

ΑΡΓΥΡΗΣ Η. ΠΑΠΑΡΓΥΡΟΠΟΥΛΟΣ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ Π.Θ.

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ & ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Αριθ. Πρωτοκ. 12
Ημερομηνία 12-9-1994

ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΕΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ
ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ ΕΝΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΠΟΒΛΗΘΗΚΕ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: κ. ΚΙΤΤΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ



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

Αριθ. Εισ.: 1495/1

Ημερ. Εισ.: 21/10/2003

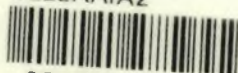
Δωρεά:

Ταξιδετικός Κωδικός: ΠΤ ΓΦΖΠ

1994

ΠΑΠ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000070348

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εργασία αυτή αποτελεί το πόρισμα της πτυχιακής εργασίας που μου ανατέθηκε από το τμήμα Γεωπονίας Φυτικής και Ζωϊκής Παραγωγής της Σχολής Επιστημών Παραγωγής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Παρά την μακρά και επίμονη προσπάθεια που αντιπροσωπεύει, θα ήταν ανεπίτρεπτη υπερβολή, αν πίστευα ότι είναι εξ ολοκλήρου απαλλαγμένη από λάθη και ασάφειες. Είμαι όμως βέβαιος ότι είναι πολύ σαφέστερη και ακριβέστερη χάριν της βοήθειας ορισμένων ανθρώπων που με την καθοδήγηση και την φροντίδα τους στήριξαν αυτή την προσπάθεια.

Εκφράζω τις ευχαριστίες μου και την ευγνωμοσύνη μου προς τον Καθηγητή μου κ. Κίττα Κωνσταντίνο για τις συμβουλές, τις οδηγίες του και την πολύτιμη βοήθειά του, στην εκπόνηση και ολοκλήρωση της εργασίας μου. Η βοήθειά του σε όλα τα στάδια αυτής της εργασίας υπήρξε ανεκτίμητη.

Ε Ι Σ Α Γ Ω Γ Η

Η χρησιμοποίηση των θερμοκηπίων για την καλλιέργεια φυτών παρέχει σήμερα την δυνατότητα της προγραμματισμένης και με προβλέψιμα αποτελέσματα παραγωγής. Η ανάπτυξη των φυτών εξαρτάται από τους χειρισμούς του ανθρώπινου παράγοντα, γιαυτό απαιτούνται γνώσεις και κατάλληλος συνδυασμός γνώσεων από πολλές επιστήμες και την τεχνολογία.

Είναι προφανές κατά συνέπεια ότι ο σχεδιασμός των σύγχρονων θερμοκηπίων πρέπει να διαπνέεται από τις αρχές της ορθολογικής χρησιμοποίησης της ενέργειας και του ελέγχου της βιοκλιματολογίας των καλλιεργειών.

Η σημαντική ανάπτυξη της περιοχής, σε αριθμό και μέγεθος, των θερμοκηπίων στις περιοχές της Μεσογείου, καλεί για μελέτη ορθολογικού σχεδιασμού των θερμοκηπίων.

Αερισμός ονομάζεται η εναλλαγή του αέρα ενός χώρου. Ο αερισμός των θερμοκηπίων έχει τις εξής ιδιότητες:

- Προκαλεί ανάδευση του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου επιδιώκοντας μ' αυτό τον τρόπο τη δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών περιβάλλοντος σ' όλο το χώρο.
- Διορθώνει την αναλογία των διαφόρων συστατικών του αέρα μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου.
- Μεταβάλλει την θερμοκρασία και περιεκτικότητα σε υδρατμούς στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.
- Συνδέεται άμεσα με τη δημιουργία αέριων ρευμάτων μέσα στο θερμοκήπιο.

Ο αερισμός είναι μια σημαντική παράμετρος στον έλεγχο του κλιματισμού, την ενέργεια του θερμοκηπίου και την μαζική ισορροπία, η ροή ανταλλαγής αέρα μεταξύ του

θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος προβλέπεται ακόμα με μεγάλη αβεβαιότητα, λόγω των δυσκολιών των ακριβών μετρήσεων και τη δημιουργία κάποιου μοντέλου.

Σε αυτή την εργασία θα αναφερθούν μέθοδοι μέτρησης αεροπερατότητας για τον προσδιορισμό της στεγανότητας ενός θερμοκηπίου τούνελ, που έχει συνεχή πλευρικά ανοίγματα, τα οποία είναι και τα πιο χαρακτηριστικά των Μεσογειακών περιοχών.

Στην αρχή λοιπόν, της εργασίας μας αναφέραμε τις διάφορες μεθόδους αέριων δεικτών, από τις οποίες στο δικό μας πείραμα χρησιμοποιούμε την φθίνουσα συγκέντρωση αέριου δείκτη, και σαν αέριο δείκτη το CO_2 διότι δεν είχαμε καλλιέργεια μέσα στο θερμοκήπιο. Στη συνέχεια αναφέρουμε για τις μεθόδους εφαρμογής πίεσης, αρχή των οποίων είναι η εφαρμογή σταθερής διαφοράς πίεσης εκατέρωθεν του κελύφους και η μέτρηση της αντίστοιχης ροής του αέρα που προκύπτει δια μέσου αυτού. Όστε τα αποτελέσματα των μετρήσεων, να προσφέρονται για συγκρίσεις, ποιοτικούς ελέγχους και σύνταξη προδιαγραφών.

Επίσης μιλάμε και για το ενεργειακό ισοζύγιο, καθώς και την εκτίμηση απωλειών ενέργειας.

Τέλος στο πειραματικό μέρος της εργασίας μας προσπαθούμε να ορίσουμε την τιμή της αυθόρμητης ανανέωσης R του εσωτερικού αέρα σε ένα τούνελ θερμοκήπιο. Έτσι ώστε να φτάσουμε σε μια έκφραση ανάμεσα στο R και το u (ταχύτητα ανέμου) η οποία πρέπει να παίρνεται υπόψη με μεγάλη προσοχή και επιφύλαξη.

Επιδιώκουμε λοιπόν με την ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων να διαπιστώσουμε την γραμμική συμμεταβολή

μεταξύ ταχύτητας ανέμου και ρυθμού ανανεώσεως. Η χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων της εργασίας αυτής θα αποτελέσουν συνεισφορά στη μελέτη του ορθολογικού σχεδιασμού των θερμοκηπίων και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στους ενεργειακούς υπολογισμούς των θερμοκηπίων.

I. Γενικά για τις Μεθόδους μέτρησης αερισμού

1. Μέθοδοι μέτρησης αερισμού

Η ποσότητα αερισμού ενός χώρου είναι δύσκολο να υπολογιστεί αναλυτικά γιατί εξαρτάται από την αεροπερατότητα (airtightness) του κελύφους, τη διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας, τη διεύθυνση και ταχύτητα του ανέμου, την τεχνική και ποιότητα της κατασκευής και πολλούς άλλους παράγοντες.

Για το λόγο αυτό, οι μετρήσεις πλεονεκτούν, στο μέτρο που είναι εύκολα εφαρμόσιμες. Οι μέθοδοι μέτρησης αερισμού θερμοκηπίων διακρίνονται σε ποσοτικές και ποιοτικές.

Οι ποσοτικές μέθοδοι που τώρα χρησιμοποιούνται είναι:

- α) Μέθοδος αερίων δεικτών, κατά την οποία δεν επηρεάζονται οι συνθήκες μέσα και έξω από τον υπό μέτρηση χώρο.
- β) Τεχνητής μεταβολής της πίεσης στον υπό μέτρηση χώρο.

Οι δύο αυτές μέθοδοι διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ τους. Η πρώτη προορίζεται για άμεσους υπολογισμούς, υπό συνθήκες πεδίου. Είναι απλή στον εξοπλισμό και την εφαρμογή και δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα. Η δεύτερη μέθοδος είναι πιο σύνθετη, απαιτεί μεγαλύτερο εξοπλισμό που αυξάνει εντυπωσιακά με την αύξηση του προς μέτρηση όγκου. Λόγω των τεχνητών συνθηκών που εφαρμόζει, προσφέρεται και χρησιμεύει κυρίως για συγκρίσεις, που με τις μεθόδους αερίων δεικτών τεκμηριώνονται δυσκολότερα.

Οι ποιοτικές μέθοδοι αποσκοπούν στον εντοπισμό των διόδων του αέρα στο κέλυφος του θερμοκηπίου. Βασίζονται

στη φωτογράφιση στο υπέρυθρο, τη χρήση καπνού και άλλων έγχρωμων (ή άχρωμων) πτητικών δεικτών, και ακόμη στη χρήση ακουστικών μεθόδων.

2. Μέθοδος αέριων δεικτών

Η μέθοδος αέριων δεικτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μέτρηση αεροπερατότητας στον πειραματικό προσδιορισμό της στεγανότητας ενός θερμοκηπίου.

Ο φυσικός αερισμός ενός χώρου επηρεάζεται σημαντικά από της εξωτερικές μετεωρολογικές συνθήκες. Συνεπώς η μέθοδος των αέριων δεικτών μπορεί να δίνει διαφορετικά αποτελέσματα, εφόσον μεταβάλλονται οι συνθήκες στο εξωτερικό του θερμοκηπίου (θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου, διεύθυνση ανέμου κ.λ.π.). Για το λόγο αυτό προκειμένου οι μετρήσεις να είναι περισσότερο αντιπροσωπευτικές, λαμβάνεται πρόνοια ώστε αυτές να μη γίνονται σε ακραίες για την περιοχή μετεωρολογικές συνθήκες. Ακόμα οι εγκυρότερες μετρήσεις αερισμού συνοδεύονται από αντίστοιχες μετεωρολογικές στη θέση του θερμοκηπίου, που αφορούν τουλάχιστον θερμοκρασία και άνεμο, κατά δεύτερο λόγο δε, υγρασία μέσα και έξω από το θερμοκήπιο, ατμοσφαιρική πίεση, και ηλιακή ακτινοβολία. Σε περίπτωση που τέτοιες μετρήσεις λείπουν, γίνεται αναφορά σε παρατηρήσεις του πλησιέστερου μετεωρολογικού σταθμού, που όμως δεν θεωρούνται αντιπροσωπευτικές αυτών που επικρατούν στην περιοχή.

Η μέθοδος των αέριων δεικτών, σε όλες τις παραλλαγές της, συνεπάγεται έκλυση ενός αερίου (αέριος δείκτης) στον προς μέτρηση χώρο και παρακολούθηση της μεταβολής

της συγκέντρωσής του. Συνεπώς ο βασικός εξοπλισμός των μετρήσεων αερισμού με αέριους δείκτης περιλαμβάνει:

- Το κατάλληλο αέριο που χρησιμοποιείται για δείκτες.
- Τον αντίστοιχο αναλυτή αερίων για τη μέτρηση της συγκέντρωσής του στο χώρο του θερμοκηπίου.
- Ο χρόνος πρέπει επίσης να μετράται με ακρίβεια.

Στην εργασία μας συμπεριλαμβάνεται στον εξοπλισμό και μονάδα μικροϋπολογιστή, που ελέγχει τις διαδικασίες έκλησης αερίου, δειγματοληψίας, καταγραφή της συγκέντρωσης και των μετεωρολογικών συνθηκών που επικρατούν.

Διαφορετικές τεχνικές εφαρμογής, με αντίστοιχες μεταβολές σε λεπτομέρειες του εξοπλισμού, συνεπάγονται τις εξής παραλλαγές της μεθόδου:

- α) Φθίνουσα συγκέντρωση αερίου δείκτη.
- β) Σταθερή συγκέντρωση αερίου δείκτη.
- γ) Σταθερή έκλυση αερίου δείκτη.

Σε όλες τις παραλλαγές, οι σοβαρότερες πηγές σφαλμάτων στον υπολογισμό του αερισμού, προκύπτουν κυρίως από ατελή ανάμιξη του αερίου δείκτη στον προς μέτρηση χώρο και από ελάττωση της συγκέντρωσής του, λόγω συμπύκνωσης, χημικής αντίδρασης, απορρόφησης ή προσρόφησης. Πάντως το συνολικό σφάλμα των μετρήσεων αερισμού, με μεθόδους αερίων δεικτών εκτιμάται ότι είναι μικρότερο από 10%.

II. Παραλλαγές της μεθόδου αέριων δεικτών

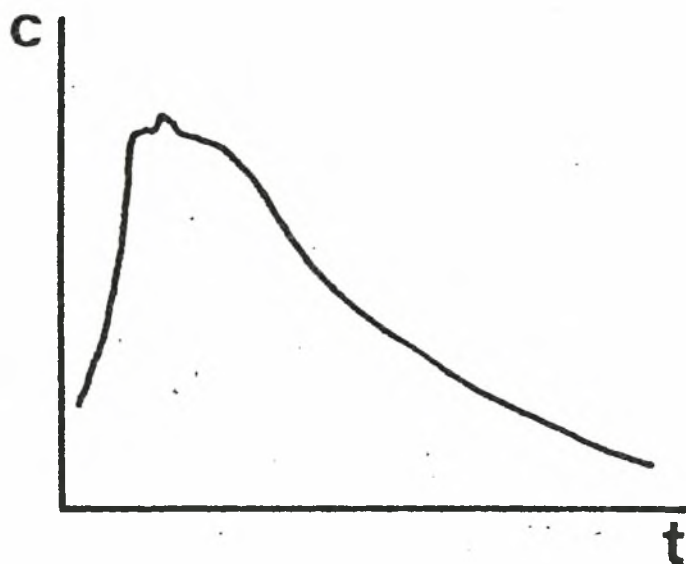
2.1 Φθίνουσα συγκέντρωση αέριου δείκτη

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή μικρή ποσότητα αέριου δείκτη, ικανή να μετρηθεί με τον αντίστοιχο αναλυτή αερίων, εκλύεται στον υπό μέτρηση χώρο. Όταν επιτευχθεί ομοιόμορφη ανάμειξη, αρχίζουν μετρήσεις της συγκέντρωσης με το χρόνο, προκειμένου να διαπιστωθεί ο ρυθμός ελάττωσής της (σχήμα 1). Η ακρίβεια των μετρήσεων συνιστάται να είναι 15%. Υπάρχουν δύο παραλλαγές της μεθόδου ανάλογα με το αν η μέτρηση της συγκέντρωσης γίνεται με φορητό αναλυτή, επί τόπου (site analysis), ή τα δείγματα συλλέγονται και αναλύονται στο εργαστήριο (grab sampling).

Προταίρημα της πρώτης παραλλαγής είναι η αυτοδυναμία και ευελιξία στις μετρήσεις, ενώ στη δεύτερη περίπτωση, με κατάλληλα εξοπλισμένο εργαστήριο και ανάλογα οργανωμένο δίκτυο, είναι δυνατόν να γίνονται ταυτόχρονα μετρήσεις σε πολλούς χώρους.

Η έκλυση του αέριου δείκτη στο χώρο γίνεται κατά προτίμηση σε περισσότερα σημεία. Η θέση των σημείων αυτών, αλλά και οι αντίστοιχες ποσότητες αερίου που εκλύονται, προσδιορίζονται από την πιθανολογούμενη ροή των εσωτερικών ρευμάτων του αέρα και τις διαστάσεις του καλυμένου χώρου του θερμοκηπίου.

Η έκλυση καθ' αυτή, στην απλούστερη περίπτωση, μπορεί να γίνει από τεχνίτη, που περιηγείται του χώρου με ένα δοχείο (ή σύριγγα) με αέριο και ελευθερώνει, σταδιακά, ποσότητες από αυτό.



Σχήμα 1. Τυπικό ίχνος μεταβολής της συγκέντρωσης αέριου δείκτη στη μέθοδο φθίνουσας συγκέντρωσης

Για την ανάμιξη του αέριου δείκτη στο χώρο, συνήθως χρειάζεται χρόνος αναμονής περίπου 1/2 ώρα. Σε αυτό το χρονικό διάστημα, η φυσική ανατάραξη του αέρα συνήθως αρκεί για ικανοποιητική ανάμιξη. Η ομοιόμορφη ανάμιξη μπορεί να επιταχυνθεί με τη σαν βεντάλια κίνηση επιφανειών ή με μικρούς ανεμιστήρες σε επίκαιρα σημεία. Πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια, ώστε η χρήση τέτοιων μέσων να μην επηρεάζει την κατανομή των πιέσεων χώρο, γιαυτό θα πρέπει να διακόπτεται όταν αρχίζουν οι μετρήσεις.

Επειδή η ανάμιξη του αέριου δείκτη με τον εσωτερικό αέρα δεν μπορεί σε καμιά περίπτωση να είναι πλήρης, μετρήσεις που γίνονται σε συγκεκριμένα σημεία του χώρου δεν είναι αντιπροσωπευτικές για όλο το χώρο.

Το πρόβλημα αυτό μπορεί πρακτικά να αντιμετωπιστεί με μία από τις εξής επιλογές:

1) Δείγματα αέρα συλλέγονται από διάφορα σημεία του χώρου και αναμιγνύονται. Η συγκέντρωση του αέριου δείκτη στο μίγμα αυτό χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του αερισμού του χώρου. Εφαρμογή της τεχνικής αυτής επιτυγχάνεται με ταυτόχρονη αναρρόφηση από δίκτυο σωληνώσεων, που κατανέμεται σε επίκαιρα σημεία του προς μέτρηση χώρου. Κατά τη ροή των δειγμάτων μέχρι της εξόδου δειγματοληψίας, επέρχεται η ζητούμενη ανάμιξή τους.

2) Ο ρυθμός ελάττωσης της συγκέντρωσης του αέριου δείκτη μετράται σε διάφορα σημεία του χώρου και στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ποσότητας αερισμού, η τιμή που προσεγγίζει καλύτερα το μέσο όρο των μετρήσεων αυτών.

3) Ο ρυθμός ελάττωσης του αέριου δείκτη μετράται σε διάφορα σημεία του χώρου και ο μέσος των μετρήσεων αυτών χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ποσότητας αερισμού του χώρου. Σύμφωνα με το πρότυπο που ισχύει στις ΗΠΑ, προκειμένου να αρχίσουν οι μετρήσεις της συγκεντρώσεως, θα πρέπει οι τιμές των δειγμάτων, που προέρχονται από διάφορα σημεία του χώρου, να διαφέρουν λιγότερο του 5% από το μέσο όρο.

Εάν ένας μέσος ρυθμός ελάττωσης της συγκέντρωσης του αέριου δείκτη, η ζητούμενη συνάρτηση τότε οι μέθοδοι 2 και 3, με περισσότερο αξιόπιστη την 3, προσφέρουν πολύ ικανοποιητικές προσεγγίσεις. Υπολογισμοί από την μέθοδο 1 υστερούν. Κατά το χρονικά εξαρτώμενο σφάλμα που επηρεάζεται από το συγκεκριμένο τρόπο ανάμιξης του εισερχόμενου αέρα, με αυτόν που βρίσκεται μέσα στο θερμο-

κήπιο. Παρά ταύτα η τεχνική αυτή, λόγω της απλότητάς της, χρησιμοποιείται συχνότερα.

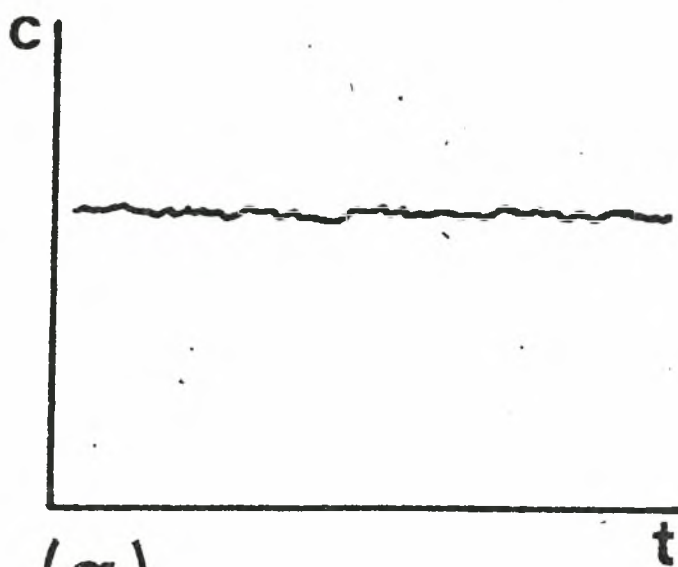
Πλεονεκτήματα της μεθόδου φθίνουσας συγκέντρωσης των αέριων δεικτών είναι η σχετική ευκολία στην εκτέλεση των μετρήσεων και την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι:

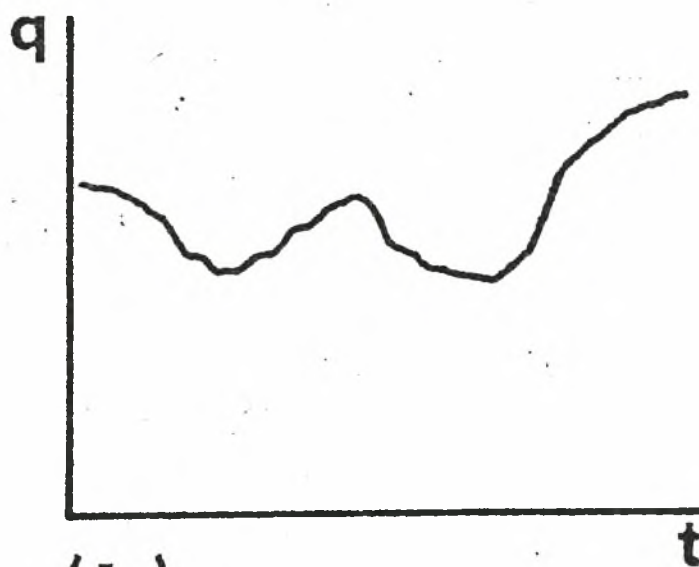
- Είναι δύσκολο να εκτιμηθεί το πόσο πιστά είναι τα αποτελέσματα των μετρήσεων αντανakλούν τον πραγματικό βαθμό αερισμού του προς μέτρηση χώρου.
- Η αρχική προετοιμασία για την επίτευξη ομοιομορφίας συγκέντρωσης του δείκτη στο χώρο απαιτεί είτε σύστημα σωλήνων, για έκλυση του αερίου σε πολλά σημεία του χώρου, είτε τεχνητή ανατάραξη του αέρα στον προς μέτρηση χώρο, γεγονός που διαστρευλώνει τις φυσικές συνθήκες ισορροπίας.

2.2 Σταθερή συγκέντρωση αέριου δείκτη

Η παραλαγή αυτή είναι κατάλληλη για συνεχή μέτρηση της ποσότητας αερισμού σε ένα χώρο. Αέριος δείκτης εκλύεται συνεχώς σε ένα σημείο του χώρου και η συγκέντρωσή του μετριέται σε ένα άλλο σημείο. Η έκλυση του αερίου ρυθμίζεται ώστε η συγκέντρωσή του στο σημείο μέτρησής της να διατηρείται σταθερή (σε ποσοστό περίπου $\pm 10\%$). Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με κάποιας μορφής σύστημα αυτομάτου ελέγχου. Στην ιδεώδη περίπτωση της τέλει ανάμιξης είναι δυνατό να υπολογιστεί η ποσότητα αερισμού του χώρου απ' ευθείας, από το γνωστό ρυθμό έκλυσης του αέριου δείκτη (σχήμα 2).



(a)

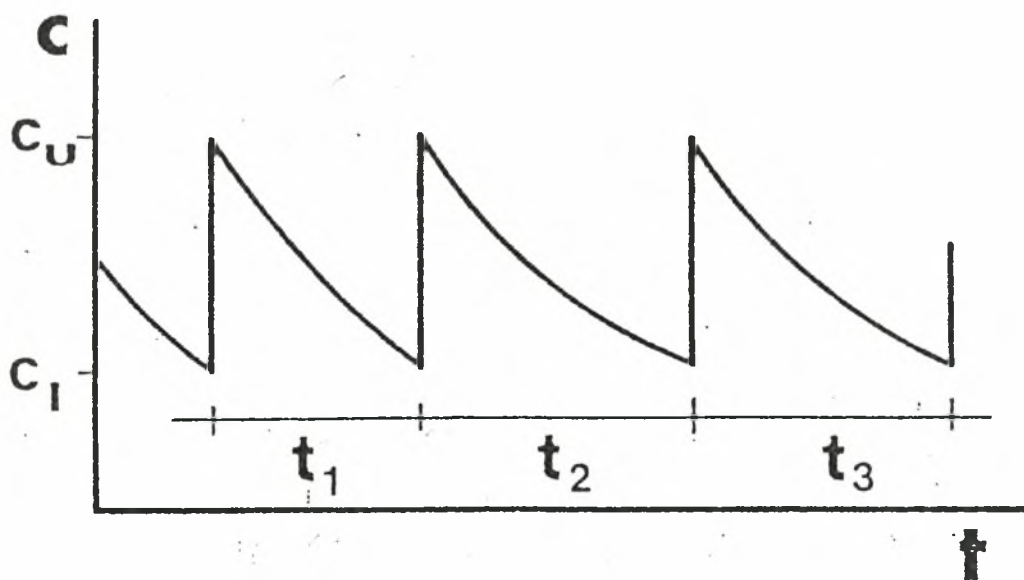


(b)

Σχήμα 2. Τυπικά ίχνη μεταβολής της συγκέντρωσης (a) και της έκλυσης αέριου δείκτη (b) στη μέθοδο σταθερής συγκέντρωσης.

Μία παραλλαγή αυτής της τεχνικής επιτρέπει τη συγκέντρωση του αέριου δείκτη να κυμαίνεται μεταξύ ενός ανωτέρου και ενός κατωτέρου ορίου. Όταν η συγκέντρωση φθάσει το κατώτερο όριο (c_1) τότε εκλύεται αέριο για να αυξηθεί μέχρι το ανώτερο όριο (c_u), οπότε η έκλυση διακόπτεται και πάλι.

Ο χρόνος που χρειάζεται για την ανάλυση της συγκέντρωσης στο σημείο που αυτή υπολογίζεται είναι μέτρο της ποσότητας αερισμού του χώρου. Τυπικό διάγραμμα μεταβολής της συγκέντρωσης του αέριου δείκτη για την περίπτωση αυτή δίνεται στο (σχήμα 3).



Σχήμα 3. Μεταβολή της συγκέντρωσης αέριου δείκτη εντός ορίων

Τα βασικά πλεονεκτήματα της μεθόδου σταθερής συγκέντρωσης αερίου είναι, ότι επιτρέπει συνεχή μέτρηση του βαθμού αερισμού σε ένα αγροτικό κτίριο ή σε ένα θερμοκήπιο. Η χρονική περίοδος εφαρμογής της μεθόδου μπορεί να είναι μερικές ημέρες. Η συνεχής μέτρηση πλεονεκτεί στο ότι, μπορεί να αφορά μεγαλύτερη ποικιλία παραγόντων που επηρεάζουν τον αερισμό του προς μέτρηση χώρου.

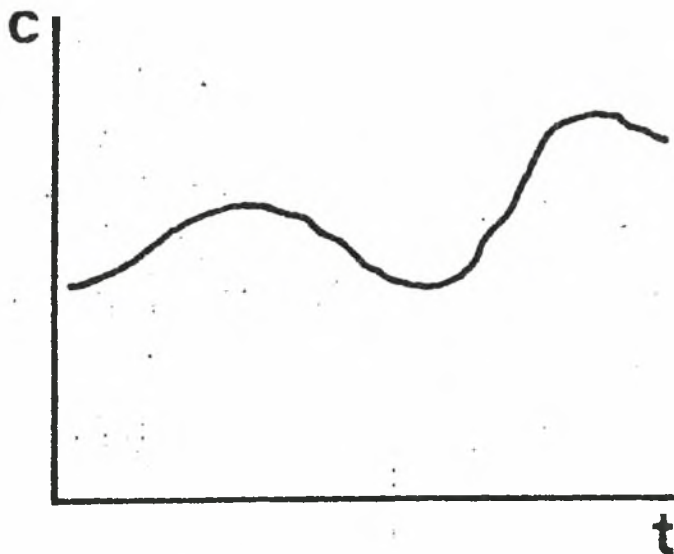
Τα μειονεκτήματα είναι:

- Ο κύριος και βοηθητικός εξοπλισμός είναι περισσότερο περιπλοκος από αυτόν που χρησιμοποιείται σε άλλες μεθόδους αέριων δεικτών.
- Οι μετρήσεις της συγκέντρωσης θα πρέπει να γίνονται επί τόπου. Δεν είναι δυνατό, όπως στην περίπτωση της μεθόδου φθίνουσας συγκέντρωσης, να μεταφέρονται τα δείγματα σε εργαστήριο.
- Υπάρχει πάντοτε καθυστέρηση μεταξύ της έκλυσης του αερίου και την αντίδραση του αναλυτή, γεγονός που εισάγει σφάλμα στην ανάλυση.

2.3 Σταθερή έκλυση αέριου δείκτη

Η παραλλαγή είναι παρόμοια με την προηγούμενη. Για το λόγο αυτό είναι κατάλληλη για συνεχείς μετρήσεις αερισμού. Η έκλυση του αέριου δείκτη είναι συνεχής κατά τη διάρκεια της μέτρησης και η συγκέντρωση, που δίνεται από τον αναλυτή, αποτελεί μέτρο της ποσότητας αερισμού του χώρου (σχήμα 4). Ο μειωμένος αερισμός του χώρου συντελεί σε αύξηση της συγκέντρωσης του αέριου δείκτη και αντίστροφα. Όπως και στην περίπτωση της φθίνουσας

συγκέντρωσης αερίου δείκτη υπάρχουν δύο παραλλαγές της μεθόδου ανάλογα με το αν η μέτρηση της συγκέντρωσης γίνεται επί τόπου (με φορητό αναλυτή) ή τα δείγματα συλλέγονται και αναλύονται στο εργαστήριο.



Σχήμα 4. Τυπικό ίχνος μεταβολής της συγκέντρωσης αερίου δείκτη στη μέθοδο σταθερής έκλυσης

Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι:

- Η μέθοδος επιτρέπει συνεχή μέτρηση του βαθμού αερισμού του χώρου.
- Ο εξοπλισμός είναι απλούστερος από αυτόν της μεθόδου σταθερής συγκέντρωσης.

Τα μειονεκτήματα είναι:

- Πρέπει να πιθανολογηθεί η ποσότητα αερισμού του προς μέτρηση χώρου προκειμένου να επιλεγεί ο ρυθμός έκλυσης του δείκτη, ώστε να παραμείνει η συγκέντρωσή του σε μετρήσιμα, από τον αναλυτή, όρια.

- Σημαντικές μεταβολές στη συγκέντρωση του αέριου δείκτη εξ αιτίας αλλαγής των εξωτερικών, μετεωρολογικών κυρίως, συνθηκών μπορεί να οδηγήσουν σε αδυναμία του αναλυτή να τις παρακολουθήσει λόγω μικρού εύρους κλίμακας.
- Χρειάζεται σημαντική περίοδος σταθεροποίησης προτού αρχίσει η κυρίως μέτρηση, δηλαδή προτού επιτευχθούν συνθήκες ισορροπίας. Αέριος δείκτης καταναλώνεται άσκοπα κατά την περίοδο αυτή. Η μέθοδος είναι η πιο δαπανηρή σε αέριους δείκτες.
- Δεν είναι πρακτικά εύκολο να επιτευχθεί σταθερός ρυθμός έκλυσης αέριου δείκτη.

3. Χαρακτηριστικά αέριων δεικτών

Αέριοι δείκτες για τη μέτρηση του αερισμού χρησιμοποιούνται περισσότερο από 30 χρόνια. Τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να έχει αέριο, προκειμένου αυτό να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης στις αντίστοιχες μεθόδους, έχουν οριστεί από διάφορους επιστήμονες. Η καταγραφή που ακολουθεί βασίζεται σε παρουσίασή τους από Kronvald.

- Το αέριο πρέπει να είναι μετρήσιμο σε μεγάλη ακρίβεια ακόμη και όταν βρίσκεται σε πολύ μεγάλη αραίωση στο χώμα.
- Τα αέρια που βρίσκονται στον ατμοσφαιρικό αέρα δε θα πρέπει να επηρεάζουν την ανάλυση του αέριου δείκτη.
- Ο αέριος δείκτης θα πρέπει να είναι φθηνός και προσιτός.
- Η προσρόφηση και απορρόφηση του αέριου δείκτη σε τοί-

χους, έπιπλα κ.λ.π. θα πρέπει να είναι ασήμαντη.

- Ο αέριος δείκτης θα πρέπει να είναι χημικά ευσταθής και να μην αντιδρά χημικά με τον αέρα του περιβάλλοντος.
- Ο αέριος δείκτης θα πρέπει να είναι αβλαβής όταν αναπνέεται από συγκεντρώσεις που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις.
- Ο αέριος δείκτης και τα μίγματά του δε θα πρέπει να είναι εύφλεκτα ή εκρηκτικά.
- Η πυκνότητα του αέριου δείκτη θα πρέπει να είναι κατά το δυνατό εγγύτερα σε αυτή του ατμοσφαιρικού αέρα.
- Ο αέριος δείκτης δε θα πρέπει να ανήκει στο μίγμα των αερίων που συνθέτουν τον ατμοσφαιρικό αέρα.
- Δεν θα πρέπει να υπάρχουν φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής του αέριου δείκτη στη γειτονιά του χώρου μέτρησης.

Στον πίνακα 1 καταγράφονται ορισμένες παράμετροι που θα μπορούσαν με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά, να χρησιμεύσουν στην επιλογή υποψήφιων αέριων δεικτών.

Αέριο ή ατμοί	Πυκνότητα σε σχέση με ξηρό αέρα σε NTP	Μέγιστη συγκέντρωση δυνατή (% κατ' όγκου)	Μέγιστο όριο συγκέντρωσης	Ελάχιστη ανιχνεύσιμη συγκέντρωση (% κατ' όγκου)	Καταλληλότερη μέθοδος μέτρησης	
Υδρογόνο (H ₂)	0.07	1.1	α	0.02	i	A
Ήλιο (He)	0.14	1.2	α	0.03	i	Γ
Υγραέριο (H ₂ και CO)	0.5	0.08 (2)	δ (α)	0.001	iii	Γ
Υδατμοί (H ₂ O)	0.6	2.5	α	0.2	iii	A
Αμμωνία (NH ₃)	0.6	10 ⁻³ (2.5)	δ (α)	= 10 ⁻⁴	vi	Γ
Μονοξείδιο του Άνθρακα (CO)	1.0	0.04 (13)	δ (β)	0.0005	iii	Γ
Αιθάνιο (C ₂ H ₆)	1.0	2.5	β	0.5	i,iii,v	A
Αργόν (⁴¹ A)	1.4	= 10 ⁻¹⁰	γ	= 10 ⁻⁹	ii	
Διοξείδιο του Άνθρακα (CO ₂)	1.5	2	α&δ	0.0001	i,iii	A
Υποξείδιο του Αζώτου (N ₂ O)	1.5	2	α	0.0001	iii	
Ακετόνη (C ₃ H ₆ O)	2.0	1	α	0.01	iv	B
Χρυστόν (⁸⁵ Kr)	2.9	= 10 ⁻¹⁰	γ	= 10 ⁻⁹	ii	
Χλωροφόρμιο (CHCl ₃)	4.2	0.0001 (0.3)	δ (α)	0.05	v	Γ
Ξένον (¹³³ Xe)	4.2	10 ⁻¹⁰	γ	= 10 ⁻⁹	ii	
Μεθάνιο (CH ₄)	0.5	0.5	β	5 ppm	iii	A
Εξαθιοριούχο θείο (SF ₆)		1000 ppm		2X10 ⁻⁹ ppm	v (iii)	

Πίνακας 1. Χρήσιμες ιδιότητες αέριων δεικτών

- α - Για να διατηρηθεί η πυκνότητα του μίγματος αερίου/αέρα σε όριο 1% της πυκνότητας του ξηρου αέρα.
- β - Όριο μη εύφλεκτου μίγματος.
- γ - Επιτρεπτό όριο ραδιενέργειας σε κατοικημένο χώρο.
- δ - Επιτρεπτό όριο ασφαλείας σε κατοικημένο χώρο.
- i - Μέτρηση θερμικής αγωγιμότητας.
- ii - Αναλυτής Geiger
- iii - Μέτρηση απορρόφησης στο υπέρυθρο
- iv - Ακουστική μέθοδος
- v - Χρωματογραφία
- A - Καύσιμο (αλλά όχι εύφλεκτο σε αυτές τις συγκεντρώσεις).
- B - Έχει οσμή
- Γ - Τοξικό
- Δ - Ασταθής συγκέντρωση υπόβαθρου στο περιβάλλον.

Στο μέτρο που είναι γνωστό, δεν υπάρχει αέριο που να συγκεντρώνει όλα τα προσόντα που χαρακτηρίζουν τον ιδανικό αέριο δείκτη, όμως τα αέρια που χρησιμοποιούνται στις μετρήσεις έχουν, τουλάχιστον πολλά από τα χαρακτηριστικά που εκτέθηκαν. Παλαιότερα, το υδρογόνο και το Ήλιο χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση. Όμως και τα δύο αυτά αέρια έχουν πυκνότητες που διαφέρουν σημαντικά από αυτή του ατμοσφαιρικού αέρα. Το υδρογόνο είναι πρόσθετα εύφλεκτο και σε συγκεκριμένη αναλογία μίγματος με τον αέρα, είναι εκρηκτικό. Και τα δύο αυτά αέρια είναι εύκολο να ανιχνευτούν με ένα όργανο που μετράει θερμική αγωγιμότητα των αέριων μιγμάτων (Katharometer).

Το εξαφθοριούχο θείο (SF_6) είναι ο συχνότερα

χρησιμοποιούμενος αέριος δείκτης στη Βόρεια Αμερική για μετρήσεις αερισμού κτιρίων. Συγκεντρώσεις της τάξης του 10-7% μπορούν να μετρηθούν με αέριους χρωματογράφους που στηρίζονται στην αρχή της σύλληψης ηλεκτρονίων (electron capture). Αυτό σημαίνει ότι για τη μέτρηση μιάς τυπικής κατοικίας με τη μέθοδο της φθίνουσας συγκέντρωσης, είναι φθηνότερος ο αέριος δείκτης SF₆ σε σύγκριση με άλλους δείκτες. Το μειονέκτημα είναι ότι οι αναλυτές αερίων αυτού του τύπου είναι σχετικά ακριβοί. Άλλο μειονέκτημα του SF₆ είναι λόγω της μεγάλης του πυκνότητας (μοριακό βάρος: 146), δυσκολία ανάμιξής του με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Συγκρίσεις μετρήσεων αερισμού με SF₆ και άλλους αέριους δείκτες (CH₄, N₂O) έδωσαν στην πρώτη περίπτωση τιμές κατά 10% περίπου υψηλότερες, χωρίς η απόκλιση αυτή να εξηγείται επαρκώς.

Ένας άλλος αέριος δείκτης που συχνά χρησιμοποιείται, κυρίως στην Ευρώπη, είναι το υποξείδιο του αζώτου (N₂O). Ο αναλυτής που χρησιμοποιείται γιαυτό το αέριο βασίζεται στην αρχή της μέτρησης της αλλαγής των χαρακτηριστικών του φάσματος απορρόφησης του μίγματος αέρας/N₂O στο υπέρυθρο.

Οι κοινοί αναλυτές για το N₂O εργάζονται με συγκεντρώσεις μέχρι 0,1%, εύρος που φαίνεται κατάλληλο για μετρήσεις αυτού του τύπου. Με βάση αυτό το μέγεθος, για μία επιφάνεια όγκου 300 m³ χρειάζονται περίπου 0,3 m³ ή περίπου 0,5 kgf αερίου. Το N₂O είναι διαθέσιμο στο εμπόριο σε κυλίνδρους διαφόρων μεγεθών, από τους οποίους ο πιο κατάλληλος από πλευράς χωρητικότητας και ευκολίας μεταφοράς είναι αυτός των 7,5 kgf. Η πυκνότητα του αερίου

είναι $1,7 \text{ kg/m}^3$ σε NTP και κατά συνέπεια είναι κοντά σε αυτή του αέρα. Στο μέτρο που είναι γνωστό, δεν έχει αναφερθεί πρόβλημα στρωμάτωσης ή άλλο σχετικό με την ανάμιξη του N_2O με τον αέρα.

Για τη μέτρηση του χρόνου αρκεί ένα κοινό ρολόϊ, όμως, κάποια μορφή καταγράφεται η συγκέντρωση του αέριου δείκτη, όσο χρόνο το χαρτί κινείται με σταθερή ταχύτητα. Η σύσταση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στις μεθόδους σταθερής συγκέντρωσης αέριου δείκτη και σταθερής έκλυσης αν και επίσης χρησιμεύει στη μέθοδο της φθίνουσας συσγκέντρωσης.

4. Αρχές Μέτρησης

Η συγκέντρωση του αέριου δείκτη στο χώρο μέτρησης μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$c_t = c_b + \frac{q}{nV} (1 - e^{-nt}) + c_0 e^{-nt}$$

όπου:

c_t = συγκέντρωση αέριου δείκτη σε χρόνο t

q = έκλυση αέριου δείκτη [m^3/h]

n = βαθμός αερισμού του χώρου [ac/h]

V = όγκος του προς μέτρηση χώρου [m^3]

t = χρόνος [h]

c_0 = συγκέντρωση του αέριου δείκτη σε χρόνο $t=0$ (πάνω από c_b)

c_b = συγκέντρωση υπόβαθρου του αέριου δείκτη στο περιβάλλον

Εξαγωγή της εξίσωσης

Η έκλυση του αέριου δείκτη με ρυθμό q αρχίζει σε χρόνο $t = 0$. Αυτό σημαίνει σε $t = 0$:

$$c_t = c_b + c_o$$

Εάν σε χρόνο t η συγκέντρωση του αέριου δείκτη είναι c_t σε χρόνο $t + dt$ θα είναι $c_t + dc$.

θα ισχύει η εξής εξίσωση ισορροπίας:

$$c_t V + q dt - n V dt c_t + n V dt c_b = (c_t + dc) V$$

$$\implies q dt - (c_t - c_b) n V dt = dc V = \frac{dc}{dt} dt V$$

$$\implies \frac{dc}{dt} + n(c_t - c_b) = \frac{q}{V}$$

$$\implies \frac{dc}{dt} + n c_t = n c_b + \frac{q}{V}$$

Η τελευταία είναι πρώτη τάξης ομογενής διαφορική εξίσωση. Η λύση της προκύπτει με πρόσθεση της λύσης της μη ομογενούς εξίσωσης.

Η ομογενής εξίσωση είναι:

$$\frac{dc}{dt} + n c_t = 0$$

θέτουμε: $c = Ae^{-\lambda t}$

θα έχουμε: $-\lambda Ae^{-\lambda t} + n Ae^{-\lambda t} = 0 \implies \lambda = n \implies c = Ae^{-nt}$

Η λύση της μη ομογενούς εξίσωσης είναι:

$$c = \frac{1}{n} \left(nc_b + \frac{q}{V} \right) = c_b + \frac{q}{nV}$$

Με πρόσθεση των δύο λύσεων θα έχουμε:

$$c = Ae^{-nt} + c_b + \frac{q}{nV}$$

Με αρχικές συνθήκες: $c = c_b + c_o$, όταν $t=0$ θα έχουμε:

$$c_b + c_o = A + c_b + \frac{q}{nV} \iff A = c_o - \frac{q}{nV} \implies$$

$$c = \left(c_o - \frac{q}{nV} \right) e^{-nt} + c_b + \frac{q}{nV} = c_b + \frac{q}{nV} (1 - e^{-nt}) + c_o e^{-nt}$$

4.1 Φθίνουσα Συγκέντρωση Αέριου Δείκτη

Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει εκπομπή αερίου (q) κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Συνεπώς η εξίσωση [1] γίνεται:

$$c_t = c_b + c_o e^{-nt}$$

Ο αναλυτής αερίων ρυθμίζεται πριν από την έναρξη των μετρήσεων ώστε η συγκέντρωση υπόβαθρου του αέριου δείκτη (c_b) να αντιστοιχεί στο 0 της κλίμακας του οργάνου αντιστοιχούν στην ποσότητα $c_t - c_b$, που στο εξής θα συμβολίζεται απλά, c .

$$c = c_o e^{-nt} \implies \frac{c}{c_o} = e^{-nt}$$

Παίρνοντας τους λογάριθμους έχουμε:

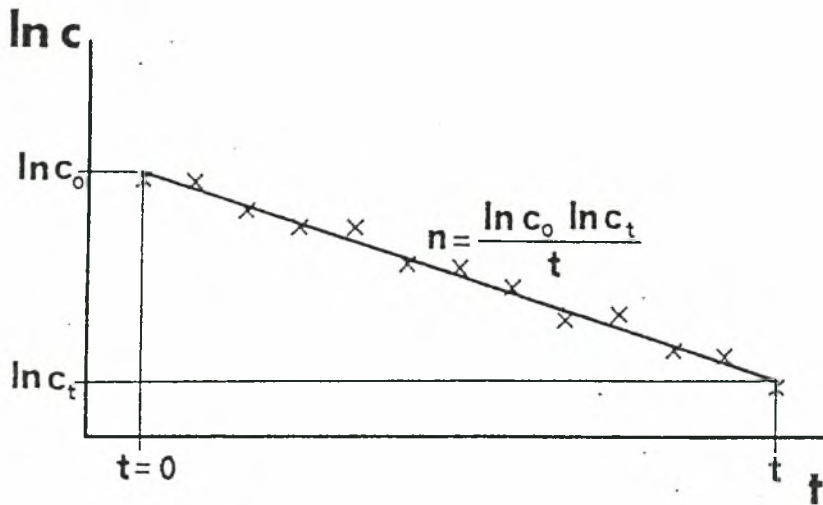
$$\ln c - \ln c_0 = -nt \implies \ln c_0 - \ln c \implies n = \frac{1}{t} \ln \frac{c_0}{c}$$

Από γραφική παράσταση, της μεταβολής της συγκέντρωσης του αέριου δείκτη με το χρόνο, σε ημιλογαριθμικό χάρτη, εύκολα φαίνεται ότι η συγκέντρωση του αέριου φθίνει εκθετικά με το χρόνο, εφόσον δεν υπάρχουν στο χώρο μέτρησης πηγές ή σημεία κατανάλωσης του αέριου.

Επειδή $\ln(c_0/c) = \ln c_0 - \ln c$, η ποσότητα n παριστάει την κλίση της γραμμής που στον ημιλογαριθμικό χάρτη συνδέει τα σημεία των παρατηρήσεων (σχήμα 5).

Η στατιστική θεωρία επιτρέπει τον προσδιορισμό του αριθμού των μετρήσεων του $\ln c$ που απαιτούνται για τη ζητούμενη ακρίβεια στον υπολογισμό του n . Συγκεκριμένα:

Εάν δεχθούμε ότι ο αναλυτής αερίων και η μονάδα καταγραφής εισάγουν σφάλμα στη μέτρηση της συγκέντρωσης, ίσο με την τυπική απόκλιση, με τιμή $\pm 2,5\%$, σε πλήρη απόκλιση της κλίμακας του οργάνου, το αποτέλεσμα είναι η τυπική απόκλιση των κοινών αναλυτών αερίων είναι ± 25 ppm. Εφόσον υπολογίζονται λογάριθμοι, θα πρέπει να εξεταστεί η επίδραση του σφάλματος στο $\ln c$ εάν $c = 1025$ ppm και $c = 975$ ppm. Οι αντίστοιχες τιμές του $\ln c$ είναι 6.932 και 6.882, δηλαδή $\pm s = 0,049$, όπου s η τυπική απόκλιση. Το σφάλμα στη μέτρηση του χρόνου θεωρείται μηδενικό.



Σχήμα 5. Γραφικός υπολογισμός της ποσότητας αερισμού με την μέθοδο φθίνουσας συγκέντρωσης αέριου δείκτη

Το διάστημα εμπιστοσύνης (confidence interval) για τον προσδιορισμό της κλίσης με μεθόδους γραμμικής συσχέτισης είναι:

$$I_n = n_s \pm t_{p/2} (N-2) s / \sqrt{S_{nn}}$$

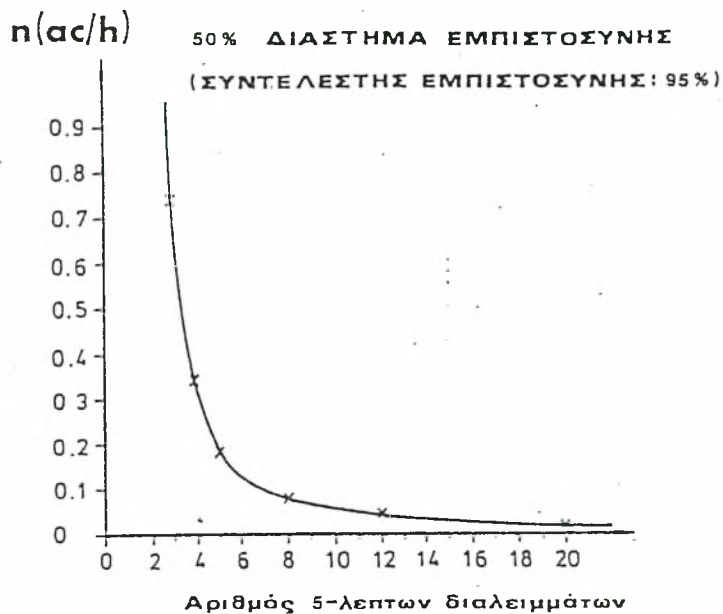
όπου:

n_s = ο υπολογισμός της κλίσης που έγινε,

$t_{p/2}(N-2)$ = η τιμή της t - κατανομής, όπου p είναι ο συντελεστής εμπιστοσύνης και N είναι ο αριθμός των διαστημάτων,

$$S_{nn} = \sum_{k=1}^n (k \Delta t)^2 - \frac{\left| \begin{array}{c} n \\ \sum k \\ k = 1 \end{array} \right|^2}{n}$$

Εάν ο συντελεστής εμπιστοσύνης (confidence level) τεθεί στο 95%, που σημαίνει απλά ότι το αποτέλεσμα θεωρείται βέβαιο κατά 95%, τότε προκύπτει το διάγραμμα του σχήματος .



Σχήμα 6. Το διάστημα εμπιστοσύνης 50%. εκφρασμένο σε ρυθμούς αερισμού για διαφορετικές περιπτώσεις 5 - λεπτων διαλειμμάτων κατά την περίοδο των μετρήσεων

Εάν θέλουμε να μετρήσουμε το βαθμό αερισμού ενός χώρου με όριο σφάλματος $\pm f_{max}$ (= διάστημα εμπιστοσύνης), και το f_{max} δεν θέλουμε να υπερβαίνει το $0,1 n$ (δηλ., να μη διαφέρει από την τιμή του n περισσότερο από 10%), ο αριθμός διαλειμμάτων πρέπει, τουλάχιστον, να ισούται με τον αριθμό των διαλειμμάτων που δίνονται στον Πίνακα για διαφορετικούς βαθμούς αερισμού. (Ο πίνακας προκύπτει από το διάγραμμα του σχήματος 6).

Ποσότητα αερισμού [ac/h]	f_{max} [ac/h]	Απαραίτητος αριθμός 5-λέπτων διαλειμμάτων	Απαιτούμενος χρόνος [h]
0.1	0.01	25	2.1
0.2	0.02	18	1.5
0.4	0.04	12	1.0
0.6	0.06	10	0.8
0.8	0.08	8	0.7
1.0	0.10	7	0.6

Πίνακας 2: Απαιτούμενος χρόνος για μετρήσεις αερισμού σε διαφορετικές τιμές ποσότητας αερισμού.

4.2 Σταθερή Συγκέντρωση Αέριου Δείκτη

Στην περίπτωση αυτή, $ct - cb = c$ διατηρείται σε σταθερό επίπεδο με ρύθμιση του q στο βαθμό αερισμού n . Η εξίσωση ισορροπίας ρών στην περίπτωση αυτή γίνεται:

$$\frac{dc}{dt} V dt = \frac{dq}{dt} dt - \frac{dn}{dt} dt c V$$

Διατηρούμε $dc/dt = 0$ και έχουμε:

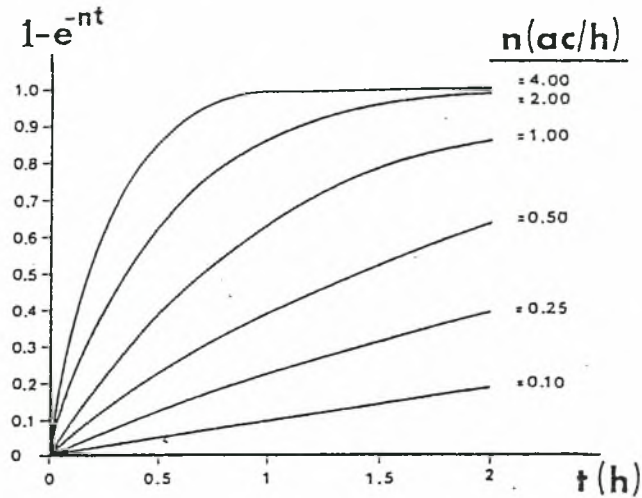
$$\frac{dq}{dt} = c V \frac{dn}{dt} \implies \frac{dq}{dt} \frac{dt}{dn} = c V \implies \frac{dq}{dn} = c V$$

Συνεπώς, η σχέση μεταξύ q και n είναι γραμμική. Είναι για το λόγο αυτό απαραίτητο να επιλέγει η κατάλληλη τιμή συγκέντρωσης του αέριου δείκτη ώστε οι αναμενόμενες τιμές αερισμού να μπορούν να λάβουν χώρα, θεωρουμένων των πιθανοτήτων μεταβολών στο q και τον όγκο (Μεταβολή στην κλίση της ευθείας: $n=q/(cV)$).

Οι μετρήσεις δε μπορούν να αρχίσουν πριν να επιτευχθεί σταθερή συγκέντρωση. Για τον υπολογισμό του χρόνου που χρειάζεται για αυτό ξεκινάμε από τη σχέση:

$$c = \frac{q}{nV} (1 - e^{-nt})$$

Στο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται πως ο παράγοντας $(1 - e^{-nt})$ αυξάνει με τον χρόνο, για διάφορες τιμές του n . Από αυτό προκύπτει ότι ο χρόνος μέχρι την αποκατάσταση ισορροπίας είναι σημαντικός για μικρούς βαθμούς αερισμού.



Σχήμα 7. Ο παράγοντας $(1 - e^{-nt})$ σε συνάρτηση του χρόνου για διαφορετικές τιμές αερισμού

4.3 Σταθερή Έκλυση Αέριου Δείκτη

Αέριος δείκτης εκλύεται με σταθερή παροχή q κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Από την εξίσωση []:

$$c_t = c_b + \frac{q}{nV} (1 - e^{-nt}) + c_0 e^{-nt}$$

θέτουμε $c_0 = 0$, $c = c_t - c_b$ και έχουμε:

$$c = \frac{q}{nV} (1 - e^{-nt})$$

Εάν ο βαθμός αερισμού είναι σταθερός ($=n$) από το χρόνο που το αέριο αρχικά ελευθερώνεται, η διαδικασία σταθεροποίησης θα είναι παρόμοια με την προηγούμενη παραλλαγή (σχήμα 8).

Όταν $(1 - e^{-nt}) = 1$, ο ρυθμός αερισμού είναι:

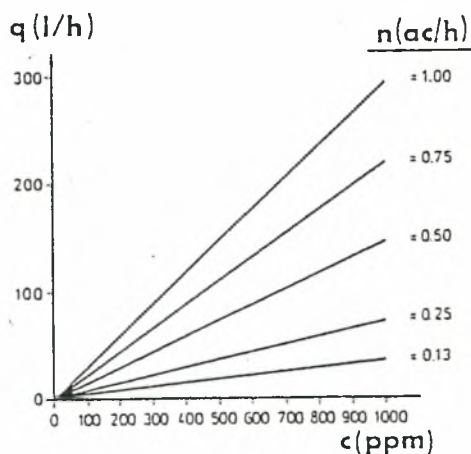
$$n = \frac{q}{cV}$$

Ο ρυθμός αερισμού είναι κατά συνέπεια αντίστροφως ανάλογος της συγκέντρωσης του αέριου δείκτη. Η παροχή q πρέπει να επιλεγεί ώστε η συγκέντρωση c να διατηρηθεί μέσα στο εύρος της κλίμακας του αναλυτή αερίων για τον αναμενόμενο αερισμό του υπό μέτρηση χώρου.

$$q = cVn$$

Η σχέση μεταξύ n , q και c για ένα χώρο 300 m^3 φαίνεται στο διάγραμμα του σχήματος .

Για λόγους ακρίβειας των μετρήσεων, δεν είναι φρόνιμο να εργαζόμαστε με τις ελάχιστες συγκεντρώσεις που μπορούν να μετρηθούν από τον αναλυτή αερίων. Εάν παρά ταύτα θέλουμε να καταγράψουμε ένα ευρύ φάσμα τιμών αερισμού, τότε θα πρέπει να εκτιμήσουμε ότι χαμηλή τιμή του q επιτρέπει μεγάλο διάστημα από μετρήσιμο n . Από το διάγραμμα του σχήματος 8 μπορούμε να δούμε ότι εάν $q = 75 \text{ l/h}$ είναι δυνατό, σε χώρο 300 m^3 , να μετρήσουμε ρυθμό αερισμού μέχρι 0.25 ac/h πριν ο αναλυτής δώσει τιμές στο μέγιστο εύρος της κλίμακας του. Από την άλλη πλευρά όμως, υψηλότεροι ρυθμοί δίνουν τόσο μικρές συγκεντρώσεις αέριου δείκτη ώστε ο ακριβής υπολογισμός τους είναι προβληματικός.



Σχήμα 8. Η παροχή του αέριου δείκτη για συνεχείς μετρήσεις συγκέντρωσής του σε διαφορετικές τιμές αερισμού του χώρου και συγκεντρώσεων (χώρος 300 m^3)

II.

1. Μέθοδοι εφαρμογής πίεσης για μετρήσεις αερισμού και αεροπερατότητας δομικών στοιχείων

Ο αερισμός ενός κλειστού χώρου προκαλείται από ροή αέρα δια μέσου του κελύφους υπό την επίδραση διαφορών πίεσης λόγω μηχανικών αιτιών, επίδρασης ανέμου, διαφοράς εσωτερικής - εξωτερικής θερμοκρασίας ή συνδυασμού αυτών των παραγόντων.

Η ποσότητα αερισμού ενός θερμοκηπίου εξαρτάται άμεσα από την αεροπερατότητα των δομικών στοιχείων. Ειδικότερα προκειμένου για στοιχεία του κελύφους του θερμοκηπίου, η αεροπερατότητά τους επηρεάζει τη συνολική τιμή της ποσότητας αερισμού του εσωτερικού χώρου.

Η αεροπερατότητα ενός δομικού στοιχείου είναι συνάρτηση πλήθους παραγόντων. Συγκεκριμένα εξαρτάται:

- Από τον αριθμό, τις διαστάσεις και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ανοιγμάτων που έχουν προβλεφθεί σ' αυτό για την εξασφάλιση επικοινωνίας, φυσικού αερισμού και φωτισμού του εσωτερικού χώρου (πόρτες, παράθυρα, οπές αερισμού).
- Από τον τρόπο κατασκευής των προβλεφθέντων ανοιγμάτων.
Δηλαδή:
 - Τα υλικά κατασκευής
 - Τη στερέωση των κινητών τμημάτων στο πλαίσιο
 - Τη στερέωση του πλαισίου στο υπόλοιπο στοιχείο
 - κ.λ.π.
- Από κατασκευαστικές ατέλειες των προβλεφθέντων ανοιγμά-

των που έχουν σαν αποτέλεσμα την ύπαρξη ανεπιθύμητων ρωγμών στην επιφάνειά τους.

- Από φθορές που συνεπάγεται η γήρανση των υλικών, η επίδραση των καιρικών φαινομένων.

Οι μετρήσεις αερισμού θερμοκηπίων διακρίνονται σε ποσοτικές και ποιοτικές όπως είχαμε προαναφέρει. Οι ποσοτικές μέθοδοι που τώρα χρησιμοποιούνται είναι:

α) Αέριων δεικτών (tracer gas method), κατά την οποία δεν επηρεάζονται οι συνθήκες μέσα και έξω από τον υπό μέτρηση χώρο.

β) Τεχνητής εφαρμογής στον υπό μέτρηση χώρο (pressurization method).

Οι δύο αυτές μέθοδοι διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ τους. Η πρώτη είναι σχετικά σύνθετη στον εξοπλισμό και την εφαρμογή και προορίζεται για άμεσους υπολογισμούς. Η δεύτερη μέθοδος είναι απλούστερη στην εφαρμογή. Απαιτεί μικρότερο εξοπλισμό, που όμως είναι δυσκολότερη η εγκατάστασή του και αυξάνει εντυπωσιακά με τον όγκο του προς μέτρηση χώρου. Και οι δύο μέθοδοι δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα.

2. Μέθοδοι εφαρμογής πίεσης για μετρήσεις αερισμού και αεροπερατότητας θερμοκηπίου

Η μέθοδος εφαρμογής πίεσης χρησιμεύει στη μέτρηση της αεροπερατότητας του κελύφους ενός θερμοκηπίου. Είναι μέθοδος σχετικά σύντομη, απλή και αξιόπιστη. Τα αποτελέσματά της είναι δυνατό να αναπαραχθούν, είναι ανεξάρτητα του χρόνου και αντιπροσωπεύουν την ποιότητα του κελύφους του θερμοκηπίου.

Η μέθοδος είναι εφαρμόσιμη όταν οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή κατά το χρόνο των μετρήσεων προκαλούν ελάχιστη διαφορά πίεσης στην υπό μέτρηση χώρο και το περιβάλλον. Θα πρέπει συνεπώς να μην πνέουν ισχυροί άνεμοι και η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας να είναι ελάχιστη.

Δεδομένου ότι κατά την εφαρμογή της μεθόδου δημιουργούνται τεχνητές συνθήκες στον υπό μέτρηση χώρο θα πρέπει τα αποτελέσματα να ερμηνεύονται σαν ενδεικτικά και μόνο της ποσότητας αερισμού του χώρου υπό φυσικές συνθήκες. Οι διαφορές πίεσης που προκύπτουν εξαιτίας φυσικών αιτιών στο κέλυφος ενός θερμοκηπίου είναι διαφορετικών μεγεθών και κατανομής από αυτές που ασκούνται με τη μέθοδο αυτή.

Η μέθοδος τεχνητής πίεσης συνίσταται στη δημιουργία υπερπίεσης ή υποπίεσης στο εσωτερικό του υπό μέτρηση χώρου με μηχανικά μέσα. Αποτέλεσμα αυτής της στατικής διαφοράς πίεσης είναι η δημιουργία ρεύματος αέρα δια μέσου των κάθε είδους ανοιγμάτων στο κέλυφος. Η μέτρηση της ροής αυτής του αέρα σε συνθήκες σταθερής διαφοράς πίεσης αντιπροσωπεύει την ποσότητα αερισμού του χώρου. Συνήθως η ροή του αέρα από το κέλυφος του θερμοκηπίου διαφέρει στις περιπτώσεις που με την ίδια απόλυτη τιμή διαφοράς πίεσης εφαρμόζεται τεχνητή υπερπίεση ή υποπίεση στο εσωτερικό. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται από το ότι ορισμένες ρωγμές στο κέλυφος λειτουργούν σαν βαλβίδες περιορίζοντας τη ροή του αέρα προς μία κατεύθυνση.

Ο βασικός εξοπλισμός που απαιτείται στην εφαρμογή της μεθόδου περιλαμβάνει:

- Ανεμιστήρα ή φουσητήρα, κατάλληλο για δημιουργία διαφοράς πίεσης μεταξύ του προς μέτρηση χώρου και του περιβάλλοντος.
- Μανόμετρο για τη μέτρηση αυτής της διαφοράς πίεσης.
- Ροόμετρο για τη μέτρηση του αέρα που, λόγω της δημιουργούμενης διαφοράς πίεσης, ρέει από το κέλυφος του χώρου.
- Ακόμη, η χρήση μετεωρολογικών οργάνων εξασφαλίζει καταλληλότερες συνθήκες μέτρησης και εγγύροτερη τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων. Για το λόγο αυτό στις αντίστοιχες μετρήσεις χρησιμοποιούνται ανεμόμετρα και θερμόμετρα.

Το συνολικό σφάλμα εφαρμογής της μεθόδου με συνεκτίμηση όλων των πιθανών πηγών σφαλμάτων υπολογίζεται σε 10% περίπου.

Με συνδυασμένη εφαρμογή των δύο μεθόδων μέτρησης αερισμού πραγματοποιείται με μηχανικά μέσα (ανεμιστήρες), τεχνητή διαφορά πίεσης στο κέλυφος του θερμοκηπίου και στη συνέχεια ο αερισμός μετράται με αέριους δείκτες. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται διάγνωση της αεροπερατότητας του κελύφους, για τη συγκεκριμένη διαφορά πίεσης ανεξάρτητα από μετεωρολογικές συνθήκες.

3. Εφαρμογή της μεθόδου για μετρήσεις αερισμού θερμοκηπίου

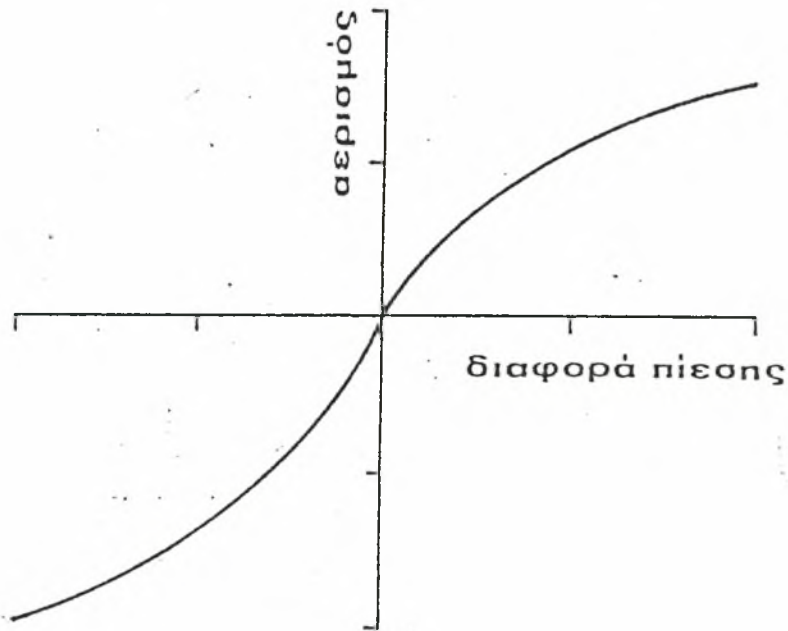
Πριν την έναρξη των μετρήσεων, οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή ελέγχονται προκειμένου να εξασφαλιστεί η ελάχιστη διαφορά πίεσης στο κέλυφος του προς μέτρηση χώρου από φυσικά αίτια. Πριν από τις μετρήσεις, επίσης θα πρέπει να κλείσουν όλα τα ανοίγματα στο κέλυφος του προς μέτρηση χώρου (πόρτες, παράθυρα, αεραγωγοί εξαερισμού, κ.λ.π.).

Το επόμενο βήμα είναι η σύνδεση, στο περίβλημα του θερμοκηπίου, του αεραγωγού, από τον οποίο εξαναγκάζεται να διέρχεται ο αέρας υπό την πίεση που ασκείται λόγω λειτουργίας του ανεμιστήρα. Η σύνδεση συνήθως γίνεται με ένα από τα υπάρχοντα ανοίγματα (πόρτα, παράθυρο, οπή εξαερισμού), που στη συνέχεια στεγανώνεται. Ο ανεμιστήρας που είναι προτιμώτερο να τοποθετείται εξωτερικά του κτιρίου, είναι εφοδιασμένος με μηχανήμα ρύθμισης της ταχύτητας και της φοράς περιστροφής του ή συνδέεται με βαλβίδα ελέγχου της παροχής του αέρα. Εάν δεν προτιμηθεί αυτή η λύση για την εγκατάσταση των μανομέτρων, τότε αυτό που βρίσκεται μέσα στο θερμοκήπιο, τοποθετείται στο έδαφος σε απόσταση μερικών μέτρων από τους τοίχους προφυλαγμένο από τυχαίες, ανεπιθύμητες αυξομειώσεις πίεσης (π.χ. ρεύματα αέρα).

Η καταλληλότερη θέση για την εγκατάσταση του ροομέτρου είναι ο αεραγωγός από τον οποίο διέρχεται ο αέρας υπό την πίεση του ανεμιστήρα. Μία λύση που δεν χρειάζεται ροόμετρο είναι η χρήση προβαθμολογημένου ανεμιστήρα, για τον οποίο υπολογίζεται η παροχή του ρεύματος

του αέρα από την ταχύτητα περιστροφής του.

Η διαδικασία των μετρήσεων συνίσταται στη λειτουργία του ανεμιστήρα με ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής του, ώστε να επιτυγχάνονται διαφορετικές τιμές διαφοράς πίεσης στο κέλυφος του προς μέτρηση χώρου. Για συγκεκριμένες τιμές διαφοράς πίεσης καταγράφεται η παροχή του αέρα και τα αποτελέσματα καταχωρούνται σε πίνακα και διαγράμμα. Διόρθωση των τιμών είναι σκόπιμο να γίνει για τις διαφορές θερμοκρασίας που επικρατούν μέσα και έξω από το χώρο. Ένας ελάχιστος αριθμός τεσσάρων ή πέντε μετρήσεων με σταθερό βήμα διαφορών πίεσης, αρκεί για τη σύνταξη του αντιπροσωπευτικού διαγράμματος (Σχήμα 9).



Σχήμα 9. Τυπικό διάγραμμα μεταβολής της αεροπερατότητας του κελύφους θερμοκηπίου συναρτήσει της ασκούμενης διαφοράς πίεσης.

Η μορφή του διαγράμματος αυτού είναι ίδια, είτε πρόκειται για ολόκληρο θερμοκήπιο ή μέρος αυτού. Συγκεκριμένα αντανakλά το εξής εμπειρικό νόμο:

$$v = F(\Delta P) \approx \kappa(\Delta P)^\beta$$

όπου:

v = η παροχή όγκου αέρα δια μέσου του δείγματος

ΔP = η διαφορά πίεσης που εφαρμόζεται στις δύο πλευρές της επιφάνειας του δείγματος

κ = συντελεστής που υπολογίζεται πειραματικά

β = εκθέτης που εξαρτάται από τον τύπο της ροής του αέρα δια μέσου του δείγματος και παίρνει τις τιμές:

$\beta = 1$ για στρωτή ροή (μικρότερες διαφορές πίεσης)

$\beta = 0,5$ για τυρβώδη ροή (μεγαλύτερες διαφορές πίεσης)

$0,5 < \beta < 1$ για ενδιάμεσες καταστάσεις ροής.

Η μαθηματική υποστήριξη της μεθόδου βασίζεται στην εφαρμογή της εξίσωσης συνέχειας, που επιβάλλει για τις μάζες του αέρα που εισέρχονται και εξέρχονται, από τον προς μέτρηση χώρο, στον ίδιο χρόνο, να είναι ίσες. Δηλ.:

$$m_{in} = m_{out} \implies P_{out}V_{in} = P_{in}V_{out}$$

όπου:

m_{in} = παροχή μάζας αέρα που εισέρχεται στο χώρο (kg/h)

m_{out} = παροχή μάζας αέρα που εξέρχεται από το χώρο (kg/h)

P_{in} = πυκνότητα του αέρα στο εσωτερικό (kg/m^3)

P_{out} = πυκνότητα του αέρα στο περιβάλλον (kg/m^3)

V_{in} = παροχή όγκου αέρα που εισέρχεται στο χώρο (m^3/h)

V_{out} = παροχή όγκου αέρα που εξέρχεται από το χώρο (m^3/h)

Το τελικό αποτέλεσμα εφαρμογής της μεθόδου είναι το διάγραμμα αεροπερατότητας συναρτήσσει της ασκούμενης διαφοράς πίεσης.

Το διάγραμμα αυτό περιέρχεται σε έκθεση όπου επίσης καταχωρούνται όλες οι πληροφορίες που αφορούν:

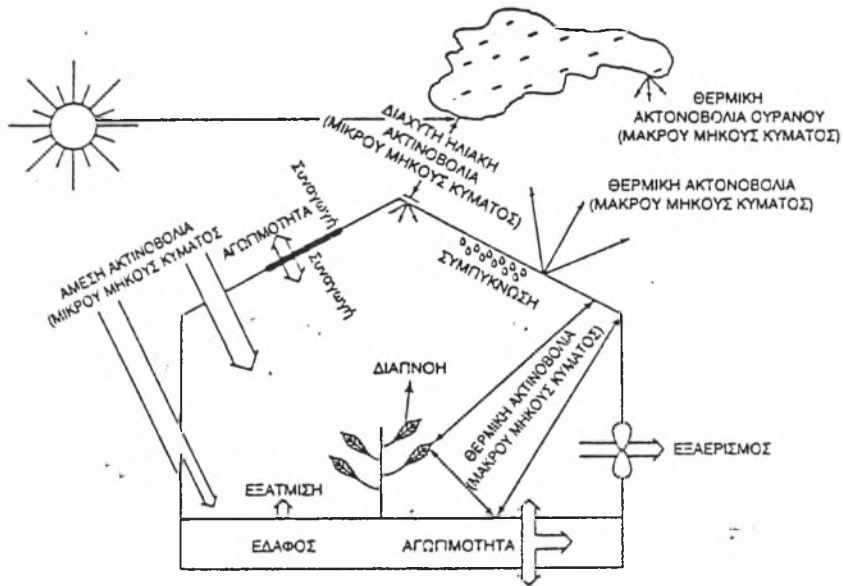
- περιγραφή του υπό μέτρηση χώρου
- μετεωρολογικές συνθήκες κατά την εκτέλεση των μετρήσεων
- διαδικασία εφαρμογής της μεθόδου

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι οι μετρήσεις αερισμού κτιρίων και αεροπερατότητας δομικών στοιχείων με τις μεθόδους εφαρμογής πίεσης δεν χρειάζονται περίπλοκο και δαπανηρό εξοπλισμό και είναι απλές στην εφαρμογή. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων είναι αξιόπιστα και χρήσιμα σε ποιοτικούς ελέγχους, συγκριτικές μελέτες και σύνταξη προδιαγραφών.

III.

1. Ισοζύγιο ενέργειας

Γιά να μπορούμε να προσδιορίσουμε τη θερμοκρασία του αέρα και των φυτών που συμβαίνουν σε δεδομένες συνθήκες ή για να υπολογισθεί ο ρυθμός εφοδιασμού σε ενέργεια που είναι αναγκαίος για να επιτευχθεί κάποια θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου, θα πρέπει να προσδιορισθεί το ισοζύγιο ενέργειας για όλα τα συστατικά θερμοκηπίου που αλληλεπιδρούν θερμικά. Αυτά συνήθως περιλαμβάνουν τον αέρα, τα φυτά, το έδαφος και το κάλυμμα.



Κάθε ισοζύγιο ενέργειας συνιστάται από ισότητες που περιγράφουν τις εισροές και τις εκροές ενέργειας και επίσης το ρυθμό αλλαγής της θερμοκρασίας των συστατικών στην περίπτωση της ανάλυσης του χρόνου.

Οι ισότητες του ισοζυγίου ενέργειας δημιουργούνται σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία των αλληλεπιδρώντων σωμάτων η οποία μπορεί να προσδιορισθεί με τη λύση της εξίσωσης.

Το στιγμιαίο ισοζύγιο ενέργειας για τα διάφορα

συστατικά του θερμοκηπίου μπορεί να γραφεί όπως ακολούθως:

$$\text{Αέρας: } Q_p + Q_s + Q_c + Q_h + Q_v = 0$$

$$\text{Φυτά: } Q_a + Q_\lambda + Q_{rs} + Q_{rh} + Q_{sr} + Q_{ro} = 0$$

$$\text{Έδαφος: } Q_a + Q_\lambda + Q_{rp} + Q_{cs} + Q_{rc} + Q_{rh} + Q_{sr} + Q_{ro} = 0$$

$$\text{Κάλυμμα: } Q_a + Q_\lambda + Q_{rp} + Q_{rs} + Q_{rh} + Q_{sr} + Q_{ea} + Q_{ro} = 0$$

όπου:

Q_{sr} = Ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας

Q_a = Ενέργεια με επαγωγή από τον αέρα του χώρου

Q_{ea} = Ενέργεια με επαγωγή από την είσοδο εξωτερικού αέρα

Q_p = Ενέργεια με επαγωγή από τα φυτά

Q_c = Ενέργεια με επαγωγή από το κάλυμμα

Q_h = Ενέργεια με επαγωγή από το σύστημα θέρμανσης

Q_s = Ενέργεια με επαγωγή από το έδαφος

Q_λ = Ενέργεια με λανθάνουσα θερμότητα από υγρασία αέρα

Q_v = Μεταβολή της ενέργειας λόγω ανταλλαγής ύλης με τον εξωτερικό αέρα

Q_{rp} = Ενέργεια με θερμική ακτινοβολία φυτών

Q_{rc} = Ενέργεια με θερμική ακτινοβολία καλύμματος

Q_{rh} = Ενέργεια με θερμική ακτινοβολία συστήματος θέρμανσης

Q_{ro} = Ενέργεια με θερμική ακτινοβολία ουρανού

Q_{rs} = Ενέργεια με θερμική ακτινοβολία εδάφους

Q_{cs} = Ενέργεια με αγωγιμότητα στο έδαφος

Q_{sr} = Ακτινοβολία από τον ήλιο

Για την επίλυσή τους θα πρέπει να δοθούν οι κατάλληλες τιμές στους συντελεστές θερμικής μεταφοράς, παράγοντες σχήματος και ιδιότητες των υλικών, όπως περατότητα

και εκπεμπτικότητα του υλικού κάλυψης, θερμική αγωγιμότητα του εδάφους κ.λ.π. θα πρέπει επίσης να δοθούν οι τιμές των οριακών συνθηκών (boundary conditions), οι οποίες επιδρούν στη ροή ενέργειας, αλλά δεν επηρεάζονται από αυτή. Ανάλογα με το πώς επιλύει κανείς το πρόβλημα, στις οριακές συνθήκες μπορεί να περιλαμβάνονται η θερμοκρασία του εδάφους σε αρκετό βάθος κάτω από το θερμοκήπιο ώστε να παραμένει σταθερή, η εξωτερική θερμοκρασία αέρα, η θερμοκρασία ουρανού, η ταχύτητα αέρα και η ηλιακή ακτινοβολία. Οι ισότητες του ισοζυγίου ενέργειας λύνονται συνήθως αριθμητικά και δίνουν τη θερμοκρασία κάθε συστατικού. Προστίθεται επίσης και το ισοζύγιο υδρατμών στο μοντέλο, ώστε να μπορεί να ερευνηθεί η σχετική υγρασία του αέρα και η διαπνοή των φυτών. Το ισοζύγιο υδρατμών δίδεται από τον τύπο:

$$M_t + M_c - M_e = 0$$

όπου:

M_t = η εξατμισοδιαπνοή

M_c = συμπύκνωση στο κάλυμμα

M_e = απώλειες που προέρχονται από τις διαρροές

2. Απώλειες ενέργειας

Το θερμοκήπιο χάνει ενέργεια με τον εξαερισμό και τις διαρροές του αέρα, με επαγωγή από το κάλυμμα και με ακτινοβολία (οι απώλειες από το έδαφος θεωρούνται αμελητέες), ενώ κερδίζει ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία.

ΑΠΩΛΕΙΕΣ

α) Εξαερισμός

Οι απώλειες ενέργειας από εξαερισμό βρίσκονται πολλαπλασιάζοντας το ρυθμό μεταφοράς αέρα από το θερμοκήπιο με τη διαφορά ενθαλπίας μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα:

$$q_v = \frac{V N \rho (H_i - H_e)}{3600}$$

όπου:

q_v = ο ρυθμός απωλειών θερμότητας με εξαερισμό

V = ο όγκος του θερμοκηπίου (m^3)

N = ο ρυθμός εξαερισμού, αλλαγές αέρα (S^{-1})

ρ = πυκνότητα του αέρα του θερμοκηπίου ($kg\ m^{-3}$)

$H_i - H_e$ = ειδική ενθαλπία του εσωτερικού και εξωτερικού αέρα αντίστοιχα ($J\ kg^{-1}$)

Η τιμή του N εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα του ανέμου, το μέγεθος και την έκταση των ανοιγμάτων εξαερισμού και τη στεγανότητα του θερμοκηπίου.

$$N = a + \beta V_w$$

όπου:

V_w = η μέση ταχύτητα ανέμου ($m\ s^{-1}$)

$a + \beta$ = σταθερές που εφαρμόζονται για ένα συγκεκριμένο θερμοκήπιο. Συνήθεις τιμές για ένα κλειστό θερμοκήπιο είναι 1,0 και 0,5 αντίστοιχα

β) Συναγωγή από το κάλυμμα

Οι απώλειες με συναγωγή από το κάλυμμα είναι:

$$q_o = h_{co} A_c (T_c - T_e)$$

όπου:

q_o = ρυθμός απωλειών θερμότητας με συναγωγή (W)

h_{co} = συντελεστής μεταφοράς με συναγωγή από την εξωτερική επιφάνεια ($W m^{-2} K^{-1}$)

T_c = θερμοκρασία του καλύμματος (K)

T_e = θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα (K)

Η τιμή του h_{co} εξαρτάται επίσης από την ταχύτητα του ανέμου και εκφράζεται:

$$h_{co} = c + d V_w$$

όπου c και d είναι σταθερές με τυπική τιμή 7,2 και 3,8 αντίστοιχα (Garzoli et al 1981).

γ) Θερμική ακτινοβολία από το κάλυμμα

Οι απώλειες ενέργειας με ακτινοβολία από το κάλυμμα είναι:

$$q_r = \sigma F_e A_c \epsilon_c (T_c^4 - T_{sky}^4)$$

όπου:

q_r = ο ρυθμός απωλειών θερμότητας με θερμική ακτινοβολία (W)

σ = σταθερά του Stefan-Boltzmann ($5,6697 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$)

ϵ_c = εκπεμπτικότητα του καλύμματος

T_{sky} = θερμοκρασία ουρανού (K)

F_e = παράγοντας διαμόρφωσης. περιλαμβάνει την επίδραση του εδάφους και άλλων σωμάτων που παρεμβάλλονται στη θερμική ακτινοβολία του καλύμματος

3. Ισοζύγιο ενέργειας στο κάλυμμα

Η επίλυση των εξισώσεων της συναγωγής και ακτινοβολίας, πλην των άλλων προϋποθέτει τη γνώση της θερμοκρασίας του καλύμματος T_{c1} που συνήθως δεν είναι διαθέσιμο στοιχείο. Η θερμοκρασία του καλύμματος όμως μπορεί να βρεθεί από το ισοζύγιο ενέργειας στο κάλυμμα. Επειδή το κάλυμμα έχει αμελητέα θερμοχωρητικότητα, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο ρυθμός απορρόφησης θερμότητας από την εσωτερική πλευρά του καλύμματος είναι ίσος με το ρυθμό απωλειών από την εξωτερική πλευρά του καλύμματος.

Στην περίπτωση που δεν παρουσιάζεται συμπύκνωση υδρατμών στο κάλυμμα, η θερμότητα στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος προέρχεται από συναγωγή και την ακτινοβολία του εσωτερικού του θερμοκηπίου.

Η θερμική ακτινοβολία στην εσωτερική πλευρά είναι:

$$q_{r1} = \sigma A_f F_i (T_p^4 - T_c^4)$$

όπου:

$$F = \frac{1}{1/\epsilon_p + A_f/A_c (1/\epsilon_c - 1)}$$

ϵ_p = η μέση έκπεμπτικότητα του εσωτερικού του θερμοκηπίου (συνήθως των φυτών)

T_p = η μέση θερμοκρασία των επιφανειών του εσωτερικού (φυτών κ.λ.π.). Συνήθως θεωρείται ίση με τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα T_i

Η συναγωγή στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος, είναι:

$$q_{oi} = h_{ci} A_c (T_i - T_c)$$

όπου:

h_{ci} = ο συντελεστής μεταφοράς στην εσωτερική επιφάνεια, με τυπική τιμή $7,5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ (Garzoli et al 1981)

Επομένως όταν δεν υπάρχει συμπύκνωση υδρατμών στο κάλυμμα, το ισοζύγιο ενέργειας στο κάλυμμα είναι:

$$q_o + q_r = q_{oi} + q_{ri}$$

Από αυτή την ισότητα υπολογίζεται η θερμοκρασία του καλύμματος T_c . Μπορεί να λυθεί με την επαναληπτική μέθοδο του Newton.

Στην περίπτωση που υπάρχει συμπύκνωση στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος, τότε:

Η συμπύκνωση συμβαίνει όταν η θερμοκρασία του καλύμματος είναι μικρότερη της θερμοκρασίας του σημείου δρόσου του αέρα του θερμοκηπίου. Με άλλα λόγια η συμπύκνωση συμβαίνει όταν η ειδική υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου W_i είναι μεγαλύτερη από αυτήν του κορεσμένου αέρα στη θερμοκρασία του καλύμματος W_c .

Η σχέση αυτών με τη θερμοκρασία για συνήθεις περιπτώσεις, είναι:

$$W_i = (Rh/100) (0,004055 + 0,0001152 t_i + 0,000021167 t_i^2)$$

$$W_c = 0,004055 + 0,001152 t_c + 0,000021167 t_c^2$$

όπου:

Rh = η σχετική υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου

t_i, t_c = η θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου και του καλύμματος αντίστοιχα ($^{\circ}\text{C}$)

Όταν βρεθεί η θερμοκρασία του καλύμματος T_c , από την ισότητα του ισοζυγίου ενέργειας στο κάλυμμα: $t_c = T_c - 273,2$, η τιμή W_c μπορεί να υπολογισθεί από την προηγούμενη σχέση. Αν W_c είναι μεγαλύτερο από W_i τότε συμβαίνει συμπύκνωση και ισχύει το ισοζύγιο που έχει περιγραφεί.

Όταν συμβαίνει συμπύκνωση, τότε η μεταφορά μάζας είναι:

$$M_c = h_{cd} A_c \rho (W_i - W_c)$$

όπου:

h_{cd} = ο συντελεστής μεταφοράς μάζας ($\text{kg m}^3 \text{s}^{-1} \text{m}^{-2} \text{kg}^{-1}$)

Δεχόμενοι ότι η μεταφορά θερμότητας στο κάλυμμα με τη συμπύκνωση και την συναγωγή γίνεται με τη διαδικασία της τυρβώδους διάχυσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση του Lewis για να συνδέσει το h_{cd} με το h_{ci} , έτσι:

$$h_{cd} = \frac{h_{ci}}{\rho C_p}$$

όπου:

C_p = η ειδική θερμότητα του αέρα. Σε συνήθεις συνθήκες είναι $1,012$ ($\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

Η μεταφορά θερμότητας με συμπύκνωση q_{cd} βρίσκεται επομένως από το συνδυασμό των δύο προηγούμενων εξισώσεων και πολλαπλασιάζοντας με την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης ή συμπύκνωσης (λ):

$$q_{cd} = \frac{A_c h_{ci} \lambda}{C_p} (W_i - W_c)$$

Η ακτινοβολία στο εσωτερικό του καλύματος με συμπυκνωμένους υδρατμούς πάνω σ' αυτό είναι:

$$q_{ri} = \sigma A_f F_w (T_p^2 - T_c^4)$$

όπου:

$$F_w = \frac{1}{1/\epsilon_p + A_f/A_c (1/\epsilon_{cd} - 1)}$$

ϵ_{cd} = θεωρείται η εκπεμπτικότητα του νερού. Οι συμπυκνωμένοι υδρατμοί θεωρείται ότι έχουν την ίδια θερμοκρασία με αυτήν του καλύματος

Το ισοζύγιο ενέργειας στην περίπτωση της συμπύκνωσης είναι:

$$q_o + q_r = q_{cd} + q_{oi} + q_{ri}$$

Και η ισότητα αυτή περιέχει τη θερμοκρασία του καλύματος ως το μόνο άγνωστο και μπορεί να λυθεί όπως προηγουμένως.

4. Απλοποιημένη σχέση απωλειών

Οι απώλειες ενέργειας του χώρου του θερμοκηπίου μπορεί να αποδοθούν και από την παρακάτω σχέση:

$$Q_I = U' A_c (T_i - T_e)$$

όπου:

U' = συντελεστής απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου που εκφράζεται γραμμικά και επηρεάζεται από τις ροές θερμότητας με εξαερισμό, συναγωγή, συμπύκνωση και θερμική ακτινοβολία ($W m^{-2} K^{-1}$)

A_c = η επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου (m^2)

T_i = η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (K)

T_e = η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα (K)

5. Προσδιορισμός του συντελεστή θερμικών απωλειών U'

Για ένα συγκεκριμένο υλικό καλύψεως, το U' ποικίλει πολύ, ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου, τη θερμοκρασία του ουρανού και το βαθμό στεγανότητας στον αέρα του θερμοκηπίου. Για τον υπολογισμό της τιμής του U' σε κάθε περίπτωση, μπορεί να ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Η επίλυση της εξίσωσης του ισοζυγίου ενέργειας στο κάλυμμα, επιτρέπει τον προσδιορισμό των q_o και q_r , που μαζί με τις απώλειες από εξαερισμό q_v αποτελούν το σύνολο των απωλειών του θερμοκηπίου.

Επομένως η σχέση των απωλειών ενέργειας του θερμοκηπίου, μπορεί να γραφεί:

$$U' A_c (T_i - T_e) = q_o + q_r + q_v$$

όπου:

$$U' = \frac{q_o + q_r + q_v}{A_c (T_i - T_e)}$$

Στις περιπτώσεις που επικρατεί άπνοια και ταυτόχρονα η θερμοκρασία του ουρανού είναι πολύ χαμηλή, η θερμοκρασία του καλύμματος μπορεί να είναι μικρότερη εκείνης του εξωτερικού αέρα, οπότε ο άνεμος σ' αυτή την περίπτωση μειώνει τις απώλειες από το κάλυμμα.

6. Σημασία της θερμοπερατότητας στις απώλειες ενέργειας
Εκτίμηση απωλειών ενέργειας

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

Το κλίμα που αυθόρμητα δημιουργείται "υπό κάλυψη" είναι γενικά πιο θερμό από το εξωτερικό κλίμα. Το "σύστημα θερμοκήπιο", αποτελεί λοιπόν εστία απωλειών, οι οποίες - τουλάχιστον κατά τη νύκτα - θα πρέπει να εξισορροπούνται από μια αντίστοιχη θέρμανση, αν θέλουμε να διατηρήσουμε στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μια θερμοκρασία πιο ψηλή από την του εξωτερικού αέρα. Τη μέρα, αντίθετα, η ηλιακή ακτινοβολία αντιπροσωπεύει ένα κέρδος ενεργειακό για το σύστημα που γρήγορα μας απαλλάσσει από την ανάγκη θέρμανσης και μάλιστα συχνά μας υποχρεώνει να αερίζουμε τα θερμοκήπια για να περιορίσουμε τις υπερβολικές υπερθερμάνσεις. Οι ανάγκες κατά συνέπεια σε ημερήσια θέρμανση είναι πολύ πιο μικρές απ' ό,τι τη νύκτα. Ο Γερμανός Vickermann εκτιμά ότι το ημερήσιο κόστος θέρμανσης - ανάλογα με το επίπεδο θερμοκρασίας που θέλουμε να κρατήσουμε - αντιπροσωπεύει το 10 - 25% της

ολικής δαπάνης θέρμανσης. Εμείς, ως εκ τούτου, θα περιοριστούμε σε μια προσπάθεια εκτίμησης των νυκτερινών αναγκών σε θέρμανση.

7. Μοντέλο Υπολογισμού των αναγκών σε θέρμανση

Οι ενεργειακές ανταλλαγές που λαμβάνουν χώρα μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντός του, γίνονται με διάφορες μορφές: αισθητή θερμότητα, λανθάνουσα θερμότητα, ακτινοβολία.

Συμβολίζοντας με:

RN = τη συνισταμένη των ανταλλαγών με ακτινοβολία μεταξύ του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος.

P = τις ανταλλαγές αισθητής θερμότητας μεταξύ θερμοκηπίου και εξωτερικού περιβάλλοντος στο επίπεδο του τοιχώματος.

F = τις ανταλλαγές αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας λόγω ανοιγμάτων του θερμοκηπίου (επιθυμητών και μη).

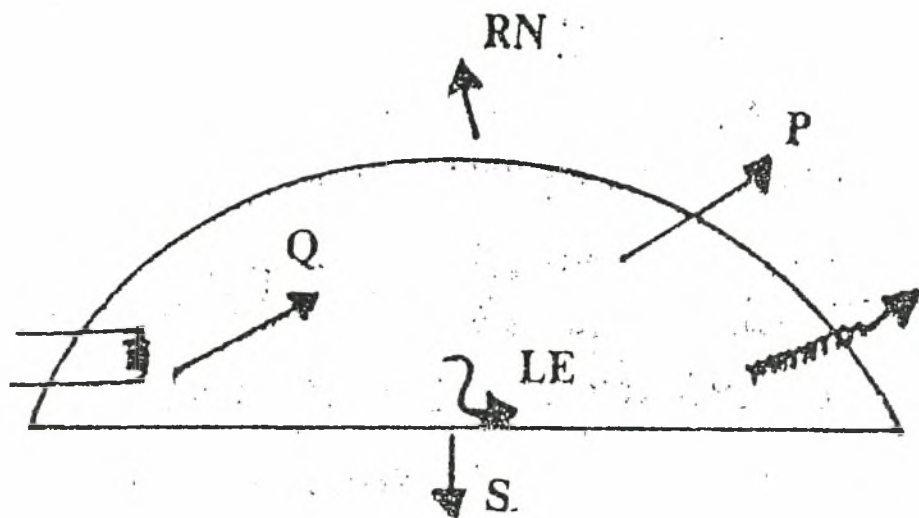
LE = τον όρο της εξάτμισης (ή υγροποίησης) μέσα στο θερμοκήπιο (L = λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού).

S = τη θερμότητα που ανταλλάσσεται με αγωγιμότητα μεταξύ του εδάφους και της επιφάνειάς του.

Q = τον όρο της θέρμανσης.

Τότε μπορούμε να γράψουμε ότι σε στατικές συνθήκες:

(Σχήμα 10).



Σχήμα 10: Ενεργειακές ανταλλαγές θερμοκηπίου

Τη νύκτα ο όρος LE μπορεί να θεωρηθεί αμελητέος, όπως και ο όρος S (της τάξης των 10 W/m^2).

Ο όρος RN αντιπροσωπεύει κατά την νύκτα απώλειες με υπέρυθρη ακτινοβολία. Ο όρος P αντιπροσωπεύει απώλειες με αγωγιμότητα - μεταφορά. Ο όρος F αντιπροσωπεύει απώλειες θερμότητας λανθάνουσας και αισθητής οφειλόμενη στη μη καλή στεγανότητα του θερμοκηπίου.

Οι εκτιμήσεις μας αυτές απαιτούνται δύο σειρές στοιχείων που πρέπει να υπολογιστούν και που είναι:

- Προσδιορισμός της διάρκειας της νύκτας (σε ώρες).
- Προσδιορισμός του αριθμού των ωρών της νύκτας με καθαρό ουρανό.
- Προσδιορισμός του αριθμού των ωρών της νύκτας με σκεπασμένο ουρανό.

- Εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας νύκτας του εξωτερικού αέρα.
- Εκτίμηση των απωλειών με υπέρυθρη ακτινοβολία.
- Εκτίμηση των απωλειών λόγω ανοιγμάτων.
- Εκτίμηση των απωλειών λόγω μεταφοράς - αγωγιμότητας, στο επίπεδο του τοιχώματος.

Η δεύτερη σειρά στοιχείων αφορά κατασκευαστικά και μετεωρολογικά δεδομένα και είναι:

- Χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου (επιφάνεια και όγκος τοιχώματος.
- Θερμοκρασία και υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου (προδιαγεγραμμένα).
- Θερμοκρασίες μέσες μηνιαίες, μέγιστη και ελάχιστη, του εξωτερικού αέρα.
- Μέση ταχύτητα ανέμου.
- Διάρκεια ηλιοφάνειας.

7.1 Μηνιαία διάρκεια ημέρας και νύκτας (σε ώρες/μήνα)

Προγραμματίζοντας τις κλασσικές σχέσεις της ηλιοτεχνικής, υπολογίσαμε τη μηνιαία διάρκεια της ημέρας D_j για τα γεωγραφικά πλάτη της Ελλάδας.

Γεωγραφικό Πλάτος (Βόρειο)	32°	34°	36°	38°	40°	42°
Ιανουάριος	315	310	306	300	295	289
Φεβρουάριος	304	301	299	296	293	290
Μάρτιος	366	365	365	364	364	363
Απρίλιος	384	386	388	390	392	395
Μάιος	423	427	431	436	441	446
Ιούνιος	422	427	432	438	444	450
Ιούλιος	430	434	439	445	450	456
Αύγουστος	407	410	413	416	419	423
Σεπτέμβριος	365	365	366	366	367	367
Οκτώβριος	346	344	342	340	337	335
Νοέμβριος	310	306	302	297	293	287
Δεκέμβριος	308	303	297	291	285	279

Η διάρκεια της νύκτας (σε ώρες/μήνα) D_N υπολογίζεται από την σχέση:

$$D_N = (\text{ημέρες μήνα}) \times 24 D_j \quad [1]$$

7.2 Προσδιορισμός του αριθμού των ωρών της νύκτας με καθαρό και νεφοσκεπή ουρανό

Μπορούμε σε πρώτη προσέγγιση [1] να δεχθούμε ότι η αναλογία των ωρών της νύκτας με καθαρό ουρανό είναι ίδια με την αναλογία των ωρών της ημέρας με ηλιοφάνεια. Έτσι, αν i είναι ο λόγος των ωρών ηλιοφάνειας προς τις ώρες της ημέρας, i θα είναι και ο λόγος ωρών της νύκτας με καθαρό ουρανό προς της ώρες της νύκτας.

Η αναλογία κατά συνέπεια των ωρών με νεφοσκεπή ουρανό θα είναι $1/i$.

7.3 Εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας νύκτας

Η θερμοκρασία του αέρα σε μια δεδομένη ώρα μπορεί να υπολογισθεί με πολύ καλή προσέγγιση από τον παρακάτω τύπο (Hallaire) [4]:

$$\theta = m + \rho \Lambda$$

όπου:

θ = θερμοκρασία του αέρα.

m = ελάχιστη θερμοκρασία της θεωρούμενης μάζας.

Λ = εύρος, δηλ. διαφορά μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας της θεωρούμενης μάζας ($M - m$).

ρ = συντελεστής που εξαρτάται για κάθε ώρα από την διάρκεια της μέρας d_j (σε ώρες).

Αν συμβολίσουμε με θ_n τις μέσες θερμοκρασίες των διάφορων ωρών της νύκτας και ρ_n τους αντίστοιχους συντελεστές, η μέση θερμοκρασία της νυκτερινής φάσης θ_n δίνεται από τη σχέση:

$$\theta_n = \frac{\sum \theta_n}{24 - d_j} = m + A \frac{\sum \rho_n}{24 - d_j}$$

Ο όρος $(\sum \rho_n/24 - d_j)$ παίρνει τις παρακάτω τιμές ανάλογα με τη διάρκεια της ημέρας:

Διάρκεια ημέρας d_j	7	9	11	13	15	17
$\sum \rho_n/24 - d_j$	0,480	0,400	0,345	0,310	0,280	0,230

8. Νυκτερινές απώλειες με υπέρυθρη ακτινοβολία

Το ισοζύγιο ακτινοβολίας κατά την νύκτα, μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντός του, όταν το κάλυμμα είναι αδιαπέραστο στην υπέρυθρη ακτινοβολία, (π.χ. γυαλί), γράφεται:

$$RN = S_c f_{cg} \sigma T_{ck}^4 + S_c f_{cs} \sigma T_{sk}^4 - S_c \sigma T_{ck}^4 \quad [2]$$

όπου:

S_c = ολική επιφάνεια του τοιχώματος του θερμοκηπίου σε m^2 .

T_{gk} , T_{sk} , T_{ck} = θερμοκρασία εξωτερικού εδάφους, ουρανού και τοιχώματος σε $^{\circ}K$.

f_{cg} , f_{cs} = συντελεστής μορφής τοίχωμα - εξωτερικό έδαφος, τοίχωμα - ουρανός.

σ = σταθερά Stefan Boltzmann.

Για να εκφράσουμε τις απώλειες ανά m^2 καλυμμένου εδάφους, πρέπει να διαιρέσουμε την εξίσωση [2] με την επιφάνεια του καλυμμένου εδάφους, S_s , οπότε:

$$RN = \frac{S_c}{S_s} [f_{cg} \sigma T_{gk}^4 + f_{cs} \sigma T_{sk}^4 - \sigma T_{ck}^4] \quad [3]$$

Δεχόμενοι ότι τη νύκτα η θερμοκρασία του εξωτερικού εδάφους πλησιάζει τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα και ότι σε πρώτη προσέγγιση η θερμοκρασία του τοιχώματος δεν απέχει πολύ κατά την νύκτα από τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, T_{ak} [1]. παίρνουμε:

$$\begin{aligned} RN &= \frac{S_c}{S_s} [f_{cg} \sigma T_{ak}^4 + f_{cs} \sigma T_{sk}^4 - \sigma T_{ak}^4] = \\ &= \frac{S_c}{S_s} f_{cs} \sigma (T_{sk}^4 - T_{ak}^4) \end{aligned} \quad [4]$$

καθ' όσον: $f_{cs} + f_{cg} = 1$

Για τη θερμοκρασία του ουρανού μπορούμε να δεχθούμε [1]:

Με καθαρό ουρανό: $T_{ak} - T_{ck} = 15^\circ K$

Με νεφοσκεπή ουρανό: $T_{ak} - T_{ck} = 14^\circ K$

θεωρώντας, όπως προαναφέραμε, ότι μπορούμε να υπολογίσουμε την αναλογία των ωρών της νύκτας με καθαρό ουρανό, με βάση την ηλιοφάνεια της μέρας, η θερμοκρασία του ουρανού μπορεί να υπολογισθεί από την σχέση:

$$T_{sk} = (T_{ak} - 15) i + (T_{ak} - 4) (1 - i) \quad [5]$$

Οι ατέλειες στεγανότητας, μεταβλητές ανάλογα με τους τύπους των θερμοκηπίων, οδηγούν σε απώλειες των οποίων το μέγεθος εξαρτάται από την ταχύτητα του εξωτερικού ανέμου. Στηριζόμενοι στις εργασίες του Gas [2] φαίνεται ότι μπορούμε να συγκρατήσουμε την παρακάτω απλοποιημένη σχέση για το ρυθμό αυθόρμητων ανανεώσεων του αέρα ενός κλειστού θερμοκηπίου:

$$R = 0,7 + 0,5 \cdot U$$

όπου:

R = ανανεώσεις αέρα σε h^{-1} και

S = ταχύτητα ανέμου σε $m \cdot S^{-1}$

Παρατήρηση: Οι Μετεωρολογικές Υπηρεσίες μετράνε την ταχύτητα του ανέμου σε ύψους 10 m. Για να εκτιμήσουμε τις ταχύτητες σε διάφορα ύψη που αντιστοιχούν στα ύψη των θερμοκηπίων μπορούμε να δεχθούμε [3] λογαριθμικό προφίλ του ανέμου σε αδιαβατικές συνθήκες, δηλαδή:

$$V_h = V_{10m} \frac{\log \frac{h_i}{z_o}}{\log \frac{10}{z_o}}$$

όπου:

h = το ύψος του θερμοκηπίου

z_o = παράμετρος τραχύτητας $\approx 0,01$ m

για τις ανάγκες της μελέτης μας.



Έτσι, μπορούμε για τις πρακτικές εφαρμογές να δεχθούμε ότι:

$$V_{2m} \approx 0,77 V_{10m} \quad \text{και} \quad V_{3,5m} \approx 0,85 V_{10m}$$

Το μέγεθος των ενεργειακών απωλειών λόγω μη καλής στεγανότητας του θερμοκηπίου εξαρτάται, εκτός από το ρυθμό ανανεώσεων του αέρα και από τη διαφορά ενθαλπίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα και δίνεται από την σχέση (ανά m^2 καλυμμένου εδάφους):

$$F = \frac{V}{S_s} \cdot R \rho \Delta H$$

όπου:

V = όγκος θερμοκηπίου σε m^3

ρ = πυκνότητα του αέρα σε kg/m^3 που μεταβάλλεται με τα χαρακτηριστικά του αέρα, εμείς όμως για τους υπολογισμούς μας συγκρατούμε την τιμή $1,25 kg/m^3$

ΔH = διαφορά ενθαλπίας μεταξύ εσωτερικού - εξωτερικού αέρα σε Wh

Η ενθαλπία του αέρα μπορεί να εκτιμηθεί από το διάγραμμα Mollier (σχήμα).

4. Ενεργειακές απώλειες με μεταφορά - αγωγιμότητα στο επίπεδο του τοιχώματος

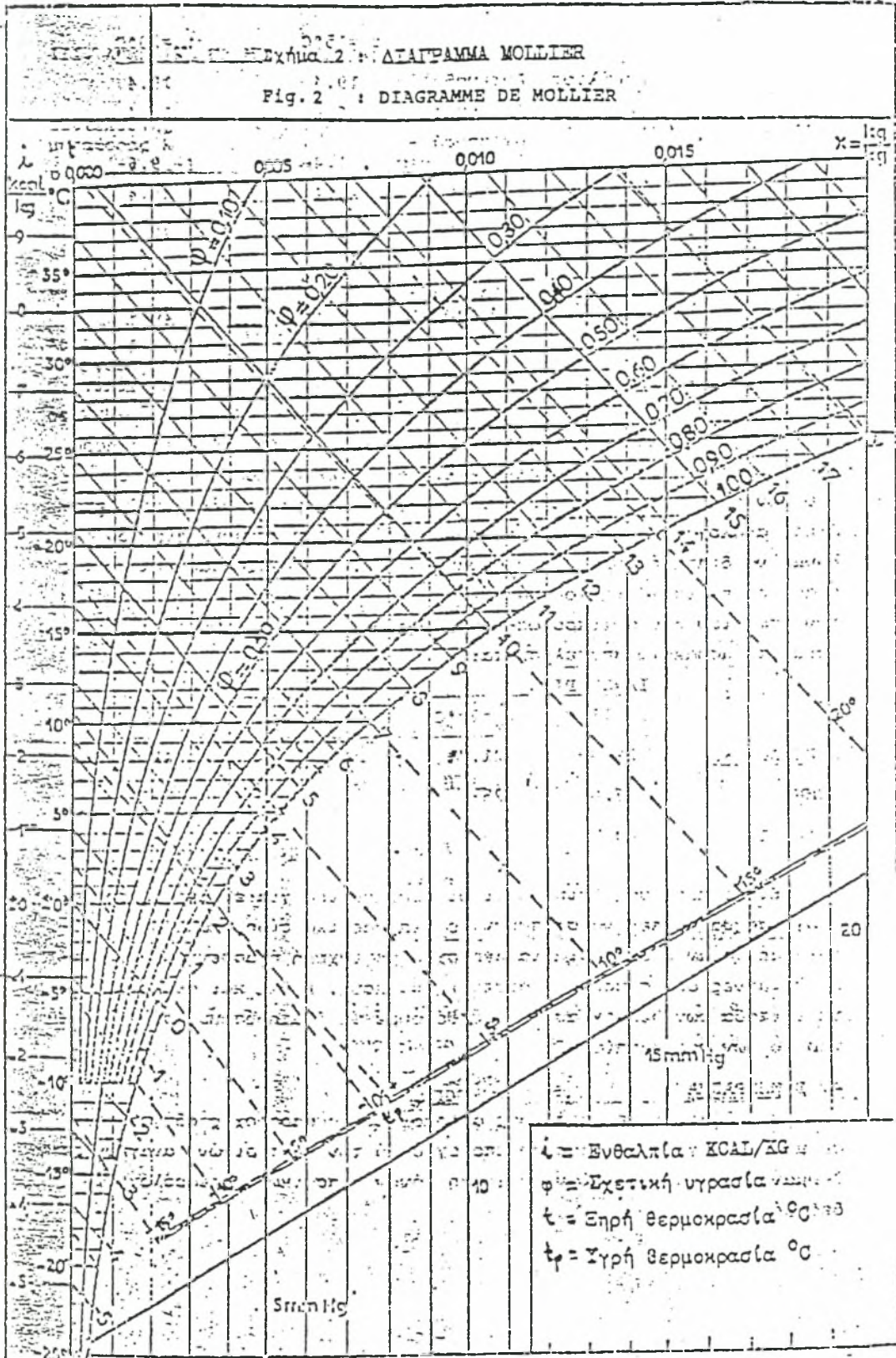
Το μέγεθος αυτών των απωλειών εξαρτάται αφ' ενός από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού - εξωτερικού του θερμοκηπίου και αφ' ετέρου από την τιμή ενός συντελεστού ανταλλαγής με αγωγιμότητα - μεταφορά. Η θεωρία και το πείραμα συγκλίνουν και γίνεται παραδεκτό ότι ο συντελεστής αυτός K είναι συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου και τείνει προς μια οριακή τιμή της τάξης των $5,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^\circ\text{C}$.

Στηριζόμενοι στα αποτελέσματα του Gas [4] συγκρατούμε τις παρακάτω τιμές:

Ταχύτητα ανέμου m/s	0	1	2	3	4	5	10	20
$K \text{ W/m}^2/^\circ\text{C}$	2.9	3.6	4.1	4.4	4.6	4.8	5.2	5.5

Εξήκω 2 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ MOLLIER

Fig. 2 : DIAGRAMME DE MOLLIER



Τα προηγούμενα ήταν μία μέθοδος η οποία προτείνεται για τον υπολογισμό των αναγκών σε θέρμανση των θερμοκηπίων. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται σε ένα απλοποιημένο μοντέλο των ενεργειακών απωλειών του θερμοκηπίου που χρησιμοποιεί μόνο κλασικά μετεωρολογικά δεδομένα. Προς αποφυγή των αναλυτικών υπολογισμών, τα διάφορα στοιχεία που απαιτούνται για τη χρησιμοποίηση της μεθόδου προσδιορίζονται από σχετικούς πίνακες και το διάγραμμα Mollier.

Οι προσπάθειες που γίνονται για εξοικονόμηση ενέργειας θα πρέπει να στραφούν σε διαφορετικά είδη απωλειών ανάλογα με το αν πρόκειται για περιοχές με ισχυρή ή ασθενή νέφωση, εκτεθειμένες σε ισχυρούς ή ασθενείς ανέμους, καθώς και ανάλογα με τα επίπεδα των θερμοκρασιών που θέλουμε να διατηρήσουμε στο εσωτερικό των θερμοκηπίων.

Συμπερένουμε λοιπόν ότι βασιζόμενοι σε διάφορες απλοποιημένες παραδοχές οδηγηθήκαμε σε μια προσεγγιστική μέθοδο υπολογισμού των νυκτερινών αναγκών σε θέρμανση των θερμοκηπίων με χρήση μόνο κλασικών μετεωρολογικών δεδομένων. Η χρησιμοποίηση της μεθόδου επιτρέπει να φανεί η διαφοροποίηση των ενεργειακών απωλειών των θερμοκηπίων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του κλίματος της περιοχής εγκατάστασή τους.

10. Υπολογισμός των απωλειών με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται στην οικοδομή

Για περιπτώσεις που δεν απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια, ιδιαίτερα για τον προσδιορισμό του μέγιστου ποσού θερμικών απωλειών, μια περισσότερο απλοποιημένη μέθοδος είναι συνήθως αρκετή. Σ' αυτή την περίπτωση το θερμοκήπιο θεωρείται ως ένα σώμα που αυξάνει την ενέργειά του με την ακτινοβολία που δέχεται από τον ήλιο και την θερμότητα που απελευθερώνεται μέσα σ' αυτό από το σύστημα θέρμανσης και χάνει ενέργεια από το κάλυμμα και με τις διαφυγές του αέρα από το χώρο του.

Οι συνολικές απώλειες θερμότητας από το θερμοκήπιο μπορούν να εκφραστούν ανά μονάδα εδάφους, όπως παρακάτω:

$$q = q_c + q_v \quad [W \ m^{-2}]$$

όπου:

q_c = όλες οι απώλειες ενέργειας (κυρίως συναγωγή και ακτινοβολία) μέσω του καλύμματος $[W \ m^{-2}]$

q_v = απώλειες ενέργειας από τις διαρροές αέρα $[W \ m^{-2}]$

Απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα: οι απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα με αρκετά καλή προσέγγιση, μπορούν να εκφραστούν από τη γραμμική σχέση:

$$q_c = K_c \frac{A_c}{A_g} \cdot (T_i - T_o) \quad [W]$$

όπου:

A_c = η επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου [m^2]

A_g = η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου [m^2]

K_c = ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το κάλυμμα [$W m^{-2} K^{-1}$]

$T_i - T_o$ = η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα [K]

Στην οικοδομή, για τον υπολογισμό του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας των κατασκευών, έχει εισαχθεί η έννοια των συνθηκών επιφανείας, για να εκφραστεί η θερμότητα που μεταφέρεται στην εσωτερική ή την εξωτερική πλευρά ενός κατασκευαστικού στοιχείου με ακτινοβολία, συναγωγή και συμπύκνωση - εξάτμιση.

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας κατασκευαστικών στοιχείων, όπως τοίχοι και οροφές, μπορεί να προσδιοριστεί αν συνδυαστούν οι θερμικές αντιστάσεις των υλικών από τα οποία αποτελείται το κατασκευαστικό στοιχείο, με την κατάλληλη αντίσταση συνθηκών επιφανείας, π.χ.:

$$K = \frac{1}{R_i + R_\lambda + R_o} \quad [W m^{-2} K^{-1}]$$

όπου:

R_i = η θερμική αντίσταση συνθηκών της εσωτερικής επιφανείας [$m^2 K W^{-1}$]

R_λ = η θερμική αντίσταση του υλικού [$m^2 K W^{-1}$]

R_o = η θερμική αντίσταση συνθηκών της εξωτερικής επιφανείας [$m^2 K W^{-1}$]

Σε μια κατασκευή όπως το θερμοκήπιο, η θερμότητα που μεταφέρεται στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος (με ακτινοβολία, συναγωγή και με τη λανθάνουσα θερμότητα όταν συμβαίνει συμπύκνωση), επηρεάζεται από τον τύπο και τη θέση του συστήματος θέρμανσης και επομένως ο συντελεστής συνθηκών επιφανείας της εσωτερικής πλευράς του καλύμματος είναι διαφορετικός στην κάθε περίπτωση. Τιμές θερμικών αντιστάσεων συνθηκών του εσωτερικού της επιφάνειας του καλύμματος δίδονται στον παρακάτω πίνακα.

Σύστημα θέρμανσης	$m^2 K W^{-1}$
Σωλήνες ψηλά	0,09
Σωλήνες στα τοιχώματα και ενδιάμεσους στύλους	0,09
Σωλήνες κάτω από τραπέζια καλλιέργειας	0,10
Σωλήνες στο έδαφος	0,12
Αερόθερμα ελεύθερα	0,09
Αερόθερμα με αγωγούς αέρα	0,10
Μικτό, σωλήνες και αερόθερμα	0,10

Πίνακας . Αντιστάσεις συνθηκών του εσωτερικού της επιφάνειας του καλύμματος R_i (von Zabeltitz 1986)

Το κάλυμμα του θερμοκηπίου μπορεί να αποτελεί από περισσότερα επίπεδα, όπως διπλό κάλυμμα ή τριπλό. Η συνολική θερμική αντίσταση είναι επομένως το άθροισμα των αντιστάσεων των διαφόρων επιπέδων, π.χ.:

$$R_a = \sum R_j \quad [m^2 K W^{-1}]$$

όπου:

R_j = η θερμική αντίσταση ενός επιπέδου

Για στερεά στοιχεία:

$$R_j = 1/\lambda$$

όπου:

λ = ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού που δίδεται από πίνακες

Τιμές του R_a για συνήθη υλικά κάλυψης θερμοκηπίου δίδονται στον παρακάτω πίνακα.

Υλικό κάλυψης	$m^2 K W^{-1}$
Απλός υαλοπίνακας	0,01
Απλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού κυματοειδής 1mm	0,01
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 15 mm	0,24
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 12 mm	0,11
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 6 mm	0,09
Απλό φύλλο πλαστικού PE, PVC	0,01
Διπλό φύλλο πλαστικού με κενό αέρος 12 mm	0,15
Διπλό φύλλο πλαστικού με κενό αέρος 5 mm	0,15

Πίνακας 2. Θερμική αντίσταση υλικών κάλυψης θερμοκηπίων R_a (von Zabeltitz, 1986)

Αν ένα τμήμα του θερμοκηπίου είναι κατασκευασμένο με χτιστό τοίχο, η απώλεια ενέργειας μέσω αυτού υπολογίζεται από τον ίδιο τύπο, αφού ληφθεί υπόψη η θερμική αντίσταση που παρουσιάζει ο τοίχος και η έκταση της επιφάνειας για τον υπολογισμό του ολικού συντελεστή θερμότητας.

Υλικό	$W \text{ m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
Τούβλο	0,84
Τσιμεντόλιθος	0,15 - 0,30
Τσιμεντότοιχος	1,40
Εύλο μαλακό	0,13
Εύλο σκληρό	0,15
Διογκωμένη πολυστρεΐνη	0,03
Πολυουρεθάνη, άκαμπτες επιφάνειες	0,02

Πίνακας 3. Θερμική αγωγιμότητα των υλικών τοιχοποιίας (λ) (IHVE, 1971)

Τα διαφανή καλύμματα επειδή έχουν μικρό πάχος (πλαστικό ή γυαλί) έχουν μικρή θερμική αντίσταση και σε χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες η ροή ενέργειας προς τα έξω είναι μεγάλη. Όσο η διάρκεια της νύχτας γίνεται μεγαλύτερη (λιγότερη ενέργεια από τον ήλιο στο θερμοκήπιο και έξω από αυτό), τόσο οι απαιτήσεις για θέρμανση στο θερμοκήπιο είναι μεγαλύτερες.

Μερικά μονωμένα θερμοκήπια που έχουν δημιουργηθεί με τεχνητό φωτισμό απαιτούν 80% λιγότερη θέρμανση σε σχέση με τα διαφανή (Chandra P. and Albright L., 1980).

Από την εξωτερική πλευρά του καλύμματος του θερμοκηπίου η θερμότητα μεταφέρεται με βεβιασμένη συναγωγή και θερμική ακτινοβολία. Η τιμή της θερμικής αντίστασης των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας, επηρεάζεται επομένως από τον άνεμο, τη βροχή και την ακτινοβολία του ουρανού. Τιμές της θερμικής αντίστασης των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας δίδονται στον παρακάτω πίνακα:

Έκθεση στον άνεμο	Πλευρές $m^2 K W^{-1}$	Οροφή $m^2 K W^{-1}$
Απανέμη	0,08	0,07
Κανονική	0,055	0,045
Εκτεθειμένη	0,03	0,02

Πίνακας 4. Αντιστάσεις των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας καλύμματος του θερμοκηπίου (ΙΗΝΕ 1971)

Διαφυγές αέρα: Αφορούν την ενέργεια που ανταλλάσσεται με την είσοδο και έξοδο του αέρα στο θερμοκήπιο.

Ο ρυθμός ανταλλαγών αέρα εξαρτάται από το σχήμα του θερμοκηπίου, το υλικό κάλυψης, τον τρόπο προσαρμογής του υλικού κάλυψης, τη θέση των παραθύρων εξαερισμού και την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου.

Για τον προσδιορισμό της ανταλλασόμενης ενέργειας από τις διαρροές του αέρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η επόμενη σχέση:

$$q_v = C_p \cdot \rho \cdot V_g \cdot N \cdot (T_i - T_e) \quad [W]$$

όπου:

V_g = ο όγκος του θερμοκηπίου [m^3]

N = ο αριθμός των ανανεώσεων του αέρα στη μονάδα του χρόνου

Η προηγούμενη σχέση έχει παρέλθει από τον παρακάτω συλλογισμό:

q_v = η ενέργεια του εισερχόμενου αέρα (q_i) μείον την ενέργεια του εξερχόμενου αέρα (q_o)

$$q_v = q_i - q_o = m \cdot (H_i - H_e)$$

όπου:

q_v = Συνολικές απώλειες από διαφυγές του αέρα [W]

m = μάζα του αέρα [g]

H_i = Ενθαλπία εσωτερικού αέρα [$J Kg^{-1}$]

H_e = Ενθαλπία εξωτερικού αέρα [$J Kg^{-1}$]

Για τον ξηρό αέρα: $C_p = dH/dT$, $dH = C_p \cdot dT$, και επομένως:

$$H_i - H_e = C_p \cdot (T_i - T_e)$$

Για τους υδρατμούς:

$$H_w = C_{pw} \cdot T \cdot w = \lambda \cdot W$$

άρα:

$$q_v = q_i - q_o = m \cdot (H_i - H_e) = m \cdot C_p \cdot (T_i - T_e) + \\ C_{pw} \cdot (W_i \cdot T_i - W_e \cdot t_e) + \lambda \cdot (W_i - W_e)$$

όπου:

C_p = Ειδική θερμότητα του αέρα για σταθερή πίεση
[J Kg⁻¹ °C⁻¹]

C_{pw} = Ειδική θερμότητα υδρατμών για σταθερή πίεση
[J Kg⁻¹ °C⁻¹]

W_i = Υγρασία αέρα θερμοκηπίου [Kg Kg⁻¹ ξηρού αέρα]

W_e = Υγρασία του εξωτερικού αέρα [Kg Kg⁻¹ ξηρού αέρα]

Επειδή η μεταβολή ενέργειας από τη μεταβολή της υγρασίας του αέρα σε πολλές περιπτώσεις είναι σχετικά μικρή, για την απλοποίηση των υπολογισμών ο αέρας μπορεί να θεωρηθεί ξηρός. Σ' αυτή την περίπτωση:

$$q_v = m \cdot C_p \cdot (T_i - T_e)$$

Επειδή δε:

$$m = P_p \cdot V_a \quad \text{και} \quad V_a = V_g \cdot N$$

άρα:

$$q_v = C_p \cdot \rho_a \cdot V_g \cdot N \cdot (T_i - T_e)$$

Για μέσες συνθήκες $C_p = 1012 \text{ J Kg}^{-1} \text{ °C}^{-1}$ και
 $\rho = 1,2 \text{ Kg m}^{-3}$, άρα $C_p \cdot \rho = 1214 \text{ J m}^{-3} \text{ °C}^{-1}$ ή $0,34 \text{ Wh m}^{-3} \text{ °C}^{-1}$.

$$q_v = 0,34 \cdot V_g \cdot N \cdot (T_i - T_e) \quad [W]$$

όπου:

ρ = Πυκνότητα του αέρα $[Kg \ m^{-3}]$

V_a = Όγκος ανταλασσομένου αέρα $[m^3 \ h^{-1}]$

V_g = Όγκος θερμοκηπίου $[m^3]$

N = Αριθμός ανανεώσεων του αέρα του θερμοκηπίου στη μονάδα του χρόνου

Συνολικές απώλειες

Αν θέσουμε $C_p \cdot \rho \cdot V_g \cdot N = K_v$ τότε $q_v = K_v \cdot (T_i - T_e)$

Αν συνδυάσουμε την ισότητα που δίνει τις απώλειες από το κάλυμμα και αυτήν που δίνει τις απώλειες από τις διαρροές του αέρα, τότε:

$$q = K_c \cdot (T_i - T_e) \cdot A_s + K_v \cdot (T_i - T_e) \cdot A_s$$

$$\text{ή για } U = K_c + K_v$$

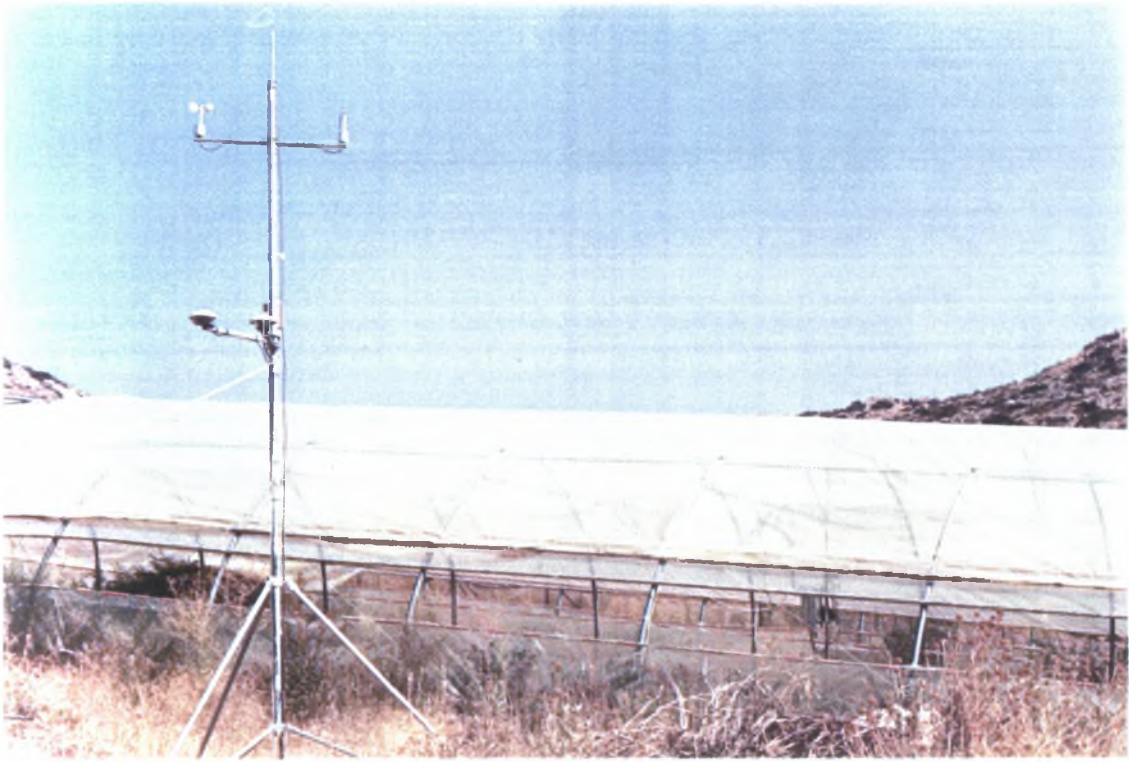
$$q = U \cdot (T_i - T_e) \cdot A_s$$

Αυτός ο γενικός τύπος χρησιμοποιείται συνήθως για τον υπολογισμό της ισχύος του συστήματος θέρμανσης στο θερμοκήπιο.

Α. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή του πειράματος περιλαμβάνει:

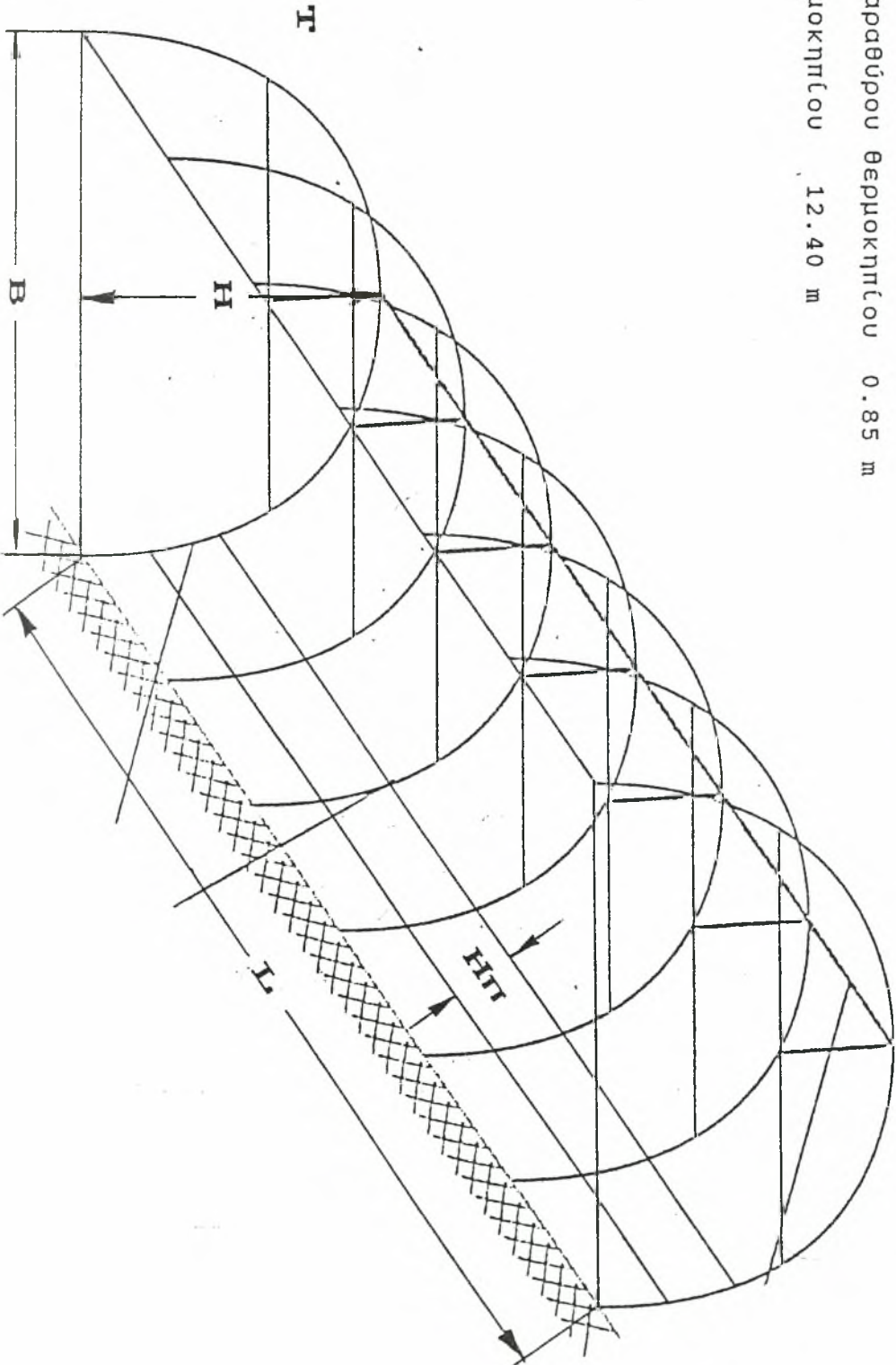
- Ένας υπολογιστής τύπος CR 10
- Ένας αναλυτής αερίων
- Όργανα για την μέτρηση βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων (θερμοκρασίας, διεύθυνσης και ταχύτητας ανέμου)
- Αέριο CO₂ σε υπερπίεση



Εικόνες: του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντός του στο οποίο πραγματοποιήθηκε το πείραμα.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

H = ύψος θερμοκηπίου 3.15 m
L = μήκος θερμοκηπίου 29.50 m
B = πλάτος θερμοκηπίου 9.14 m
Hπ = ύψος παραθύρου θερμοκηπίου 0.85 m
T = τόξο θερμοκηπίου 12.40 m



B. ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΒΑΣΙΚΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

1. ΜΕΤΡΑ ΑΠΟ ΘΕΡΜΟΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ

Η χρήση των θερμοαντιστάσεων ως αποδέκτες της θερμοκρασίας στηρίζεται στην ύπαρξη σχέσης ανάμεσα στην ηλεκτρική αντίσταση ενός αγωγού και στη θερμοκρασία του.

Την ποικιλότητα ή διαφοροποίηση η ηλεκτρική αντίσταση ίσως την οφείλει κατά ένα μέρος στις θερμικές διαστολές του αγωγού (μήκος, τμήμα) και κατά άλλο μέρος στις μεταβολές της ευαισθητοαντίστασης. Η επίδραση των φαινομένων της διαστολής είναι δευτερεύουσας σημασίας μπροστά στην ποικιλότητα της ηλεκτρικής αντιστάσεις.

Ο συντελεστής της θερμοκρασίας της αντίστασης είναι της σειράς των $4 \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$.

Οι θερμοαντιστάσεις που εμείς χρησιμοποιούμε είναι αντιστάσεις θερμομετρικές από πλατίνα εκ των οποίων ο μέσος συντελεστής θερμοκρασίας που μας ενδιαφέρει είναι $0,388 \Omega/^{\circ}\text{C}$

Θερμοκρασία $^{\circ}\text{C}$	- 30	- 20	- 10	0	10	20	30
Αντίσταση Ω	88.17	92.13	96.07	100	103.9	107.79	111.67
Θερμοκρασία $^{\circ}\text{C}$	40	50					
Αντίσταση Ω	115.54	119.40					

Αυτά τα σόντα (βολίδες) της αντίστασης είναι παρόντα (παρουσιάζονται) με τη μορφή μπαστουνακιών από γυαλί (μήκος = 50 mm - διάμετρο = 5 mm) το εσωτερικό των οποίων είναι γεμάτο από τυλίγματα πλατίνας.

Οι αιτιολογίες, που έχουν γίνει, συγκρατούν τις διαστάσεις και έχουν δύο διαταγές:

Πρώτα - πρώτα πρέπει ο όγκος του αποδέκτη να είναι έστω αρκετά μικρός για την ευπάθεια του χρόνου και να αξιοποιείται συμπιεσμένος μεταξύ 30 και 60" για να απαντήσει στις συστάσεις της CIMO (αυτή υπάρχει στην πραγματικότητα, στον ήρεμο αέρα, για περίπου 50"). Στη συνέχεια, πρέπει η επιφάνεια της ανταλλαγής με το εξωτερικό περιβάλλον να είναι όσο το δυνατόν γίνεται μεγαλύτερη ώστε η άτακτη ενέργεια από το ρεύμα του μέτρου στην αντίσταση που αντλείται χάνεται (εκκενώνεται) και αποφεύγει με προθέρμανση παράσιτα αρκετά σημαντικά.

Μια θερμοβολίδα της αντίστασης R που διασχίζεται από ένταση i δέχεται από επίδραση joule μια ενέργεια Ri .

Επιλλέον διαλύει στην επιφάνεια της, την ενέργεια $ct S \theta$.

ct = συντελεστής της επιφάνειας διάλυσης

S = επιφάνεια της θερμοβολίδος

θ = η διαφορά της θερμοκρασίας που υπάρχει μεταξύ της θερμοκρασίας του αποδέκτη και του περιβάλλοντος.

Σε μόνιμη βάση θα μπορούσε $Ri^2 = ct \cdot S \cdot \theta$

$$i_0 = \frac{ct \cdot S \cdot \theta}{R}$$

Για να επιτραπεί η χρήση των βιομηχανικών ηλεκτρικών συσκευών που μετρούν και για να συντηρηθεί μια καλή αισθητικότητα δεν μπορεί να μειώσουμε την ένταση του μέτρου σε μια πολύ αδύναμη αξία. Οι συσκευές που είναι διαθέσιμες τους επιβάλουμε μια ένταση πολύ μικρή και για την συντήρηση στο θ μιας αξίας εσωτερικής στο θ_0 δεν θα μπορούσαμε να ενεργήσουμε στην επιφάνεια του

αποδέκτη, ο οποίος οφείλει να είναι ανώτερος στο:

$$R_i^2 / ct \cdot \theta_0$$

Πρακτικά, με τις θερμοβολίδες εκ των οποίων οι διαστάσεις ήταν προσδιορισμένες πολύ ψηλά, η προθέρμανση που διαπιστώθηκε σε ήρεμο αέρα δεν ξεπέρασε τους 0.04 °C από τη στιγμή που η ένταση του ρεύματος στο μέτρο είναι εσωτερική ίση με 3 mA.

Για να μετρήσουμε την θερμοκρασία που χάθηκε από την αντίσταση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την παρακάτω φόρμα:

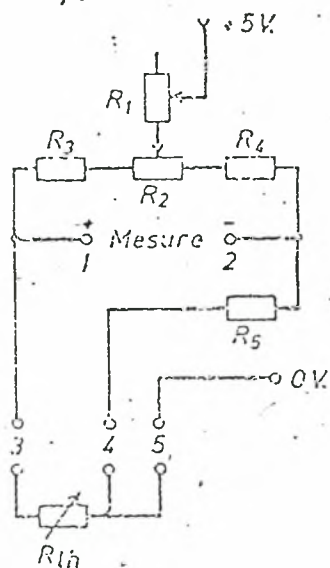
$$R_f = R_0 (1 + AT + BT^2)$$

$$A = 0.3907 \cdot 10^{-3}$$

$$B = 0.5784 \cdot 10^{-6}$$

Οι σχετικές συναρμολογήσεις στις θερμοβολίδες για να παρουσιαστούν δημοσίως και για να καταγραφούν οι θερμοκρασίες ήταν η κύρια ασχολία του Wheatstone. Η συναρμολόγηση που εμείς χρησιμοποιήσαμε επέτρεπε την απόκτηση μιας ανάλογης έντασης (πίεσης) στην μετρημένη θερμοκρασία. Το πρωταρχικό σχήμα της δουλειάς του Wheatstone τελειοποιήθηκε για τα μέτρα της θερμοκρασίας και ξαναπαρουσιάζεται εδώ κάτω. Η θερμομετρική αντίσταση R_{tH} είναι ανοδική στο πρωτοσέλιδο των κλωδων της δουλειάς σε σειρά με μια πολύ δυνατή αντίσταση R_3 (10 kΩ). Όπως η ποικιλότητα της k_{tH} σύμφωνα με την θερμοκρασία είναι αδύναμη μπροστά από εκείνη του κλάδου της δουλειάς μέσα στην οποία είναι τοποθετημένη η ένταση του ρεύματος που τη διασχίζει είναι σταθερή. Όπως η αξία της αντίστασης από πλατίνα μέσα σε μια γκάμμα περιορισμού της θερμοκρασίας ποικίλει γραμμικά μαζί με τη θερμοκρασία. Έτσι και η

ένταση (πίεση) της ανισορροπίας της γέφυρας θα διαφοροποιείται επίσης αισθητά γραμμικά με τη θερμοκρασία. Το δυναμικόμετρο R_2 επιτρέπει την εξισορρόπηση της γέφυρας στους $0\text{ }^\circ\text{C}$. Η τοποθέτηση του R_2 στο ηλεκτρικό κύκλωμα επιτεύχθηκε για να γίνουν τα ρεγουλαρίσματα, οι ρυθμίσεις πολύ εύκολες. Η διαφορά θερμοκρασιών στο σινιάλο που αποδεδμεύεται (χορηγείται) από τη γέφυρα του Wheatstone είναι ρυθμισμένη με τη βοήθεια του δυναμικόμετρου R_1 . (Σχήμα).



R_1	=	$10\text{ K}\Omega$	
R_2	=	100Ω	
R_3	=	$10\text{ K}\Omega$	1%
R_4	=	$10\text{ K}\Omega$	1%
R_5	=	100Ω	1%
R_{th}	=	100Ω	à 0°C

Η θερμομετρική βολίδα είναι συνδεδεμένη με τη γέφυρα από μια συναρμολόγηση από 3 σύρματα (καλώδια) για την εξόντωση της επίδρασης των καλωδίων του δεσμού τους στο μέτρο.

Το σφράγισμα των γεφυρών πραγματοποιείται μέσα σ' ένα θερμοστατικό μπάνιο ρυθμισμένο στους $0.05\text{ }^\circ\text{C}$ κατά το μείον.

α) Η εξισορρόπηση της γέφυρας στους $0\text{ }^\circ\text{C}$ ενεργεί μέσα στη R_2 . Θα μπορούσαμε να πάρουμε ένα μηδενικό ανακατεύοντας σ' ένα ποτήρι νερό απεσταγμένο μπαταρίας μαζί μ' αποσταγμένο νερό μέσα σε δοχείο Dewar.

β) Ρύθμιση της θερμοκρασίας του σινιάλου ενεργεί μέσα

στο R₁ βουτώντας τις αντιστάσεις σ' ένα μπάνιο 30 ή 35 °C (κατά προτίμηση).

Η ακρίβεια της μέτρησης της θερμοκρασίας σ' ένα τέτοιο σύστημα είναι η διάταξη των ± 0.3 °C

Όποιος έστω χρησιμοποιεί τον συντελεστή, τον οποίο κανείς χρειάζεται (θέλει) για να εισέλθει στην θερμοκρασία του αέρα πρέπει το αισθητήριο όργανο του συντελεστή να προστατεύει ενάντια στην ακτινοβολία και να αερίζεται. Αυτές οι δύο συνθήκες είναι ικανοποιητικές στην περίπτωση που το ψυχρόμετρο αερίζεται όπως το χρησιμοποιούμε.

2. ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΑ

Αυτά αποτελούνται από ένα συντελεστή (μουλινέτο) κι ένα διαβιβαστή ο οποίος μετασχηματίζει την περιστροφή του συντελεστή σ' ένα μετρήσιμο μέγεθος (ηλεκτρικό σινιάλο για παράδειγμα) που διαβιβάζεται σε απόσταση.

2.1. ΟΙ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ

Το μουλινέτο είναι ένας συντελεστής και μετρά την προβολή (εκτόξευση) του διανύσματος του ανέμου σ' ένα κατακόρυφο πλάνο στον άξονα περιστροφής του. Οι πολυάριθμες μελέτες έγιναν επιχειρήσεις για τον προσδιορισμό του σχήματος και των διαστάσεων των μουλινέτων. Ο Πάτερσον το 1962 ανακάλυψε ότι το μουλινέτο με 3 κουπίτσες έδωσε μια ροπή περισσότερο τακτική απ' ότι τα μουλινέτα με 2 και 4 κουπίτσες. Το μουλινέτο οφείλει να έχει μια απάντηση εξίσου συμμετρική όσο είναι δυνατό στην επιτάγχυνση και υποτάγχυνση (αρνητική επιτάγχυνση ή διακοπή επιτάγχυνση). Ο Σέπαρντ το 1940 έδειξε ότι είναι ικανοποιητικό να εφοδιάζουμε τις κουπίτσες με μια μικρή δίπλα πάχους στην περιφέρειά τους, γιατί το μουλινέτο είναι μια απάντηση συμμετρική. Τελικά πρέπει έστω το μουλινέτο να είναι ελαφρύ. Οι πρόσφατες συσκευές (μηχανές) ήταν σύνθετες, κινητές εκ των οποίων τα βάρη δεν ξεπερνούν τα 40 γρ.

2.1.2. ΤΟ ΣΩΜΑ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗΣ

Σκοπός του είναι να μετασχηματίσει την περιστροφή του μουλινέτου σ' ένα μετρήσιμο μέγεθος. Τα ανεμόμετρα με γρήγορη ταχύτητα χρησιμοποιούν γενικά όπως οι διαβιβαστές δυναμό που μετρούν την ταχύτητα.

Ο άξονας περιστροφής του μουλινέτου είναι απ' ευθείας κομπλέ στον άξονα περιστροφής του εναλλακτήρα ή τον δυναμό. Αυτού του είδους τα ανεμόμετρα παρουσιάζουν ένα μεγάλο μειονέκτημα: Η ροπή τους στο ξεκίνημα είναι υψηλή και δεν μπορούν έτσι να μετρήσουν τους ανέμους με ταχύτητα κατώτερη των 2 ή 3 ms^{-1} .

Από άλλους η αδράνεια του κινητού πληρώματος είναι αισθητά μεγαλύτερη απ' ότι στις συσκευές που δεν επιτρέπουν την ανάλυση της λεπτής δομής του ανέμου, είναι γεμάτες λάθη.

Για να καταργήσουμε τα μειονεκτήματα, ο άξονας του μουλινέτου προσελκύει (τραβάει) ένα δίσκο πολύ ελαφρύ ο οποίος έχει μια σειρά από σχισμές και κοβει μια δέσμη φωτός κατευθυνόμενη σ' ένα φωτοηλεκτρικό κύτταρο.

Το σώμα διαβίβασης εκπέμπει μια σειρά από ωθήσεις, μετασχηματισμένες σ' ένα ηλεκτρονικό προσαρμοστή με μια συνεχόμενη ταχύτητα ανάλογη με την ταχύτητα του ανέμου. Έτσι από τη χρησιμοποίηση των οπτοηλεκτρονικών συστημάτων για να μετρήσουν την ταχύτητα περιστροφής του μουλινέτου, μπορεί κανείς να συνειδητοποιήσει τα ανεμόμετρα των οποίων το όριο ξεκινήματος είναι ορισμένο μεταξύ 10 και 15 ms^{-1} .

2.1.2. ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΩΝ ΣΤΗΝ ΔΥΝΑΤΗ ΔΙΑΡΡΟΗ

Τα ανεμόμετρα είναι γενικά σφραγισμένα σ' ένα φουσητήριο μέσα σε μια στάσιμη μονοδιάσταση διαρροή. Όμως κάτω από φυσιολογικές συνθήκες είναι τοποθετημένα μέσα σε μια τρισδιάστατη και πολύ δυνατή διαρροή. Πρέπει λοιπόν να εξετάσουμε πως τα ανεμόμετρα αντιδρούν στις διακυμάνσεις

ταχύτητας σύμφωνα με τους 3 άξονες των στοιχείων.

2.1.2.1. ΛΑΘΗ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΕΠΙΜΗΚΕΙΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ
ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

Ένα ανεμόμετρο με μουλινέτο παρουσιάζει μια σίγουρη αδράνεια και είναι απαραίτητο αν ο άνεμος διασχίζει μια ορισμένη απόσταση το μουλινέτο να δείχνει την πραγματική ταχύτητα του ανέμου.

Σύμφωνα με τους Mc Cready και Zech (1964) η απάντηση του μουλινέτου μπορεί να είναι παρούσα από τη διαφορική εξίσωση της πρώτης διαταγής:

$$\frac{d\psi}{dt} + \frac{1}{T} \psi = \gamma(t) \quad \text{όπου:}$$

$\gamma(t)$ = η διαφοροποίηση της ταχύτητας του ανέμου της στιγμής 0 και τη στιγμή t

ψ = η απάντηση του συντελεστή (ταχύτητα περιστροφής του μουλινέτου)

T = ο χρόνος απάντησης του συστήματος

Η γενική απάντηση σ' αυτή την εξίσωση μέσα στο σύστημα:

$$\gamma(t) = 0 \quad \text{για } t \leq 0$$

$$\gamma(t) = A \quad \text{για } T > 0$$

είναι: $\psi = A (1 - e^{-t/T})$

T = ο απαραίτητος χρόνος για την ποικίλη προσέγγιση του συντελεστή $A (1 - 1/e)$, έστω 0,63 A.

Μέσα στο σύστημα η ταχύτητα u_0 του αιφνίδιου ανέμου μια διαφορά Δk για $t \geq 0$, η απάντηση u του ανεμόμετρου

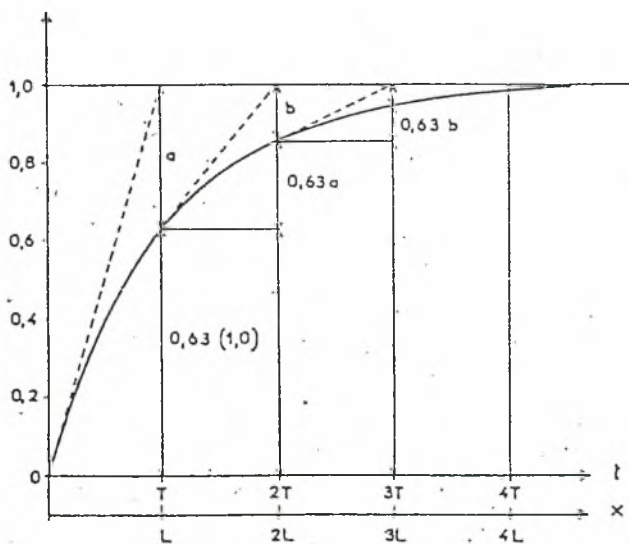
(η διαφορά της ταχύτητας που δείχνει η συσκευή) θα μπορούσε να γραφεί:

$$u = \Delta u (1 - e^{-t/\tau})$$

ονομάζοντας $X =$ την απόσταση που διασχίζει ο άνεμος ($X = u_0 t$) και εξηγώντας την απόσταση της απάντησης $L = u_0 \tau$, η εξίσωση μπορεί να γραφεί:

$$u = \Delta u (1 - e^{-L/X})$$

Αυτή η λύση της εξίσωσης παρουσιάζεται στο διάγραμμα, στο σχήμα που ακολουθεί και το οποίο δίνει την σχετική απάντηση $u/\Delta u$ σε σχέση με την απόσταση x .



Σχήμα : Απάντηση σχετική ενός ανεμόμετρου με μουλινέτο ή έλικα σε μια απότομη αλλαγή της ταχύτητας του ανέμου σε σχέση με το χρόνο και σε σχέση με την απόσταση που διασχίζει ο άνεμος (Mac Cready et Jex 1964).

Πρέπει να σημειώσουμε ότι η εφαπτομένη της καμπυλωτής όπου $x = 0$ κόβει την οριζόντια τεταγμένη Δu όπου $x = L$ η εφαπτομένη $x = L$ υψ. Ο άνεμος που διασχίζει την απόσταση L , η ένδειξη που μας παρέχει το ανεμόμετρο είναι ίση με:

$$(1 - 1/e) \Delta u = 0,63 \Delta u$$

$x = 2L$, είναι ίση με $0,86 \Delta u$, $3L = 0,96 \Delta u$, $4L = 0,98 \Delta u$, $4L = 0,98 \Delta u$ και $5L = 0,99 \Delta u$ κ.τ.λ.

Οι Cready και Jex (1964) έδειξαν ότι αυτή η απόσταση για ένα μουλινέτο είναι σταθερή. Το L μπορεί να είναι εύκολα προσδιορισμένο μέσα σε μια ροή στάσιμου αέρα και επιβραδύνονται τα μουλινέτα και σημειώνοντας την καμπυλωτή της απάντησης μετά την απελευθέρωσή τους. Το μήκος της απάντησης των κλασσικών ανεμομέτρων είναι της τάξης των 5 μέτρων. Για τα ευαίσθητα ανεμόμετρα, από το μήκος είναι γενικά κατώτερου του 1 μέτρου. Γενικά η απάντηση των ανεμομέτρων δεν είναι συμμετρική της επιτάγχυνσης και υποτάγχυνσης. Αυτή η ασυμμετρία μπορεί να είναι μεταξύ 1 και 1,5. Τούτη η τιμή εισάγει ένα μήκος $L' > L$ για την απάντηση στις υποταγχύνσεις.

2.1.2.2. ΛΑΘΗ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΠΛΑΓΙΑ

Ο προσανατολισμός του διανύσματος του ανέμου ποκίλει μέσα στο οριζόντιο πλάνο στη δυνατή διαρροή. Τα ανεμόμετρα με μουλινέτο, τα οποία είναι και οι συντελεστές δεν είναι ευαίσθητα σ' αυτές τις διακυμάνσεις.

2.1.2.3. ΛΑΘΗ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΙΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ

Τα ανεμόμετρα με μουλινέτο που δεν είναι μια ανάλογη απάντηση στο συνιμήτονο της γωνίας επίπτωσης του διανύσματος του ανέμου σ' ένα οριζόντιο πλάνο (όπως τα ανεμόμετρα με έλικα) έχουν μια απάντηση η οποία υπάρχει αισθητά, σταθερά και η κλίση του διανύσματος του ανέμου στο οριζόντιο πλάνο ποκίλει μεταξύ 0 και $\pm 50^\circ$.

Απ' αυτή την κλίση, η απάντηση του ανεμόμετρου μειώνεται πολύ γρήγορα. Ως αποτέλεσμα ένα ανεμόμετρο με μουλινέτο δείχνει τον άνεμο ολοκληρωτικά του οποίου η οριζόντια κλίση είναι κατώτερη των 50° στον οποίο γενικά η περίπτωση κοντά στην επιφάνεια του εδάφους (όπως στη μας περίπτωση).

2.1.2.4. ΤΟΜΕΑΣ ΧΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΩΝ ΜΕ ΜΟΥΛΙΝΕΤΟ

Λόγω των διαστάσεων τους και της αδράνειάς τους τα ανεμόμετρα με μουλινέτο πραγματοποιούν μια διαστημική ένταξη όταν είναι τοποθετημένα σε μια δυνατή διαρροή. Για το αν ένας ανεμοστρόβιλος ισχυρός αποκαλύπτεται είναι απαραίτητο αν έχει τις διαστάσεις λιγότερο ίδιες του μήκους της απάντησης των συντελεστών. Αν κάποιος παραδεχτεί ότι μέσα στη δυνατή διαρροή οι διακυμάνσεις της ταχύτητας είναι αβέβαιες και αν N είναι η συχνότητα και η μέση ταχύτητα τη στιγμή που εξετάζουμε, η διαστημική κλίμακα τον ανεμοστρόβιλου είναι:

$$L' = \frac{\bar{u}}{2 N}$$

Αν L εκπροσωπεί το μήκος της απάντησης του ανεμομέτρου, η μέγιστη συχνότητα, N , οι διακυμάνσεις της ταχύτητας τότε αυτά εδώ θα μπορούμε ν' ακολουθήσει ν' είναι:

$$N_{\max} = \frac{\bar{u}}{2 L}$$

2.1.3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

2.1.3.1. ΤΟ ΜΟΥΛΙΝΕΤΟ

Είναι γνωστό με τις ημισφαιρικές κουπίτσες από ρητίνη θερμοπλαστική. Έτσι συνδυάζει την ελαφρότητα και την τήρηση του εξωτερικού περιβάλλοντος.

2.1.3.2. ΤΟ ΣΩΜΑ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗΣ

Σκοπός του είναι να μετασχηματίζει την περιστροφή του μουλινέτου σ' ένα εκμεταλεύσιμο ηλεκτρικό μέγεθος. Ο άξονας του μουλινέτου προσελκύει ένα δίσκο με σχισμές τοποθετημένες μεταξύ ενός πομπού φωτός από γάλλιο και ενός δέκτη φωτοτρανσίςιντορ από πυρίτιο. Η γεννήτρια των ωθήσεων έτσι διαμορφωμένη αποδεδειγμένα 18 ωθήσεις αποτελείται σε κάθε γύρω οι οποίες στη συνέχεια επεξεργάζονται ηλεκτρονικά. Το ηλεκτρονικό του συντελεστή μας προσφέρει μια λύση αναλογική χρησιμοποίηση άμεση στον ηχογράφο.

3. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

Χρησιμοποιούμε για να μελετήσουμε τον προσανατολισμό του διανύσματος του ανέμου τους φτερωτούς ανεμοδείκτης.

3.1. Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ

Η μελέτη της κίνησης του φτερωτού ανεμοδείκτη ολοκληρώνεται από τους Mc Cready και Jex το 1964. Αν $\psi(t)$ ορίζουμε την απάντηση (γωνία του συντελεστή) τη στιγμή

η απάντηση του ανεμοδείκτη δίνεται από τη γενική εξίσωση:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + 2 \zeta \omega_n \frac{dy}{dt} + \omega_n^2 y = Y(t)$$

όπου:

ζ = το ποσοστό εξασθένησης

ω_n = ο παλμός του συστήματος

Η λύση σ' αυτή τη διαφορική εξίσωση τη στιγμή που $Y = \psi = Y_0$ για $t \leq 0$ και $Y = Y_0 + \psi$ για $t > 0$ είναι (οριζόντια την απάντηση του συντελεστή ($\zeta > 1$))

$$\theta = \gamma \left[1 + \frac{n - \omega'}{2 \omega'} e^{(n + \omega')t} - \frac{n + \omega'}{2 \omega'} e^{(n - \omega')t} \right]$$

Κίνηση απεριοδική ($\zeta > 1$)

$$\theta = \gamma \left[1 - e^{nt} \left(\cos \omega_1 t - \frac{n}{\omega_1} \sin \omega_1 t \right) \right]$$

$$n = -\zeta \omega_n, \quad \omega' = \omega_n (\zeta^2 - 1)^{1/2} \quad \text{pour } \zeta > 1$$

$$\omega_1 = \omega_n (1 - \zeta^2)$$

Η εξασθένηση αντιστοιχεί με $\zeta = 1$. Έπειτα οι Mc Cready και Jex προτίμησαν να χρησιμοποιήσουν για να χαρακτηρίσουν έναν ανεμοδείκτη, ένα μήκος λ , το οποίο είναι ανεξάρτητο από την ταχύτητα του ανέμου καλύτερα από το παλμό ω_n που είναι εξαρτημένος.

$$\lambda_n = \frac{2 \pi \bar{u}}{\omega_n}$$

Το ποσοστό εξασθένησης ζ είναι εξίσου ανεξάρτητο της ταχύτητας για ένα ανεμοδείκτη χωρίς τριβή. Αλλά αυτές οι δύο παράμετροι δεν είναι προσιτές ακριβώς με μέτρηση κι αυτό γιατί έχουν προσδιοριστεί πειραματικά τρεις άλλες παράμετροι που τις διαψεύδουν το μήκος της απάντησης, το ποσοστό της ταλάντευσης και το μήκος κύματος εξασθένησης λ' .

Ένας ανεμοδείκτης τοποθετημένος σε μια μόνιμη διαρροή είναι παραμερισμένος από τη γωνία θ από τη θέση ισορροπίας, το μήκος της απάντησης είναι η απόσταση D που πρέπει να διασχίσει από το άνεμο κι έτσι αλλάζει σε $\theta/2$. Από το μήκος D είναι συνδεδεμένο με το λ_n και ζ από τη σχέση:

$$\frac{\lambda_n}{D} = 6 - 2,4 \zeta$$

Ο ανεμοδείκτης επιστρέφει στη θέση ισορροπία του και ταλαντεύεται γύρω απ' αυτή. Το ποσοστό της ταλάντευσης είναι η αναφορά $\Delta\theta/\theta$ της γωνίας $\Delta\theta$ από την ξεπερνά την θέση ισορροπίας της γωνίας θ από την οποία είναι παραμερισμένος. Για ένα δεδομένο ανεμοδείκτη $\Delta\theta/\theta$, D και λ' είναι ανεξάρτητα απ' την ταχύτητα του ανέμου. Δεν εξαρτώνται όπως το ζ και λ_n . Αυτές οι μεγάλες διαφορές μπορούν να προσδιοριστούν από την αναχώρηση των μερών στο φουσητήριο. Είναι αρκετό να παραμερίζεται ο ανεμοδείκτης από τη θέση ισορροπίας του, να χαλαρώνει απότομα και να καταγράφεται η καμπύλη της απάντησης.

Έτσι μπορεί να μετρηθεί το D , $\Delta\theta/\theta$ και λ' . Το ζ μπορεί να προσδιοριστεί από τη σχέση:

$$\Delta\theta = \exp \frac{(-\pi - \zeta)}{1 - \zeta^2}$$

Το λ_η μπορεί να προσδιοριστεί με 2 διαφορετικούς τρόπους:

$$\lambda_\eta = D (6,0 - 2,4 J)$$

$$\lambda_\eta = \lambda' (1 - J^2)$$

3.2. ΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗΣ

Υπάρχουν για να μετασχηματίζουν την ποικιλότητα της γωνίας του φτερού σ' ένα μεγάλο εκμεταλεύσιμο ηλεκτρικό. Ο προσανατολισμός του ανεμοδείκτη ίσως διαβιβάζει σε απόσταση διαφορετικές ηλεκτρικές συναρμολογήσεις. Το σύστημα διαβίβασης το πιο κλασσικό είναι εκείνο του ανεμοδείκτη. Αλλά παρουσιάζει διάφορα μεινεκτήματα όπως για παράδειγμα δεν μας δίνει ένα συνεχόμενο μέτρο της διεύθυνσης του ανέμου, και αυτό γιατί το σύστημα αυτό έχει αντικατασταθεί από δυναμόμετρα με αδύναμη (ροπή) στην τριβή. Αυτά τα τελευταία χρησιμοποιούνται για τους ανεμοδείκτες που προσφέρουν γρήγορη απάντηση στα μέτρα των διακυμάνσεων του διανύσματος του ανέμου.

3.3 ΤΟΜΕΙΣ ΧΡΗΣΕΩΝ

Οι ανεμοδείκτες υπάλληλοι είναι οι κινητοί ανεμοδείκτες σ' ένα οριζόντιο πλάνο. Γενικά στη μελέτη του ανέμου κανείς είναι λιγότερο απαιτητικός στα ακριβή μέτρα της διεύθυνσης του ανέμου, συχνά ακαθόριστα λόγω των σημαντικών ταλαντεύσεων σ' ένα δυνατό άνεμο, απ' ότι σ' αυτή της ταχύτητας.

3.4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

3.4.1. ΤΟ ΦΤΕΡΟ

Είναι φτιαγμένο από κράμα αλουμινίου και συνδυάζει έτσι ελαφρότητα και τήρηση στο εξωτερικό περιβάλλον.

3.4.2. ΤΟ ΣΩΜΑ ΔΙΑΒΙΒΑΣΗΣ

Ο άξονας του φτερού έχει ένα συντελεστή ακριβή προσδιορισμού του διαδρόμου του πλαστικού αγωγού ο οποίος αποδεσμεύει μετά από επεξεργασία ηλεκτρονικά μια ένταση προτασική στη γωνία του φτερού από αναφορά στο Νότο. Η ένταση της εξόδου ποκίλει από D σε 3,6 V, έστω 10 mV από βαθμό της γωνίας.

Π Ε Ι Ρ Α Μ Α Τ Ι Κ Ο Μ Ε Ρ Ο Σ

Στο πείραμά μας θα προσπαθήσουμε να ορίσουμε την τιμή της αυθόρμητης ανανέωσης R του εσωτερικού αέρα. Για να ορισθεί πειραματικά η τιμή της αυθόρμητης ανανέωσης του εσωτερικού αέρα, δοκιμάσαμε τη μέθοδο της ανάλυσης διασταύρωσης (analyse de la décroissance) της συγκέντρωσης ανθρακικού αερίου (gaz carbonique) αυτής της ατμόσφαιρας.

Το CO_2 μετρήθηκε με τη βοήθεια ενός αναλυτή με απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Η αρχή της μεθόδου αυτής συνίσταται στο τεχνικό εμπλουτισμό του αέρα, με ψεκασμό ανθρακικού αερίου για να το φέρουμε στην αρχική συγκέντρωση C_0 , (της τάξης των 1000 νppm) και στη συνέχεια να παρακολουθήσουμε την εξέλιξη στο χρόνο.

Συμβολίζοντας με C_f την τελική συγκέντρωση (η οποία αντιστοιχεί αισθητά στη κανονική συγκέντρωση των 300 νppm) μπορούμε να γράψουμε:

$$C_t = C_f + (C_0 - C_f) e^{-Rt} \quad [1]$$

έκφραση στην οποία το t δίνεται σε h και το R σε h^{-1}

Από τη σχέση [1] μπορούμε να υπολογίσουμε το R ως εξής

$$C_t = C_f + (C_0 - C_f) e^{-Rt}$$

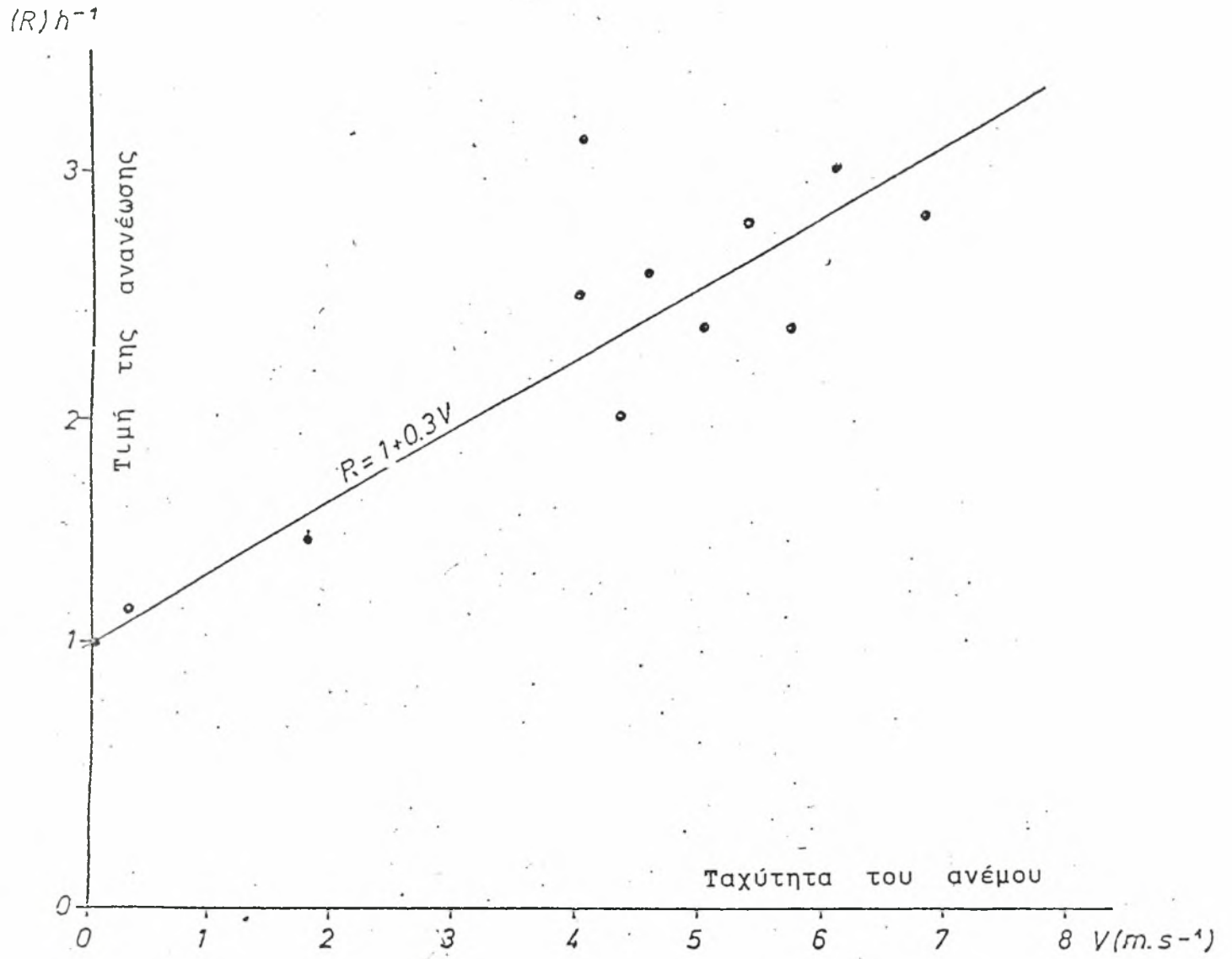
$$C_t - C_f = (C_o - C_f) e^{-Rt}$$

$$\ln e^{-Rt} = \ln \left(\frac{C_t - C_f}{C_o - C_f} \right)$$

$$-Rt \ln e = \ln \left(\frac{C_t - C_f}{C_o - C_f} \right)$$

$$R = - \frac{\ln \left(\frac{C_t - C_f}{C_o - C_f} \right)}{t}$$

$$R = - \frac{\ln (C_t - C_f) - \ln (C_o - C_f)}{t}$$



Σχήμα 1. Διακύμανση της ανανέωσης του αέρα στο θερμοκήπιο σε συνάρτηση με τη ταχύτητα του ανέμου

Διαθέτοντας μία σειρά από ζεύγη (c, t) για ένα πείραμα που αντιστοιχεί σε δεδομένες (προσδιορισμένες) κλιματολογικές συνθήκες (και ειδικά ταχύτητα ανέμου) προσεγγίζεται η τιμή της παραμέτρου R με τη μέθοδο ελαχιστοποίηση του Gauss.

Το πείραμα έγινε σε πολλές επαναλήψεις για να δοκιμάσουμε να εμφανίσουμε την επίδραση της ταχύτητας του ανέμου και να φτάσουμε σε μια έκφραση $R(u)$.

Στις συνθήκες που έγινε το πείραμά μας είχαμε ακραίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου. Τα αποτελέσματα στα οποία φθάσαμε (σχήμα 1) μας επιτρέπουν να διατυπώσουμε την έκφραση:

$$R = 1 + 0,3 u$$

η οποία μπορεί να θεωρηθεί σαν μια ένδειξη της σχέσης ανάμεσα στο R και στο u, αλλά η οποία πρέπει να παίρνεται υπόψη με μεγάλη προσοχή και με επιφύλαξη.

Γι αυτό και οι μετρήσεις πρέπει να διεξαχθούν σε πλαίσιο που να μειώνει τα περιθώρια αβεβαιότητας αυτής της προσέγγισης.

Σ Υ Μ Π Ε Ρ Α Σ Μ Α Τ Α

Οι μέθοδοι αέριων δεικτών για τη μέτρηση της ποσότητας αερισμού θερμοκηπίων είναι απλές στην εφαρμογή, ενώ ο εξοπλισμός που χρειάζεται σε αυτές δεν είναι πολύ δαπανηρός. Ο βασικός εξοπλισμός μιας μονάδας μέτρησης αερισμού θερμοκηπίων περιλαμβάνει έναν αναλυτή αερίων, κατάλληλο για μετρήσεις συγκέντρωσης του αέριου δείκτη

που θα επιλεγεί. Περιλαμβάνει επίσης όργανα για τη μέτρηση βασικών μετεωρολογικών παραμέτρων (θερμοκρασία, διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου).

Στο πείραμά μας χρησιμοποιήσαμε CO₂ διότι δεν είχαμε καλλιέργεια μέσα στο θερμοκήπιο. Με την εφαρμογή της φθίνουσας συγκέντρωσης, στη περίπτωση ενός θερμοκηπίου μας δώθηκε η δυνατότητα να διαπιστώσουμε:

- 1) Τις δυσκολίες των μετρήσεων σε θερμοκήπιο με πραγματικές διαστάσεις.
- 2) Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό της στεγανότητας ενός θερμοκηπίου, που είναι απαραίτητη για την εκτίμηση της ενεργειακής συμπεριφοράς των θερμοκηπίων.
- 3) Η ανάλυση των πειραματικών αποτελεσμάτων έδωσε την ευκαιρία να διαπιστώσουμε τη γραμμική μεταβολή μεταξύ ταχύτητας ανέμου και ρυθμού ανανέωσης.
- 4) θεωρούμε ότι η εργασία θα πρέπει να συνεχιστεί με την πραγματοποίηση και άλλων μετρήσεων σε θερμοκήπιο με καλλιέργεια φυτού (εδώ χρησιμοποιούμε ως αέριο δείκτη το N₂O).

Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής αποτελούν συνεισφορά στη μελέτη του ορθολογικού σχεδιασμού των θερμοκηπίων και μπορούν ήδη να χρησιμοποιηθούν στους ενεργειακούς υπολογισμούς των θερμοκηπίων.

Β Ι Β Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

1. Κ. ΚΙΤΤΑΣ : (ενημερωτικό άρθρο) <<Τεχνικά Χρονικά Β 1988 Επιστημονική έκδοση Τ.Ε.Ε.>> Τόμος 8, Τεύχος 1.
2. CONSTANTIN KITTAS: CONTRIBUTION THEORIQUE ET EXPERIMENTALE A L'ETUDE DU BILAN D'ENERGIE DES SERRES
(Application a l'analyse du deferminisme des temperatures de la paroi et de l'air interieur de la serre)
3. Ν. ΠΑΠΑΜΑΝΩΛΗΣ, Α. ΦΡΑΓΚΟΥΔΑΚΗΣ: (ενημερωτικό άρθρο) <<Τεχνικά χρονικά Α 1990 Επιστημονική έκδοση Τ.Ε.Ε.>> Τόμος 10 Τεύχος 4
4. Ν. ΠΑΠΑΜΑΝΩΛΗΣ, Α. ΦΡΑΓΚΟΥΔΑΚΗΣ: (ενημερωτικό άρθρο) <<Τεχνικά χρονικά Β 1992 Επιστημονική έκδοση Τ.Ε.Ε.>> Τόμος 12 Τεύχος 1
5. ΓΕΩΡΓΙΟΥ Ν. ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ: Θερμοκήπια έκδοση Β'
6. Γενικά για την ενέργεια: Holman J.P (1989)
7. ASTM, Standart Test Method for "Determining Air Leakage Rate by Fan Pressuriration, E 779-87, 1987
8. National Swedish Authory for Testing Inspection and Meteorology, Standart Method Description SP 1977: 1, 1977
9. ASHRAE: 1977 Fundamentals, Handbook & Product Directory, New York 1977
10. Roulet, C., Scarterinni, J.L. "Measurement of Air Change Rate in an Inhabited Building with a constant Tracer Cras Concentration Technique", ASHRAE Trans, Vol. 93/87, Part 1 1987, 1371-1379

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Σελίδα

Ευχαριστίες.....	1
Εισαγωγή.....	2
Γενικά για τις μεθόδους μέτρησης αερισμού.....	5
Μέθοδοι μέτρησης αερισμού.....	5
Μέθοδοι αέριων δεικτών.....	6
Παραλλαγές της μεθόδου αέριων δεικτών.....	8
Φθίνουσα συγκέντρωση αέριου δείκτη.....	8
Σταθερή συγκέντρωση αέριου δείκτη.....	11
Σταθερή έκλυση αέριου δείκτη.....	14
Χαρακτηριστικά αέριων δεικτών.....	16
Φθίνουσα συγκέντρωση αέριου δείκτη.....	23
Σταθερή συγκέντρωση αέριου δείκτη.....	27
Σταθερή έκλυση αέριου δείκτη.....	28
Μέθοδοι εφαρμογής πίεσης για μετρήσεις αερισμού και αεροπερατότητας δομικών στοιχείων.....	30
Μέθοδοι εφαρμογής πίεσης για μετρήσεις αερισμού και αεροπερατότητας θερμοκηπίου.....	31
Εφαρμογή της μεθόδου για μετρήσεις αερισμού θερμοκηπίου....	34
Ισοζύγιο ενέργειας.....	38
Απώλειες ενέργειας.....	40
Ισοζύγιο ενέργειας στο κάλυμμα.....	43
Απλοποιημένη σχέση απωλειών.....	46
Προσδιορισμός του συντελεστή θερμικών απωλειών U'	47
Σημασία της θερμοπερατότητας στις απώλειες ενέργειας Εκτίμηση απωλειών ενέργειας.....	49
Μοντέλο υπολογισμού των αναγκών σε θέρμανση.....	50
Μηνιαία διάρκεια ημέρας και νύκτας (σε ώρες/μήνα).....	52
Προσδιορισμός του αριθμού των ωρών της νύκτας με καθαρό και νεφοσκεπή ουρανό.....	54
Εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας νύκτας.....	54
Νυκτερινές απώλειες με υπέρυθη ακτινοβολία.....	55
Ενεργειακές απώλειες με μεταφορά-αγωγιμότητα στο επίπεδο του τοιχώματος.....	59
Υπολογισμός των απωλειών με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται στην οικοδομή.....	62
Εξοπλισμός πειράματος.....	71
Διαστασιολόγηση.....	72
Εξοπλισμοί.....	73
Μέτρα από θερμοαντιστάσεις.....	73
Ανεμόμετρα.....	78
Οι Συντελεστές.....	78
Το σώμα διαβίβασης.....	78
Απώλειες ενέργειας.....	40
Χρήση των ανεμόμετρων στη δυνατή διαρροή.....	79
Απώλειες ενέργειας.....	40
Λάθη που οφείλονται στις επιμύκεις διακυμάνσεις της ταχύτητας του νερού.....	80
Λάθη που οφείλονται στις επιμύκεις διακυμάνσεις της ταχύτητας πλάγια.....	82
Λάθη που οφείλονται στις επιμύκεις διακυμάνσεις της ταχύτητας κατακόρυφη.....	83
Τομέας χρήσης των ανεμομέτρων με μουλινέτο.....	83
Περιγραφή της συσκευής.....	84

Σελίδα

Το Μουλινέτο.....	84
Το σώμα διαβίβασης.....	84
Εκτίμηση της διεύθυνσης του ανέμου.....	84
Η μελέτη του συτελεστή.....	84
Το σύστημα διαβίβασης.....	87
Τομείς χρήσης.....	87
Περιγραφή της συσκευής.....	88
Το φτερό.....	88
Το σώμα διαβίβασης.....	88
Πειραματικό μέρος.....	89
Συμπεράσματα.....	92
Βιβλιογραφία.....	94
Περιεχόμενα.....	95

