθεί η ένταση του φωτός. Έτσι μπορεί να καθοριστεί ο ρυθμός απορρόφησης CO<sub>2</sub> και ο υπολογιστής να υπολογίσει την απορροφημένη ποσότητα CO<sub>2</sub> εκ των προτέρων.

Η αλλαγή της συγκέντρωσης CO<sub>2</sub> που προκαλείται από τα φυτά μπορεί να ενσωματωθεί σε ένα φυσικό πρότυπο. Στο σχήμα 2.11 συμπεριλαμβάνονται τα φυτά: ένα φυσιολογικό πρότυπο γίνεται ένα φυσικό πρότυπο + φυτά.



σχήμα 2.11 Ένα φυσικό μοντέλο που έχει επεκταθεί συμπεριλαμβάνοντας τα φυτά: φυσιολογικό μοντέλο.

Ο σχεδιασμός ενός φυσιολογικού προτύπου είναι πολύπλοκος. Οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί σχετικά με το θερμοκήπιο είναι μια σχετικά ευθείς και απλή διαδικασία, αλλά η αποτύπωση σ' ένα πρότυπο της συμπεριφοράς των φυτών είναι

μια διαδικασία πολύ πιο δύσκολη και οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Όταν μελετάται μόνο η λήψη CO<sub>2</sub>, οι ακόλουθοι παράγοντες πρέπει να εξεταστούν:

- Μέγεθος των φυτών

Τα μεγάλα φυτά απορροφούν περισσότερο CO<sub>2</sub> και το μέγεθος των φυτών θα πρέπει να καταγράφεται συχνά στον υπολογιστή για να γίνεται διόρθωση στον υπολογισμό του ρυθμού λήψης CO<sub>2</sub>.

- Είδος φυτών

Τα φυτά διαφέρουν στο ρυθμό λήψης CO<sub>2</sub>

- Υγεία φυτών

Φυτά με κάλυψη των φύλλων τους με μύκητες (μελιτώματα) πάνω από 25 % απορροφούν λιγότερο CO<sub>2</sub>.

Η βάση για όλα τα φυτά είναι η παραγωγή ζαχάρων υπό την επίρεια φωτός (φωτοσύνθεση). Προς το παρόν ο καλλιεργητής πρέπει να θέτει τους βέλτιστους παράγοντες αύξησης ο ίδιος: τη σωστή θερμοκρασία, RH και CO<sub>2</sub> στον υπολογιστή κατά τη διάρκεια μιας περιόδου - 24ωρο. Η έρευνα στρέφεται στα πιο σύνθετα πρότυπα στα οποία ο πιο περιοριστικός παράγοντας (συνήθως φως) καθορίζει τις βέλτιστες τιμές για τους άλλους παράγοντες αύξησης (θερμοκρασία, CO<sub>2</sub> και RH). Σε αυτή την περίπτωση ο καλλιεργητής δεν θα είναι απαραίτητο να θέτει το βέλτιστο επίπεδο θερμοκρασίας, RH και CO<sub>2</sub> κ.α. Ο υπολογιστής θα διορθώνει τη ρύθμιση σύμφωνα με τις βέλτιστες τιμές των φυτών.

## 2.4 Ομαδοποίηση του εξοπλισμού διόρθωσης

Στον έλεγχο περιβαλλοντικών συνθηκών ο εξοπλισμός διόρθωσης που χρησιμοποιείται μπορεί να συνδεθεί με τον υπολογιστή ελέγχου περιβαλλοντικών συνθηκών. Ο υπολογιστής μπορεί να θέσει τον εξοπλισμό σε λειτουργία για να επιτύχει το καθορισμένο περιβάλλον εάν εμφανιστεί απόκλιση από τις καθορισμένες τιμές.

Από τεχνολογική άποψη όλος ο εξοπλισμός δεν λειτουργεί με τις ίδιες αρχές. Ένα αερόθερμο τίθεται σε λειτουργία ή παύση (ON / OFF): πάρα πολύ κρύο = αερόθερμο σε λειτουργία (ON), πάρα πολύ ζέστη = αερόθερμο σε παύση (OFF). Η

θερμοκρασία των σωλήνων θέρμανσης ελέγχεται σταδιακά (μεταβλητά) από μια βαλβίδα μίξης. Ανάλογα με την απόκλιση της θερμοκρασίας, οι σωλήνες ζεσταίνονται ή κρυώνουν. Το πρόγραμμα ελέγχου για αυτά τα δύο συστήματα θέρμανσης διαφέρει. Με το σύστημα των σωλήνων θέρμανσης ο υπολογιστής υπολογίζει τη θερμοκρασία που απαιτείται για να διατηρήσει τη θερμοκρασία του θερμοκηπίου στην καθορισμένη τιμή. Με το αερόθερμο ο υπολογιστής υπολογίζει μόνο εάν το αερόθερμο πρέπει να τεθεί σε λειτουργία ή όχι.

Οι παραπάνω διαδικασίες μπορούν να διακριθούν:

- **ON/OFF**
  - αερόθερμα
  - καυστήρας (high/low/off)
  - κουρτίνες
  - εμπλουτισμός με CO<sub>2</sub>
  - τεχνητός φωτισμός
  
- **ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ (αναλογικός)**
  - εξαερισμός
  - καυστήρας (μεταβλητού ελέγχου)
  - θέρμανση με σωλήνες

## 2.5 Έλεγχος ON / OFF

Αρκετός εξοπλισμός διόρθωσης μπορεί να τεθεί σε λειτουργία (ON) ή παύση (OFF), χωρίς ενδιάμεση θέση λειτουργίας. Το αερόθερμο μπορεί να τεθεί σε λειτουργία ή παύση, το ίδιο και ο εμπλουτισμός με CO<sub>2</sub>, οι κουρτίνες μπορούν να ανοίξουν ή να κλείσουν.

Ένα μειονέκτημα του ελέγχου του εξοπλισμού με ON / OFF είναι η συχνότητα που επαναλαμβάνεται αυτή η λειτουργία και που προκαλεί πρόσθετη φθορά στον εξοπλισμό. Παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση του τεχνητού φωτισμού, η διάρκεια ζωής των λαμπτήρων μειώνεται κάθε φορά που αναβοσβήνουν. Τα κινητά μέρη των κουρτινών φθείρονται λόγω του περιττού ανοίγματος και



κλεισίματος. Εκτός από την φθορά του εξοπλισμού, το περιβάλλον του θερμοκηπίου μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά. Κάθε φορά που ανάβει ένα αερόθερμο ή ο καυστήρας του λέβητα παράγονται επιβλαβείς ρύποι λόγω της ατελούς καύσης.

Πάρα πολύ συχνά η λειτουργία ON / OFF πρέπει να αποτραπεί. Υπάρχουν τρεις τρόποι που επιτυγχάνεται αυτό.

### 2.5.1 Χρονικές καθυστερήσεις

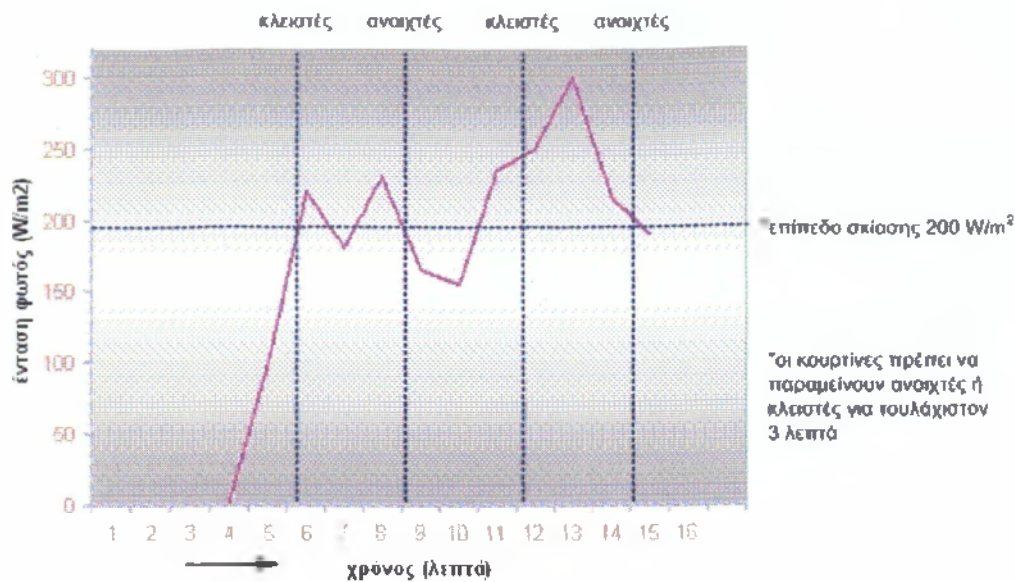
Αφότου τεθεί σε λειτουργία ο εξοπλισμός, πρέπει να λειτουργήσει για μερικά λεπτά προτού τεθεί σε παύση πάλι.

#### *Παράδειγμα 1*

Η επιθυμητή θερμοκρασία στο θερμοκήπιο είναι 20 °C. Ο υπολογιστής μετρά 19.8 °C: το αερόθερμο τίθεται σε λειτουργία. Μετά από ένα λεπτό το αερόθερμο έχει αυξήσει τη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο στους 20 °C. Το αερόθερμο θα μπορούσε να τεθεί εκτός λειτουργίας, αλλά σε αυτήν την περίπτωση θα ήταν ενδεδειγμένο να τεθεί μια χρονική καθυστέρηση 2-3 λεπτών. Η θερμοκρασία θα αυξανόταν επάνω από τους 20 °C. Αφότου ετίθετο εκτός λειτουργίας, θα παρέμενε εκτός λειτουργίας για 2-3 λεπτά.

#### *Παράδειγμα 2*

Στον έλεγχο των κουρτινών σκίασης μπορεί να τεθεί ένα επίπεδο σκίασης στο οποίο οι κουρτίνες κλείνουν. Μια ημέρα με μεταβλητή ακτινοβολία, ο υπολογιστής θα μετρήσει υψηλές και χαμηλές τιμές μέσα σε σύντομα χρονικά διαστήματα. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα οι κουρτίνες σκίασης να ανοίγουν και να κλείνουν πολύ συχνά. Μια χρονική καθυστέρηση μπορεί να αποτρέψει αυτό το συχνό άνοιγμα και κλείσιμο. Μια χρονική καθυστέρηση 3-5 λεπτών θεωρείται φυσιολογική για τις κουρτίνες σκίασης. Στο σχήμα 2.12 η χρονική καθυστέρηση είναι 3 λεπτά. Χωρίς τη χρονική καθυστέρηση η κουρτίνα θα ανοιγόκλεινε έξι φορές. Η χρονική καθυστέρηση μειώνει αυτή τη λειτουργία στις τέσσερις φορές.



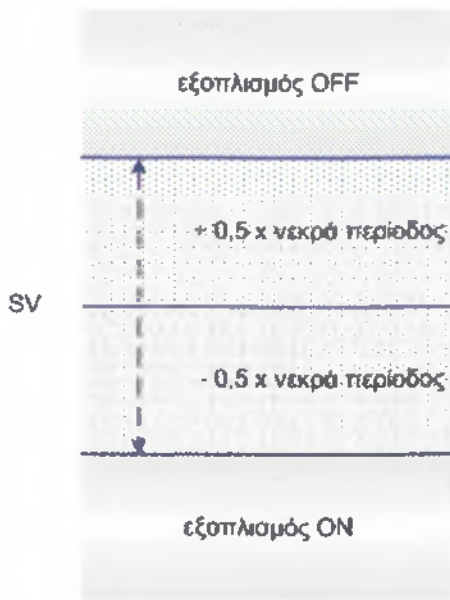
σχήμα 2.12 Επίδραση χρονικής καθυστέρησης.

### 2.5.2 Νεκρή περίοδος

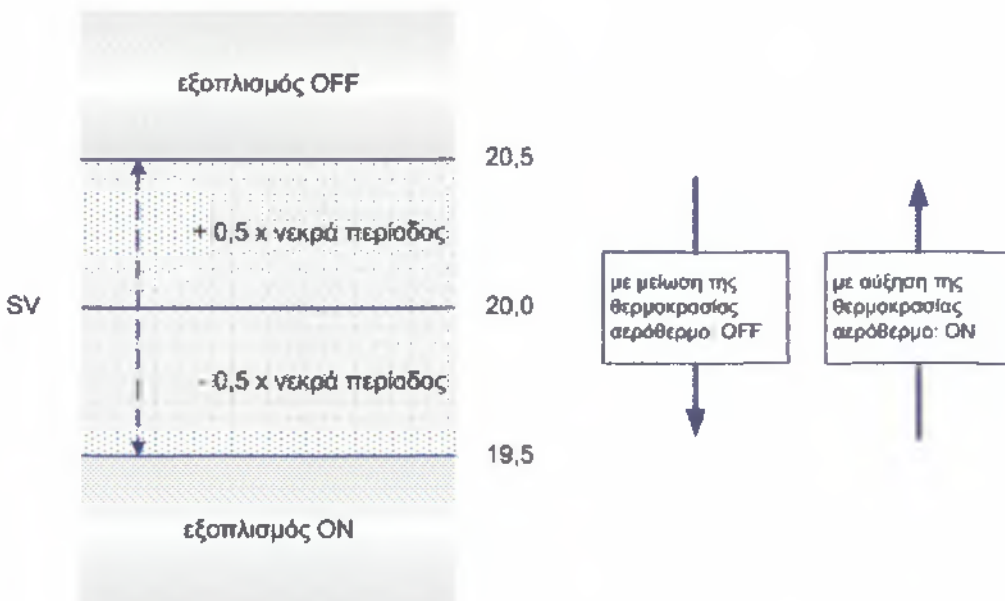
Μια καθορισμένη τιμή (SV) και μια νεκρή περίοδος εισάγονται στον υπολογιστή. Ο εξοπλισμός τίθεται σε λειτουργία όταν η μετρημένη τιμή είναι χαμηλότερη από  $SV - 0.5 \times \text{νεκρή περίοδος}$ . Ο εξοπλισμός τίθεται σε παύση όταν η μετρημένη τιμή γίνεται υψηλότερη από  $SV + 0.5 \times \text{νεκρή περίοδος}$  (βλέπε σχήμα 2.13).

#### Παράδειγμα 1

Η καθορισμένη τιμή για τα αερόθερμα είναι  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (βλέπε σχήμα 2.14). Η νεκρή περίοδος ορίζεται σε  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Εάν η θερμοκρασία μειωθεί κάτω από τους  $19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , το αερόθερμο τίθεται σε λειτουργία και τίθεται εκτός λειτουργίας στους  $20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Αυτό οδηγεί σε μια χρονική καθυστέρηση πριν από την πτώση της θερμοκρασίας πάλι στους  $19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  και το αερόθερμο τεθεί πάλι σε λειτουργία. η νεκρή περίοδος αλοτρέπει τη συχνή λειτουργία ON/OFF.



σχήμα 2.13 Νεκρή περίοδος και καθορισμένη τιμή.



σχήμα 2.14 Νεκρή περίοδος και αερόθερμο.

### Παράδειγμα 2

Ο φωτισμός μπορεί να ενεργοποιηθεί όταν η μετρούμενη ένταση φωτός είναι χαμηλή. Ο τεχνητός φωτισμός πρέπει να ανάψει όταν η ένταση του φωτός είναι κάτω από  $50 \text{ W/m}^2$ . Όταν η ένταση φωτός κυμαίνεται γύρω στα  $50 \text{ W/m}^2$ . Οι λαμπτήρες

αναβοσβήνουν πάρα πολύ συχνά, και πρόσθετες ρυθμίσεις πρέπει να εισαχθούν στον υπολογιστή:

ON: κάτω από 50 W/m<sup>2</sup>

OFF: πάνω από 65 W/m<sup>2</sup>

### Παράδειγμα 3

Μια νεκρή περίοδος επίσης ορίζεται για τον εμπλουτισμό με CO<sub>2</sub>. Κάτω από μία ορισμένη συγκέντρωση CO<sub>2</sub> αρχίζει ο εμπλουτισμός. Η συγκέντρωση πρέπει να αυξηθεί κατά 50-100 ppm πάνω από το όριο προτού τεθεί πάλι εκτός λειτουργίας ο εμπλουτισμός.

### 2.5.3 Μέσες μετρήσεις

Οι μετρούμενες τιμές για το φως, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του αέρα μπορεί να παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις. Εάν οι τιμές αυτές χρησιμοποιηθούν αμέσως για τον έλεγχο, ο έλεγχος δεν θα είναι σωστός. Για να αποτραπεί αυτό, μπορούν να ληφθούν οι μέσες τιμές των προαναφερθέντων μετρήσεις. Γενικά, ο υπολογιστής ελέγχου περιβαλλοντικών συνθηκών μετρά τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες κάθε λεπτό και ένας μέσος όρος υπολογίζεται από 5-15 μετρήσεις. Αυτός ο μέσος όρος είναι η τιμή που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο.

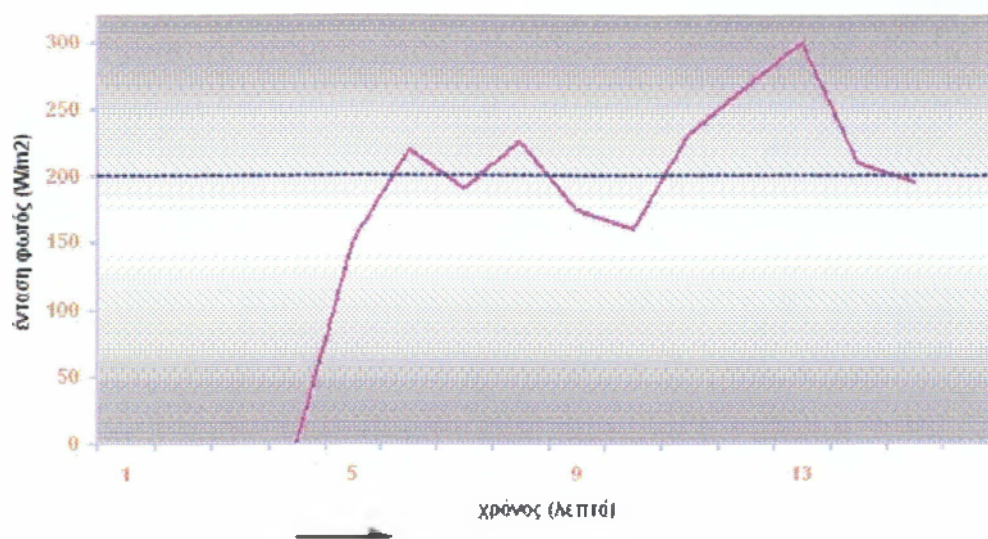
### Παράδειγμα

Η κουρτίνα σκίασης πρέπει να κλείσει όταν η μετρούμενη ένταση φωτός είναι πάνω από 200 W/m<sup>2</sup>. Οι μετρούμενες τιμές για μια συνηθισμένη ημέρα αναφέρονται παρακάτω. Η κουρτίνα αντιδρά αμέσως με κάθε μέτρηση. Η ακολουθία των γεγονότων είναι:

1	Λεπτά	3	4	5	6	7	8	9	10	11
150	Ένταση φωτός	200	225	175	160	230	265	300	210	195
A	Θέση	A	K	A	A	K	K	K	K	A

Η κουρτίνα αλλάζει κατεύθυνση 6 φορές μέσα σε 12 λεπτά (βλέπε σχήμα 2.15).





σχήμα 2.15 Έλεγχος κουρτινών με βάση τις μετρούμενες τιμές έντασης φωτός.

Ο υπολογιστής υπολογίζει έναν μέσο όρο κάθε 5 λεπτά. Κάθε λεπτό ο υπολογιστής αφαιρεί από το μέσο όρο τη μέτρηση που έγινε 5 λεπτά πριν και προσθέτει τη νέα μέτρηση στον υπολογισμό για τη μέση τιμή.

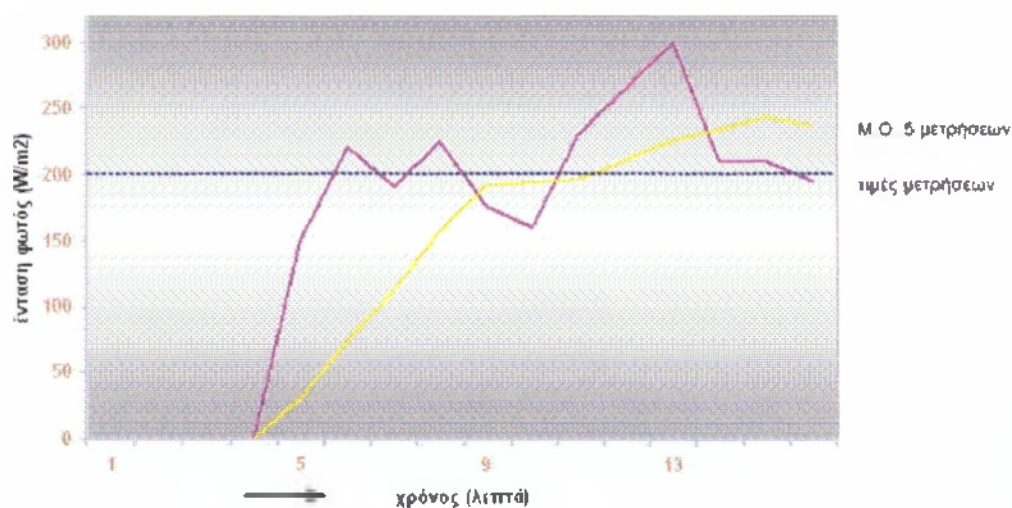
	νύχτα				ημέρα											
Λεπτά	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ένταση φωτός	0	0	0	0	150	220	190	225	175	160	230	265	300	210	210	195
M.O.	0	0	0	0	30	74	112	157	192	194	196	211	226	233	243	236

Σε αυτό το παράδειγμα, ο μέσος όρος πέντε μετρήσεων υπολογίζεται. Αυτό παρέχει έναν υπολογισμό έντασης του φωτός που είναι ομαλότερος για μια χρονική περίοδο. Με αυτό τον τρόπο ελέγχου η κουρτίνα θα αλλάξει κατεύθυνσή μόλις μία φορά (βλέπε σχήμα 2.16). Οπότε οι γρήγορες αλλαγές ομαλοποιούνται.

Η ίδια μέθοδος υπολογισμού χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του εξαερισμού. Στον υπολογισμό της θέσης των ανοιγμάτων ο υπολογιστής λαμβάνει υπόψη τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, την ταχύτητα και την κατεύθυνση του αέρα. Συνήθως η εξωτερική θερμοκρασία μεταβάλλεται ελάχιστα μέσα σε μικρά χρονικά διαστήματα. Οι περισσότεροι από τους υπολογιστές μετρούν τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος κάθε λεπτό και χρησιμοποιούν αυτήν την τιμή αμέσως για τον έλεγχο. Οι μετρούμενες τιμές της ταχύτητας του αέρα μπορεί όμως να

παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση. Όπως με τις μετρήσεις της έντασης του φωτός, οι μετρήσεις της ταχύτητας του αέρα υπολογίζονται με τον μέσο όρο, και αυτό επηρεάζει τον έλεγχο.

Με ανοίγματα και στις δύο πλευρές της κορυφογραμμής, ο υπολογιστής πρέπει να καθορίσει την κατεύθυνση του αέρα και την υπήνεμη πλευρά. Ο υπολογιστής περιβαλλοντικού ελέγχου καταγράφει την κατεύθυνση του αέρα σε βαθμούς. Ο υπολογισμός της μέσης τιμής γίνεται κάθε 10-15 λεπτά. Επιπλέον μια χρονική καθυστέρηση τίθεται: μόνο μετά από μερικά λεπτά που φυσά συνεχώς αέρας από την αντίθετη κατεύθυνση πραγματοποιείται κάποια αλλαγή.



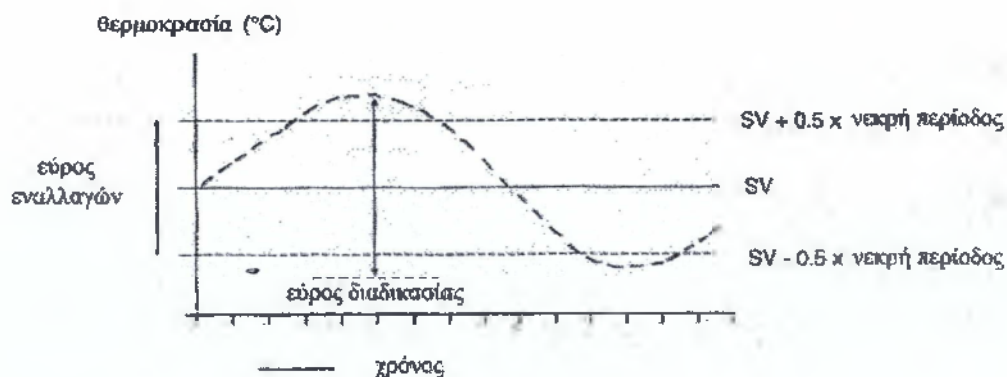
σχήμα 2.16 Έλεγχος κουρπινών με βάση τον Μ.Ο. των μετρήσεων της έντασης φωτός ανά πέντε λεπτά.

## 2.6 Εύρος εναλλαγών ON/OFF και εύρος διαδικασίας

Με την λειτουργία ON/OFF του εξοπλισμού ελέγχεται μια διαδικασία. Για να αποτραπεί η συχνή έναρξη (ON) και παύση (OFF) του εξοπλισμού πάρα πολύ συχνά ορίζεται μια νεκρή περίοδος και δημιουργείται ένα εύρος εναλλαγών.

### Παράδειγμα

Η ορισμένη τιμή είναι  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , η νεκρή περίοδος είναι  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ένα αερόθερμο τίθεται σε λειτουργία στους  $19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  και σε παύση στους  $20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Η διαφορά  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  μεταξύ έναρξης και παύσης καλείται εύρος εναλλαγής (Switching Differential). Η θερμοκρασία των θερμοκηπίων που ελέγχονται από αερόθερμα μπορεί να μεταβάλλεται περισσότερο από  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  και η διακύμανση στη θερμοκρασία (= διαδικασία) που προκαλείται από τον έλεγχο καλείται ΕΥΡΟΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ (Process Differential). Μετά από μια χρονική περίοδο η μετρούμενη θερμοκρασία θα έχει μια κυματοειδή κίνηση μεταξύ των  $19.5$  και  $20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Η υψηλότερη και χαμηλότερη μετρημένη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο θα είναι αντίστοιχα κάτω από  $19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  και  $20.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (βλέπε σχήμα 2.17).



σχήμα 2.17 Εύρος εναλλαγών και διαδικασίας.

## 2.7 Μεταβαλλόμενος (αναλογικός) έλεγχος – εξαερισμός

### 2.7.1 Εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου (P-band)

Ο υπολογιστής μπορεί να τοποθετήσει τα ανοίγματα σε οποιαδήποτε επιθυμητή θέση από 0% έως 100%. Στον υπολογιστή εισάγεται μια τιμή θερμοκρασίας στην οποία τα ανοίγματα πρέπει να ανοίξουν: *θερμοκρασία εξαερισμού*. Η θερμοκρασία του θερμοκηπίου μετριέται και τα ανοίγματα ανάλογα με

την θερμοκρασία ανοίγουν ή κλείνουν. Για να υπολογίσει ο υπολογιστής τη θέση των ανοιγμάτων απαιτείται ένα εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου (P-band / Proportional-band). Το εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου είναι οι βαθμοί Κελσίου που απαιτούνται παραπάνω από την καθορισμένη θερμοκρασία για να ανοίξουν τα ανοίγματα στο 100%. Οπότε για κάθε επιπλέον °C τα ανοίγματα ανοίγουν ένα ποσοστό επί της εκατό.

#### Παράδειγμα

Η θερμοκρασία εξαερισμού έχει ορισθεί στους 20 °C. Αυτό σημαίνει ότι τα ανοίγματα θα ανοίξουν μόλις η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο είναι πάνω από 20 °C. Το εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου έχει ορισθεί στους 5 °C. Υπερβαίνοντας την καθορισμένη θερμοκρασία με 5 °C τα ανοίγματα θα ανοίξουν στο 100%. Έτσι, για κάθε επιπλέον °C επάνω από την καθορισμένη θερμοκρασία τα ανοίγματα ανοίγουν κατά 20%. Όταν η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο είναι 23 °C, τα ανοίγματα ανοίγουν κατά 60%. Ο υπολογισμός είναι:

$$[(\text{θερμοκρασία θερμοκηπίου} - \text{θερμοκρασία εξαερισμού}) / \text{P-band}] \times 100 = \text{θέση ανοιγμάτων}$$

$$[(23-20)/5] \times 100 = 60 \%$$

(βλέπε σχήμα 2.18)

Το εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου αλλάζει σε 10 °C. Οι υπόλοιπες ρυθμίσεις παραμένουν αμετάβλητες. Η θέση των ανοιγμάτων τώρα είναι:

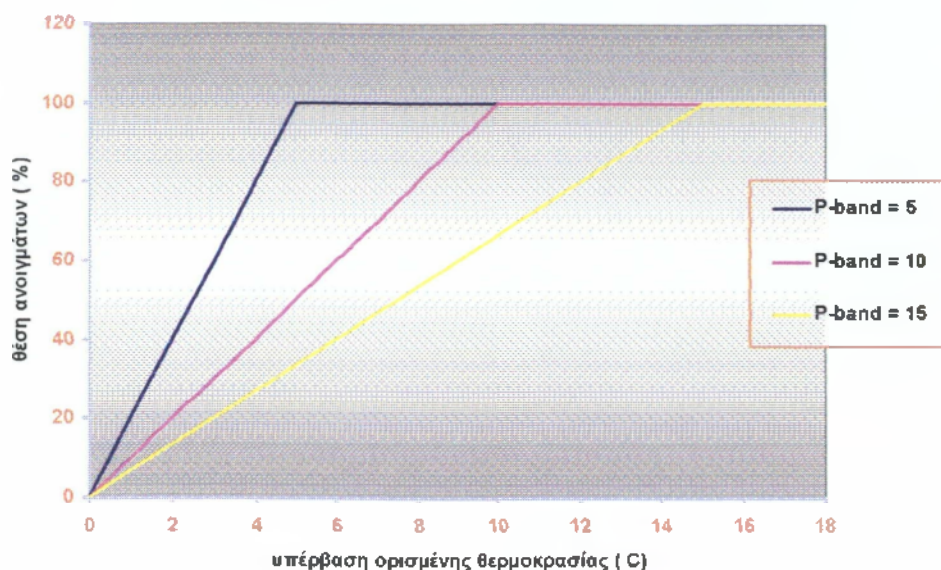
$$[(\text{Θερμοκρασία θερμοκηπίου} - \text{θερμοκρασία εξαερισμού}) / \text{P-band}] \times 100 = \text{θέση ανοιγμάτων}$$

$$[(23-20) / 10] \times 100 = 30 \%$$

(βλέπε σχήμα 2.18)

Το πλήθος των βημάτων που λαμβάνονται για να ανοίξουν τα ανοίγματα επιτυγχάνεται με τη ρύθμιση του εύρους μεταβαλλόμενου ελέγχου. Με ένα μεγάλο εύρος τα ανοίγματα ανοίγουν πλήρως σε λίγα μόλις βήματα. Με μικρό εύρος τα βήματα που απαιτούνται είναι αρκετά, έτσι τα ανοίγματα αντιδρούν γρήγορα όταν η θερμοκρασία αυξάνει πάρα πολύ.





σχήμα 2.18 Η επίδραση του εύρους μεταβαλλόμενου ελέγχου (P-band) στο άνοιγμα των ανοιγμάτων (παραθύρων).

### 2.7.2 Εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου και εξωτερική θερμοκρασία

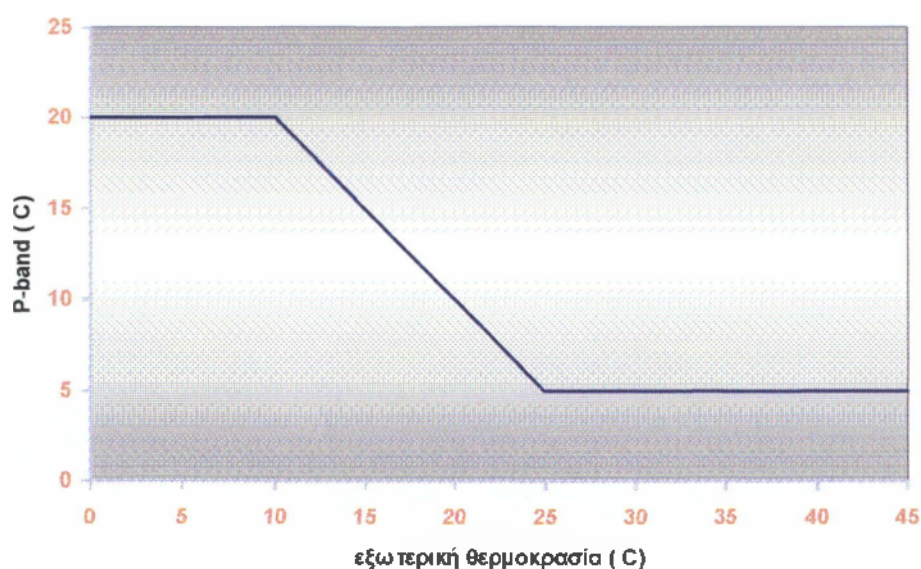
Ο στόχος του εξαερισμού είναι να αφαιρεθεί η υπερβολική θερμότητα και υγρασία. Όταν οι τιμές της θερμοκρασίας ή/και της σχετικής υγρασίας γίνονται πάρα πολύ υψηλές, τα ανοίγματα μπορούν να ανοίξουν χωρίς καθυστέρηση. Η υπερβολική θερμότητα και οι υδρατμοί αφαιρούνται έπειτα γρήγορα, με συνέπεια την απότομη πτώση της θερμοκρασίας και του RH. Όταν η θερμοκρασία φτάσει στην καθορισμένη τιμή τα ανοίγματα κλείνουν πάλι. Στη συνέχεια η θερμοκρασία και το RH αυξάνονται πάλι και πάλι μετά με τον ίδιο τρόπο, σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, έχουμε πτώση των τιμών στις επιθυμητές. Αυτό το συνεχές άνοιγμα και κλείσιμο των ανοιγμάτων οδηγούν σε έναν πολύ ακανόνιστο έλεγχο.

Η ταχύτητα με την οποία η θερμότητα και οι υδρατμοί αφαιρούνται εξαρτάται κυρίως από την εξωτερική θερμοκρασία και την ταχύτητα του αέρα. Οι χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες και οι υψηλές ταχύτητες αέρα αφαιρούν τη θερμότητα και τον υδρατμό γρήγορα (όπως συμβαίνει το χειμώνα). Σε περίπτωση υψηλών εξωτερικών θερμοκρασιών και ήρεμου καιρού, η πτώση των τιμών είναι πιο αργή



(όπως συμβαίνει το καλοκαίρι). Για τον ομαλό έλεγχο του εξαερισμού η υπερβολική θερμότητα και οι υδρατμοί πρέπει να αφαιρεθούν με τη σωστή ταχύτητα. Έτσι το καλοκαίρι όπου έχουμε μείωση των τιμών με μικρή ταχύτητα, και εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου μικρό, και αντίστοιχα το χειμώνα ένα μεγάλο εύρος ενδείκνυνται.

Για να έχουμε έναν σωστό και σταθερό έλεγχο, η πτώση της θερμοκρασίας και της υγρασίας πρέπει να είναι με τη σωστή ταχύτητα. Η ταχύτητα της μείωσης ελέγχεται από τη θέση των ανοιγμάτων, υπολογίζοντας την εξωτερική θερμοκρασία και ταχύτητα του αέρα. Η επιρροή της εξωτερικής θερμοκρασίας στο εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου φαίνεται στο σχήμα 2.19.

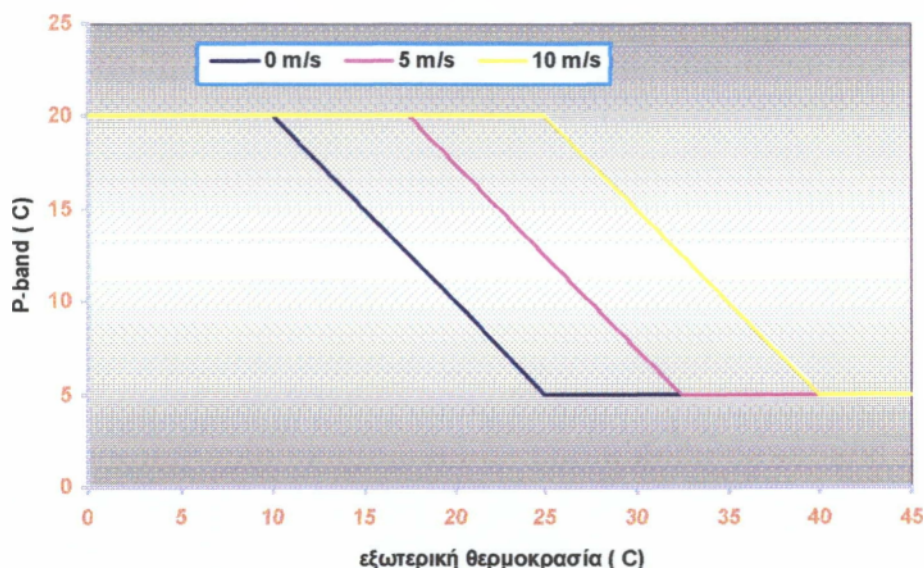


σχήμα 2.19 Εξωτερική θερμοκρασία και εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου.

Το εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου (P-band) ποικίλλει μεταξύ μιας εξωτερικής θερμοκρασίας 10 °C και 25 °C. Αυτές οι δύο τιμές είναι τα όρια μέσα στα οποία βρίσκεται η εξωτερική θερμοκρασία κανονικά όταν απαιτείται ο εξαερισμός.

### 2.7.3 Εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου, εξωτερική θερμοκρασία και ταχύτητα ανέμου

Με παρόμοιο τρόπο μπορεί να συμπεριληφθεί στον υπολογισμό της θέσης των ανοιγμάτων η ταχύτητα του αέρα. Μια αύξηση της ταχύτητας του αέρα κινεί την καμπύλη στο σχήμα 2.19 προς τα δεξιά. Το εύρος μεγαλώνει με την αύξηση της ταχύτητας του αέρα. Αυτό οδηγεί στην μείωση του ποσοστού που ανοίγουν τα ανοίγματα.



σχήμα 2.20 Σχέση μεταξύ εύρους μεταβαλλόμενου ελέγχου, εξωτερικής θερμοκρασίας και ταχύτητας ανέμου.

#### Παράδειγμα

Για μια εξωτερική θερμοκρασία 15 °C και καθόλου αέρα το P-band είναι 15 °C. Τα ανοίγματα (παράθυρα) ανοίγουν 20 %, εάν η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο είναι 3 °C επάνω από τη θερμοκρασία εξαιρισμού. Εάν τώρα η ταχύτητα του αέρα αυξηθεί μέχρι 5 m/s με την ίδια εξωτερική θερμοκρασία 15 °C, το P-band γίνεται 20 °C και η θέση των ανοιγμάτων γίνεται 15 %. Όπως αναφέρθηκε πριν, όταν υπάρχει άπνοια, η πτώση της θερμοκρασίας γίνεται με τα ανοίγματα στο 20% και είναι ίση (η μείωση της θερμοκρασίας) με όταν τα ανοίγματα είναι στο 15% και η ταχύτητα του αέρα είναι 5 m/s.

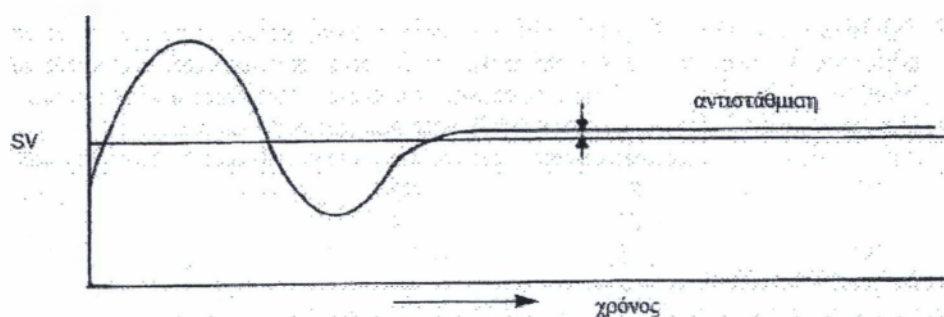
Για τον έλεγχο του εξαερισμού η εξωτερική θερμοκρασία και η ταχύτητα του αέρα πρέπει να συμπεριληφθούν στον έλεγχο. Σε μερικούς υπολογιστές ο καλλιεργητής θέτει ο ίδιος τις τιμές, ενώ σε άλλους τις τιμές της ορίζει ο τεχνικός. Στην τελευταία περίπτωση μόνο ο τεχνικός μπορεί να λάβει μέτρα όταν δεν λειτουργεί σωστά ο έλεγχος εξαερισμού.

#### 2.7.4 Χαρακτηριστικά του εύρους μεταβαλλόμενου ελέγχου – διαγράμματα

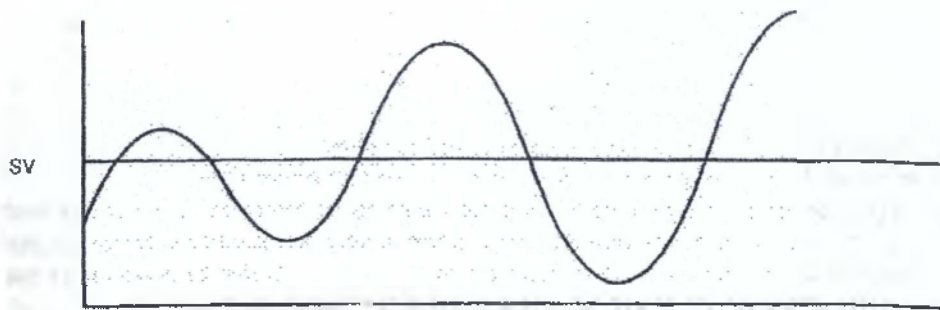
Αν οριστεί σωστά το εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου η υπερβολική θερμότητα θα αφαιρεθεί με τη σωστή ταχύτητα, παρέχοντας έτσι έναν ομαλό και σταθερό έλεγχο (βλέπε σχήμα 2.21).

Εάν το εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου είναι πάρα πολύ μικρό, με κάθε υπέρβαση της καθορισμένης θερμοκρασίας θα ανοίξουν τα ανοίγματα πάρα πολύ, προκαλώντας έτσι μια ξαφνική πτώση της θερμότητας. Στη συνέχεια τα ανοίγματα κλείνουν, η θερμοκρασία αυξάνεται πάλι και τα ανοίγματα ανοίγουν πάλι, με συνέπεια έναν ακανόνιστο έλεγχο (βλέπε σχήμα 2.22).

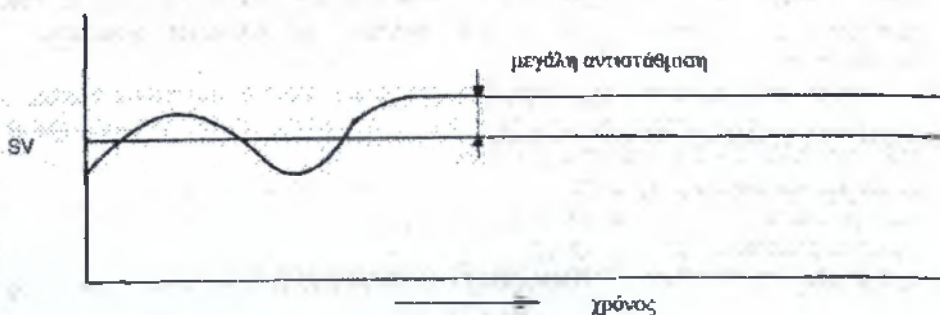
Εάν το εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου είναι πάρα πολύ μεγάλο, η υπερβολική θερμότητα δεν μπορεί να αφαιρεθεί αρκετά γρήγορα, με συνέπεια την άνοδο της θερμοκρασίας σε τιμές υψηλότερες από την καθορισμένη τιμή. Στη θεωρία ελέγχου αυτό καλείται στατική απόκλιση (βλέπε σχήμα 2.23).



σχήμα 2.21 Σωστά ορισμένο εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου.



σχήμα 2.22 Μικρό εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου με αποτέλεσμα τον ακανόνιστο έλεγχο.



σχήμα 2.23 Μεγάλο εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου με αποτέλεσμα την μεγάλη στατική απόκλιση.

## 2.8 Μεταβαλλόμενος - Αναπόσπαστος έλεγχος

Με τον εξαερισμό η θερμοκρασία του θερμοκηπίου διατηρείται στο επιθυμητό επίπεδο. Η εξωτερική θερμοκρασία και ταχύτητα του αέρα έχουν μεγάλη επιρροή στο ρυθμό μείωσης της θερμοκρασίας. Και οι δύο αυτοί παράγοντες έχουν αναλυθεί στο προηγούμενο τμήμα. Στην περίπτωση του ελέγχου του εξαερισμού με εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου, μια συγκεκριμένη κατάσταση έχει πάντα μια σταθερή θέση ανοιγμάτων. Αυτή η σταθερή θέση των ανοιγμάτων εξαρτάται από το εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου, την εξωτερική θερμοκρασία και την ταχύτητα του ανέμου. Είναι δυνατό η θερμοκρασία του θερμοκηπίου, σε μία σταθερή θέση των

ανοιγμάτων, να παρεκκλίνει μόνιμα. Σε αυτήν την περίπτωση, ο μεταβαλλόμενος έλεγχος μπορεί να επεκταθεί σε έναν μεταβαλλόμενο - ακέραιο έλεγχο.

Ο υπολογιστής ανοίγει τα ανοίγματα (με τον τρόπο που περιγράφηκε προηγουμένως). Κάθε λεπτό ο υπολογιστής ελέγχει εάν η καθορισμένη θερμοκρασία ανταποκρίνεται με την ανάλογη θέση των ανοιγμάτων. Όταν ο υπολογιστής καταχωρεί μια απόκλιση στη θερμοκρασία του θερμοκηπίου παρά το γεγονός ότι η θέση των ανοιγμάτων δεν άλλαξε, η θέση των ανοιγμάτων θα αλλάξει βαθμιαία. Παρακάτω δίνεται ένα παράδειγμα του μεταβαλλόμενου ελέγχου.

Το εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου είναι 5 °C.,

χρόνος	θερμοκρασία εξαιρισμού	θερμοκρασία θερμοκηπίου	θέση ανοιγμάτων
13:00 hrs	22	23	20
13:01 hrs	22	23	20
13:02 hrs	22	23	20
13:03 hrs	22	23	20

Στις 13:00 τα ανοίγματα ανοίγουν 20% λαμβάνοντας υπόψη την εξωτερική θερμοκρασία και την ταχύτητα του αέρα. Με τα ανοίγματα ανοιχτά η θερμοκρασία θα πρέπει να μειωθεί στους 22 °C. Αλλά, η θερμοκρασία παραμένει 1 °C πάνω από το όριο.

Η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο συνεχίζει να αποκλίνει 1 °C με τα ανοίγματα στην ίδια θέση. Ένας μεταβαλλόμενος - ακέραιος έλεγχος μπορεί να εξαλείψει την απόκλιση βαθμιαία.

Ένας μεταβαλλόμενος - ακέραιος έλεγχος λειτουργεί ως εξής: Εάν η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο διαφέρει μόνιμα 1 °C, η θέση των ανοιγμάτων πρέπει να αλλάζει μερικά τοις εκατό ανά λεπτό.

#### *Παράδειγμα*

Ένας μεταβαλλόμενος - ακέραιος έλεγχος ορίζεται στο 4%. Αυτό σημαίνει ότι όταν η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο διαφέρει μόνιμα κατά 1 °C, η θέση των ανοιγμάτων θα πρέπει να αλλάζει κατά 4% κάθε λεπτό.



## 2.9 Έλεγχος θέρμανσης

### 2.9.1 Μεταβαλλόμενος έλεγχος θέρμανσης

Ο έλεγχος θέρμανσης διαφέρει σε μερικά σημεία από τον έλεγχο εξαερισμού. Με το άνοιγμα των ανοιγμάτων η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο επηρεάζεται άμεσα. Στον έλεγχο της θέρμανσης υπάρχει ένα πρόσθετο βήμα στον έλεγχο κατά το οποίο ο υπολογιστής συγκρίνει την ορισμένη τιμή και τις μετρούμενες τιμές της θερμοκρασίας. Όταν η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο είναι πάρα πολύ χαμηλή, ο υπολογιστής υπολογίζει την θερμοκρασία του συστήματος θέρμανσης (σωλήνες θέρμανσης) για να επιτύχει την καθορισμένη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο. Στη συνέχεια ο υπολογιστής μετρά τη θερμοκρασία των σωλήνων. Εάν η μετρούμενη θερμοκρασία των σωλήνων διαφέρει από την υπολογισμένη θερμοκρασία των σωλήνων, ο υπολογιστής ρυθμίζει τη βαλβίδα μίξης για να επιτύχει τη σωστή θερμοκρασία σωλήνων.

#### *ΠΡΩΤΟ ΒΗΜΑ*

Όταν η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία εξαερισμού η θέση των ανοιγμάτων είναι 0%. Για τη θέρμανση ορίζεται μια τιμή θερμοκρασίας θέρμανσης. Εάν η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο είναι κάτω από το καθορισμένο σημείο η θέρμανση θα τεθεί σε λειτουργία. Όταν η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία θέρμανσης, δεν θα υπάρξει καμία απαίτηση για θέρμανση, αλλά και η θερμοκρασία των σωλήνων δεν θα είναι στους 0 °C. Όταν έχουμε υψηλή θερμοκρασία στο θερμοκήπιο η υπολογισμένη θερμοκρασία σωλήνων θα είναι ίση με την ορισμένη θερμοκρασία θέρμανσης. Αυτή είναι η «θερμοκρασία βάσης» για τους σωλήνες θέρμανσης. Όταν η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο μειωθεί πάρα πολύ, μερικοί βαθμοί προστίθενται στην τιμή της «θερμοκρασίας βάσης».

#### *ΔΕΥΤΕΡΟ ΒΗΜΑ*

Όταν εμφανίζεται απόκλιση από την καθορισμένη θερμοκρασία, ο υπολογιστής αρχίζει από τη «θερμοκρασία βάσης» των σωλήνων θέρμανσης. Αυτή η θερμοκρασία είναι ίση με τη θερμοκρασία θέρμανσης ή με την ελάχιστη θερμοκρασία

των σωλήνων. Για τη θέρμανση ορίζεται ένα “μεταβαλλόμενο” βήμα, η επίδραση του οποίου είναι παρόμοια με το εύρος μεταβαλλόμενου ελέγχου στον έλεγχο εξαερισμού.

Μεταβαλλόμενο βήμα 10 °C: Για κάθε ένα βαθμό °C απόκλισης από την καθορισμένη θερμοκρασία του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία των σωλήνων αυξάνεται κατά 10 °C.

#### Παράδειγμα

Θερμοκρασία θέρμανσης 20 °C → “Θερμοκρασία βάσης” 20 °C

Μεταβαλλόμενο βήμα 10 °C

Θερμ. θερμοκηπίου	“Θερμ. βάσης”	Μεταβαλ. βήμα	Υπολ. Θερμ. σωλήνων
18 °C	20 °C	20 °C	20 + 20 = 40 °C
19 °C	20 °C	10 °C	20 + 10 = 30 °C
20 °C	20 °C	0 °C	20 + 0 = 20 °C

#### Παράδειγμα

Θερμοκρασία θέρμανσης 20 °C

Μεταβαλλόμενο βήμα 10 °C

Ελάχιστη θερμοκρασία σωλήνων 35 °C → “Θερμοκρασία βάσης” 35 °C

Θερμ. θερμοκηπίου	“Θερμ. βάσης”	Μεταβαλ. βήμα	Υπολ. Θερμ. σωλήνων
18 °C	35 °C	20 °C	35 + 20 = 55 °C
19 °C	35 °C	10 °C	35 + 10 = 45 °C
20 °C	35 °C	0 °C	35 + 0 = 35 °C

### ΤΡΙΤΟ ΒΗΜΑ

Μετά τον υπολογισμό της σωστής θερμοκρασίας των σωλήνων πρέπει να εκτελεστούν από τον υπολογιστή οι διορθωτικές ενέργειες. Πρώτα μετρίεται η θερμοκρασία των σωλήνων, η οποία έπειτα συγκρίνεται με την υπολογισμένη θερμοκρασία σωλήνων. Μετά από αυτήν την σύγκριση μπορεί να καθοριστεί ο βαθμός στον οποίο η βαλβίδα μίξης πρέπει να ανοίξει ή να κλείσει. Για να επιτευχθεί

η επιδιωκόμενη θερμοκρασία ένα μεταβαλλόμενο βήμα εφαρμόζεται για ακόμα μια φορά.

**ΒΗΜΑ:** για κάθε απόκλιση °C στη ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΥΔΑΤΟΣ η βαλβίδα πρέπει να ρυθμιστεί μερικά τοις εκατό.

Η θέση των βαλβίδων δεν μετριέται από τον υπολογιστή. Η βαλβίδα μίξης ρυθμίζεται με βάση τον χρόνο των πραγματοποιηθέντων αλλαγών. Ο υπολογιστής γνωρίζει το χρόνο που απαιτείται για να ανοίξει τη βαλβίδα πλήρως από την θέση «πλήρως κλειστή». Για μια ενδιάμεση θέση ο υπολογιστής ωθεί τη βαλβίδα για μια μικρότερη χρονική περίοδο.

#### *Παράδειγμα*

**ΒΗΜΑ:** προσαρμογή 2% ανά απόκλιση °C στη θερμοκρασία ύδατος.

Χρόνος 13:00 hrs

- βαλβίδα μίξης ανοιχτή κατά 40 %, θερμοκρασία σωλήνων 50 °C

13:01 hrs

- η θερμοκρασία του νερού πρέπει να αυξηθεί κατά 5 °C  
η βαλβίδα μίξης ρυθμίζεται  $5\text{ °C} \times 2\% = 10\%$  (ανοιχτή)  
η βαλβίδα κινείται από 40 σε 50 %

13:02 hrs

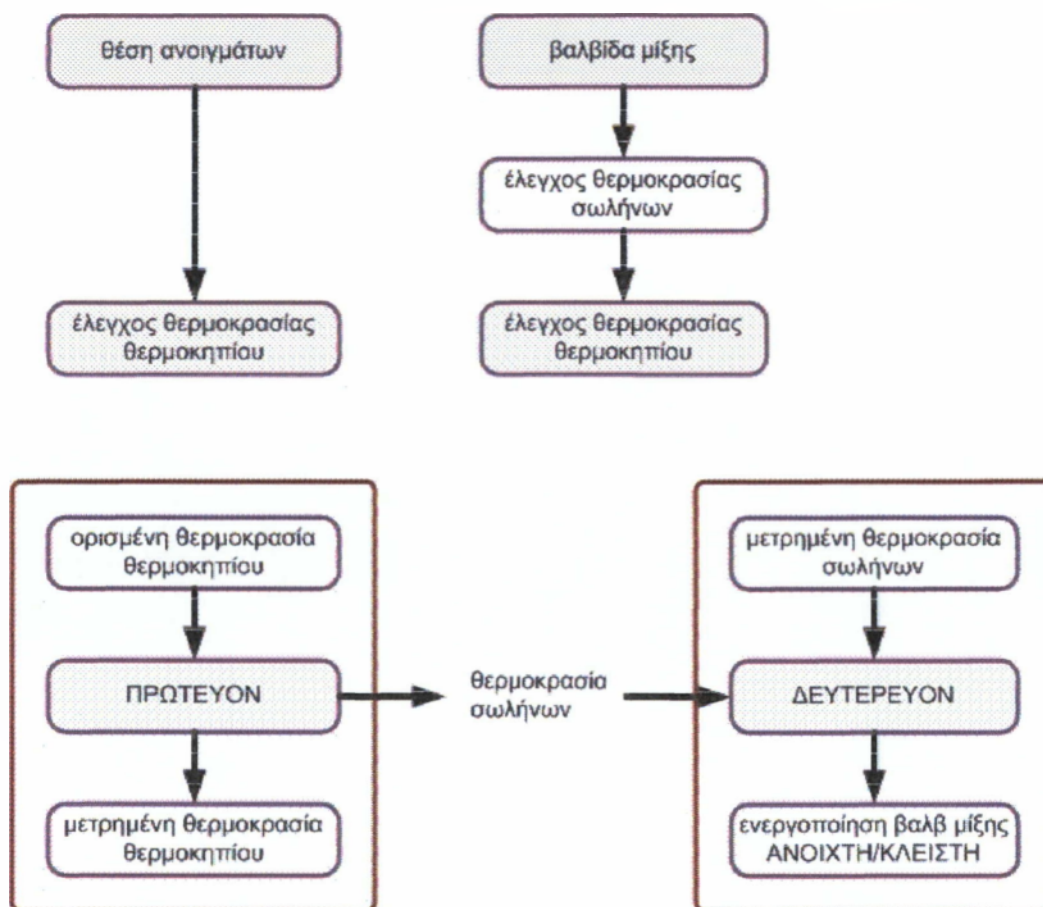
- η θερμοκρασία του νερού πρέπει να μειωθεί κατά 10 °C  
η βαλβίδα μίξης ρυθμίζεται  $10\text{ °C} \times 2\% = 20\%$  (κλειστή)  
η βαλβίδα κινείται από 50 σε 30 %

13:03 hrs

- η θερμοκρασία του νερού πρέπει να μειωθεί κατά 10 °C  
η βαλβίδα μίξης ρυθμίζεται  $10\text{ °C} \times 2\% = 20\%$  (κλειστή)  
η βαλβίδα κινείται από 30 σε 10 %

Ο έλεγχος της θέρμανσης διαιρείται σε δύο μέρη. Πρώτα για να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία στο θερμοκήπιο υπολογίζεται η σωστή θερμοκρασία των σωλήνων. Έπειτα, καθορίζεται η σωστή θέση της βαλβίδας μίξης για να επιτευχθεί η σωστή θερμοκρασία των σωλήνων.

Ο έλεγχος της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο με βαλβίδες μίξης καλείται επίσης ΠΡΩΤΕΥΟΝ – ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ έλεγχος (master – slave control). Η θερμοκρασία των σωλήνων υπολογίζεται από τη διαφορά μεταξύ της μετρημένης και της ορισμένης θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας στο θερμοκηπίων είναι η ΠΡΩΤΕΥΟΝ λειτουργία που καθορίζει τη θερμοκρασία των σωλήνων. Η θερμοκρασία των σωλήνων επιτυγχάνεται από τη ρύθμιση της βαλβίδας μίξης. Ο έλεγχος της θερμοκρασίας των σωλήνων είναι η ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ λειτουργία.



σχήμα 2.24 Master – slave control.

## 2.9.2 Έλεγχος ρι για το σύστημα θέρμανσης

Στην παράγραφο 2.9.1 ο έλεγχος της θέρμανσης περιγράφεται ως μεταβαλλόμενος έλεγχος. Για κάθε απόκλιση °C στη θερμοκρασία του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία των σωλήνων αυξάνεται κατά ένα ανάλογο ποσό βαθμών °C. Με τον μεταβαλλόμενο έλεγχο υπάρχει πάντα μια ορισμένη θερμοκρασία σωλήνων, που σχετίζεται με την απόκλιση.

Η ρύθμιση της βαλβίδας μίξης περιγράφεται επίσης ως μεταβαλλόμενος έλεγχος. Για κάθε απόκλιση °C στη θερμοκρασία του νερού η βαλβίδα μίξης ανοίγει ανάλογα. Και πάλι μια συγκεκριμένη θερμοκρασία σωλήνων συνδέεται με μια ορισμένη θέση των βαλβίδων μίξης.

Εντούτοις, ο έλεγχος θέρμανσης συνδέεται συχνά με μια “αναπόσπαστη” δράση παρόμοια με αυτή στον έλεγχο εξαερισμού.

Για να υπολογίσει τη θερμοκρασία σωλήνων η “αναπόσπαστη” δράση λειτουργεί ως εξής:

- εάν η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο παρεκκλίνει κατά ένα βαθμό μόνιμα, η θερμοκρασία σωλήνων πρέπει να ρυθμιστεί μερικούς βαθμούς κάθε λεπτό.

Όταν έχουμε πτώση της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο, ο υπολογιστής αυξάνει τη θερμοκρασία των σωλήνων θέρμανσης. Μετά από ένα λεπτό η μέτρηση της θερμοκρασίας των σωλήνων επαναλαμβάνεται. Εάν ακόμα υπάρχει απόκλιση η θερμοκρασία των σωλήνων αυξάνεται βαθμιαία.

### Παράδειγμα

- Μεταβαλλόμενο βήμα 10 °C
- Όταν η θερμοκρασία παρουσιάζει μόνιμα απόκλιση 1 °C η θερμοκρασία των σωλήνων ρυθμίζεται στους 2 °C ανά λεπτό.

Χρόνος	Θερμ. θερμοκηπίου	Θερμ. θέρμανσης	Θερμ. σωλήνων
13:01 hrs	21 °C	21 °C	21 °C
13:02 hrs	20 °C	21 °C	31 °C
13:03 hrs	20 °C	21 °C	33 °C
13:04 hrs	20 °C	21 °C	35 °C
13:05 hrs	20 °C	21 °C	37 °C



Η θερμοκρασία σωλήνων αυξάνεται σταδιακά έως ότου η θερμοκρασία του θερμοκηπίου φτάσει τη θερμοκρασία θέρμανσης. Όταν η μετρούμενη και η καθορισμένη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο είναι ίσες η θερμοκρασία των σωλήνων διατηρείται.

Αυτό το αριθμητικό παράδειγμα δεν εκφράζει εντελώς την πραγματικότητα, καθώς η θερμοκρασία στους σωλήνες αυξάνεται τρεις φορές βαθμιαία, αλλά η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο παραμένει 20.0 °C. Στην πραγματικότητα, η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο θα ανέλθει αργά στους 21 °C. Εντούτοις το παράδειγμα παρουσιάζει σαφώς την επίδραση του «αναπόσπαστου ελέγχου» στη θερμοκρασία των σωλήνων. Στην πραγματικότητα, όταν επιτυγχάνεται η θερμοκρασία των 21 °C στο θερμοκήπιο, δεν υπάρχει καμία απόκλιση και η θερμοκρασία των σωλήνων δεν αυξάνεται περαιτέρω.

Ένας παρόμοιος έλεγχος χρησιμοποιείται για τη βαλβίδα μίξης, η οποία ρυθμίζεται επίσης βαθμιαία μέχρι ότου επιτευχθεί η σωστή θερμοκρασία σωλήνων.

Ο έλεγχος θέρμανσης αποτελείται από μια αργή και μία γρήγορη διαδικασία. Όταν η θερμοκρασία σωλήνων αυξάνεται αυτό επηρεάζει τη θερμοκρασία του θερμοκηπίου αργά: αργή διαδικασία. Με το άνοιγμα της βαλβίδας μίξης το νερό στους σωλήνες θέρμανσης επηρεάζεται αμέσως: γρήγορη διαδικασία.

Στον έλεγχο της θέρμανσης η θερμοκρασία του θερμοκηπίου δεν πρέπει να ρυθμίσει τη βαλβίδα μίξης άμεσα.

Σε αυτή την περίπτωση:

Ο υπολογιστής μετρά μια θερμοκρασία στο θερμοκήπιο που είναι πάρα πολύ χαμηλή, η βαλβίδα μίξης ανοίγει, η θερμοκρασία των σωλήνων αυξάνεται. Μετά από ένα λεπτό ο υπολογιστής μετρά τη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο πάλι, η οποία είναι ακόμα πάρα πολύ χαμηλή. Η θερμοκρασία σωλήνων έχει αυξηθεί αλλά μέσα σε αυτό το μικρό χρονικό διάστημα οι σωλήνες έχουν ακτινοβολήσει λίγη μόνο θερμότητα. Ο υπολογιστής ανοίγει τη βαλβίδα μίξης περαιτέρω. Ένα λεπτό αργότερα, η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο μετριέται πάλι, και είναι πάρα πολύ υψηλή τώρα. Η ροή θερμότητας από τους σωλήνες άρχισε αργά αλλά τώρα πάρα πολλή θερμότητα ακτινοβολείται, αναγκάζοντας τη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο να αυξηθεί πάρα πολύ. Ο υπολογιστής κλείνει τη βαλβίδα μίξης με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας πολύ κάτω από την καθορισμένη τιμή. Αυτή η μέθοδος ελέγχου δεν

είναι κατάλληλη για τη θέρμανση του θερμοκηπίου και η λύση είναι ένας master-slave έλεγχος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟΥ

#### 3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο εξετάζεται το πρόγραμμα ελέγχου (λογισμικό) του υπολογιστή. Οι ρυθμίσεις του λογισμικού ελέγχου απεικονίζονται με πλάγιους χαρακτήρες. Παράλληλα θα παρουσιαστεί μέρος ενός εμπορικού προγράμματος ελέγχου της Eldar Shany το PC CENTER ver.7.15 που στηρίζεται πάνω στον ελεγκτή (controller) Galileo. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να ελέγξει και άλλες λειτουργίες μιας θερμοκηπιακής μονάδας όπως την άρδευση, λίπανση, τεχνοοικονομικά στοιχεία κ.α. η παρουσίαση θα περιοριστεί όμως στον κλιματικό έλεγχο.

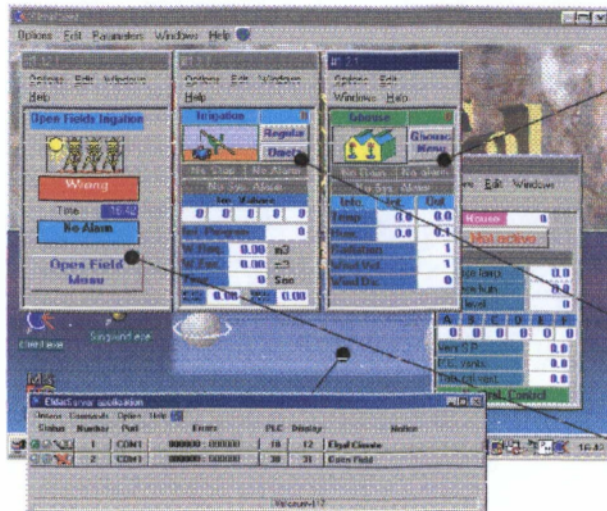
#### 3.2 PC CENTER

##### 3.2.1 Ηλεκτρονικός Υπολογιστής

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το πρόγραμμα ελέγχου εγκαθίσταται στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Το PC CENTER έχει ορισμένες ελάχιστες απαιτήσεις όσο αφορά το σύστημα που θα το φιλοξενήσει. Έτσι θα πρέπει ο επεξεργαστής να είναι τεχνολογίας Pentium, η μνήμη RAM να διαθέτει 64 Mb, να υπάρχει ελάχιστος ελεύθερος χώρος στον σκληρό δίσκο 750 Mb καθώς και μία ελεύθερη 9-pin θύρα για επικοινωνία με τον controller. Για επικοινωνία του συστήματος με άλλο δίκτυο ή απομακρυσμένο έλεγχο απαιτούνται και οι ανάλογες θύρες επικοινωνιών καθώς και ο ανάλογος εξοπλισμός π.χ. modem, router, θύρα Ethernet κλπ.

Τέλος θα πρέπει να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα PC CENTER απαιτεί περιβάλλον Windows XP ή μεταγενέστερο. Με κάθε εκκίνηση του υπολογιστή αυτόματα το σύστημα τίθεται σε λειτουργία και εμφανίζεται το κεντρικό παράθυρο ελέγχου (βλέπε σχήμα 3.1).

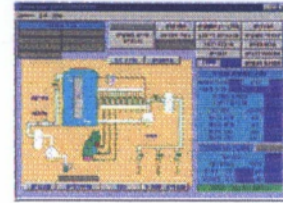
Main Screen - Center Display



Main Screen - Climate



Main Screen - Irrigation



Main Screen - Open Fields



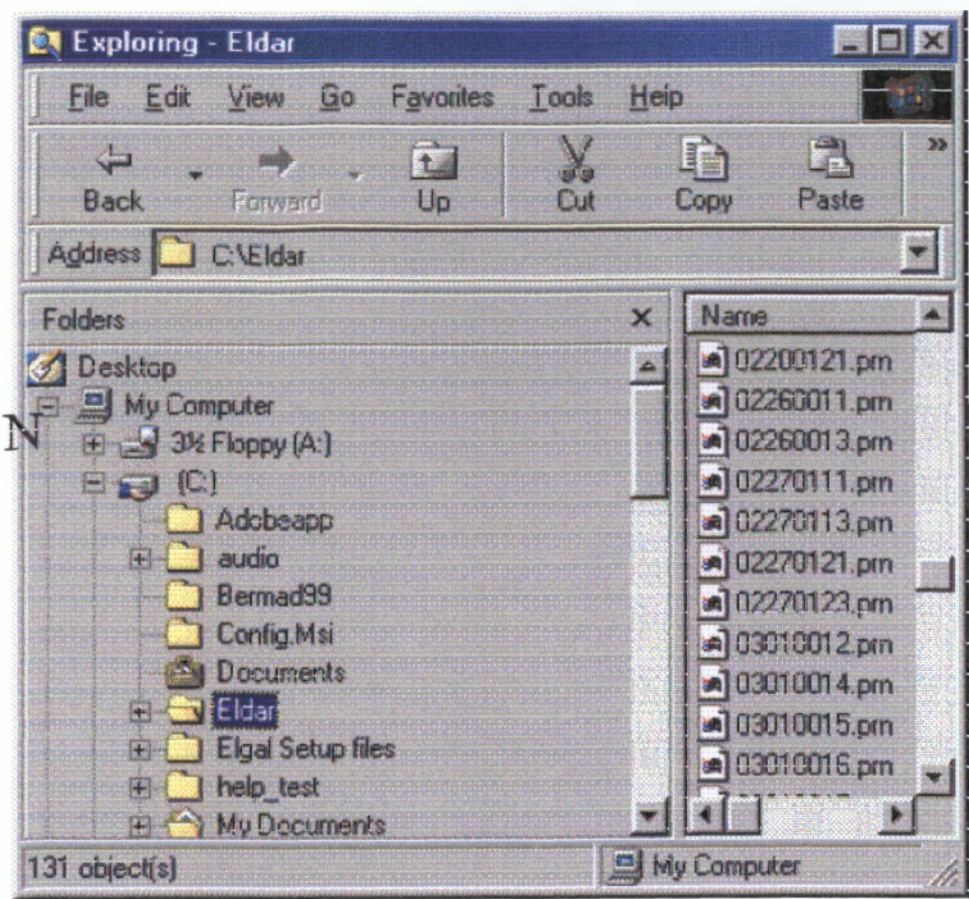
σχήμα 3.1 Κεντρικό παράθυρο ελέγχου.

### 3.2.2 Αρχεία δεδομένων PC CENTER

Τα δεδομένα αποθηκεύονται στον υπολογιστή σε ένα συγκεκριμένο σημείο: C:\ELDAR και δίνεται αυτόματα ένα όνομα κάθε φορά π.χ. 11210031.rpt όπου αυτό σημαίνει 11: μήνας, 21: μέρα, 0031: ο κωδικός του συστήματος που στην προκειμένη περίπτωση αντιστοιχεί στη λειτουργία του κλιματικού ελέγχου. Κάθε μέρα δημιουργούνται μερικές δεκάδες αρχεία οπότε είναι σημαντικό να μπορούμε να τα αναγνωρίσουμε για να αντλήσουμε τα απαραίτητα στοιχεία.

Λόγω του πλήθους των στοιχείων απαιτείται αρκετός χώρος στο σκληρό δίσκο οπότε θα πρέπει να έχουμε φροντίσει ανάλογα. Στο τέλος κάθε έτους, αυτόματα το πρόγραμμα μετακινεί όλα τα αρχεία σε ένα νέο φάκελο που τον ονομάζει αυτόματα με βάση το έτος.





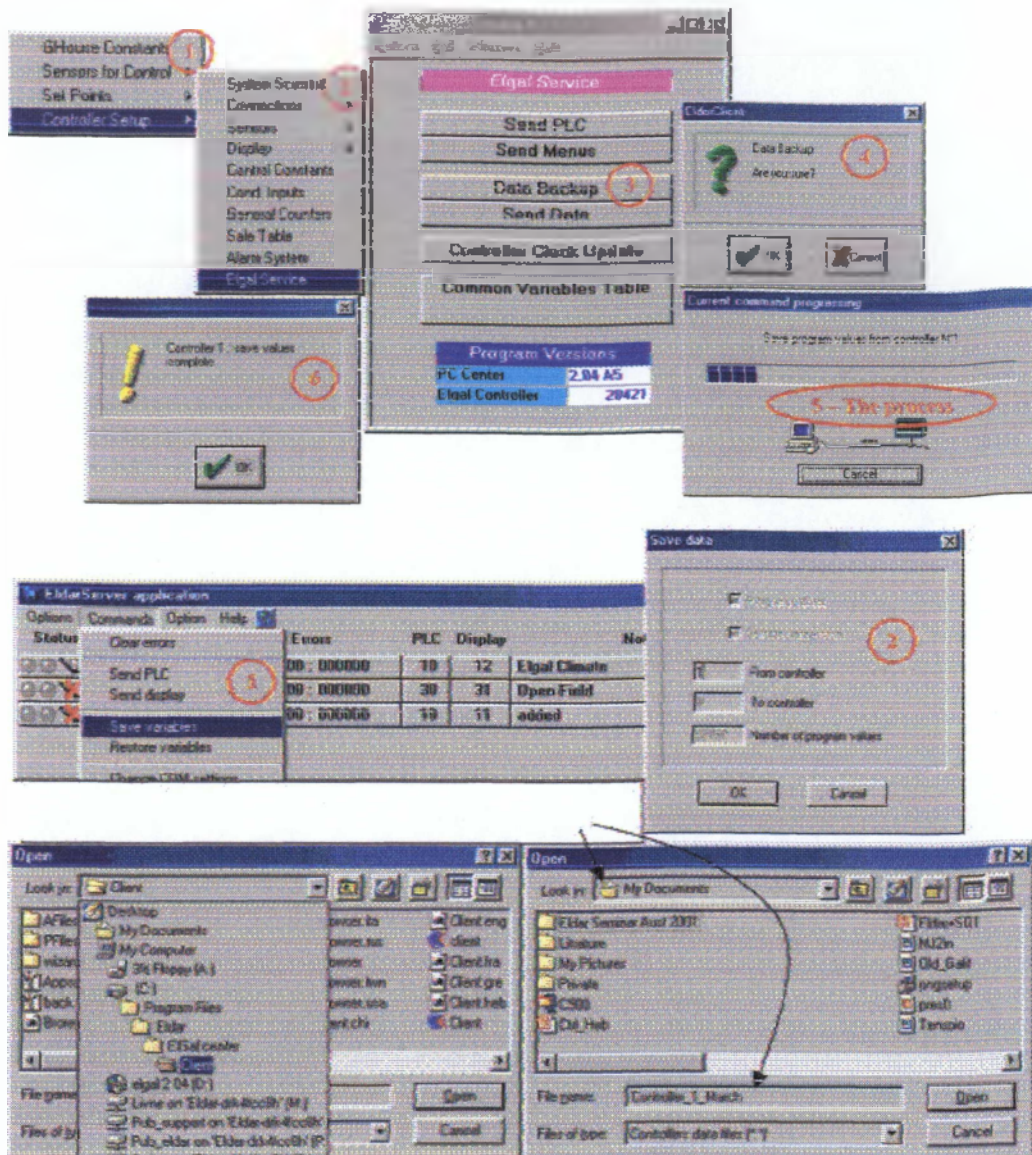
σχήμα 3.2 Σύστημα αποθήκευσης αρχείων.

### 3.2.3 Backup και Restore

Οι έννοιες Backup και Restore αναφέρονται στην δημιουργία εφεδρικών αντιγράφων ασφαλείας και στην επαναφορά αρχείων αντίστοιχα. Κάθε φορά που πραγματοποιούμε ρυθμίσεις ή καταχωρούμε νέα δεδομένα στον ελεγκτή (controller) αυτόματα οι νέες τιμές αποθηκεύονται ως “εικόνα” και σε ένα άλλο σημείο του υπολογιστή. Έτσι σε περίπτωση βλάβης του υπολογιστή ή του ελεγκτή, γρήγορα μπορούμε να επαναφέρουμε ολόκληρο το σύστημα στην προηγούμενη κατάσταση.

Ωστόσο συστήνεται η λήψη περιοδικών αντιγράφων ασφαλείας ολόκληρου του συστήματος. Στο σχήμα 3.3 φαίνεται η διαδικασία λήψης εφεδρικών αντιγράφων ασφαλείας με δύο διαφορετικούς τρόπους.



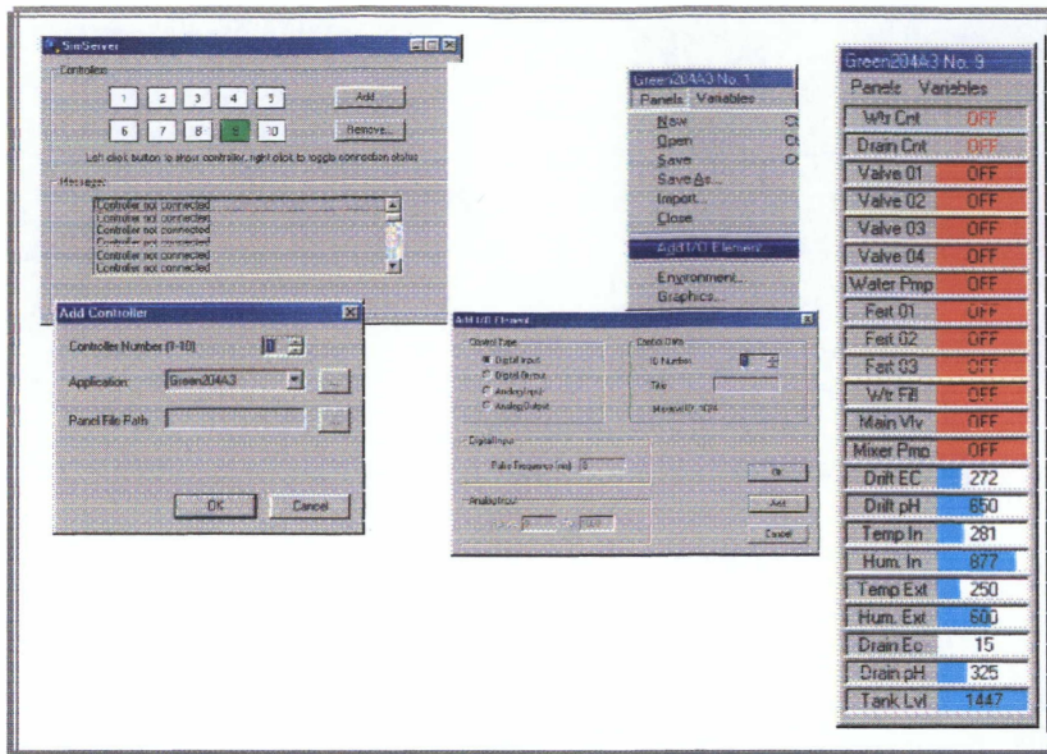


σχήμα 3.3 Διαδικασία λήψης εφεδρικών αντιγράφων ασφαλείας.

### 3.2.4 Λειτουργία Demo/Simulator

Η λειτουργία Demo της Eldar είναι μια εφαρμογή που επιτρέπει στο χρήστη την πρακτική, μιμείται και επιδεικνύει μια εργασία του λογισμικού ελέγχου χωρίς σύνδεση με έναν ελεγκτή. Αντί ενός ελεγκτή δημιουργείτε ένας εικονικός ελεγκτής στο PC. Κάθε εικονικός ελεγκτής εμφανίζεται στην οθόνη ελέγχου του PC, όπου

μπορούμε να ορίσουμε τις εισόδους και εξόδους (αισθητήρες, εξοπλισμό διόρθωσης) τα στοιχεία και να χειριστούμε τις τιμές τους.



σχήμα 3.4 Εφαρμογή Demo/Simulator.

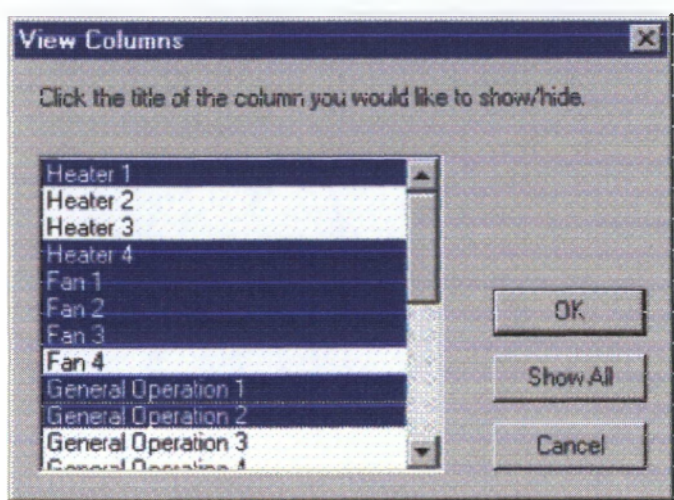
Επίσης είναι δυνατό να εισάγουμε ένα αρχείο μεταβλητών ενός πραγματικού υπάρχοντος ελεγκτή. Οποιοσδήποτε χρήστης μπορεί να στείλει το αρχείο μεταβλητών του μέσω του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και ένας εμπειρογνώμονας που θα το λάβει μπορεί να το ανοίξει στο πρόγραμμα επίδειξης και να αναλύσει το πρόβλημα.

### 3.2.5 Αναφορές – Reports

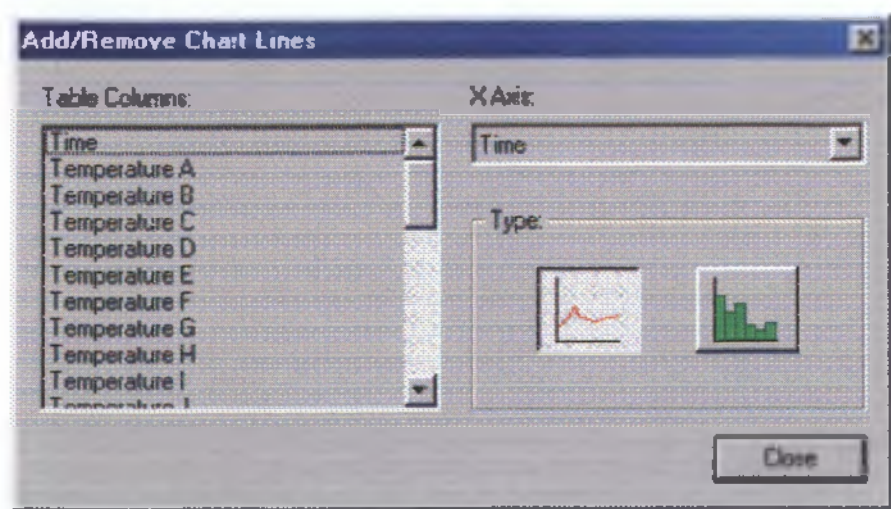
Το λογισμικό μας παρέχει τη δυνατότητα να εξαγάγουμε τα καταγεγραμμένα δεδομένα είτε σε μορφή πινάκων είτε σε μορφή γραφημάτων. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας πινάκων και γραφημάτων με σύνθετα δεδομένα. Στο σχήμα 3.5 φαίνεται το παράθυρο επιλογής δεδομένων, και στο σχήμα 3.6 το παράθυρο επιλογής δεδομένων για τη δημιουργία γραφήματος, από το ίδιο παράθυρο



επιλέγουμε και τον τύπο γραφήματος π.χ. σημεία, στήλες κλπ. Τα δεδομένα μπορούν να εξαχθούν στο Excel για περαιτέρω επεξεργασία. Τέλος όλα τα δεδομένα μπορούν να εκτυπωθούν. Το πρόγραμμα παρέχει μια πληθώρα ρυθμίσεων με πιο σημαντική αυτή της χρονικής απεικόνισης η οποία μπορεί να είναι sec. min. hrs. εβδομαδιαία, μηνιαία και ετήσια.



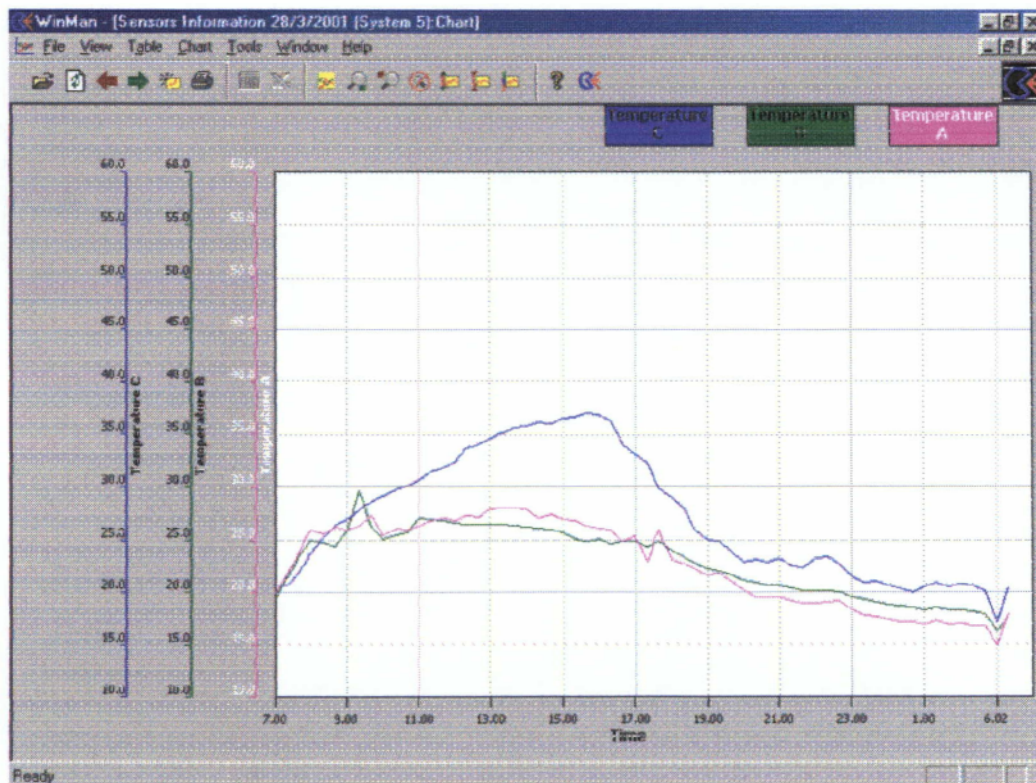
σχήμα 3.5 Παράθυρο επιλογής δεδομένων σε μορφή πίνακα.



σχήμα 3.6 Παράθυρο επιλογής δεδομένων για γράφημα.

Number	Source	English	Format	Column	Code	System
1	time	Time	2	1	1	1
2	Tmp. A GH 1	Tmp. A GH 1	1	2	1	1
3	Tmp. B GH 1	Tmp. B GH 1	1	3	1	1
4	Tmp. A GH 2	Tmp. A GH 2	1	2	1	2
5	Tmp. B GH 2	Tmp. B GH 2	1	3	1	2
6	Tmp. A GH 3	Tmp. A GH 3	1	2	1	3
7	Tmp. B GH 3	Tmp. B GH 3	1	3	1	3
8	Tmp. A GH 4	Tmp. A GH 4	1	2	1	4
9	Tmp. B GH 4	Tmp. B GH 4	1	3	1	4
10	Tmp. A GH 5	Tmp. A GH 5	1	2	1	5
11	Tmp. B GH 5	Tmp. B GH 5	1	3	1	5
12	External Temperature	Outdoor temperature	1	32	1	1

σχήμα 3.7 Πίνακας δεδομένων.

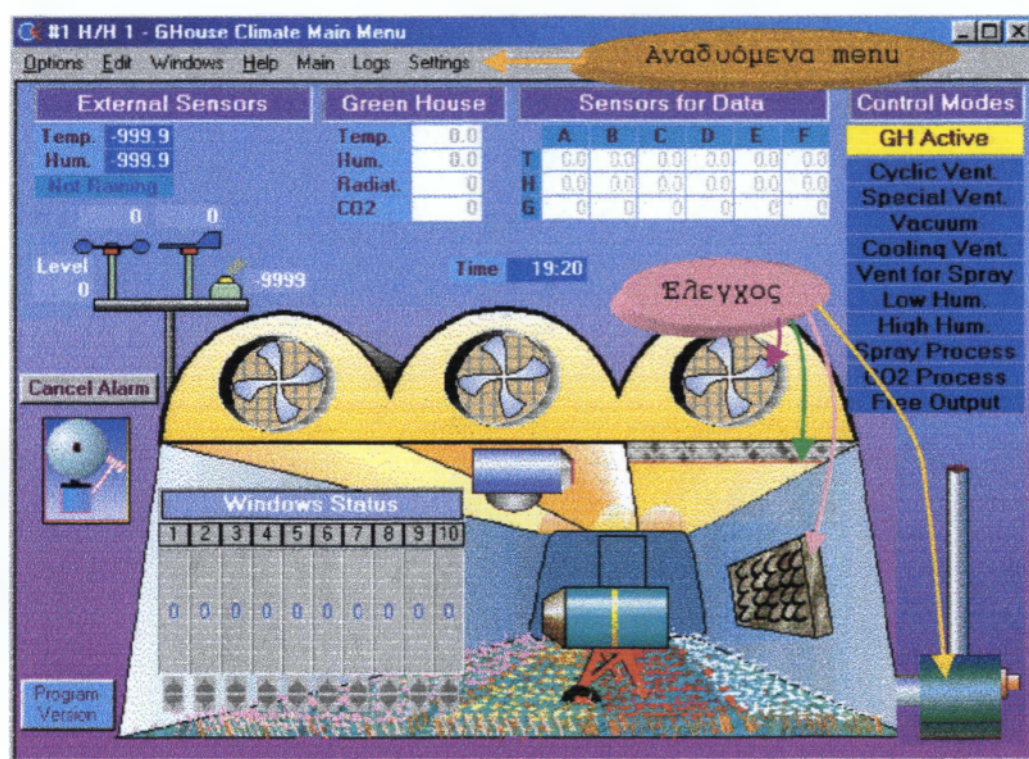


σχήμα 3.8 Γράφημα δεδομένων.



### 3.2.6 Παράθυρο κλιματικού ελέγχου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί το πρόγραμμα ελέγχει πολλές λειτουργίες μια θερμοκηπιακής μονάδας. Στο σχήμα 3.9 φαίνεται το παράθυρο ελέγχου των κλιματικών συνθηκών. Σχεδόν κάθε αντικείμενο στην οθόνη συνδέεται με έναν πίνακα πληροφοριών ή προγραμματισμού. Τα αντικείμενα αυτά αποκαλούνται «έλεγχος», και μπορούν να προσδιοριστούν εάν ο δρομέας μετατρέπεται στο σύμβολο των χεριών.

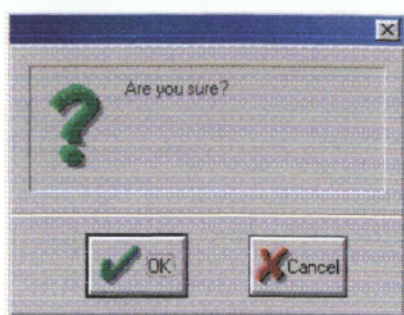


σχήμα 3.9 Κεντρικό παράθυρο κλιματικού ελέγχου.

Εάν γίνει κλικ, ο σχετικός πίνακας θα ανοίξει. Ο τίτλος των παραθύρων βοηθάει για να προσδιορίσουμε εάν είναι μια οθόνη πληροφοριών ή προγραμματισμού. Εντούτοις, δεν μπορούμε να τροποποιήσετε τα δεδομένα ακόμα. Εάν επιθυμούμε την τροποποίηση των δεδομένων θα πρέπει να «ξεκλειδώσουμε» τον πίνακα. Εφόσον πραγματοποιηθεί το «ξεκλείδωμα» του πίνακα τώρα μπορούμε είτε να κινηθούμε από παράμετρο σε παράμετρο χρησιμοποιώντας τα βέλη είτε με τη

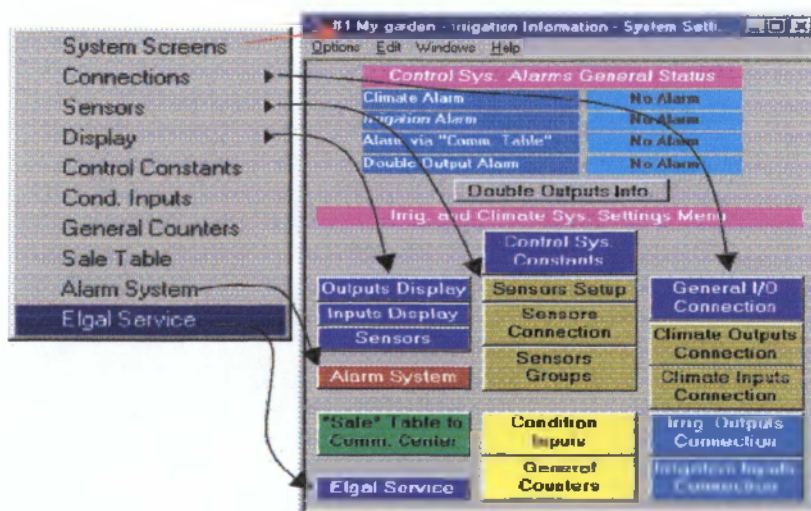


χρήση του ποντικιού. Όταν πραγματοποιήσουμε την αλλαγή θα κληθούμε να εγκρίνουμε την αποστολή των αλλαγών που κάναμε στον ελεγκτή. Η ένδειξη «ΕΝΤΑΞΕΙ» θα ολοκληρώσει τη διαδικασία και «ΑΚΥΡΩΣΗ» θα μας επιστρέψει στην προηγούμενη κατάσταση χωρίς να πραγματοποιηθεί κάποια αλλαγή στον ελεγκτή.



σχήμα 3.10 Παράθυρο έγκρισης αλλαγών.

Ένας άλλος τρόπος πρόσβασης στους πίνακες πληροφοριών και προγραμματισμού είναι από τα αναδυόμενα menu (βλέπε σχήμα 3.9). Κάτω από το κύριο μενού **Main** βρίσκονται τα περισσότερα αντικείμενα που έχουν τη δυνατότητα ελέγχου (βλέπε σχήμα 3.11).



σχήμα 3.11 Αναδυόμενο menu **Main**.

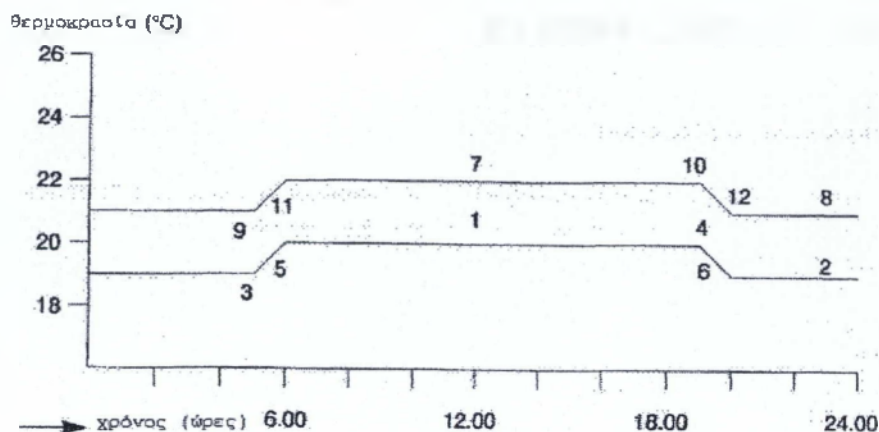
### 3.3 Έλεγχος θερμοκρασίας

#### 3.3.1 Όριο θέρμανσης και εξαερισμού

Για τον έλεγχο της θερμοκρασίας μια γραμμή θέρμανσης και μια γραμμή εξαερισμού χρησιμοποιούνται. Η γραμμή θέρμανσης αντιπροσωπεύει την επιθυμητή ελάχιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια μιας ημέρας. Όταν η θερμοκρασία είναι πάρα πολύ χαμηλή η θέρμανση τίθεται σε λειτουργία. Η γραμμή εξαερισμού αντιπροσωπεύει τις ρυθμίσεις επάνω από τις οποίες το θερμοκήπιο θα αεριστεί. Στο σχήμα 3.12 φαίνεται ένα παράδειγμα μιας γραμμής θέρμανσης και μιας γραμμής εξαερισμού. Προκειμένου να δημιουργηθούν αυτές οι γραμμές, απαιτούνται δώδεκα ρυθμίσεις.

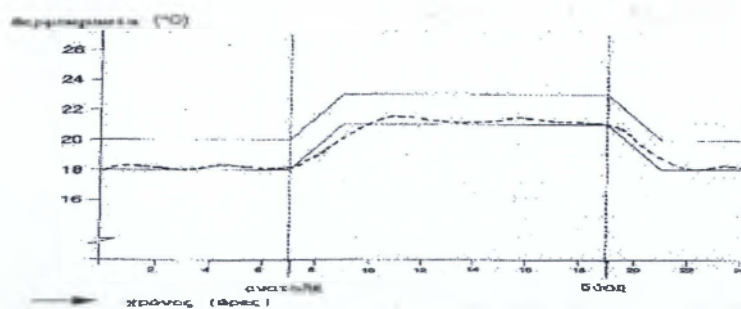
Όνομα ρύθμισης	Μονάδες
1. Θερμοκρασία θέρμανσης - ημέρα	°C
2. Θερμοκρασία θέρμανσης - νύχτα	°C
3. Ώρες θέρμανσης τη νύχτα → ημέρα	hour
4. Ώρες θέρμανσης την ημέρα → νύχτα	hour
5. Καθυστέρηση θέρμανσης τη νύχτα → ημέρα	min/ °C
6. Καθυστέρηση θέρμανσης την ημέρα → νύχτα	min/ °C
7. Θερμοκρασία εξαερισμού - ημέρα	°C
8. Θερμοκρασία εξαερισμού - νύχτα	°C
9. Ώρες εξαερισμού τη νύχτα → ημέρα	hour
10. Ώρες εξαερισμού την ημέρα → νύχτα	hour
11. Καθυστέρηση εξαερισμού τη νύχτα → ημέρα	min/ °C
12. Καθυστέρηση εξαερισμού την ημέρα → νύχτα	min/ °C

Για να ελέγξει τη θερμοκρασία ο υπολογιστής χρησιμοποιεί τον εξαερισμό και τη θέρμανση. Για να ελέγξει άλλους παράγοντες ανάπτυξης (π.χ.) τη σχετική υγρασία RH, τα ανοίγματα και η θέρμανση μπορούν να χρησιμοποιηθούν ταυτόχρονα. Αυτό θα συζητηθεί αργότερα στο κεφάλαιο.

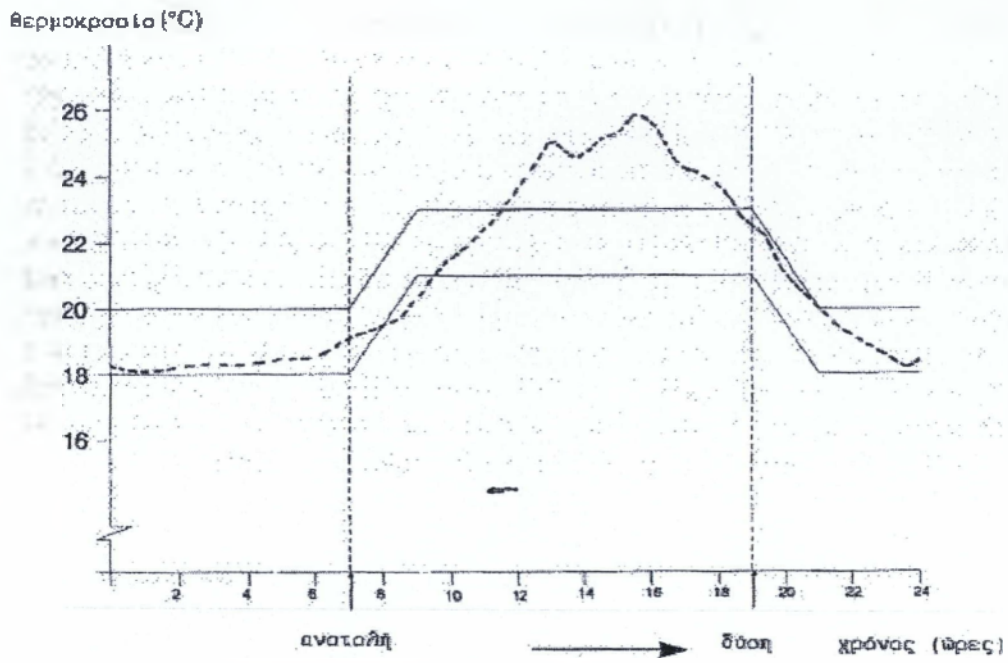


σχήμα 3.12 Όριο θέρμανσης και εξαερισμού.

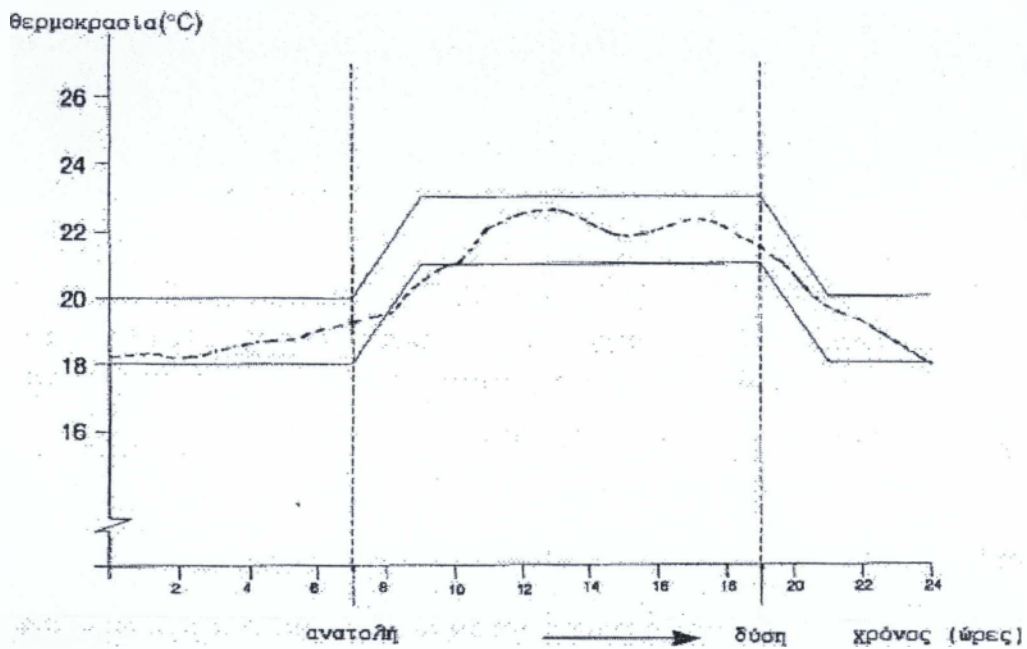
Με μια χαμηλή εξωτερική θερμοκρασία η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο θα είναι στο όριο της θερμοκρασίας θέρμανσης. Επίσης και τη νύχτα η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο θα είναι στο όριο της θερμοκρασίας θέρμανσης. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα θέρμανσης είναι σε λειτουργία. Όταν υπάρχει μια υψηλή εξωτερική θερμοκρασία, η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο θα είναι στο όριο της θερμοκρασίας εξαερισμού. Σε αυτή την περίπτωση η θερμοκρασία ελέγχεται από τα ανοίγματα. Κατά τη διάρκεια των ζεστών θερινών ημερών η διατήρηση της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο στη σωστή τιμή αποτελεί συχνά ένα πρόβλημα. Η εξωτερική θερμοκρασία είναι ίση ή υψηλότερη από τη θερμοκρασία εξαερισμού. Τα ανοίγματα θα είναι πλήρως ανοικτά, αλλά η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου θα είναι ακόμα πάρα πολύ υψηλή.



σχήμα 3.13 Σχηματική παράσταση θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια μιας κρύας μέρας.



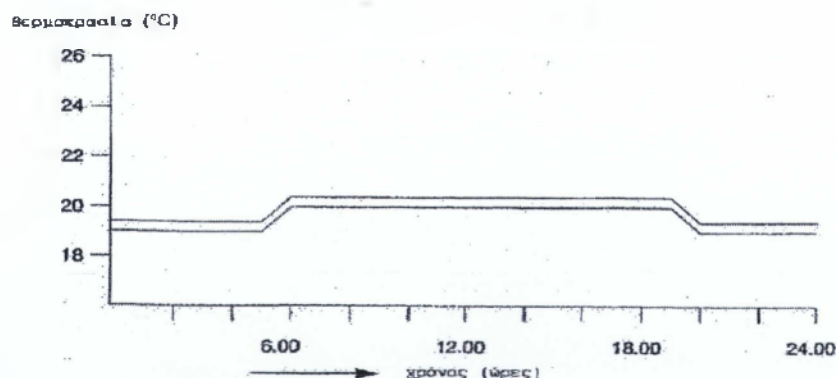
σχήμα 3.14 Όμοια με προηγούμενα κατά τη διάρκεια όμως μιας ζεστής ημέρας.



σχήμα 3.15 Όμοια με προηγούμενα κατά τη διάρκεια όμως μιας ήπιας μέρας.

### 3.3.2 Νεκρή περίοδος

Στο σχήμα 3.13 υπάρχει μια διαφορά 2 °C, και κατά τη διάρκεια της μέρας και κατά τη διάρκεια της νύχτας, μεταξύ της θερμοκρασίας θέρμανσης και της θερμοκρασίας εξαερισμού. Αυτή η διαφορά είναι η νεκρή περίοδος. Το μέγεθος της νεκρής περιόδου κυμαίνεται κανονικά μεταξύ 0.5 και 3 °C. Η λειτουργία της νεκρής περιόδου βοηθάει ώστε να επιτευχθεί ένας σταθερός έλεγχος της θερμοκρασίας. Σε γενικές γραμμές, τα φυτά έχουν μόνο μια βέλτιστη θερμοκρασία, παραδείγματος χάριν 20 °C. Αυτό σημαίνει ότι κάτω από 20 °C απαιτείται θέρμανση, και εξαερισμός επάνω από 20 °C. Σε αυτήν την περίπτωση η νεκρή περίοδος είναι 0 °C. Αυτό που θα μπορούσε να συμβεί είναι αυτό: Ο υπολογιστής μετρά μια θερμοκρασία 19.8 °C, οπότε ενεργοποιεί τη θέρμανση. Η θέρμανση δεν θα σταματήσει ακριβώς στους 20 °C. Η θερμοκρασία μπορεί να υπερβεί τις ρυθμίσεις από 0.1 έως 0.2 °C. Ο υπολογιστής συνεχίζει με τις ρυθμίσεις έως ότου επιτευχθούν 20 °C. Εντούτοις μόλις η θερμοκρασία αυξάνεται επάνω από 20 °C, τα ανοίγματα θα ανοίξουν αμέσως. Κατά συνέπεια η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο να μειωθεί γρήγορα κάτω από τους 20 °C. Η θέρμανση τίθεται σε λειτουργία για άλλη μια φορά. Η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο αυξάνεται πάνω από 20 °C και τα ανοίγματα ανοίγουν πάλι. Η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο αυξάνεται, μειώνεται, αυξάνεται κλπ. Αυτές οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας οδηγούν σε έναν ακανόνιστο έλεγχο. Γι' αυτό τον λόγο μια νεκρή περιοχή χρησιμοποιείται μεταξύ της θερμοκρασίας θέρμανσης και της θερμοκρασίας εξαερισμού. Μια πολύ μικρή νεκρή περιοχή χρησιμοποιείται μερικές φορές και για τον έλεγχο της υγρασίας.



σχήμα 3.16 Όριο θέρμανσης και εξαερισμού με μικρή νεκρή περίοδο.

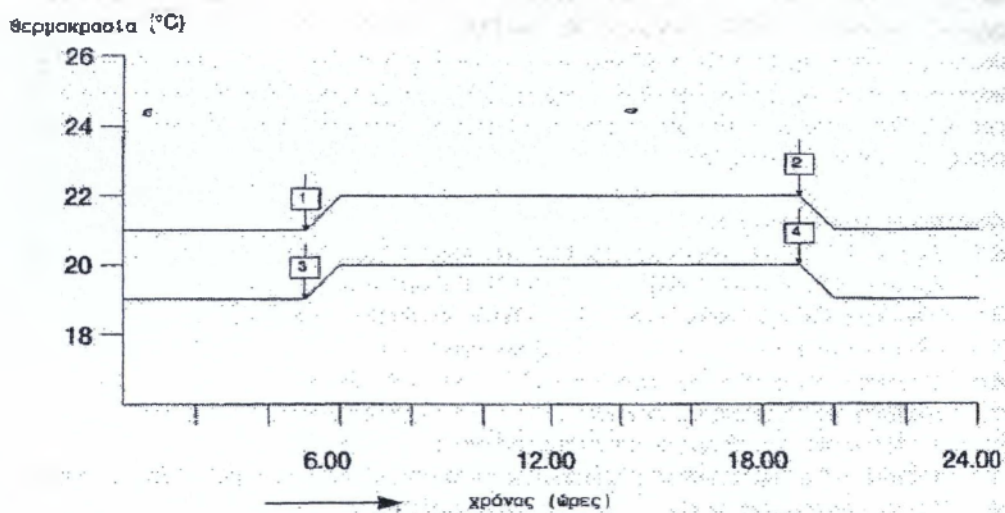


### 3.3.3 Χρόνος

Για το όριο θέρμανσης και εξαερισμού οι τιμές μέρας και νύχτας πρέπει να ορισθούν. Ο υπολογιστής πρέπει να γνωρίζει τι ώρα πρέπει να πραγματοποιηθεί η αλλαγή. Αυτοί οι χρόνοι δίνονται σε ώρες και λεπτά. Για τα δύο όρια, υπάρχουν τέσσερις τιμές που ορίζονται (βλέπε σχήμα 3.17). Οι χρονικές καθυστερήσεις θα αρχίσουν να λειτουργούν από τους καθορισμένους χρόνους.

#### Παράδειγμα

Θερμοκρασία θέρμανσης - ημέρα	20 °C
Θερμοκρασία θέρμανσης - νύχτα	18 °C
Χρονική καθυστέρηση θέρμανσης νύχτα → ημέρα	60 min/ °C
Χρόνος θέρμανσης νύχτα → ημέρα	06:00 hrs.



σχήμα 3.17 Τέσσερα σημεία πρέπει να δοθούν ώστε να σχηματιστούν τα όρια θέρμανσης και εξαερισμού.

Στις 06:00 ο υπολογιστής ξεκινάει με το πρόγραμμα ημέρας. Η θερμοκρασία αρχίζει να ανέρχεται από τους 18 στους 20 °C. Στις 08:00 η τιμή ημέρας έχει επιτευχθεί.

### 3.3.4 Εξάρτηση ελέγχου από το φως

Η φωτοσύνθεση επηρεάζεται από το φως και τη θερμοκρασία. Για τη βέλπστη ανάπτυξη και φωτοσύνθεση, η θερμοκρασία και το φως πρέπει να είναι σε ισορροπία. Τα όρια θέρμανσης και εξαερισμού μπορούν να θεωρηθούν ως βασικός έλεγχος θερμοκρασίας, κατάλληλα μόνο για τις σκοτεινές ημέρες. Όταν η ένταση του φωτός αυξάνεται, ο υπολογιστής μπορεί αυτόματα να αυξήσει τη θερμοκρασία θέρμανσης και τη θερμοκρασία εξαερισμού. Αυτό απαιτεί τέσσερις ρυθμίσεις.

*Έναρξη επιρροής φωτός*

*Παύση επιρροής φωτός*

*Επιρροή φωτός στη θερμοκρασία θέρμανσης*

*Επιρροή φωτός στη θερμοκρασία εξαερισμού*

*Παράδειγμα*

*Έναρξη επιρροής φωτός* 100 W/m<sup>2</sup>

*Παύση επιρροής φωτός* 300 W/m<sup>2</sup>

*Επιρροή φωτός στη θερμοκρασία θέρμανσης* 2 °C

*Επιρροή φωτός στη θερμοκρασία εξαερισμού* 4 °C

*Θερμοκρασία θέρμανσης την ημέρα* 15 °C

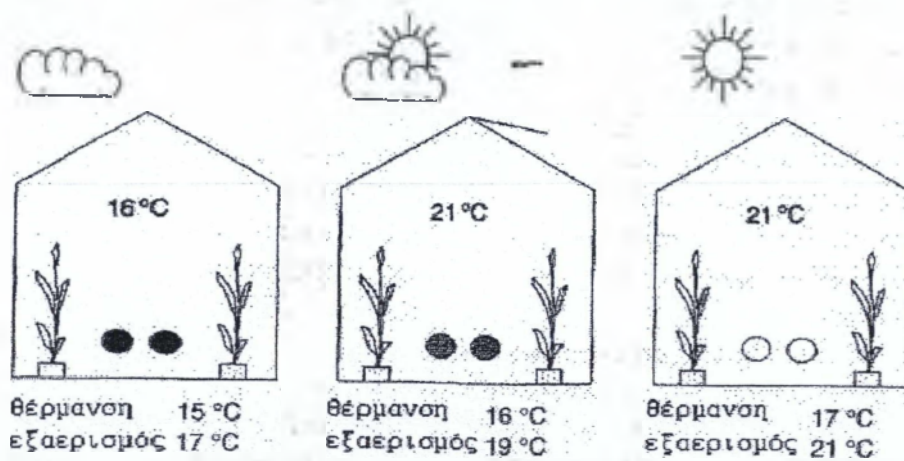
*Θερμοκρασία εξαερισμού – ημέρα* 17 °C

Με ένταση φωτός κάτω από 100 W/m<sup>2</sup>, η θέρμανση λειτουργεί στους 15 °C και ο εξαερισμός στους 17 °C. Με ένταση φωτός από 300 W/m<sup>2</sup> και πάνω, η θερμοκρασία θέρμανσης τίθεται στους 17 °C και η θερμοκρασία εξαερισμού στους 21 °C. Με αύξηση της έντασης φωτός, η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο θα αυξηθεί, διατηρώντας κατά συνέπεια την ισορροπία (βλέπε σχήμα 3.18 και 3.19).

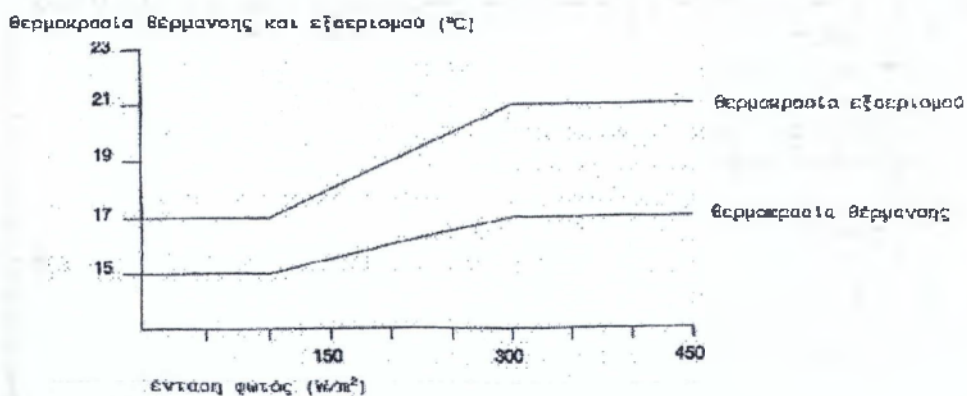
### 3.3.5 Επίδραση εξωτερικής θερμοκρασίας στον εξαερισμό

Ο σκοπός του εξαερισμού είναι η μείωση της θερμότητας στο θερμοκήπιο. Ο αέρας του θερμοκηπίου αντικαθίσταται με κρύο από το εξωτερικό περιβάλλον. Η

ταχύτητα της αφαίρεσης του θερμού αέρα από το θερμοκήπιο εξαρτάται από τη διαφορά στη θερμοκρασία μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού, την ταχύτητα αέρα καθώς και το μέγεθος των ανοιγμάτων που είναι ανοιχτά. Το μέγεθος των ανοιγμάτων επιλέγεται κατά την διάρκεια του σχεδιασμού του θερμοκηπίου. Έτσι αυτό αποτελεί μια σταθερά για τον υπολογιστή. Αλλά ο υπολογιστής πρέπει να λάβει υπόψη τη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος καθώς επίσης και την ταχύτητα αέρα.



σχήμα 3.18 Επίδραση φωτός στη θέρμανση και τον εξαερισμό.



σχήμα 3.19 Η επίδραση του φωτός στον εξαερισμό συχνά ορίζεται υψηλότερα απ' ό,τι στη θέρμανση.

Ορίζοντας ένα εύρος (*P-band*) η εξωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται υπόψη. Ένα εύρος δείχνει τον αριθμό των βαθμών °C πέρα από τη ρύθμιση, κατά το οποίο τα ανοίγματα ανοίγουν 100%. Ο έλεγχος είναι βαθμιαίος. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε βαθμό υψηλότερο από τη *θερμοκρασία εξαερισμού*, τα ανοίγματα ανοίγουν κατά ένα ανάλογο ποσοστό.

*Παράδειγμα*

<i>Θερμοκρασία εξαερισμού – ημέρα</i>	24 °C
<i>P-band</i>	5 °C

Σε μετρούμενη θερμοκρασία θερμοκηπίου 29 °C τα ανοίγματα ανοίγουν 100 %.  
Στους 26,5 °C τα ανοίγματα ανοίγουν 50 %.

*Παράδειγμα*

<i>Θερμοκρασία εξαερισμού – ημέρα</i>	24 °C
<i>P-band</i>	10 °C

Σε μετρούμενη θερμοκρασία θερμοκηπίου 34 °C τα ανοίγματα ανοίγουν 100 %.  
Στους 29 °C τα ανοίγματα ανοίγουν 50 %.

Επίσης η ταχύτητα αέρα επηρεάζει την ανταλλαγή θερμότητας εκτός από την εξωτερική θερμοκρασία. Σε διάφορους υπολογιστές αυτή η επιρροή (*επιρροή αέρα*) μπορεί να ορισθεί, σε άλλους πάλι δεν μπορεί. Σε υψηλές ταχύτητες αέρα τα ανοίγματα κλείνουν και η ανταλλαγή θερμότητας παραμένει σταθερή.

### 3.3.6 Διπλά ανοίγματα εξαερισμού

Τα περισσότερα θερμοκήπια έχουν ανοίγματα και στις δύο πλευρές της κορυφογραμμής. Ο υπολογιστής τα αναγνωρίζει ως ανοίγματα *windside* και *leeside*. Η ανταλλαγή θερμότητας από την πλευρά του αέρα (*windside*) είναι υψηλότερη απ' ό,τι στην απάνεμη πλευρά (*leeside*). Στον υπολογιστή μπορεί να ορισθεί παράμετρος να ανοίξει το *leeside* πρώτα. Όταν τα ανοίγματα στην απάνεμη πλευρά (*leeside*)

φθάσουν σε μια ορισμένη θέση, κατόπιν τα ανοίγματα από την πλευρά του αέρα (windside) θα ανοίξουν επίσης. Η διαφορά μεταξύ της windside και leeside μπορεί να τεθεί στο menu *FOLLOW UP WINDSIDE*. Τα ανοίγματα από την πλευρά του αέρα είναι πάντα λιγότερο ανοικτά.

Ο υπολογιστής επιλέγει το windside ή το leeside ανάλογα με την κατεύθυνση του αέρα. Η κατεύθυνση αέρα προσδιορίζεται με μια χρονική καθυστέρηση. Ο αέρας μπορεί να αλλάζει κατεύθυνση συχνά επηρεάζοντας έτσι τον εξαερισμό και στις δύο πλευρές πάρα πολύ συχνά. Αυτό είναι ανεπιθύμητο. Έτσι: μόνο μετά από συνεχές φύσημα ορισμένων λεπτών από μια κατεύθυνση οι θέσεις των ανοιγμάτων αλλάζουν.

### 3.4 Έλεγχος κλιματικών συνθηκών

#### 3.4.1 Σχέσεις μεταξύ κλιματικών παραγόντων

Ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής περιβαλλοντικού ελέγχου είναι ένας ελεγκτής διαδικασίας. Ο περιβαλλοντικός υπολογιστής ελέγχει τη διαδικασία «περιβάλλον θερμοκηπίου». Το περιβάλλον ενός θερμοκηπίου αποτελείται από πέντε διαφορετικές διαδικασίες:

1. φως
2. θερμοκρασία
3. RH
4. CO<sub>2</sub>
5. κυκλοφορία αέρα

Ο υπολογιστής περιβαλλοντικού ελέγχου είναι προγραμματισμένος για το απαραίτητο περιβάλλον για μία περίοδο 24 ωρών. Κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετραώρου η βέλπστη θερμοκρασία, το RH, το επίπεδο CO<sub>2</sub> και η κυκλοφορία αέρα αλλάζουν. Ανάλογα με το χρόνο της ημέρας ο υπολογιστής επιλέγει τις σωστές τιμές για κάθε περιβαλλοντικό παράγοντα: το ΚΥΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.

Οι πέντε περιβαλλοντικοί παράγοντες πρέπει να ελεγχθούν ταυτόχρονα. Υπάρχουν διάφορες σχέσεις μεταξύ των διαφόρων περιβαλλοντικών παραγόντων, οι

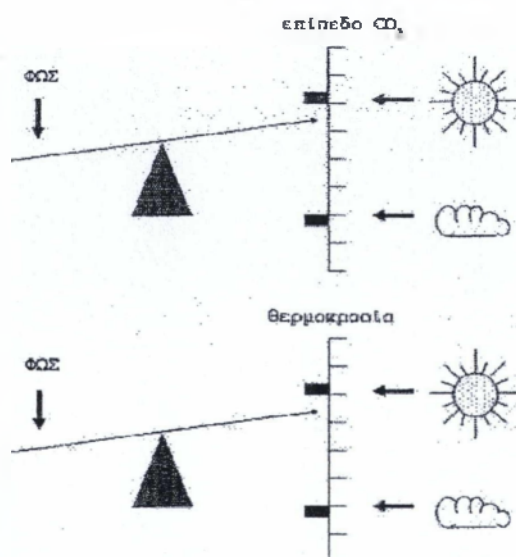


οποίοι μπορούν συχνά να οδηγήσουν σε καταστάσεις όπου το βέλτιστο ΚΥΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ δεν επιτυγχάνεται. Οι σχέσεις μεταξύ των περιβαλλοντικών παραγόντων μπορεί να είναι το αποτέλεσμα φυσιολογικών, φυσικών καθώς επίσης και τεχνολογικού ελέγχου.

### Παράδειγμα

#### 1. Φυσιολογικές σχέσεις

Μια βέλτιστη κύρια θερμοκρασία έχει ορισθεί στον υπολογιστή. Η θερμοκρασία και το φως πρέπει πάντα να είναι σε ισορροπία. Η ένταση φωτός μπορεί να ποικίλει πολύ σε ένα θερμοκήπιο αλλά δεν μπορεί να ελεγχθεί (εκτός από τις κουρτίνες σκίασης και το συμπληρωματικό φωτισμό). Για να διατηρήσει μια ισορροπία, ο υπολογιστής ρυθμίζει την κύρια θερμοκρασία σύμφωνα με το μετρημένο φως. Το καθορισμένο επίπεδο CO<sub>2</sub> μπορεί επίσης να αυξηθεί μετά από μια αύξηση στην ένταση του φωτός (έλεγχος εξαρτώμενος από το φως).

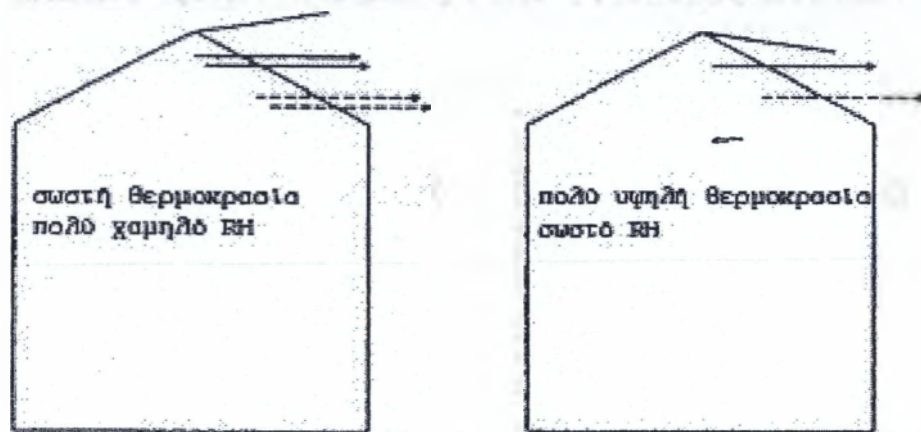


σχήμα 3.20 Φυσιολογική σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών παραγόντων.

#### 2. Φυσικές σχέσεις

Ο αέρας περιέχει θερμότητα, υδατμούς και CO<sub>2</sub>. Με το άνοιγμα των ανοιγμάτων, η θερμοκρασία, το RH και το επίπεδο CO<sub>2</sub> επηρεάζονται. Μερικές

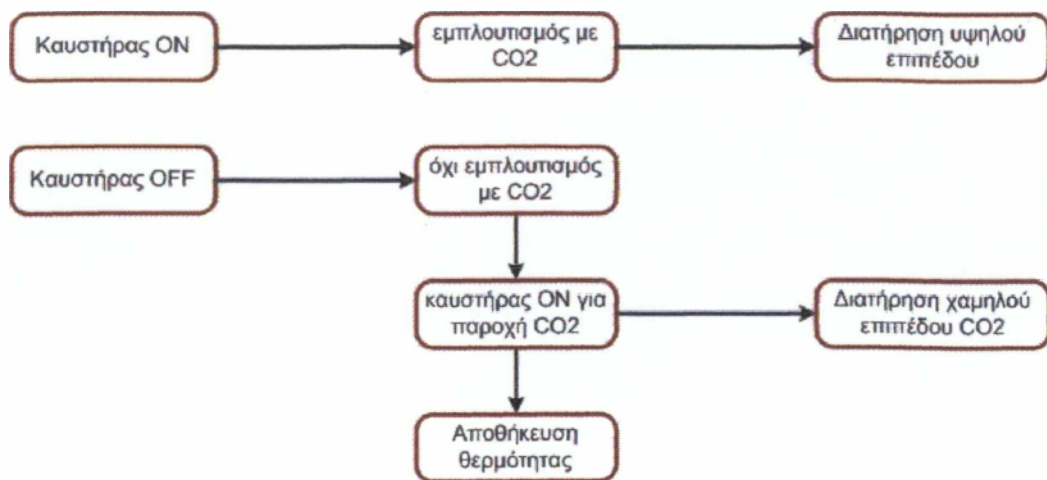
φορές το RH είναι σωστό, αλλά η θερμοκρασία στο θερμοκήπιο είναι πάρα πολύ υψηλή. Με το άνοιγμα των ανοιγμάτων η θερμότητα και οι υδρατμοί θα αφαιρεθούν. Η θερμοκρασία θα μειωθεί στη σωστή τιμή, αλλά το RH θα πέσει πάρα πολύ χαμηλά. Ο υπολογιστής περιβαλλοντικού ελέγχου μπορεί να προγραμματιστεί ώστε να επικρατεί μια ισορροπία μεταξύ της θερμοκρασίας και του RH.



σχήμα 3.21 Φυσική σχέση μεταξύ περιβαλλοντικών παραγόντων.

### 3. Τεχνολογικές σχέσεις ελέγχου,

Συχνά το  $\text{CO}_2$  παρέχεται από τον καυστήρα. Όταν ο καυστήρας τίθεται σε λειτουργία για να θερμάνει το θερμοκήπιο, το  $\text{CO}_2$  είναι ένα προϊόν αποβλήτων. Έτσι, υπάρχει διαθέσιμο πολύ  $\text{CO}_2$ , οπότε είναι δυνατό να διατηρηθεί ένα υψηλό επίπεδο συγκέντρωσης  $\text{CO}_2$  στο θερμοκήπιο. Κατά τη διάρκεια των ηλιόλουστων ημερών τα φυτά απορροφούν πολύ  $\text{CO}_2$ , αλλά συχνά σε αυτές τις συνθήκες ο καυστήρας είναι εκτός λειτουργίας. Έτσι, δεν υπάρχει κανένας ανεφοδιασμός με  $\text{CO}_2$ . Οπότε ο καυστήρας τίθεται εσκεμμένα σε λειτουργία για την παροχή  $\text{CO}_2$ . Σε αυτήν την περίπτωση η θερμότητα είναι ένα προϊόν αποβλήτων. Η θερμότητα μπορεί να αποθηκευτεί σε περιορισμένη ποσότητα. Εάν ο καυστήρας είναι αναμμένος μόνο για τον ανεφοδιασμό με  $\text{CO}_2$ , ένα πολύ χαμηλότερο επίπεδο του  $\text{CO}_2$  διατηρείται.



σχήμα 3.22 Τεχνολογικές σχέσεις ελέγχου.

### 3.4.2 Υπολογισμός περιβάλλοντος

Ο υπολογιστής περιβαλλοντικού ελέγχου πρέπει να υπολογίσει όλους τους κλιματικούς παράγοντες. Με τη ρύθμιση των δεδομένων ο καλλιεργητής καθορίζει ένα ΚΥΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ. Οι πρόσθετες ρυθμίσεις τίθενται ώστε να ισορροπήσουν τους κλιματικούς παράγοντες: ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ. Ο υπολογιστής υπολογίζει τις διορθώσεις στο κύριο περιβάλλον κάθε λεπτό. Οι διορθώσεις αυτές και το κύριο περιβάλλον αποτελούν το ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ. Όλες οι σχέσεις των διαφόρων κλιματικών παραγόντων λαμβάνονται υπόψη στο υπολογισμένο περιβάλλον. Το υπολογισμένο περιβάλλον είναι εφικτό επειδή όλες οι αντιφάσεις λαμβάνονται υπόψη.

Το υπολογισμένο περιβάλλον καθορίζεται από τον υπολογιστή με τον ακόλουθο τρόπο:

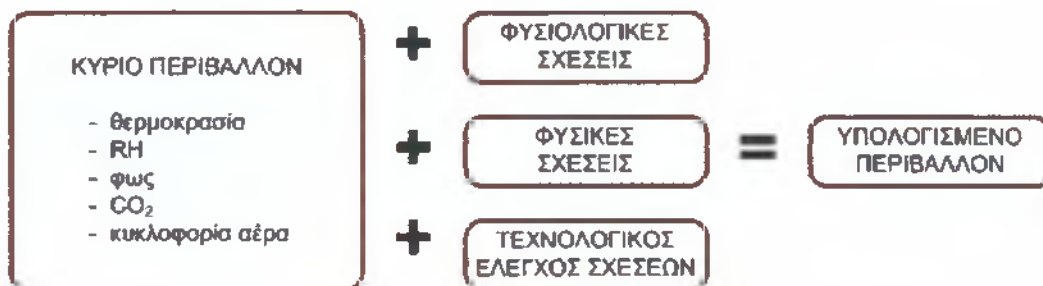
1. συλλογή μετρούμενων τιμών
2. καθορισμός κύριου περιβάλλοντος
3. καθορισμός μεγέθους των διορθώσεων
4. καθορισμός υπολογισμένου περιβάλλοντος (= διορθώσεις + κύριο περιβάλλον)

### Παράδειγμα επίδρασης φωτός στο επίπεδο συγκέντρωσης CO<sub>2</sub>

Κάτω από κακές συνθήκες φωτισμού (<100 W/m<sup>2</sup>) η συγκέντρωση CO<sub>2</sub> πρέπει να είναι 300 ppm. Αυτή είναι η ρύθμιση για το κύριο περιβάλλον που ορίζεται για τον περιβαλλοντικό παράγοντα CO<sub>2</sub>. Με καλό καιρό (>500 W/m<sup>2</sup>) πρέπει να παρασχεθούν επιπλέον 200 ppm CO<sub>2</sub>.

1. Ένταση φωτός	50 W/m <sup>2</sup>	600 W/m <sup>2</sup>	300 W/m <sup>2</sup>
2. Κύριο περιβάλλον	300 ppm	300 ppm	300 ppm
3. Διόρθωση	0 ppm	200 ppm	100 ppm
4. Υπολογισμένο περιβάλλον	300 ppm	500 ppm	400 ppm

Σε όλες τις περιπτώσεις το κύριο περιβάλλον είναι 300 ppm. Ο υπολογιστής μετρά την ένταση του φωτός κάθε λεπτό. Η μετρημένη ένταση φωτός καθορίζει τη διόρθωση στις κύριες ρυθμίσεις του περιβάλλοντος. Η έκταση της διόρθωσης ορίζεται από τον καλλιεργητή. Σε αυτό το παράδειγμα το επίπεδο του CO<sub>2</sub> κυμαίνεται μεταξύ 300 και 500 ppm.



σχήμα 3.23 Υπολογισμένο περιβάλλον = κύριο περιβάλλον + διορθώσεις.

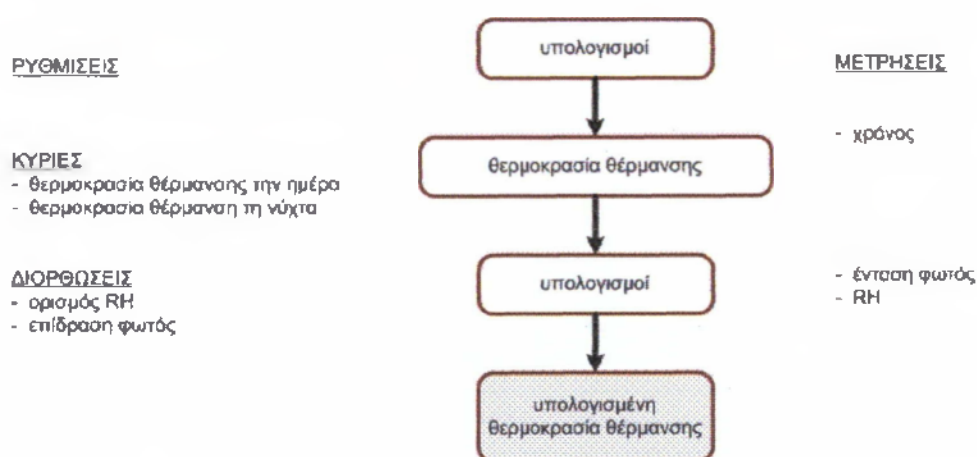
### 3.4.3 Υπολογισμένο περιβάλλον και εξοπλισμός διόρθωσης

Στην προηγούμενη παράγραφο είδαμε πώς ο υπολογιστής λαμβάνει υπόψη τις διάφορες ανιφάσεις μεταξύ των κλιματικών παραγόντων. Ένα κύριο περιβάλλον ορίζεται. Αυτό το κύριο περιβάλλον μπορεί να διορθωθεί με την επιρροή διάφορων παραγόντων. Αυτό οδηγεί στο υπολογισμένο περιβάλλον. Το υπολογισμένο

περιβάλλον πρέπει να εφαρμοστεί με την ρύθμιση της θέρμανσης, του εξαερισμού, της σκίασης κ.λπ. Ο τρόπος που το κύριο περιβάλλον, οι διορθώσεις και άλλοι παράγοντες συνδυάζονται με τη θέρμανση και τον έλεγχο του εξαερισμού εξηγείται στην επόμενη παράγραφο.

### 3.4.4 Υπολογισμένο περιβάλλον – θερμοκρασία θέρμανσης

Η καθορισμένη θερμοκρασία θέρμανσης είναι το κύριο περιβάλλον. Το σχήμα 3.24 δείχνει πώς όλες οι διορθώσεις συνδυάζονται με τη θερμοκρασία θέρμανσης.



σχήμα 3.24 Υπολογισμός θερμοκρασίας θέρμανσης.

#### Επεξήγηση σχήματος 3.24

- Η θερμοκρασία θέρμανσης διαφέρει τη μέρα και τη νύχτα. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται αρκετές χρονικοί περίοδοι: ημέρα, αρχή νύχτας και τέλος νύχτας.
- Μεταξύ θερμοκρασίας και RH υπάρχει μια φυσική σχέση. Λόγω αυτής της σχέσης δεν είναι πάντα δυνατό να διατηρηθεί η θερμοκρασία και το RH στο σωστό επίπεδο ταυτόχρονα. Με τον ορισμό μια τιμής RH μπορεί να επιτευχθεί μια ισορροπία μεταξύ της θερμοκρασίας και του RH. Εάν η καθορισμένη τιμή RH είναι υψηλή, προτεραιότητα δίνεται ώστε να επιτύχει η καθορισμένη τιμή RH.



- ο Η θερμοκρασία και το φως επηρεάζουν τη φωτοσύνθεση. Για αυτήν την διαδικασία και οι δύο περιβαλλοντικοί παράγοντες πρέπει να είναι σε ισορροπία. Για αυτόν το λόγο η ρύθμιση *Επίδραση φωτός* μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η καθορισμένη τιμή *RH* και η *Επίδραση φωτός* είναι διορθώσεις στο κύριο περιβάλλον. Με την ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ το υπολογισμένο περιβάλλον μπορεί να επιτευχθεί.

### 3.4.5 Υπολογισμένο περιβάλλον – θερμοκρασία σωλήνων θέρμανσης

#### *Επεξήγηση του σχήματος 3.25*

Υπολογισμός της θερμοκρασίας σωλήνων για να επιτύχει η θερμοκρασία θέρμανσης.

- ο Μετά τον υπολογισμό της θερμοκρασίας θέρμανσης, αυτή η τιμή συγκρίνεται με τη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο. Με αυτές τις δύο θερμοκρασίες ΚΑΙ όλες τις ρυθμίσεις τεχνολογικού ελέγχου μια σωστή θερμοκρασία σωλήνων καθορίζεται. Αυτοί οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται κάθε λεπτό. Για τους υπολογισμούς οι ακόλουθες μετρήσεις απαιτούνται: θερμοκρασία σωλήνων, η θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος και η ταχύτητα αέρα. Με αυτήν την θερμοκρασία σωλήνων η θερμοκρασία θέρμανσης πρέπει να είναι δυνατή, αλλά εάν αυτό συμβαίνει πραγματικά εξαρτάται από τα όρια που έχουν ορισθεί για το σύνολο.

Περιορισμοί κατά τον υπολογισμό της θερμοκρασίας των σωλήνων.

- ο Το ελάχιστο όριο δεν έχει καμία λειτουργία στον έλεγχο της θερμοκρασίας θέρμανσης.

Μια τιμή *ελάχιστης θερμοκρασίας σωλήνων* χρησιμοποιείται μεταξύ άλλων ρυθμίσεων για τον κλιματικό παράγοντα κυκλοφορία αέρα. Η *ελάχιστη θερμοκρασία σωλήνων* μπορεί να μειωθεί υπό την επίδραση του φωτός και να αυξηθεί κατά τη διάρκεια του εμπλουτισμού με CO<sub>2</sub>. Σε αυτήν την τελευταία περίπτωση η λειτουργία της *ελάχιστης θερμοκρασίας σωλήνων* είναι να μειωθεί η υπερβολική θερμότητα. Η μέγιστη θερμοκρασία σωλήνων έχει μια μόνιμη τιμή.

## ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ

### ΚΥΡΙΕΣ

- θερμοκρασία θέρμανσης την ημέρα
- θερμοκρασία θέρμανση τη νύχτα

### ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

- ορισμός RH
- επίδραση φωτός

### ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

- P-band
- επίδραση εξωτερικού κλίματος

### ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

- ελάχιστη θερμοκρασία σωλήνων
- μέγιστη θερμοκρασία σωλήνων

### ΡΥΘΜΙΣΗ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ

- CO<sub>2</sub> επηρεάζει την ελάχιστη θερμοκρασία σωλήνων
- φως επηρεάζει την ελάχιστη θερμοκρασία σωλήνων

## ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

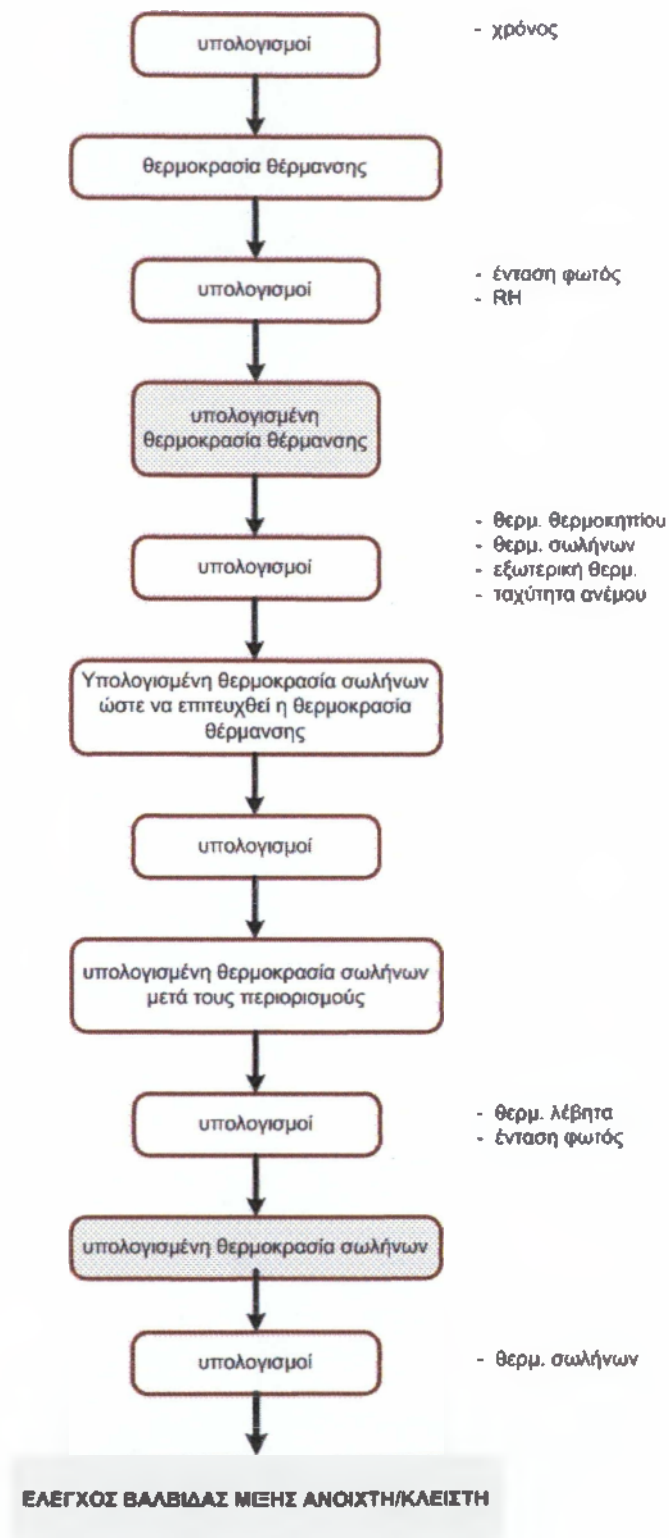
- χρόνος

- ένταση φωτός
- RH

- θερμ. θερμοκηπίου
- θερμ. σωλήνων
- εξωτερική θερμ.
- ταχύτητα ανέμου

- θερμ. λέβητα
- ένταση φωτός

- θερμ. σωλήνων



σχήμα 3.25 Υπολογισμός θερμοκρασίας σωλήνων.

### 3.4.6 Υπολογισμένο περιβάλλον – θερμοκρασία εξαερισμού

Η θερμοκρασία που επιδιώκεται από τον εξαερισμό είναι η *θερμοκρασία εξαερισμού*. Αυτό είναι το κύριο περιβάλλον. Στο σχήμα 3.26 φαίνεται η επίδραση όλων των διορθώσεων στη *θερμοκρασία εξαερισμού*:

- Για την *θερμοκρασία εξαερισμού* τίθεται μια τιμή για την ημέρα και μία για τη νύχτα. Συχνά περισσότερες από δύο περίοδοι μπορούν να ορισθούν (κύριο περιβάλλον).
- Η καθορισμένη τιμή *RH* και η επίδραση φωτός επηρεάζουν τη *θερμοκρασία εξαερισμού* (διορθώσεις).
- Μια τρίτη διόρθωση στη *θερμοκρασία εξαερισμού* είναι η επίδραση της συγκέντρωσης  $CO_2$ . Όταν παρέχεται  $CO_2$  η *θερμοκρασία εξαερισμού* μπορεί να αυξηθεί. Λόγω αυτού του γεγονότος, τα ανοίγματα δεν ανοίγουν πολύ με αποτέλεσμα λιγότερο  $CO_2$  να διαφεύγει στο εξωτερικό περιβάλλον.

#### ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ

##### ΚΥΡΙΕΣ

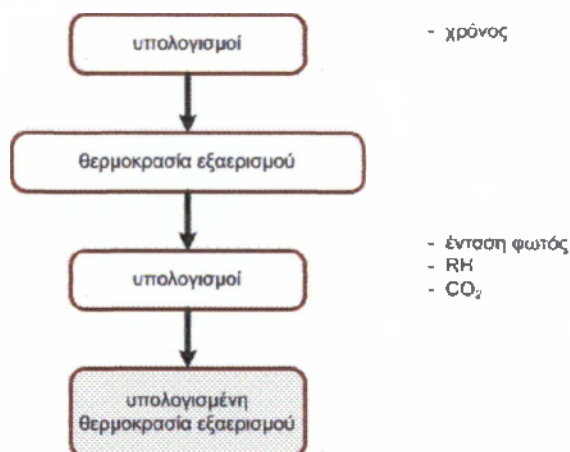
- θερμοκρασία εξαερισμού την ημέρα
- θερμοκρασία εξαερισμού τη νύχτα

##### ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

- ορισμός τιμής *RH*
- επίδραση φωτός
- επίδραση  $CO_2$

#### ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

- χρόνος



- ένταση φωτός
- *RH*
- $CO_2$

σχήμα 3.26 Υπολογισμός θερμοκρασίας εξαερισμού.

### 3.4.7 Υπολογισμένο περιβάλλον – θέση ανοιγμάτων

Μετά από τον υπολογισμό της θερμοκρασίας εξαερισμού, πρέπει να προσδιοριστούν οι θέσεις των ανοιγμάτων ώστε να επιτευχθεί το υπολογισμένο περιβάλλον. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 3.27.

#### *Επεξήγηση του σχήματος 3.27*

- Η θέση των ανοιγμάτων από την πλευρά του ανέμου (windsides) και την απάνεμη πλευρά (leesides) υπολογίζεται από τον υπολογιστή σύμφωνα με την υπολογισμένη θερμοκρασία εξαερισμού, τη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο και τις ρυθμίσεις τεχνολογικού ελέγχου.
- Για να επιτύχει η *θερμοκρασία εξαερισμού*, η υπολογισμένη θέση των ανοιγμάτων συγκρίνεται με τα ελάχιστα και μέγιστα όρια ανοιγμάτων.
- Το ελάχιστο όριο δεν έχει πάντα μια σταθερή τιμή, μπορεί να ποικίλει σύμφωνα με την εξωτερική θερμοκρασία.
- Ένας τελευταίος έλεγχος της θέσης των ανοιγμάτων πραγματοποιείται σε σχέση με τα όρια του εξωτερικού περιβάλλοντος. Τα όρια, που τίθενται στο τελευταίο μέρος του διαγράμματος, είναι τα σημαντικότερα. Παρακάμπτουν όλες τις προηγούμενες ρυθμίσεις.



## ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ

### ΚΥΡΙΕΣ

- θερμοκρασία εξαερισμού την ημέρα
- θερμοκρασία εξαερισμού τη νύχτα

### ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

- ορισμός τιμής RH
- επίδραση φωτός
- επίδραση CO<sub>2</sub>

### ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

- P-band
- επίδραση εξωτερικού κλίματος

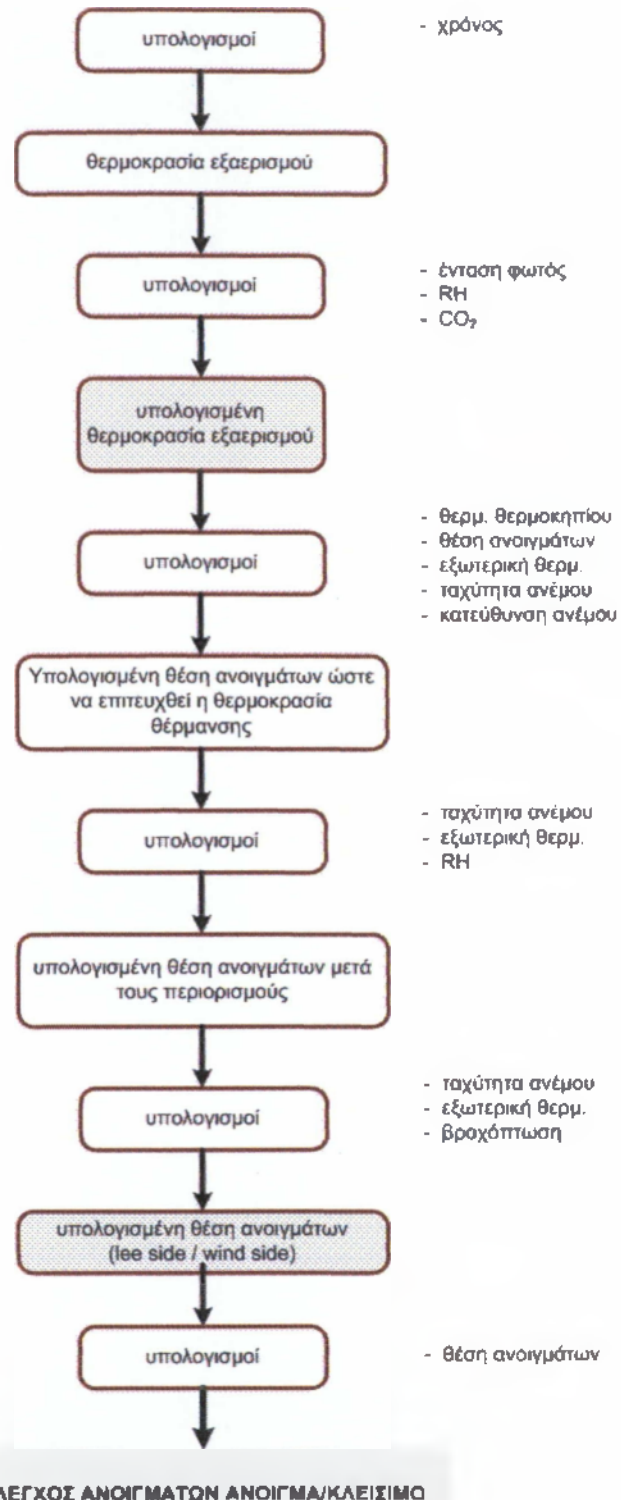
### ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

- ελάχιστη θέση ανοιγμάτων (leeward / wind side)
- μέγιστη θέση ανοιγμάτων (leeward / wind side)

### ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΩΝ ΣΧΕΤΙΚΟΙ ΜΕ ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

- προστασία από ανεμοθύελλα
- προστασία από πάγο
- μέγιστη θέση ανοιγμάτων κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης

## ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ



σχήμα 3.27 Υπολογισμός θέσης ανοιγμάτων.

### 3.4.8 Υπολογισμένο περιβάλλον – επίπεδο CO<sub>2</sub>

Το επίπεδο του CO<sub>2</sub> που απαιτείται στο θερμοκήπιο προσδιορίζεται ως εξής (βλέπε σχήμα 3.28):

- ο Ο υπολογισμός του επιπέδου του CO<sub>2</sub> πραγματοποιείται αρκετές φορές κατά τη διάρκεια ενός 24ώρου.
- ο Το CO<sub>2</sub> παρέχεται από το λέβητα. Κατά τη διάρκεια μιας περιόδου όπου απαιτείται θερμότητα, το CO<sub>2</sub> είναι ένα προϊόν αποβλήτων και αυτό επιτρέπει ένα υψηλό επίπεδο συγκέντρωσης CO<sub>2</sub>. Χωρίς την απαίτηση θερμότητας ο καιστήρας πρέπει να τεθεί σε λειτουργία, με σκοπό τον εμπλουτισμό με CO<sub>2</sub>. Σε αυτήν την περίπτωση μόνο ένα ΧΑΜΗΛΟ επίπεδο CO<sub>2</sub> μπορεί να επιτευχθεί.
- ο Το επίπεδο του CO<sub>2</sub> που επιλέγεται μπορεί να αυξηθεί ανάλογα με την ένταση του φωτός.

#### ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ

##### ΚΥΡΙΕΣ

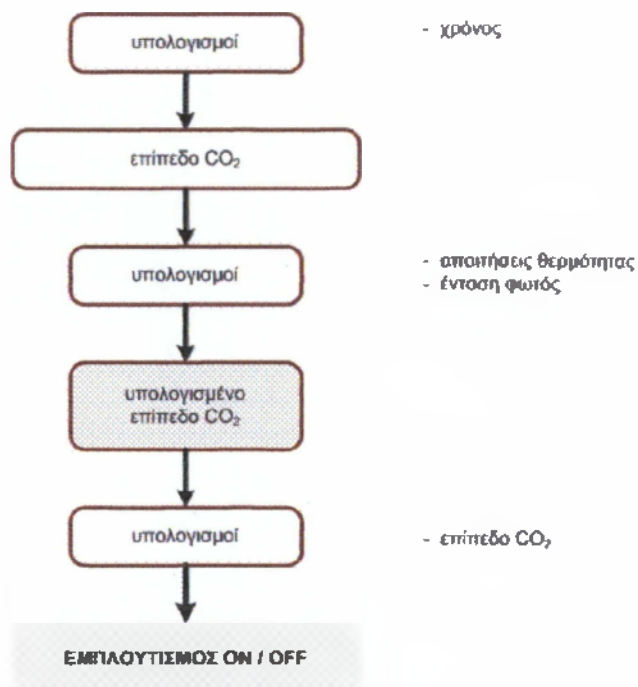
- επίπεδο CO<sub>2</sub> κατά την περίοδο 1
- επίπεδο CO<sub>2</sub> κατά την περίοδο 2

##### ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

- αριθμός ημής επιπέδου CO<sub>2</sub> (low/high)
- επίδραση φωτός στο επίπεδο CO<sub>2</sub>

#### ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

- χρόνος



σχήμα 3.28 Υπολογισμός εμπλουτισμού με CO<sub>2</sub>.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bakker, 2001. Greenhouse Climate Control: An Integrated Approach, Purdue University Press.
- <http://www.aenf.wau.nl/mrs/research/ClimateC/ClimateC.html#greenh>
- [http://www.eldarshany.com/climate\\_control.html](http://www.eldarshany.com/climate_control.html)
- <http://www.input-output.co.za/climatecontrolgreenhouse.asp>
- <http://www.yesinc.com>
- Norman D Augsburger, 1999. The greenhouse climate control handbook: Engineering principles and design procedures, Acme Engineering and Manufacturing Corp publications.
- P.G.H Kamp / G.J. Timmerman, 1996. Computerized environmental control in greenhouses, IPC Plant.
- Southampton University Scrapbooks vol.196, Southampton University Library publications.
- Southampton University Textbooks, 2005. Greenhouse environment, 4<sup>th</sup> edition, Southampton University publications.
- William B. Cooper, Raymond E. Lee, 2002. Warm Air Heating for Climate Control (5th Edition), Prentice Hall publications.
- Γ.Ν.Μαυρογιαννόπουλος, 2001. Θερμοκήπια, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης.