

ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

Σχολή ΣΤΕΓ & ΤΕΤΡΟΔ

Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: "ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΤΡΟΠΩΝ
ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ
ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΚΥΠΤΟΥΝ"**

Πανταζής Ιωάννης (11156)

Ψάλτου Δέσποινα (7557)

Επιβλέπων: Αγγελική Καυγά

Επίκουρος Καθηγήτρια

ΑΜΑΛΙΑΔΑ 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗσελ. 4

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....σελ.5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

1.1 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....σελ.9

1.2 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....σελ.11

1.3 Ο ΠΡΩΤΟΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ.....σελ.11

1.4 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ.....σελ.14

1.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ.....σελ.15

1.5.1 Θερμική Αγωγιμότητα.....σελ.15

1.5.2 Θερμική Συναγωγιμότητα.....σελ.17

1.5.3 Ακτινοβολία.....σελ.20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

2.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ.....σελ.23

2.2 ΕΙΔΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ.....σελ.24

2.2.1 Απώλειες αγωγής από το κάλυμμα.....σελ.24

2.2.2 Απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα λόγω συναγωγής.....σελ.25

2.2.3 Απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα λόγω ακτινοβολίας.....σελ.26

*2.2.4 Απώλειες θερμότητας λόγω διαφυγών του αέρα από και προς το
θερμοκήπιο*.....σελ.28

2.2.5 Απώλειες θερμότητας με αγωγιμότητα προς το έδαφος.....σελ.28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....σελ.30

<i>3.1.1 Ηλιακή Ενέργεια.....</i>	<i>σελ.30</i>
<i>3.1.1.1 Συστήματα συλλογής και θερμικής μετατροπής της ηλιακής ενέργειας.....</i>	<i>σελ.32</i>
<i>3.1.1.2 Συστήματα άμεσης ηλεκτρικής μετατροπής της ηλιακής ενέργειας.....</i>	<i>σελ.33</i>
<i>3.1.2 Γεωθερμική ενέργεια.....</i>	<i>σελ.35</i>
<i>3.2. ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</i>	<i>σελ.37</i>
<i>3.2.1 Βασικές αρχές λειτουργίας των παθητικών ηλιακών συστημάτων.....</i>	<i>σελ.37</i>
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	σελ. 49
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	σελ. 51

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το θερμοκήπιο είναι ένα ανοικτό σύστημα αυτό που επιτρέπει τη συναλλαγή μάζας και θερμότητας με το περιβάλλον, μέσω των ορίων του που είναι το υλικό κάλυψης μέσω του οποίου συνεχώς πραγματοποιείται μεταφορά ενέργειας. Τα θερμοκήπια πρέπει να σχεδιάζονται βάσει αρχών και προδιαγραφών ώστε αφενός να εξοικονομούν ενέργεια για τη θέρμανση και την ψύξη τους (μείωση θερμικού και ψυκτικού φορτίου) και αφετέρου να εκμεταλλεύονται τις ήπιες μορφές ενέργειας, για την κάλυψη του θερμικού και ψυκτικού τους φορτίου με σύγχρονο στόχο να επιτυγχάνεται και η μικρότερη δυνατή επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Ο όρος «ενεργειακός σχεδιασμός» ή « βιοκλιματικός σχεδιασμός» αναφέρεται στο σχεδιασμό που ανταποκρίνεται στις κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος κλπ. με τρόπο ώστε το κέλυφος του θερμοκηπίου να τις τροποποιεί για να δημιουργείται εσωκλίμα που να παρέχει με τη μικρότερη δυνατή κατανάλωση για θέρμανση και ψύξη τις βέλτιστες θερμικές και οπτικές συνθήκες για τα φυτά που αναπτύσσονται εντός του θερμοκηπίου.

Στη χειμερινή περίοδο, ο ενεργειακός σχεδιασμός αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση των ενεργειακών απωλειών αγωγιμότητας, συναγωγιμότητας, διαφυγών –αερισμού και εξάτμισης, εξοικονομώντας και αξιοποιώντας την αύξηση της θερμικής προσόδου από την ηλιακή ακτινοβολία, ώστε αφενός να μειωθεί η διάρκεια της θερμαντικής περιόδου και αφετέρου να ελαττωθούν οι δαπάνες για την παροχή θέρμανσης.

Αντίστοιχα, στην θερινή περίοδο ο ενεργειακός σχεδιασμός στοχεύει στην ελαχιστοποίηση της θερμικής προσόδου από την ηλιακή ακτινοβολία και στη βελτιστοποίηση των διαφόρων μεθόδων φυσικού δροσισμού, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η με το μηχανολογικό εξοπλισμό παρεχόμενη ψύξη.

Σε αυτήν την εργασία, παρέχεται μια εισαγωγική περιγραφή των βασικών αρχών της Θερμοδυναμικής, που συσχετίζονται άμεσα με την Μετάδοση Θερμότητας. Παρουσιάζονται, συνοπτικά, οι τρεις κύριοι μηχανισμοί μεταφοράς Θερμότητας, **Αγωγιμότητα** (*Conduction*), **Συναγωγιμότητα** (*Convection*) και **Ακτινοβολία** (*Radiation*). Παρουσιάζονται οι τρόποι μέσω των οποίων ένα θερμοκήπιο παρουσιάζει απώλειες ενέργειας και τέλος γίνεται εκτενής αναφορά στα Συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας που χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η **Θερμοδυναμική** (*Thermodynamics*) συσχετίζεται με το ποσό της μεταφερόμενης ενέργειας (έργου ή θερμότητας) από ένα θερμοκηπιακό σύστημα προς ένα άλλο ή το περιβάλλον του, όταν αυτό υπόκειται σε μια διεργασία ανάμεσα σε δύο καταστάσεις ισορροπίας, χωρίς να παρέχει καμία πληροφορία για τη χρονική διάρκεια πραγματοποίησής της. Αντιθέτως, η **Μετάδοση Θερμότητας** (*Heat Transfer*) συσχετίζεται, κυρίως, με το ρυθμό της μεταφερόμενης ποσότητας της θερμικής ενέργειας (θερμότητας).

Η εξέταση της συμπεριφοράς ενός θερμοκηπιακού συστήματος γίνεται με μακροσκοπική θεώρηση η οποία αποτελεί και το αντικείμενο της Θερμοδυναμικής και χρησιμοποιεί ένα μικρό αριθμό μεταβλητών για την περιγραφή της μακροσκοπικής συμπεριφοράς του συστήματος. Στη μακροσκοπική θεώρηση, η οποία και θα μας απασχολήσει στην περίπτωση του θερμοκηπιακού συστήματος, οι διαστάσεις των εξεταζόμενων συστημάτων είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από τις διαστάσεις των στοιχειωδών σωματιδίων που χρησιμοποιούνται στην μικροσκοπική θεώρηση ενός συστήματος.

Υπάρχουν τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί με τους οποίους πραγματοποιείται η μεταφορά ενέργειας. Ο πρώτος μηχανισμός αναφέρεται σε ακίνητο μέσο (στερεό, υγρό ή αέριο) και ονομάζεται αγωγή (conduction). Ο δεύτερος μηχανισμός αναφέρεται σε μετάδοση θερμότητας μεταξύ μιας στερεής επιφάνειας και ενός κινούμενου ρευστού και ονομάζεται συναγωγή (convection). Ο τρίτος μηχανισμός στηρίζεται στο γεγονός ότι κάθε σώμα πεπερασμένης θερμοκρασίας εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Έτσι μεταξύ δύο σωμάτων διαφορετικής θερμοκρασίας θα υπάρχει μετάδοση θερμότητας, χωρίς την ανάγκη παρουσίας κάποιου ενδιάμεσου σώματος, με την εφαρμογή του τρίτου μηχανισμού, της θερμικής ακτινοβολίας (thermal radiation).

Κατά την εξέταση των φαινομένων στα οποία υπόκειται μία δεδομένη μάζα, εμφανίζονται αλληλεπιδράσεις με το εξωτερικό περιβάλλον. Για να λαμβάνονται σωστά υπ' όψιν οι αλληλεπιδράσεις αυτές, εισάγεται η έννοια του συστήματος. Σύστημα είναι μία διάταξη ή συνδυασμός διατάξεων, που περιέχουν την υπό μελέτη ποσότητα μάζας. Ουσιαστικά είναι ένα υλικό τμήμα του σύμπαντος, το οποίο μπορεί να εξεταστεί χωριστά από το περιβάλλον του.

Για να περιγραφεί με ακρίβεια το σύστημα, χρησιμοποιείται ο όγκος ελέγχου (Control Volume), ο οποίος μέσω του ορίου του (της διαχωριστικής επιφάνειας - επιφάνειας ελέγχου - Control Surface) διαχωρίζει το σύστημα από το εξωτερικό περιβάλλον. Ο όγκος ελέγχου περιλαμβάνει την υπό εξέταση μάζα ή ακόμη και τις περιβάλλουσες τη μάζα διατάξεις. Κάθε τι εκτός του όγκου ελέγχου ανήκει στο εξωτερικό περιβάλλον. Η εξωτερική επιφάνεια που περικλείει και ορίζει τον όγκο ελέγχου, όπως προαναφέρθηκε, ονομάζεται επιφάνεια ελέγχου.

Ο όγκος ελέγχου μπορεί να επιτρέπει ή όχι τη συναλλαγή μάζας, θερμότητας ή έργου μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντος. Μπορεί να έχει σταθερό σχήμα ή κινούμενα όρια. Ανάλογα με το βαθμό συναλλαγής του συστήματος με το περιβάλλον του (και με αυξανόμενο βαθμό απομόνωσης) ένα σύστημα μπορεί να χαρακτηριστεί ως:

Κλειστό σύστημα, στο οποίο δεν είναι δυνατή οποιαδήποτε συναλλαγή μάζας, μέσω των ορίων του, με το περιβάλλον. Ανοικτό σύστημα, αντίθετα, είναι αυτό που επιτρέπει τη συναλλαγή μάζας και θερμότητας με το περιβάλλον, μέσω των ορίων του.

Το θερμοκήπιο είναι ένα ανοικτό σύστημα, που καλύπτεται με διαφανές υλικό, ώστε να είναι δυνατή η είσοδος όσο το δυνατόν περισσότερης ηλιακής ακτινοβολίας (SR), που είναι απαραίτητη στην ανάπτυξη των φυτών

Ο σκοπός της χρησιμοποίησης των θερμοκηπίων στην παραγωγή προϊόντων είναι η τροποποίηση ή η ρύθμιση πολλών από τους παράγοντες του περιβάλλοντος που επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή φυτών. Ένα σύγχρονο θερμοκήπιο δεν αρκεί να προσφέρει τη δυνατότητα για τη δημιουργία και διατήρηση του ευνοϊκού περιβάλλοντος για την ανάπτυξη και διατήρηση των φυτών, αλλά θα πρέπει να παρέχει και τη δυνατότητα κάθε φορά για την παραγωγή προϊόντων με το μικρότερο δυνατό κόστος

Κάθε θερμοκήπιο επειδή καλύπτεται με διαφανές κάλυμμα, δέχεται στο εσωτερικό του το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Οι απώλειες του θερμοκηπίου σε θερμότητα, λόγω του λεπτού τοιχώματος του καλύμματος είναι πολύ μεγάλες, 6-12 μεγαλύτερες από εκείνες ενός συνήθους κτίσματος όγκου

Συνεπώς:

- Τις ηλιόλουστες ημέρες η θερμοκρασία του ανεβαίνει σε πολύ υψηλά επίπεδα
- Τις ψυχρές ημέρες και νύκτες η θερμοκρασία του πέφτει σε πολύ χαμηλά επίπεδα

Ο τρόπος κατασκευής των θερμοκηπίων εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες, που επικρατούν τους χειμωνιατικούς μήνες σε μια περιοχή και από το είδος των φυτών που πρόκειται να καλλιεργηθούν

Βασική επιδίωξη μέσα στο θερμοκήπιο είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και του εδάφους του, στα επιθυμητά για κάθε φυτικό είδος επίπεδα, αλλά και η μείωση της σχετικής υγρασίας (RH). Η θερμοκρασία των φυτών στον χώρο του θερμοκηπίου καθορίζεται από την ακτινοβολία που δέχονται και εκπέμπουν, από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα, από την θερμοχωρητικότητα τους και από την λανθάνουσα θερμότητα που χάνουν ή δέχονται λόγω διαπνοής ή συμπύκνωσης των υδρατμών πάνω τους.

Στα θερμοκήπια, η ροή θερμότητας μέσω του καλύμματος με όρους απωλειών θερμότητας συμβαίνει όταν η θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου υπερβαίνει την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το ποσοστό των θερμικών απωλειών εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα και τις ιδιότητες ακτινοβολίας του υλικού κάλυψης, τις θερμοκρασίες στο εσωτερικό και εξωτερικό του καλύμματος και την ταχύτητα του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο. Η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή από το κάλυμμα του θερμοκηπίου είναι ο σημαντικότερος μηχανισμός ενεργειακών απωλειών του θερμοκηπίου και οι απώλειες με συναγωγή κυριαρχούν σε σχέση με τις απώλειες λόγω αγωγής και ακτινοβολίας.



ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΛΛΙΕΡΓΙΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

- Προστασία περιβάλλοντος
- Εξοικονόμηση ενέργειας
- Μείωση φυτοφαρμάκων
- Εξοικονόμηση νερού
- Βιώσιμη Γεωργία
- Σταθερά εισοδήματα
- Μικρή έκταση γης
- Συνεργασία παραγωγών
- Εντατική καλλιέργεια
- Επαγγελματική διέξοδος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

1.1 ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

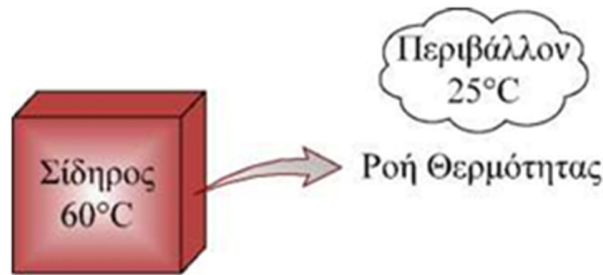
Η Θερμοδυναμική και η Μετάδοση Θερμότητας αναφέρονται, πολύ συχνά, ως **Θερμικές Επιστήμες** (*Thermal Sciences*), επειδή συσχετίζονται με την ευρεία έννοια της **Θερμότητας** (*Heat*), η οποία ορίζεται ως η μορφή της ενέργειας, που μπορεί να μεταφέρεται από ένα σύστημα σε ένα άλλο, ως αποτέλεσμα της θερμοκρασιακής τους διαφοράς. Η επιστήμη που συσχετίζεται με τον προσδιορισμό του ρυθμού αυτής της μεταφοράς ενέργειας είναι η Μετάδοση Θερμότητας.

Ο κλάδος της επιστήμης της Θερμοδυναμικής, μελετά τις καταστάσεις των συστημάτων από μακροσκοπική άποψη και δεν υπεισέρχεται, καθ' ολοκληρία, σε υποθέσεις δομικής μορφής του φαινομένου, αλλά παρέχει την ανάλυσή του, περιγράφοντας την κατάσταση του συστήματος σε συνάρτηση με γενικές χαρακτηριστικές παραμέτρους, που ορίζονται ως θερμοδυναμικές ιδιότητες, όπως η πίεση, (P), ο όγκος, (V), η θερμοκρασία, (T), κ.α. Αυτές οι μεταβλητές είναι μοναδιαίες για το σύστημα και μόνο όταν είναι ομοιόμορφα κατανομημένες, τότε το σύστημα, θεωρείται, ότι βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας.

Το ποσό της μεταφερόμενης θερμότητας από ένα σύστημα, κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας, μπορεί να υπολογισθεί, χρησιμοποιώντας μια θερμοδυναμική ανάλυση, ως η διαφορά της μεταβολής της ενέργειας του συστήματος και του παραγόμενου έργου, ικανοποιώντας την αρχή διατήρησης της ενέργειας. Δε συσχετίζεται, όμως, με τους μηχανισμούς και τις μεθόδους της μεταφοράς αυτής, που είναι απαραίτητοι για τον υπολογισμό του χρόνου διάρκειας της μεταφοράς, παράμετροι που είναι αρκετά σημαντικές.

Ειδικότερα, οι Μηχανικοί, που συσχετίζονται με τεχνικές εφαρμογές, ενδιαφέρονται, περισσότερο, για τη μεταφορά της θερμότητας, στη μονάδα του χρόνου (ρυθμός), παρά για την ποσότητά της. Ένα πολύ απλό παράδειγμα είναι αυτό του Σχήματος 1.1, όπου ένα σώμα υψηλής θερμοκρασίας τοποθετείται σ' ένα περιβάλλον χαμηλής θερμοκρασίας. Η Θερμοδυναμική, ως επιστήμη, παρέχει την πληροφορία, ότι μετά από

κάποιο χρονικό διάστημα, η θερμοκρασία του σώματος θα εξισωθεί με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και θα επέλθει θερμική ισορροπία. Αντιθέτως, η Μετάδοση Θερμότητας μπορεί να προσδιορίσει τη θερμοκρασία σε κάθε σημείο του σώματος και το ρυθμό μεταφοράς (ροή) θερμότητας από ένα μέρος της επιφάνειάς του ανά κάθε χρονική στιγμή, μέχρι την κατάσταση ισορροπίας.



Σχήμα 1.1: Σύστημα μεταφοράς θερμότητας

Επομένως, η Θερμοδυναμική έχει άμεση συσχέτιση με τις καταστάσεις θερμικής ισορροπίας των συστημάτων και μεταβολές μεταξύ τους, δηλαδή μελετά τη θεωρητική θερμοδυναμική ανάλυση των διεργασιών και όχι τη μικροσκοπική δομική μορφή της διεργασίας του φαινομένου. Σε αντίθεση, η Μετάδοση Θερμότητας μπορεί, απλά, να θεωρηθεί ως φαινόμενο ή διεργασία μη ισορροπίας, επειδή αναφέρεται σε συστήματα, τα οποία, δεν βρίσκονται σε θερμική ισορροπία. Η ύπαρξη των φαινομένων της Μετάδοσης Θερμότητας οφείλεται στη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ συστημάτων, δηλαδή σε μια κατάσταση μη θερμικής ισορροπίας. Ουσιαστικά, η Μετάδοση Θερμότητας, ως επιστήμη, παρέχει ό,τι δεν μπορεί, από τη φύση της, να παρέχει η επιστήμη της Θερμοδυναμικής, δηλαδή να προσδιορίσει το ρυθμό με τον οποίο μεταφέρεται θερμότητα σε κατάσταση μη θερμικής ισορροπίας.

Επειδή, όμως, όλες οι διεργασίες Μεταφοράς Θερμότητας υποδηλώνουν μεταφορά ενέργειας και συνεπώς μετατροπή ενέργειας, αυτές υπακούουν στον Πρώτο και Δεύτερο Νόμο της Θερμοδυναμικής, οι οποίοι αποτελούν συμπληρωματικές Αρχές για την επιστήμη της Μετάδοσης Θερμότητας. Ο Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής υποδηλώνει, ότι ο ρυθμός μεταφοράς θερμικής ενέργειας σε ένα σύστημα είναι ίσος με το ρυθμό αύξησης της ενέργειάς του. Ο Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος (συμπληρωματικός του πρώτου) προσδιορίζει τη διεύθυνση Μεταφοράς Θερμότητας από

σώμα ή σύστημα υψηλής θερμοκρασίας, σε σώμα ή σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας και τανάπαλιν, προσδιορίζοντας, έτσι, τις έννοιες της θερμικής και ψυκτικής μηχανής αντίστοιχα.

1.2 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η Μετάδοση Θερμότητας συναντάται, πολύ συχνά, σε πρακτικές εφαρμογές, με τις οποίες συσχετίζονται οι ειδικοί των κατασκευών (Μηχανικοί, γεωπόνοι). Ο υπολογισμός του κόστους και του μεγέθους μιας συσκευής ή διαφόρων εξαρτημάτων, διά μέσου των οποίων, ένα ορισμένο ποσό ροής θερμότητας συναλλάσσεται, σε ορισμένο χρόνο, κάνει αναγκαία την ανάλυση του φαινομένου της ροής Θερμότητας.

Η διαστασιολόγηση των λεβήτων, θερμαντήρων & προθερμαντήρων, ψυκτικών θαλάμων, ψυγείων, συστημάτων ψύξης και εναλλακτών Θερμότητας, όπως και η επιτυχής λειτουργία περυγώσεων στροβίλου, τοιχωμάτων θαλάμων καύσης (Μ.Ε.Κ.), απαιτούν τον επακριβή προσδιορισμό του ποσού μεταφοράς θερμότητας ή του ποσού ροής ψύξης μετάλλων, αντίστοιχα, πράγμα το οποίο συνεπάγεται λεπτομερειακή ανάλυση του φαινομένου της ροής θερμότητας σε συνάρτηση με το χρόνο.

1.3 Ο ΠΡΩΤΟΣ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ

Ο Πρώτος Νόμος της Θερμοδυναμικής, γνωστός και ως η Αρχή Διατήρησης της Ενέργειας, αναφέρει, ότι η ενέργεια δεν παράγεται εκ του μηδενός, ούτε καταστρέφεται, αλλά, μόνο, αλλάζει μορφή. Αυτός ο νόμος διακυβερνά, ποσοτικά, όλες τις μεταφερόμενες μορφές ενέργειας, αλλά χωρίς περιορισμό στη διεύθυνση μεταφοράς. Υπό την έννοια, ενέργεια, θεωρείται είτε το έργο, είτε η θερμότητα, είτε και η ροή μάζας. Η αρχή διατήρησης της ενέργειας υποδηλώνει, για οποιοδήποτε σύστημα, κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας του, ότι η μεταβολή της ολικής του ενέργειας ισούται με τη διαφορά της εισερχόμενης σε αυτό και της εξερχόμενης από αυτό και εκφράζεται ως:

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{system}$$

ή στη μορφή του ρυθμού μεταφοράς:

$$E_{in} - E_{out} = dE_{system}/dt$$

Η ενέργεια ορίζεται ως μια ποσότητα ή ιδιότητα, η τιμή της οποίας δεν μεταβάλλεται,

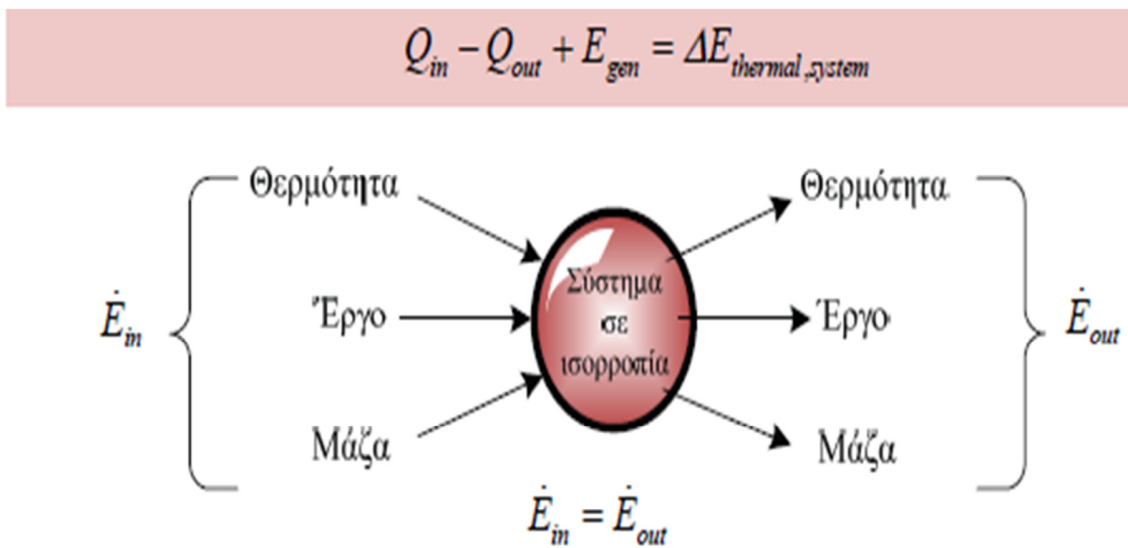
εάν δεν μεταβληθεί και η κατάσταση του συστήματος. Στην περίπτωση, όμως, που μια διεργασία είναι μόνιμη (Σχήμα 1.2), δηλαδή δεν μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου, η μεταβολή της ενέργειας του συστήματος μηδενίζεται και η προηγούμενη εξίσωση μετασχηματίζεται:

$$E_{in} - E_{out} = 0 \rightarrow E_{in} = E_{out}$$

Όσον αφορά τη θερμική ανάλυση, η μόνη μορφή ενέργειας που μεταφέρεται, ως αποτέλεσμα θερμοκρασιακής διαφοράς, είναι η θερμότητα ή η θερμική ενέργεια. Επομένως, είναι προτιμότερο να καταγράφεται η θερμική ισορροπία ενός συστήματος, θεωρώντας ως **εσωτερικά παραγόμενη ενέργεια** (*heat generation*) τη μετατροπή άλλων ενεργειών (ηλεκτρικής, χημικής, πυρηνικής) σε θερμική. Οπότε, η εξίσωση της ενεργειακής ισορροπίας εκφράζεται ως:

$$Q_{in} - Q_{out} + E_{gen} = \Delta E_{thermal\ system}$$

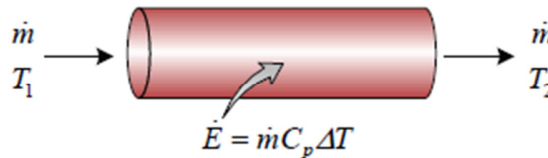
Καθαρή μεταφορά θερμότητας + παραγωγή θερμότητας = Μεταβολή της θερμικής ενέργειας του συστήματος



Σχήμα 1.2: Εφαρμογή του πρώτου Θερμοδυναμικού νόμου

Πολλές πρακτικές εφαρμογές, όπως εναλλάκτες θερμότητας, ψυγεία ή θερμαντικά σώματα, συσχετίζονται με ρευστά, τα οποία είτε εισέρχονται στο σύστημα είτε εξέρχονται από αυτό και επιλύονται, χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία των όγκων

ελέγχου (*control volumes*). Οι περισσότεροι όγκοι ελέγχου αναλύονται κάτω από συνθήκες μόνιμης (*steady-state condition*) κατάστασης, δηλαδή μη μεταβαλλόμενης με το χρόνο.

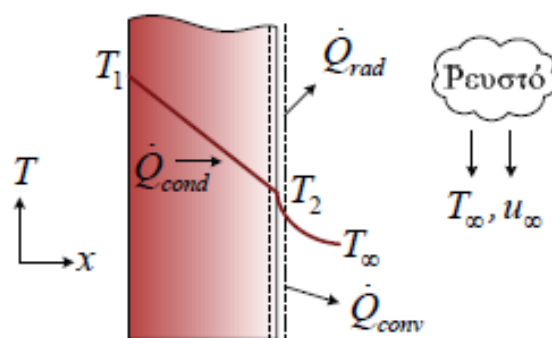


Σχήμα 1.3: Θερμική Ισορροπία σε σύστημα μόνιμης ροής ρευστού

Για ένα σύστημα μόνιμης ροής ρευστού, με μία είσοδο και μία έξοδο, θεωρώντας τη μεταβολή της κινητικής και δυναμικής ενέργειας αμελητέα, χωρίς παραγωγή ή απώλεια έργου (Σχήμα 1.4), η διατήρηση της θερμικής ενέργειας δίνεται από την έκφραση:

$$Q = m C_p \Delta T$$

όπου, Q είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας προς και από το σύστημα, m η ροή μάζας (ή η μεταβολή της μάζας στη μονάδα του χρόνου) του ρευστού, C_p η **εδική θερμοχωρητικότητα** (*specific heat capacity*) υπό σταθερή πίεση και ΔT η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εισόδου και εξόδου του ρευστού.



Σχήμα 1.4: Θερμική Ισοζύγιο στην εξωτερική επιφάνεια τοιχώματος

Στις περιπτώσεις, όπου η αλληλεπίδραση ενεργειών λαμβάνει χώρα σε μια επιφάνεια ενός μέσου, και όχι σε ένα σύστημα, η ισορροπία της θερμικής ενέργειας μπορεί να

διατυπωθεί στην ίδια την επιφάνεια, η οποία δεν περικλείει μάζα ή όγκο, και άρα καμία ενέργεια. Παρόλα αυτά, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ψευδο-σύστημα, του οποίου η ενέργεια παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας, οπότε η θερμική του ισορροπία εκφράζεται ως εξής:

$$E_{in} = E_{out}$$

και ισχύει σε μόνιμες και μη μόνιμες συνθήκες.

Παρότι, υπάρχει η πιθανότητα ύπαρξης της εσωτερικά παραγόμενης ενέργειας σε ένα μέσο, το γεγονός αυτό δεν επηρεάζει τη θερμική ισορροπία στην επιφάνειά του. Έτσι, στο παράδειγμα του Σχήματος 1.4, όπου εμφανίζονται και οι τρεις βασικοί μηχανισμοί της μετάδοσης θερμότητας (αγωγιμότητα, συναγωγιμότητα και ακτινοβολία), εκφράζοντας απώλεια θερμότητας μέσω αγωγιμότητας ενός τοιχώματος προς την επιφάνειά του, και στη συνέχεια, μέσω συναγωγιμότητας και ακτινοβολίας από την επιφάνεια προς το περιβάλλον, τότε η έκφραση της θερμικής ισορροπίας στην εξωτερική επιφάνεια του τοιχώματος είναι:

$$Q_{cond} = Q_{conv} + Q_{rad}$$

1.4 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ

Η θερμότητα ή αλλιώς η θερμική ενέργεια, ορίζεται ως η μορφή της ενέργειας, που μπορεί να μεταφερθεί κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας από ένα σύστημα σε ένα άλλο, ως αποτέλεσμα της θερμοκρασιακής τους διαφοράς. Το μεταφερόμενο ποσό θερμότητας συμβολίζεται ως Q .

Η επιστήμη της Μετάδοσης Θερμότητας συσχετίζεται με τον προσδιορισμό του ρυθμού, με τον οποίο μεταφέρεται θερμότητα, ο οποίος ονομάζεται και ροή θερμότητας και συμβολίζεται ως \dot{Q} . Η τελεία επάνω στο Q υποδηλώνει τη χρονική παράγωγο της θερμότητας, ή αλλιώς τη μεταφορά της θερμότητας στη μονάδα του χρόνου. Η ροή θερμότητας έχει μονάδες Joule/sec ή Watt ή BTU/s και η ολοκλήρωσή της, σε καθορισμένο χρονικό διάστημα, Δt , προσδιορίζει το ποσό της μεταφερόμενης θερμότητας, δηλαδή:

$$Q = \int_0^{\Delta t} \dot{Q} dt$$

Η ροή θερμότητας μπορεί, επιπλέον, να συναντάται και ως ανηγμένη στη μονάδα

επιφάνειας, η οποία είναι κάθετη στη διεύθυνση της μεταφοράς θερμότητας και συμβολίζεται ως:

$$Q'' = \frac{\dot{Q}}{A}$$

1.5 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία και, λόγω της πολυπλοκότητας του φαινομένου, τρεις μηχανισμοί μελέτης της μεταφοράς θερμότητας διακρίνονται, όπως παρακάτω :

Αγωγιμότητα (αγωγή) (*Conduction*)

Συναγωγιμότητα (συναγωγή) (*Convection*) και

Ακτινοβολία (*Radiation*)

Έχοντας υπόψη το γενικό ορισμό της Μεταφοράς Θερμότητας, δηλαδή θεωρώντας την εμφάνιση του φαινομένου, υπό την προϋπόθεση της ύπαρξης δυναμικής θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ συστημάτων, μόνο η θερμική αγωγιμότητα μπορεί να ταξινομηθεί ως διεργασία καθαρής μεταφοράς θερμότητας, ενώ η θερμική συναγωγιμότητα προϋποθέτει την ύπαρξη ροής μάζας και η ακτινοβολία τη θερμοκρασία του συστήματος.

Παρόλα αυτά και επειδή υφίσταται μεταφορά ενέργειας από σύστημα υψηλής θερμοκρασίας, σε σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας, έχει, το γεγονός αυτό, γίνει αποδεκτό, να μελετάται και ως ένας μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας. Στη συνέχεια, μια σύντομη περιγραφή αυτών των μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας δίνεται, παρακάτω.

1.5.1 Θερμική Αγωγιμότητα

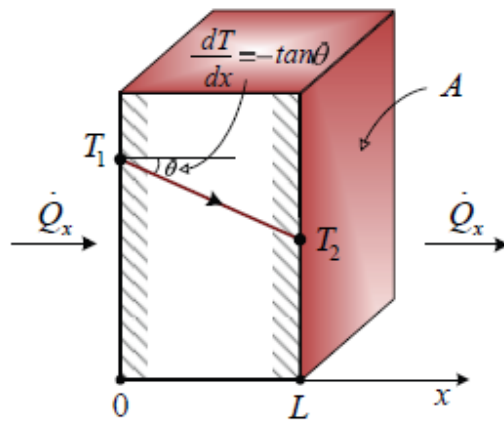
Θερμική Αγωγιμότητα (*thermal conduction*) ορίζεται, ως ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας από μία περιοχή ή σύστημα υψηλής θερμοκρασίας σε μια άλλη ή άλλο χαμηλότερης θερμοκρασίας, μέσω ενός μέσου (στερεού, υγρού ή αέριου σε ηρεμία), υπό την προϋπόθεση της φυσικής επαφής.

Η μεταφορά αυτή επιτυγχάνεται είτε με μοριακή αλληλεπίδραση, δηλαδή μεταφορά ενέργειας από τα περισσότερα ενεργητικά μόρια στα γειτονικά τους, με χαμηλότερο επίπεδο ενέργειας, είτε μέσω της συγκέντρωσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων στα,

καθαρώς, μεταλλικά στερεά. Ειδικότερα, όταν τα μόρια μιας περιοχής της ύλης αποκτούν μία μέση κινητική ενέργεια, μεγαλύτερη αυτής των μορίων της γειτονικής περιοχής, αυτό εκδηλώνεται υπό τη μορφή μιας θερμοκρασιακής διαφοράς. Οπότε, η ενέργεια, ή μέρος της, μεταφέρεται στα μόρια της περιοχής της μικρότερης θερμοκρασίας, γεγονός το οποίο επαληθεύει τον ορισμό της θερμικής αγωγιμότητας.

Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας, μέσω αγωγιμότητας, λαμβάνει χώρα μέσω ελαστικών κρούσεων ή μέσω διάχυσης των μορίων, κατά την τυχαία κίνησή τους, στα αέρια και ρευστά. Στην περίπτωση των στερεών μέσων, η αντίστοιχη θερμική ενέργεια μεταφέρεται, μέσω των ταλαντώσεων των μορίων του πλέγματος και των κινουμένων ηλεκτρονίων, από περιοχές υψηλής, σε περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα μετάδοσης θερμότητας με αγωγιμότητα είναι το φαινόμενο απώλειας θερμότητας, που παρατηρείται σε κλειστούς θερμαινόμενους χώρους κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, το οποίο οφείλεται, κυρίως, στην αγωγιμότητα των τοίχων, των παραθύρων, της οροφής κλπ. (Σχήμα 1.5). ειδικότερα στις θερμοκηπιακές κατασκευές, οφείλεται στην αγωγιμότητα του καλύμματος.



Σχήμα 1.5: Χαρακτηριστικό παράδειγμα Θερμικής Αγωγιμότητας

Ο ρυθμός μεταβολής της θερμικής αγωγιμότητας, μέσω ενός μέσου, εξαρτάται από τη γεωμετρία του μέσου, το πάχος του, το υλικό του και από τη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στα όριά του. Δηλαδή, η ροή θερμότητας, Q , μέσω ενός τοιχώματος, όπως στο Σχήμα 1.5, είναι ανάλογη της θερμοκρασιακής διαφοράς, ΔT , των ορίων του μέσου και της κάθετης επιφάνειας, A , στην κατεύθυνση της μεταφοράς θερμότητας, ενώ είναι

αντιστρόφως ανάλογη του πάχους του μέσου, Δx . Επομένως, προκύπτει, ότι:

$$Q_{cond} = kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (W)$$

όπου, η σταθερή ποσότητα, k , είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του μέσου και είναι η χαρακτηριστική φυσική ιδιότητα του υλικού, υποδηλώνοντας την ικανότητά του να μεταφέρει θερμότητα. Τυπικές τιμές του, k , για τα διάφορα υλικά κάλυψης που χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια, δίνονται στον Πίνακα 1.1

Στην οριακή περίπτωση, όπου το πάχος του μέσου τείνει στο 0 ($\Delta x \rightarrow 0$), η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφεί σε διαφορική μορφή, η οποία καλείται και **Νόμος του Fourier**, προς τιμή του Γάλλου μαθηματικού και φυσικού, ο οποίος, την παρουσίασε το 1822.

:

$$Q_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} = (W)$$

Ο όρος , dT/dx , είναι η πρώτη παράγωγος της θερμοκρασίας ως προς τη χωρική μεταβολή x , ή αλλιώς η θερμοκρασιακή κλίση. Το αρνητικό πρόσημο της Εξίσωσης (1.9) είναι η συνέπεια του δεύτερου θερμοδυναμικού νόμου, όπου εξασφαλίζει, ότι η θερμότητα μεταφέρεται, κατά αντίθετη κατεύθυνση, με τη θερμοκρασιακή κλίση.

1.5.2 Θερμική Συναγωγιμότητα

Θερμική Συναγωγιμότητα ή Συναγωγή (*thermal convection*) ορίζεται, ως ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας μεταξύ μιας στερεής επιφάνειας και ενός παρακείμενου κινούμενου ρευστού (υγρού ή αερίου) και είναι ένας συνδυασμός αγωγιμότητας και κίνησης του ρευστού. Ο μηχανισμός λειτουργίας της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγιμότητα δεν εξαρτάται, κυρίως, από τη θερμοκρασιακή διαφορά, και μόνο, αλλά ακολουθεί μια σειρά φυσικών διεργασιών, όπως εξηγείται στη συνέχεια.

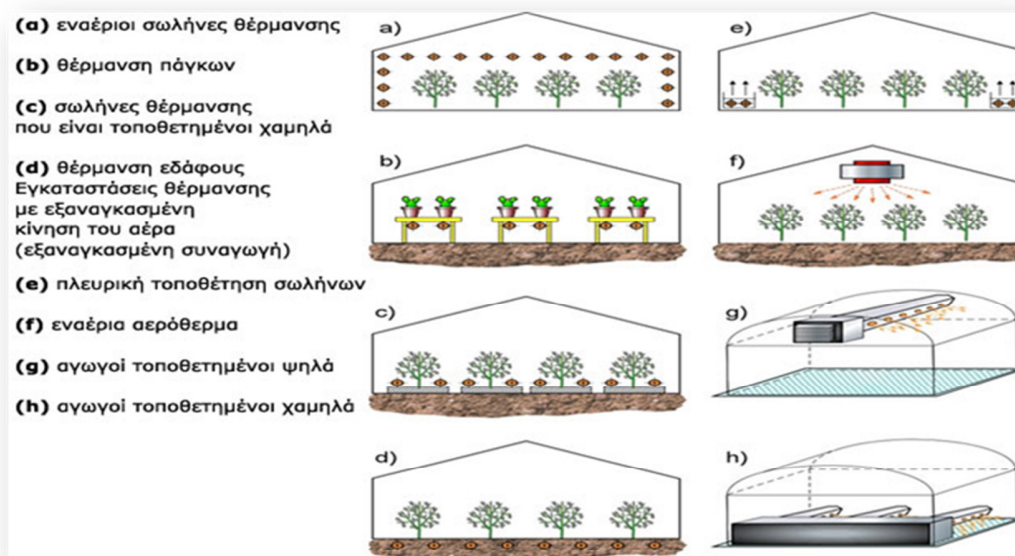
Αρχικά, η ροή θερμότητας διενεργείται μέσω αγωγιμότητας από μία στερεή επιφάνεια στα γειτονικά μόρια του ρευστού. Η μεταφερόμενη ενέργεια, κατ' αυτόν τον τρόπο, συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας και της εσωτερικής ενέργειας των μορίων του ρευστού. Στη συνέχεια, τα μόρια του ρευστού κινούνται προς την περιοχή της

χαμηλότερης θερμοκρασίας και αναμειγνύονται με το υπόλοιπο μέρος των μορίων του ρευστού. Η θερμική ενέργεια, λοιπόν, αποθηκεύεται στα μόρια του ρευστού και μεταφέρεται, σαν αποτέλεσμα, στην κινούμενη μάζα του. Η διαδικασία αυτού του είδους της μεταφοράς θερμότητας, ορίζεται θερμική συναγωγιμότητα ή θερμική συναγωγή.

Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η κίνηση του ρευστού, τόσο αυξάνει και η ροή θερμότητας μέσω συναγωγής. Εάν το ρευστό είναι στάσιμο (δεν κινείται), τότε η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται, μόνο, μέσω αγωγής. Η παρουσία της κίνησης του ρευστού ενδυναμώνει τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του στερεού τοιχώματος και του ρευστού, αλλά περιπλέκει τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της.

Η θερμική συναγωγιμότητα ταξινομείται, σύμφωνα με τη φύση της κίνησης του ρευστού.

Εξαναγκασμένη (Forced) Θερμική Συναγωγιμότητα συντελείται στις περιπτώσεις, όπου το ρευστό κινείται επί μιας επιφάνειας, λόγω εξωτερικών παραγόντων, όπως υπό την επίδραση ενός ανεμιστήρα, μίας αντλίας ή εξ αιτίας του ανέμου. Αντιθέτως, **Ελεύθερη (Free)** ή **Φυσική (Natural)** θερμική συναγωγιμότητα συντελείται, όταν η κίνηση του ρευστού οφείλεται σε δυνάμεις άνωσης, που προκαλούνται από τις διαφορετικές τιμές πυκνότητας, λόγω της θερμοκρασιακής διανομής του ρευστού.



Σχήμα 1.6: εγκαταστάσεις θέρμανσης θερμοκηπίου με φυσική συναγωγή (a,b,c) και με εξαναγκασμένη συναγωγή (d,e,f,g,h)

Παρόλη την πολυπλοκότητα του φαινομένου της θερμικής συναγωγιμότητας, ο ρυθμός μεταφοράς της εκφράζεται μέσω του **Νόμου του Newton**

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_w)$$

A=το εμβαδόν της επιφάνειας μέσω της οποίας πραγματοποιείται η μεταφορά θερμότητας

T_s=η θερμοκρασία της επιφάνειας

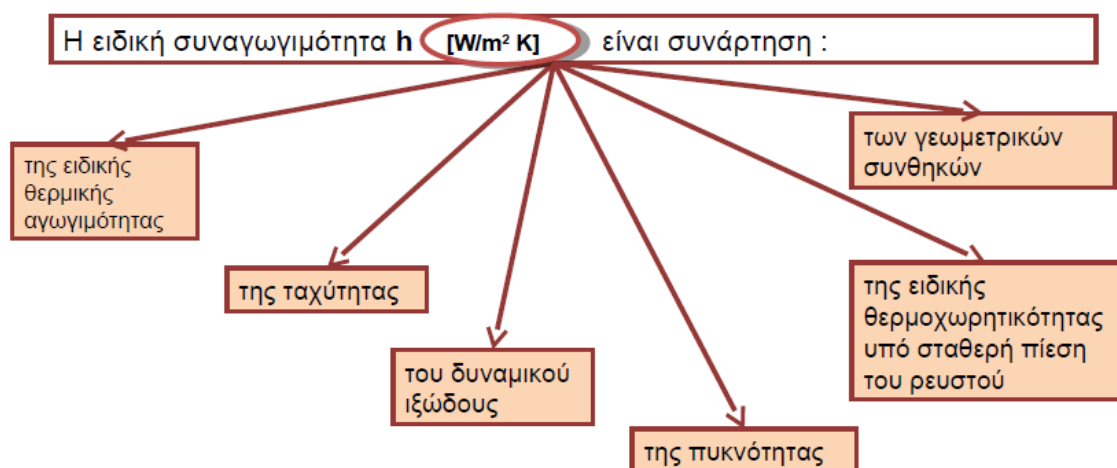
T_w= η θερμοκρασία του ρευστού που βρίσκεται μακριά από την επιφάνεια

h= ο συντελεστή συναγωγής [W/m² K]

Στόχος του κάθε προβλήματος μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή είναι ο προσδιορισμός του **μέσου συντελεστή συναγωγής για κάθε** εφαρμογή. Ο συντελεστής συναγωγής γύρω από ένα σώμα (ή, αντίστοιχα, μέσα σε ένα σωλήνα) δεν έχει την ίδια τιμή σε όλα τα σημεία, λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών της ροής

Παράγοντες που επηρεάζουν το συντελεστή συναγωγής είναι:

- Ταχύτητα του ρευστού
- Είδος της ροής (στρωτή – τυρβώδης)
- Ιδιότητες του ρευστού (πυκνότητα, ιξώδες)
- Θερμοκρασία του ρευστού
- Φαινόμενα βρασμού – συμπύκνωσης
-



1.5.3 Ακτινοβολία

Κάθε σώμα (στερεό, υγρό ή αέριο), το οποίο βρίσκεται σε θερμοκρασία διαφορετική από 0 K, εκπέμπει θερμική ακτινοβολία. Η ακτινοβολία (σε μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων - φωτονίων) δημιουργείται με αλλαγές στην ενεργειακή κατάσταση των ηλεκτρονίων των ατόμων του σώματος. Σε αντίθεση με τους άλλους δύο μηχανισμούς μετάδοσης θερμότητας (αγωγή και συναγωγή), η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία δεν απαιτεί την ύπαρξη ύλης, αλλά μπορεί να πραγματοποιείται στο κενό (στην πραγματικότητα η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία πραγματοποιείται πιο αποδοτικά στο κενό).

Η ακτινοβολία που εξέρχεται από την επιφάνεια ενός σώματος παράγεται στο εσωτερικό του σώματος και ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια εξέρχεται από μοναδιαίο εμβαδόν της επιφάνειας καλείται *πυκνότητα εκπεμπόμενης ακτινοβολίας* E , ενώ η μέγιστη τιμή της E_b δίδεται από τον νόμο *Stefan - Boltzman* ως:

$$E_b = \sigma T_s^4$$

όπου T_s η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας (σε K) και σ η σταθερά των Stefan - Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \text{ K}^2)$). Η επιφάνεια που εκλύει τη μέγιστη αυτή ισχύ ακτινοβολίας ονομάζεται *μέλαν σώμα (blackbody)*. Σε μία πραγματική επιφάνεια η ακτινοβολούσα ισχύς είναι προφανώς μικρότερη για την ίδια θερμοκρασία και δίδεται:

$$E = \varepsilon \sigma T^4$$

όπου ε η *ικανότητα εκπομπής (emissivity)* της επιφάνειας, με τιμές μεταξύ 0 και 1. Η τιμή της εξαρτάται από το υλικό και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας και δείχνει πόσο προσεγγίζει η συγκεκριμένη επιφάνεια το μέλαν σώμα.

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από μια πραγματική επιφάνεια είναι πάντοτε μικρότερη από εκείνη που εκπέμπει το μέλαν σώμα. Κατά συνέπεια, η εκπομπή του μέλανος σώματος θεωρείται ως περίπτωση αναφοράς και χρησιμεύει ως πρότυπο για την σύγκριση των ιδιοτήτων της ακτινοβολίας των πραγματικών επιφανειών. Η ικανότητα εκπομπής μιας επιφάνειας ή συντελεστής εκπομπής, ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας που εκπέμπει η επιφάνεια αυτή προς την ενέργεια που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα στην ίδια θερμοκρασία. Ο συντελεστής εκπομπής συμβολίζεται με ε , και κυμαίνεται μεταξύ μηδενός και μονάδας, $0 \leq \varepsilon \leq 1$. Ο συντελεστής εκπομπής, αποτελεί μέτρο του κατά πόσο μια επιφάνεια προσεγγίζει την συμπεριφορά ενός μέλανος σώματος, για το οποίο ε

= 1.

Εκτός από την εκπομπή ακτινοβολίας από μια επιφάνεια, γίνεται και πρόσπτωση ακτινοβολίας, η οποία παράγεται εκτός της επιφάνειας. Αν G η πυκνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (ισχύς ανά μονάδα επιφανείας), τότε ένα τμήμα της μπορεί να απορροφηθεί από το σώμα (αυξάνοντας την εσωτερική του ενέργεια), ένα τμήμα μπορεί να ανακλαστεί, ενώ το υπόλοιπο τμήμα μπορεί να διαπεράσει το σώμα (εάν αυτό είναι ημιδιαφανές).

Το ποσοστό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφάται από το σώμα περιγράφεται με την *απορροφητικότητα* a , οπότε ισχύει:

$$G_{\text{απορρ}} = G$$

Προφανώς η απορροφητικότητα παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1. Η απορροφητικότητα της επιφάνειας δεν εξαρτάται μόνο από την επιφάνεια αλλά και από το είδος της ακτινοβολίας. Η ίδια επιφάνεια μπορεί να έχει διαφορετική απορροφητικότητα σε ακτινοβολίες διαφορετικού μήκους κύματος. Μόνο η απορροφώμενη ακτινοβολία μεταβάλλει την εσωτερική ενέργεια του σώματος, ενώ η ανακλώμενη και η ακτινοβολία που διαπερνά το σώμα δεν έχουν προφανώς καμία επίδραση σε αυτή.

Το ποσό της ενέργειας που ένα σώμα ακτινοβολεί ανά δευτερόλεπτο, δηλαδή η ισχύς της ακτινοβολουμένης ενέργειας, εξαρτάται από:

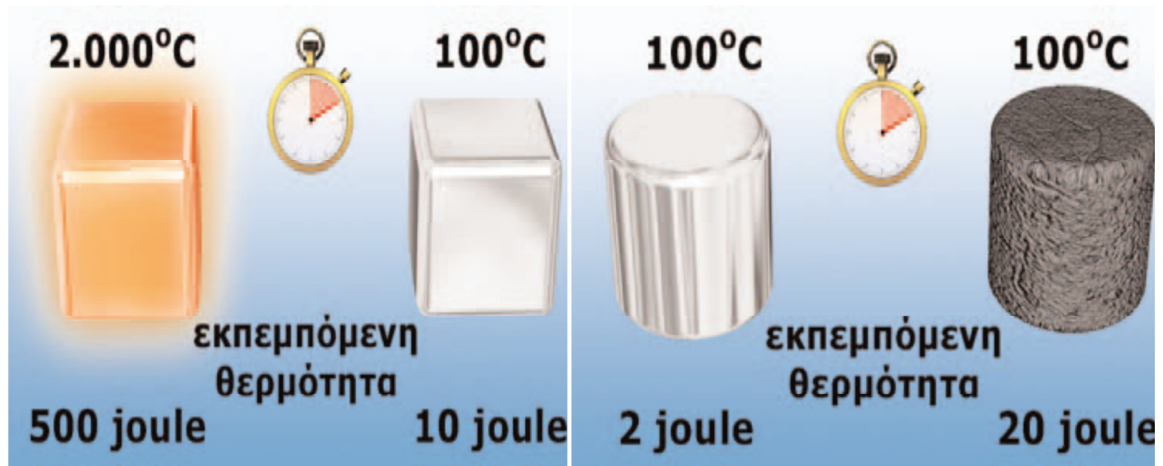
α. Τη θερμοκρασία του σώματος. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία ενός σώματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η ισχύς της ακτινοβολουμένης ενέργειας (Σχήμα 1.7).

β. Το εμβαδόν της επιφάνειας του σώματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνειά του σώματος, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ισχύς της ακτινοβολουμένης ενέργειας.

γ. Την υφή της επιφάνειας. Οι τραχιές επιφάνειες εκπέμπουν θερμότητα με ακτινοβολία εντονότερα από τις λείες (Σχήμα 1.8).

δ. Το χρώμα της επιφάνειας του σώματος. Οι σκουρόχρωμες επιφάνειες εκπέμπουν θερμότητα με ακτινοβολία εντονότερα από τις ανοιχτόχρωμες (Σχήμα 1.8).

Από τους ίδιους παράγοντες και ακριβώς με τον ίδιο τρόπο εξαρτάται και η ισχύς της ενέργειας που απορροφάται από ένα σώμα



Σχήμα 1.7: Τα δυ σώματα είναι πανομοιότυπα. Στο ίδιο χρονικό διάστημα το θερμότερο ακτινοβολεί μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας.

Σχήμα 1.8: Στο ίδιο χρονικό διάστημα το τραχύ και σκουρόχρωμο σώμα ακτινοβολεί μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας από το ανοικτό και λείο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

2.1 ΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Οι μεταβολές που συμβαίνουν στο περιβάλλον του θερμοκηπίου είναι αποτέλεσμα των ανταλλαγών ενέργειας που συμβαίνουν μεταξύ των στοιχείων του θερμοκηπίου με τον περιβάλλοντα εξωτερικό χώρο. Η μελέτη των ανταλλαγών ενέργειας βοηθά:

- Στην καλύτερη εκτίμηση των προβλημάτων θέρμανσης και εξαερισμού του θερμοκηπίου
- Στην αξιολόγηση των διαφόρων λύσεων εξοικονόμησης ενέργειας στο θερμοκήπιο
- Στην κατανόηση των μεταβολών της θερμοκρασίας και της RH μέσα στο θερμοκήπιο

Με τον όρο θερμικό ισοζύγιο του θερμοκηπίου εννοούμε το άθροισμα όλων των θερμικών ροών από και προς ένα θερμοκήπιο. Οι θερμικές αυτές ροές αναφέρονται σε κέρδη (θερμικές πρόσδοδοι ή θερμικά κέρδη) και σε απώλειες (θερμικές απώλειες) του θερμοκηπίου που οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος

Το θερμικό ισοζύγιο του θερμοκηπίου μπορεί να εκφραστεί με τη μορφή μιας απλής μαθηματικής σχέσης που έχει τη μορφή:

$$QH = RN + Q_{cc} + Q_v + LE + Q_s$$

QH: η απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης σε W/m^2

RN: η καθαρή ανταλλαγή ενέργειας με ακτινοβολία μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος του σε W/m^2

Q_{cc} : η αισθητή θερμότητα από αγωγιμότητα και συναγωγή και μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος του σε W/m^2

Q_v : η απώλεια θερμότητας εξαιτίας των διαφυγών και του αερισμού σε W/m^2

LE: η λανθάνουσα θερμότητα λόγω εξάτμισης (ή συμπύκνωσης) σε W/m^2 (κατά τη διάρκεια της νύχτας, επειδή δεν έχουμε διαπνοή, $LE = 0$)

Q_s : η μεταφορά θερμότητας στο έδαφος W/m^2 .

2.2 ΕΙΔΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

Για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου πρέπει να προστεθεί θερμότητα μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία και εν συνεχεία να προστίθεται θερμότητα με τον ρυθμό που αυτή χάνεται.

Υπάρχουν 3 τρόποι μέσω των οποίων ένα θερμοκήπιο χάνει θερμότητα οι οποίοι είναι:

Αγωγή: απώλεια θερμότητας μέσω των υλικών κάλυψης του θερμοκηπίου

Μεταφορά: διαφυγές μέσω των καλυμμάτων, παραθύρων, οπών, κλπ

Μεταφερόμενα ρεύματα (αέρα) από έξω = περισσότερες αγωγίμες απώλειες θερμότητας

Ακτινοβολία: θερμά αντικείμενα εκπέμπουν ακτινοβολία ενέργεια, η οποία μεταβιβάζεται μέσω του αέρα στα ψυχρότερα αντικείμενα χωρίς όμως να θερμαίνεται ο αέρας

Ειδικότερα, οι ενεργειακές απώλειες λόγω αγωγής και συναγωγής από το κάλυμμα εξαρτώνται:

- Από το πάχος και την επιφάνεια του καλύμματος.
- Από το μέγεθος της επιφάνειας του καλύμματος
- Από τις ιδιότητες του υλικού
- Από την ταχύτητα του ανέμου έξω
- Από την διαφορά θερμοκρασίας (Tin-Tout)

Οι ενεργειακές απώλειες με διαφυγές του αέρα από ενώσεις-συνδέσεις του υλικού κάλυψης, παράθυρα κλπ. είναι μεγάλες λόγω:

- Πλημμελούς εγκατάστασης του καλύμματος στον σκελετό
- Παλαιάς και κακοσυντηρημένης κατασκευής
- Ταχύτητα του ανέμου έξω

Τέλος ενεργειακές απώλειες υπάρχουν με αγωγιμότητα από το έδαφος και με την εκπεμπόμενη IR από το έδαφος, τα φυτά και το ίδιο το θερμοκήπιο.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω καταλήγουμε σε 3 εκφρασμένες ενεργειακές απώλειες στο θερμοκήπιο

- Απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα (συνδυασμένες απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας),
- Απώλειες από διαφυγές του αέρα (απώλειες θερμότητας λόγω διαφυγών του αέρα από και προς το θερμοκήπιο),
- Απώλειες θερμότητας με αγωγιμότητα προς το έδαφος.

2.2.1 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΑΛΥΜΜΑ

Οι απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα λόγω αγωγής με αρκετά καλή προσέγγιση, μπορούν να εκφραστούν από τη γραμμική σχέση:

$$Q_{\text{conduction}} = A_c K_c (T_i - T_0) \quad [\text{W}]$$

A_c είναι η επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου σε m^2 ,

T_i είναι η μέση επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού του θερμοκηπίου σε $^{\circ}\text{C}$,

T_0 είναι η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος σε $^{\circ}\text{C}$,

K_c είναι ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το κάλυμμα σε $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$,

Η T_i εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας,

Η T_0 αναζητείται από στατιστικά δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών στο διαδίκτυο.

2.2.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΛΟΓΩ ΣΥΝΑΓΩΓΗΣ

Αυτές οι απώλειες θερμότητας συμβαίνουν από το όλο κάλυμμα προς το εξωτερικό περιβάλλον, υπολογίζονται δε από τον παρακάτω τύπο:

$$Q_{\text{convection}} = h_{c0} A_c (T_c - T_0) \quad [\text{W}]$$

h_{c0} = συντελεστής συναγωγής μεταξύ καλύμματος και εξωτερικού περιβάλλοντος, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

A_c = επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου, m^2

$T_c - T_0$ = διαφορά θερμοκρασίας του καλύμματος του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος, K

Όσον αφορά τον συντελεστή συναγωγής h_{c0} εξωτερικά του καλύμματος του θερμοκηπίου εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα του ανέμου και κατά δεύτερον από την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ καλύμματος και εξωτερικού περιβάλλοντος.

Παρατηρείται, ότι όσο μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ καλύμματος και εξωτερικού περιβάλλοντος καταγράφονται τόσο υψηλότερες ταχύτητες ανέμου απαιτούνται και για να συμβαίνει καθαρά εξαναγκασμένη συναγωγή. Καθαρά φυσική συναγωγή λαμβάνει χώρα όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι χαμηλή ανεξάρτητα από την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ καλύμματος και εξωτερικού περιβάλλοντος. Στις περισσότερες όμως των περιπτώσεων η μικτή συναγωγή είναι ο μηχανισμός που επικρατεί εξωτερικά του καλύμματος και έτσι είναι πολύ δύσκολο να δοθεί μια απλή σχέση για τον υπολογισμό του συντελεστή συναγωγής στο εξωτερικό του καλύμματος του θερμοκηπίου. Όμως η παρακάτω εμπειρική σχέση προσεγγίζει με επαρκή ακρίβεια τον υπολογισμό του συντελεστή συναγωγής στο εξωτερικό του καλύμματος λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω:

$$h_{co} = 0.95 + 6.76u^{0.49} \text{ W/m}^2\text{K}$$

2.2.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΚΑΛΥΜΜΑ ΛΟΓΩ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Αυτές οι απώλειες θερμότητας συμβαίνουν από το όλο κάλυμμα προς τον ουρανό, είναι δε σημαντική πηγή ενεργειακών κάτω από συνθήκες καθαρού ουρανού και υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$Q_{\text{radiation}} = \sigma A_c \epsilon_c (T_a^4 - T_{\text{sky}}^4) \text{ (W)}$$

σ = σταθερά Stefan- Boltzmann, $\text{W/m}^2\text{K}^4$

A_c = επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου, m^2

ϵ_c = συντελεστής εκπομπής του καλύμματος

T_a = η απόλυτη θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου, K

T_{sky} = η θερμοκρασία του ουρανού, K

Η θερμοκρασία του ουρανού είναι μια πλασματική θερμοκρασία και εισάγεται στην εξίσωση της θερμικής ακτινοβολίας που ανταλλάσσεται μεταξύ μιας επιφάνειας και του ουρανού. Συχνά λαμβάνεται ίση με την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος,

όμως ένα τέτοιο μοντέλο δεν είναι ικανοποιητικό ιδιαίτερα στα εύκρατα κλίματα κατά την διάρκεια καθαρών νυχτών. Η θερμοκρασία ουρανού σε εύκρατα κλίματα μια καθαρή νύχτα έχει αναφερθεί ότι είναι έως και 25 °C χαμηλότερη από το εξωτερικό περιβάλλον και περίπου 6 °C χαμηλότερη όταν επικρατεί συννεφιά.

Πίνακας 1: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Υλικό κάλυψης	n Διαφυγές/h	K (W/m ² K)	Περατότητα % (στην θερμική ακτινοβολία)
Γυαλί (4 mm)	1.5	5.8	4.4-0.01
Διπλό γυαλί	1.2	2.9	0.01
απλό φύλλο PE (8/100mm)	2.5	6.3	0.88
διπλό φύλλο PE (8/100mm)	1.2	2.9	0.64
Fiber Glass (πολυεστερικές πλάκες με ίνες γυαλιού)	1.5	4.0	0.01
PVC	1.5	2.5	0.12
FRP (με αυλακώσεις)			1.0
PMMA (ακρυλικές πλάκες, plexiglass) 16 mm		2,7	
PMMA (ακρυλικές πλάκες, plexiglass) 32 mm		1,9	

2.2.4 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΛΟΓΩ ΔΙΑΦΥΓΩΝ ΤΟΥ ΑΕΡΑ ΑΠΟ ΚΑΙ ΠΡΟΣ ΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

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 κατεύθυνση του ανέμου. Αυτές οι ενεργειακές απώλειες λόγω διαφυγών, οφείλονται στις αναπόφευκτες κατασκευαστικές ατέλειες του θερμοκηπίου και υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$Q_{leakages} = C_{pa} \rho_a N V / 3600 (T_a - T_0) = 0,36 N V (T_a - T_0) \quad (W)$$

C_{pa} = ειδική θερμότητα αέρα, J/ Kg¹K¹

ρ_a = πυκνότητα αέρα, Kg m⁻³

N = αριθμός εναλλαγών του αέρα από διαφυγές ανά ώρα, h⁻¹

V = όγκος θερμοκηπίου, m³

$T_a - T_0$ = διαφορά θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου και του εισερχόμενου αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, K

2.2.5 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Στον χώρο του θερμοκηπίου παρατηρείται ροή ενέργειας προς το έδαφος. Οι απώλειες θερμότητας προς το έδαφος του θερμοκηπίου αναπαριστούν μια σύνθετη (τριδιάστατη) διαδικασία αγωγής. Αυτές οι απώλειες θερμότητας είναι ανάλογες με το εμβαδόν του εδάφους του θερμοκηπίου και την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εδάφους και του υπεδάφους. Η θερμοκρασία του υπεδάφους και η ροή της θερμότητας προς αυτό είναι πολύπλοκο να προσδιοριστούν. Έτσι στην πράξη η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εδάφους και υπεδάφους προσεγγίζεται αρκετά καλά από την θερμοκρασία των φυτών και του εξωτερικού περιβάλλοντος αντίστοιχα. Έτσι διαμορφώνεται η σχέση:

$$Q_{conduction_soil} = K_s A_s (T_p - T_0) \quad (W)$$

όπου ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το έδαφος του θερμοκηπίου, K_s λαμβάνεται ίσος με $1.85 \text{ W/m}^2\text{K}^1$, τιμή που αντιστοιχεί σε ένα μέσο γεωργικό έδαφος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες αποτελούν το πιο εξελιγμένο, το πιο ελεγχόμενο και από τα πιο δυναμικά τμήματα της αγροτικής παραγωγικής διαδικασίας. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες εντατικοποίησης και ελέγχου της παραγωγής σε μια θερμοκηπιακή μονάδα είναι η θέρμανση, το κόστος της οποίας αποτελεί το 25-30% του συνολικού λειτουργικού κόστους. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, το είδος του θερμοκηπίου και το είδος της καλλιέργειας. Είναι προφανές ότι η ελαχιστοποίηση του κόστους θέρμανσης αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες σε ό,τι αφορά την οικονομική βιωσιμότητα ενός θερμοκηπίου.

Η εξοικονόμηση ενέργειας ξεκινά με καλή θερμική μόνωση των κατασκευών γενικά. Αυτό είναι σχετικά εύκολα υλοποιήσιμο στις κλειστές σταβλικές εγκαταστάσεις, παρουσιάζει μεγάλες δυσκολίες στα θερμοκήπια. Ένα σύστημα διαχείρισης της ενέργειας (Energy Management Systems-EMS) πρέπει να διαχειριστεί τις ενεργειακές ροές (θερμικές και ηλεκτρικές). Σε πρώτο επίπεδο ελέγχει το διαθέσιμο δυναμικό, σε ένα δεύτερο τις διαθέσιμες αποθήκες ενέργειας και τέλος συνεργάζεται με το σύστημα διαχείρισης του κτιρίου (Building Energy Management Systems-BEMS), με σκοπό να καλύψει τις εκάστοτε ανάγκες. Τα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, (ηλιακή ενέργεια με Φωτοβολταϊκά συστήματα και Γεωθερμία κυρίως)
- Παθητικά συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας

3.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1.1 Ηλιακή Ενέργεια.

Η ηλιακή ενέργεια που συλλέγει η γη κατά την διάρκεια ενός χρόνου είναι δέκα φορές μεγαλύτερη από τις συνολικές πηγές φυσικών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων των αποθεμάτων που δεν έχουν ανακαλυφθεί ή εξερευνηθεί και που δεν είναι ανανεώσιμα. Ο ήλιος καθώς στέλνει στην γη ενέργεια ισχύος 150.109 MW. Από την

ενέργεια αυτή το 30% ανακλάται στο διάστημα από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Το 46% φτάνει στην επιφάνεια της γης όπου μετατρέπεται σε θερμότητα και επανακλάται με θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Από το υπόλοιπο 24% το 23% δαπανάται για την εξάτμιση του νερού των θαλασσών και το εναπομένον 1% για την αιολική ενέργεια, την ενέργεια των κυμάτων, καθώς και την φωτοσύνθεση.

Η άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας με την παραγωγή και εγκατάσταση συσκευών αποτέλεσε καινοτομία στην ενεργειακή εξέλιξη του ανθρώπου. Ενώ η έμμεση ηλιακή ενέργεια επιδρά με φυσικές διαδικασίες στο νερό, τον αέρα και την φωτοσύνθεση, η άμεση χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας απαιτεί ειδικά σχεδιασμένα και εγκατεστημένα τεχνικά συστήματα προκειμένου να απορροφούν και να μετατρέπουν την συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια. Υπάρχουν διάφορες τεχνολογίες που μπορούν να δεσμεύσουν την ηλιακή ακτινοβολία και να την μετατρέψουν σε κατάλληλη ενέργεια να αξιοποιηθεί είτε σε επίπεδο ηλεκτροπαραγωγής είτε στον οικιακό τομέα για παραγωγή ηλεκτρισμού η απλά για θέρμανση νερού και άλλες οικιακές χρήσεις. Ανάλογα με την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας για τελική χρήση της, τα συστήματα συλλογής και μετατροπής της ηλιακής ενέργειας διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. **Συστήματα απευθείας μετατροπής της ενέργειας σε θερμότητα.** Η μετατροπή αυτή μπορεί να γίνει:

- Με τη χρήση των θερμικών ηλιακών συστημάτων που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατροπή σε θερμότητα σε κάποια θερμομονωμένη δεξαμενή, όπου την αποθηκεύουν και ονομάζονται ενεργητικά συστήματα.
- Με τα παθητικά ηλιακά συστήματα, δηλαδή όλα τα κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα δομικά στοιχεία των κατασκευών (κτίρια, θερμοκήπια) που υποβοηθούν την καλύτερη άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είτε για τη θέρμανση των κατασκευών το χειμώνα είτε για το δρόσιμά τους το καλοκαίρι με παθητική συλλογή από την ίδια την κατασκευή, τα θερμοκήπια κλπ. Με τη χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων επιτυγχάνεται επίσης παραγωγή ζεστού νερού για χρήση:

✚ Σε βιομηχανίες που απαιτούν ζεστό νερό κατά τη διάρκεια της παραγωγικής τους διαδικασίας,

✚ Σε θερμοκήπια για θέρμανση εσωτερικού περιβάλλοντος και εδάφους.

✚ Σε μεγάλα δημόσια και ιδιωτικά κτίρια (νοσοκομεία, πολυκατοικίες).

2. Συστήματα απευθείας μετατροπής της ενέργειας σε ηλεκτρισμό, με πιο διαδεδομένο τα φωτοβολταϊκά κύτταρα στα οποία γίνεται η φωτοβολταϊκή μετατροπή. Είναι γνωστά ως Φωτοβολταϊκα συστήματα και χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε επίπεδο ηλεκτροπαραγωγής.
3. Συστήματα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε χημική ενέργεια, όπως η παραγωγή βιομάζας μέσω της φωτοσύνθεσης, η παραγωγή H_2 με φωτοηλεκτρόλυση.

3.1.1.1 Συστήματα συλλογής και θερμικής μετατροπής της ηλιακής ενέργειας

Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

Είναι οι πιο διαδεδομένοι όσον αφορά την θέρμανση νερού και την θέρμανση χώρων και είναι η σπουδαιότερη κατηγορία συσκευών συλλογής της ηλιακής ενέργειας από πλευράς εφαρμογών. Ένας τυπικός επίπεδος συλλέκτης (flat plate collector) αποτελείται από ένα μεταλλικό πλαίσιο στο πάνω μέρος του οποίου τοποθετείται κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό, στο εσωτερικό του τοποθετείται απορροφητική επιφάνεια μαύρου χρώματος ενώ τα πλαϊνά και η κάτω πλευρά του συλλέκτη είναι μονωμένα για να ελαχιστοποιηθούν οι θερμικές απώλειες. Η λειτουργία του συλλέκτη είναι απλή. Το μεγαλύτερο ποσοστό από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από την εσωτερική επιφάνεια που συμπεριφέρεται ως "μέλαν" σώμα στην ηλιακή ακτινοβολία. Το μεγαλύτερο μέρος από την ενέργεια που απορροφάται, μεταφέρεται σε κάποιο ρευστό, ενώ το υπόλοιπο ανακλάται. Η θερμότητα που παράγεται από το ρευστό, είναι το ωφέλιμο ενεργειακό κέρδος του συλλέκτη και ή αποθηκεύεται, ή τροφοδοτεί απευθείας το φορτίο.



Εικόνα 3.1: Ηλιακός συλλέκτης βιομηχανικού τύπου τοποθετημένος έξω από θερμοκήπιο

3.1.1.2 Συστήματα άμεσης ηλεκτρικής μετατροπής της ηλιακής ενέργειας

Φωτοβολταϊκό σύστημα (PV)

Η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια επιτυγχάνεται με την χρήση ηλιακών κύτταρων, διαδικασία γνωστή ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (Φ/Β) αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (ή πλαίσια, ή όπως λέγονται συχνά στο εμπόριο, «κρύσταλλα») φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή «κυψελών», ή «κυττάρων»), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή. Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Η διαδικασία αυτή εξαρτάται από την θέρμανση του κυττάρου αφού η απόδοση των φωτοβολταϊκών μειώνεται καθώς η θερμοκρασία λειτουργίας τους αυξάνει. Τα ηλιακά κύτταρα πλεονεκτούν στο ότι εφαρμόζονται σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από μικρή έκθεση στον ήλιο ανά μονάδα επιφανείας. Στην περίπτωση που επικρατεί συννεφιά τα φ/β λειτουργούν με την ίδια απόδοση εν αντιθέσει με τα συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα που χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω θερμοδυναμικής μετατροπής με πολύ χαμηλές αποδόσεις

λόγω της συλλογής μόνο της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας. Τα βασικά χαρακτηριστικά των φ/β συστημάτων είναι η απευθείας παραγωγή ενέργειας με μηδενικές εκπομπές ρύπων, η αθόρυβη λειτουργία, οι ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης και η μεγάλη διάρκεια ζωής.

Στο φ/β φαινόμενο δεν χρησιμοποιείται όλη η περιοχή του φάσματος αλλά μέρος αυτής. Συνεπώς ο συντελεστής απόδοσης ενός φ/β δεν είναι σταθερός αλλά επηρεάζεται σημαντικά από την ποιότητα της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρική απόδοση του φ/β εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασία λειτουργίας του. Συγκεκριμένα αύξηση της θερμοκρασίας αυτής κατά 10 0C οδηγεί σε μείωση της ηλεκτρικής του απόδοσης κατά 15%. Σκόπιμη λοιπόν είναι η λειτουργία ενός φ/β συστήματος σε όσο το δυνατόν χαμηλότερη θερμοκρασία ώστε η λειτουργία τους να είναι πιο αποδοτική. Η ηλεκτρική απόδοση του φ/β κυμαίνεται από 5%-15% ανάλογα με τον τύπο τους και τις δεδομένες συνθήκες λειτουργίας, που είναι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η ταχύτητα του πνέοντος ανέμου.

Υβριδικό Φωτοβολταϊκό/θερμικό (PV/T) σύστημα

Το σύστημα αυτό είναι συνδυασμός φωτοβολταϊκών πλαισίων με θερμικές μονάδες. Είναι υβριδικό και σχεδιάζεται έτσι ώστε να πετυχαίνεται εκτός από παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και απολαβή θερμότητας από το φωτοβολταϊκό μέσω της φυσικής η εξαναγκασμένης κυκλοφορίας ενός ρευστού (αέρας η νερό). Σε αυτό οδήγησε το γεγονός ότι τα μέρη στα οποία θα μπορούσαν να τοποθετηθούν φωτοβολταϊκά (κτίρια, θερμοκήπια κλπ) δεν έχουν ανάγκη μόνο σε ηλεκτρισμό αλλά και σε θερμική ενέργεια. Τα υβριδικό φωτοβολταϊκό/θερμικό σύστημα (PV/T) αποτελείται από δυο επιμέρους μονάδες, το φωτοβολταϊκό πλαίσιο και τον θερμικό συλλέκτη, με τις οποίες επιδιώκεται η πλέον αποδοτική αξιοποίηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη. Η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού λειτουργεί ως απορροφητής της ηλιακής ακτινοβολίας τόσο για το φωτοβολταϊκό όσο και για τον συλλέκτη. Ένα μικρό ποσοστό της απορροφούμενης ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό, περίπου 70% μετατρέπεται σε θερμότητα. Έτσι το φωτοβολταϊκό μπορεί να διατηρείται σε χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας, ενώ παράλληλα η απαγομένη

θερμότητα καλύπτει θερμικές ανάγκες. Η απόδοση ενός υβριδικού φωτοβολταϊκού είναι περίπου 10% σε ηλεκτρισμό και 30% σε θερμότητα.



Εικόνα 3.2: Φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετημένα επί της οροφής θερμοκηπίου

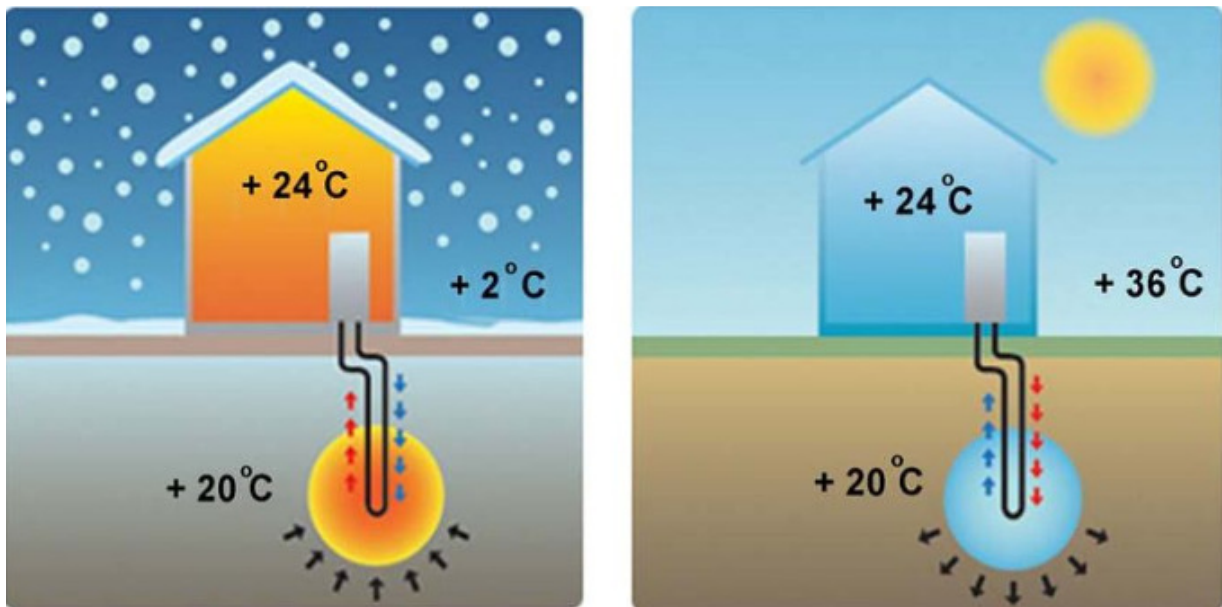
3.1.2 Γεωθερμική ενέργεια

Η θερμοκρασία του εδάφους είναι υψηλότερη από την ατμοσφαιρική κατά την χειμερινή περίοδο, χαμηλότερη κατά την καλοκαιρινή, και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες ανάλογα με το βάθος. Το έδαφος χωρίζεται κυρίως σε τρία στρώματα, το επιφανειακό, η θερμοκρασία του οποίου επηρεάζεται από την καθημερινή αλλαγή θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα και από παράγοντες όπως η ηλιακή ακτινοβολία, ο αέρας, η βροχόπτωση, το αβαθές που επηρεάζεται κυρίως από εποχιακές καιρικές αλλαγές, και το βαθύτερο, η θερμοκρασία του οποίου παραμένει σχετικά σταθερή και ανεπηρέαστη από τις καιρικές συνθήκες.

Το πεδίο βάθους κάθε στρώματος σχετίζεται κυρίως με την μορφολογία του εδάφους και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης αποτελεί την γεωθερμική ενέργεια και είναι τόσο μεγάλη, ώστε μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανεξάντλητη μορφή ενέργειας για τα ανθρώπινα μέτρα. Η

τεχνολογία για την άντληση γεωθερμικής ενέργειας διαφοροποιείται σε αβαθή γεωθερμική σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και σε βαθιά γεωθερμική στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη σε μορφή θερμότητας ενέργεια του φλοιού της γης, σε βάθη έως 150m και με θερμοκρασίες υπεδάφους έως 18 βαθμούς Κελσίου. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (σχεδόν το 50% από τη συνολική ποσότητα που φτάνει στη Γη) από τη γήινη επιφάνεια και που στα γεωγραφικά πλάτη της εύκρατης ζώνης κάτω από κάποιο βάθος παραμένει περίπου σταθερή (10-18 °C) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Στην Κύπρο η ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη κάτω από την επιφάνεια της γης σε βάθος 5-100m η θερμοκρασία κυμαίνεται περίπου 17-23 °C.

Στις περιοχές στις οποίες η θερμική ενέργεια της γης είναι επαρκώς συγκεντρωμένη ώστε να δημιουργεί εκμεταλλεύσιμη ενεργειακή πηγή, αναπτύσσονται γεωθερμικά συστήματα που ανάλογα με τα θερμικά χαρακτηριστικά τους ταξινομούνται σε υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας. Τα υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή ηλεκτρισμού, τα μεσαίας ενθαλπίας για παροχή άμεσης θερμότητας σε κατοικίες και βιομηχανία, ενώ τα χαμηλής ενθαλπίας για θέρμανση και ψύξη κτιρίων και θερμοκηπίων μέσω γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.



Αξιοποίηση της Γεωθερμικής ενέργειας τον χειμώνα και το καλοκαίρι αντίστοιχα

3.2 Παθητικά συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας

3.2.1 Βασικές αρχές λειτουργίας των παθητικών ηλιακών συστημάτων

Η εφαρμογή των παθητικών ηλιακών συστημάτων προϋποθέτει ένα θερμοκήπιο σχεδιασμένο σύμφωνα με τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Η λειτουργία των παθητικών ηλιακών συστημάτων βασίζεται στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου» για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας και τη μετατροπή της σε θερμότητα, στη θερμοχωρητικότητα των υλικών για την αποθήκευση της θερμότητας και στους βασικούς νόμους της θερμοδυναμικής για τη μεταφορά της θερμότητας από το χώρο της συλλογής στην αποθήκη θερμότητας ή και στο χώρο που θα θερμανθεί. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου αναφέρεται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται από το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου (υαλοπίνακας, πλαστικά υλικά) σε θερμική ακτινοβολία και στη δέσμευσή της ως θερμότητα στον εσωτερικό χώρο.

Με την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας (άμεσης και διάχυτης) επάνω στο θερμοκήπιο λαμβάνουν χώρα τρεις διαφορετικοί μηχανισμοί μετάδοσής της:

- ένα ποσοστό ανακλάται προς το εξωτερικό περιβάλλον
- ένα ποσοστό, που είναι το τμήμα που αντιστοιχεί στο ορατό τμήμα του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας -φωτεινή ακτινοβολία- διαπερνά τον υαλοπίνακα, και
- ένα ποσοστό της ακτινοβολίας απορροφάται από το υλικό κάλυψης, από το οποίο ένα μέρος επανακτινοβολείται προς το εξωτερικό περιβάλλον, ένα μέρος προς τον εσωτερικό χώρο και ένα μέρος μετατρέπεται σε θερμική ακτινοβολία.

Το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά, ανακλάται ή απορροφάται από τον υαλοπίνακα εξαρτάται από τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά του:

$$\tau + \rho + \alpha = 1$$

Όπου: τ : διαπερατότητα, ρ : ανακλαστικότητα, και α : απορροφητικότητα

Το ορατό τμήμα του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας, που ανάλογα με τη διαπερατότητα του υλικού κάλυψης, διέρχεται στον εσωτερικό χώρο είναι μικρού μήκους κύματος (0.4-0.8 μm). Η ακτινοβολία προσπίπτει στα δομικά στοιχεία και τα

αντικείμενα που βρίσκονται στον εσωτερικό χώρο και, αλλάζοντας μήκος κύματος, μετατρέπεται σε θερμική ακτινοβολία (ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος). Ο υαλοπίνακας και τα διαφανή εν γένει υλικά είναι αδιαπέραστα στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα σώματα. Η προερχόμενη θερμότητα, δεν μπορεί να διαπεράσει ως θερμική ακτινοβολία τον υαλοπίνακα, εγκλωβίζεται στον εσωτερικό χώρο, απορροφάται από τα δομικά στοιχεία ή από ειδικά διαμορφωμένη «αποθήκη θερμότητας» και πλέον μεταδίδεται στο χώρο με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση του θερμικού ισοζυγίου του χώρου.

Τα παθητικά συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την αποθήκευση θερμότητας μέσα στο θερμοκήπιο κατά την διάρκεια της ημέρας ή για να αφαιρέσουν και να μεταφέρουν την περίσσεια θερμότητας μέσα από το θερμοκήπιο σε περιοχή αποθήκευσης θερμότητας. Αυτή η θερμότητα ανακτάται την νύχτα μέσα στο θερμοκήπιο για να ικανοποιήσει τις θερμικές του ανάγκες. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα συστήματα είναι τα συστήματα αποθήκευσης νερού, η χρήση θερμικών αποθηκευτικών μονάδων από εγκιβωτισμένα στρώματα πετρωμάτων και η αποθήκευση σε υλικά αλλαγής φάσεως (*PCMs*). Εκτός από αυτά, ο εναλλάκτης εδάφους-αέρα (*EAHES*), η κινητή μόνωση (κουρτίνες εξοικονόμησης ενέργειας), η αποθήκευση θερμότητας στο βορεινό τοίχωμα και ο συλλέκτης εδάφους-αέρα (*GAC*) χρησιμοποιούνται για την αύξηση της θερμοκρασίας την νύχτα μέσα στο θερμοκήπιο.

Συστήματα αποθήκευσης νερού

Χρησιμοποιούνται συνήθως διαφανείς σωλήνες πολυαιθυλενίου (*PE*), μεγάλης διαμέτρου (0.5-0.75m), λεπτών τοιχωμάτων, που είναι γεμάτοι με νερό και ενεργούν ως παθητικό σύστημα θέρμανσης (σχήμα 2-4α). Κάτω από τους σωλήνες, που τοποθετούνται ανάμεσα στις γραμμές των φυτών υπάρχει μαύρο φύλλο πολυαιθυλενίου για αύξηση της απορροφητικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι σωλήνες του νερού τη ημέρα θερμαίνονται κυρίως από την ηλιακή και θερμική ακτινοβολία αλλά και με συναγωγή από τον θερμότερο αέρα του θερμοκηπίου. Τις νυχτερινές ώρες το ζεστό νερό ελκύει θερμότητα προς το χώρο του θερμοκηπίου.

Αντί για διαφανείς σωλήνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεξαμενές νερού τοποθετημένες κατά μήκος του βορινού τοιχώματος του θερμοκηπίου που ενεργούν σαν

ηλιακοί συλλέκτες και μέσον αποθήκευσης θερμότητας (σχήμα 2-4β). Σε αυτήν την περίπτωση η βορινή πλευρά συνήθως μονώνεται για να μειωθούν οι ενεργειακές απώλειες και οι δεξαμενές βάφονται μαύρες για να αυξηθεί η απορρόφηση θερμότητας. Η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στις δεξαμενές μπορεί επίσης να αυξηθεί με την τοποθέτηση ανακλαστήρων στο βορινό κάλυμμα του θερμοκηπίου.

Στην περίπτωση των διαφανών σωλήνων η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα μπορεί να αυξηθεί από 2-6 °C για έκταση θερμοκηπίων από 72-500 m². Γυαλί και PE μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων. Το νερό ως μέσον αποθήκευσης θερμότητας στοιχίζει ελάχιστα, το μειονέκτημα όμως είναι ότι το 20-25% της πολύτιμης επιφάνειας του εδάφους καθίσταται μη αξιοποιήσιμη για καλλιέργεια εξαιτίας των σωλήνων. Επιπλέον η απόδοση του συστήματος είναι μικρή κατά την διάρκεια του χειμώνα ιδιαίτερα όταν τα φυτά είναι μεγάλου ύψους και δεν υπάρχει πολλή διαθέσιμη ακτινοβολία κάτω από αυτά. Ένας συνδυασμός διαφανών σωλήνων αποθήκευσης θερμότητας που έχουν γεωθερμικό ρευστό και θερμοκουρτίνας δύναται να αυξήσει αρκετά την απόδοση του συστήματος.

Η χρήση δεξαμενών νερού ως μέσον αποθήκευσης θερμότητας μπορεί να αυξήσει την θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα από 2-11°C και για έκταση θερμοκηπίων από 12-1000 m² και χρειάζονται λιγότερο χώρο σε σχέση με τους διαφανείς σωλήνες εδάφους. Όμως η διάβρωση και οι διαφυγές του νερού είναι προβλήματα που εμφανίζονται κατά την χρήση τους



Εικόνα 3.2: Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση νερού σε διαφανείς σωλήνες

Εγκιβωτισμένο στρώμα πετρωμάτων

Ένα δημοφιλές και οικονομικό υλικό αποθήκευσης θερμότητας είναι το στρώμα πετρωμάτων (χαλίκι, αμμοχάλικο, τούβλα). Η αποθήκευση αισθητής θερμότητας (με τον αέρα ως μηχανισμό ενεργειακών μεταφορών) που τοποθετείται υπόγεια, έχει το πλεονέκτημα μιας μεγάλης και φτηνής επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας. Τα μεγάλα

αποθηκευτικά στρώματα πετρωμάτων είναι κατάλληλα τοποθετημένα στο υπεδάφους σε βάθος μεταξύ 40 – 50 cm ή έξω από το θερμοκήπιο εγκιβωτισμένα σε σκυρόδεμα για καλύτερη μόνωση (σχήμα 2-5). Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η θερμότητα μεταφέρεται μέσα από το θερμοκήπιο στο υπόγειο αποθηκευτικό στρώμα με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα. Τη νύχτα, η διαδικασία αντιστρέφεται. Ο ψυχρός αέρας μετακινείται προς το αποθηκευτικό στρώμα, όπου η θερμότητα μεταφέρεται από το πέτρωμα στον κρύο αέρα, ο οποίος εν συνεχεία επιστρέφει στο θερμοκήπιο. Η πτώση πίεσης μεταξύ του ανώτερου και του κατώτερου χώρου (δηλ. το διάστημα που είναι γεμισμένο με το υλικό) πρέπει να είναι επαρκής για να εξασφαλίσει ομοιόμορφη κατανομή της θερμικής ροής μέσα στο στρώμα πετρωμάτων έτσι ώστε ένα μεγάλο μέρος της θερμοχωρητικότητας του πετρώματος να μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Το χαλίκι με διάμετρο 20-100 mm ως αποθηκευτικό στρώμα πετρώματος είναι προτιμότερο για θερμοκήπια με κάλυμμα PE. Η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα κυμαίνεται από 4-13 °C υψηλότερα από την χαμηλότερη θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος και επιτυγχάνεται σε θερμοκήπια έκτασης από 200-2850 m². Το σύστημα μπορεί να ικανοποιήσει το 20-76% των ετήσιων θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου. Η συσσώρευση πετρωμάτων ως μέσον αποθήκευσης θερμότητας στοιχίζει ελάχιστα, αλλά το κύριο πρόβλημα από την χρήση τέτοιου αποθηκευτικού στρώματος είναι η τεράστια ποσότητα πετρώματος που απαιτείται να συσσωρευτεί για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας. Αυτό οφείλεται στην χαμηλή θερμοχωρητικότητα του πετρώματος σε σύγκριση με το νερό, και το κιβώτιο τοποθέτησης είναι περίπου 3-4 φορές ο όγκος μιας δεξαμενής νερού που θερμαίνεται για το ίδιο θερμοκρασιακό διάστημα. Παρόλο που αυτό το αποθηκευτικό σύστημα δεν απαιτεί καμία επιφάνεια ανταλλαγής θερμότητας καθώς ο ίδιος ο σωρός πετρώματος ενεργεί ως εναλλάκτης θερμότητας και κατά συνέπεια μειώνει το συνολικό κόστος του συστήματος, το κόστος άντλησης του αέρα μέσα από το συσσωρευμένο πέτρωμα αυξάνει αρκετά εξαιτίας της πτώσης της υψηλής πίεσης που δημιουργείται από την αντίσταση του πετρώματος.

Αποθήκευση θερμότητας σε υλικά με αλλαγή φάσεως (PCMs)

Ένα υλικό δύναται να αποθηκεύσει θερμότητα με δύο μορφές: της αισθητής, που εκφράζεται με συνακόλουθη αύξηση της θερμοκρασίας του και της λανθάνουσας με την απαραίτητη αλλαγή φάσης (τήξη).

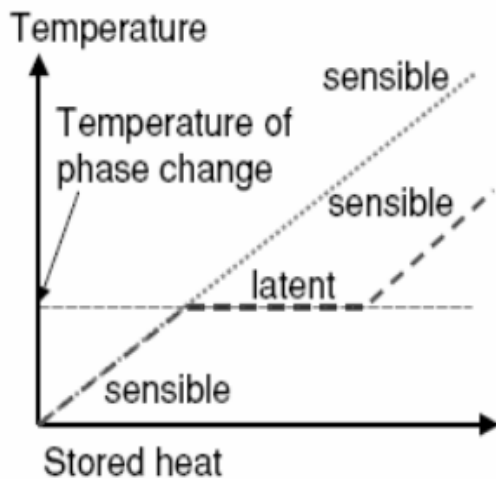
Η αποθηκευτική ικανότητα ενός υλικού αλλαγής φάσης που θερμαίνεται από θερμοκρασία T_1 σε T_2 , αν υφίσταται αλλαγή φάσης σε θερμοκρασία T^* , είναι το άθροισμα της μεταβολής της αισθητής θερμότητας του στερεού από T_1 σε T^* , της λανθάνουσας θερμότητας σε θερμοκρασία T^* και της μεταβολής της αισθητής θερμότητας του υγρού από T^* σε T_2 :

$$Q_s = m[(T^* - T_1) \cdot c_s + \lambda + (T_2 - T^*) \cdot c_l]$$

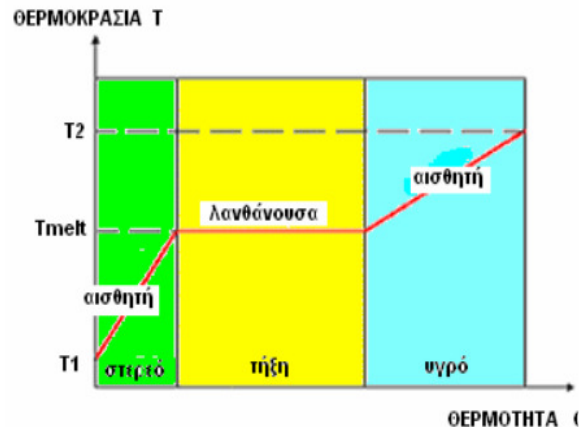
όπου m είναι η μάζα του υλικού, c_s και c_l είναι οι θερμοχωρητικότητες της στερεής και της υγρής φάσης αντίστοιχα και λ είναι η λανθάνουσα θερμότητα.

Τα υλικά αλλαγής φάσης (π.χ. τα εύτηκτα άλατα, όπως το άλας του Glauber), είναι σχετικά νέα υλικά που χρησιμοποιούνται σε επιλεγμένες θέσεις μέσα σε ειδικές δεξαμενές για την αποθήκευση της θερμότητας. Τα υλικά αυτά αλλάζουν φάση (Phase Change Materials - PCM), δηλαδή αλλάζοντας φυσική κατάσταση (για παράδειγμα, από τη στερεά στην υγρή κατάσταση), αποθηκεύουν θερμότητα, την οποία αποδίδουν για να επιστρέψουν στην αρχική φυσική τους κατάσταση. Η αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας με χρήση των υλικών αλλαγής φάσεως (PCMs) είναι ένας αποδοτικός τρόπος αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας. Αντίθετα από την αποθήκευση αισθητής θερμότητας, η αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας παρέχει πολύ υψηλότερη πυκνότητα αποθήκευσης με μια μικρότερη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της αποθήκευσης και της απελευθέρωσης θερμότητας (σχήμα 3.4). Υλικά με μεγάλη ικανότητα θερμικής αποθήκευσης είναι αυτά που διαθέτουν ικανή θερμική μάζα, της τάξης των $1.2 \text{ MJ/m}^3 \text{ K}$ και άνω. Σε έναν κύκλο αποθήκευσης θερμότητας, το PCM μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλες ποσότητες θερμότητας στην αλλαγή της φάσης από την στερεά στην υγρή κατάσταση (λανθάνουσα θερμότητα τήξης) σε μια σταθερή θερμοκρασία που αντιστοιχεί στην θερμοκρασία μεταβολής φάσης. Σε ένα κύκλο απελευθέρωσης θερμότητας, ένα ρευστό που κυκλοφορεί αέρας ή νερό, μπορεί να πάρει τη θερμότητα από τη μονάδα αποθήκευσης αναγκάζοντας το αλλαγή φάσης υλικό σε

στερεοποίηση. Τα PCMs που λειώνουν μεταξύ 15 και 65 °C είναι μεγαλύτερης σπουδαιότητας στις εφαρμογές αποθήκευσης θερμότητας στα θερμοκήπια (σχήμα 3.5). Τα PCMs ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες: (i) ανόργανες ενώσεις (*ένυδρα άλατα*), (ii) οργανικές ενώσεις (*παραφίνες*) και (iii) τα εύτηκτα μίγματα χωρίς αρκετά δεδομένα πάνω στις θερμοφυσικές τους ιδιότητες.



Σχήμα 3.3: Αποθήκευση θερμότητας ως λανθάνουσα θερμότητα συναρτήσει της θερμοκρασίας



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα αλλαγής φάσης

Το δημοφιλέστερο υλικό αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας είναι το $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ γιατί έχει πολλές επιθυμητές ιδιότητες που απαιτούνται από ένα PCM για θερμοκηπιακές εφαρμογές. Έχει βέλτιστη θερμοκρασία αλλαγής φάσης που εξασφαλίζει μια καλή αποδοτικότητα για συλλογή και απόδοση της θερμότητας στο θερμοκήπιο. Σε εκτάσεις θερμοκηπίων από 20-500 m² η χρησιμοποίηση του $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ μπορεί να καταλήξει σε εσωτερική θερμοκρασία αέρα 2-8 °C υψηλότερη από την ελάχιστη θερμοκρασία εξωτερικού αέρα. Η χρήση του $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ μπορεί να ικανοποιήσει το 22-75% των ετήσιων αναγκών θέρμανσης του θερμοκηπίου. Επειδή η πυκνότητα αποθήκευσης ενέργειας του $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ είναι πάνω από δέκα φορές μεγαλύτερη από το στρώμα πετρωμάτων, το σύστημα $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ απαιτεί μόνο το ένα δέκατο του όγκου αποθήκευσης που απαιτείται από το σύστημα πετρωμάτων.

Εναλλάκτης εδάφους-αέρα (EAHES) ή αντλία θερμότητας

Είναι σύστημα μεταλλικών αγωγών (ή PVC) που τοποθετούνται σε βάθος 1-3μ. Το σύστημα λειτουργεί και το χειμώνα, συμβάλλοντας στην προθέρμανση του ψυχρού εξωτερικού αέρα, καθώς το έδαφος είναι το χειμώνα θερμότερο από τον εξωτερικό αέρα. Ο αέρας εισάγεται από το εσωτερικό του θερμοκηπίου, κυκλοφορεί στο δίκτυο αγωγών με τη βοήθεια φυσητήρων και εισέρχεται στο θερμοκήπιο θερμότερος. Παράλληλα, το σύστημα χρησιμοποιείται για την ψύξη των κτιρίων το καλοκαίρι, οπότε και αξιοποιεί το έδαφος - του οποίου η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη κάτω από την επιφάνεια - ως απαγωγέα της θερμότητας. .

Η θερμοκρασία του εδάφους σε βάθος μόλις λίγων μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους (3-4 m) παραμένει σχεδόν σταθερή σε όλη την διάρκεια του χρόνου. (σχήμα 2-6) και οι σωλήνες PVC διαμέτρου 0.1-0.25 m είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται συχνότερα. Οι θαμμένοι πλαστικοί σωλήνες διατρέχουν κατά μήκος του θερμοκηπίου τοποθετημένοι σε μία ή σε 2 γραμμές. Το βάθος των σωλήνων ποικίλλει από 0.3-3m και η μεταξύ τους απόσταση από 0.4-0.8 m. Η θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου ρυθμίζεται με κυκλοφορία του αέρα του θερμοκηπίου σε κλειστό κύκλωμα, μέσα από το σύστημα του εναλλάκτη. Η κυκλοφορία του αέρα γίνεται με τη λειτουργία ανεμιστήρων όταν η θερμοκρασία του χώρου πέσει κάτω από την ελάχιστη επιθυμητή θερμοκρασία ή υπερβεί τη μέγιστη επιθυμητή.

Έτσι το υπέδαφος χρησιμοποιείται ως φθηνή αποθήκη ενέργειας που ταυτόχρονα αποθηκεύει και με φυσικό τρόπο ενέργεια από το καλοκαίρι μέχρι και το χειμώνα. Ο σημαντικότερος περιορισμός της χρήσης των *EAHES* είναι το κόστος σκαψίματος του εδάφους και το θάψιμο των σωλήνων μέχρι το βάθος 2-4 m. Το κόστος άντλησης του αέρα από τους σωλήνες, κινητήρες και ανεμιστήρες, προσθέτουν στο αρχικό και τρέχον κόστος. Επειδή η συνήθης απόδοση του συστήματος των *EAHES* είναι αρκετά χαμηλή, για να ενισχυθεί χρησιμοποιούνται σε υβριδικά σχήματα με άλλα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας όπως τη μόνωση του βορινού τοιχώματος, το συλλέκτη εδάφους-αέρα, τις κουρτίνες εξοικονόμησης ενέργειας και τη γεωθερμική ενέργεια.

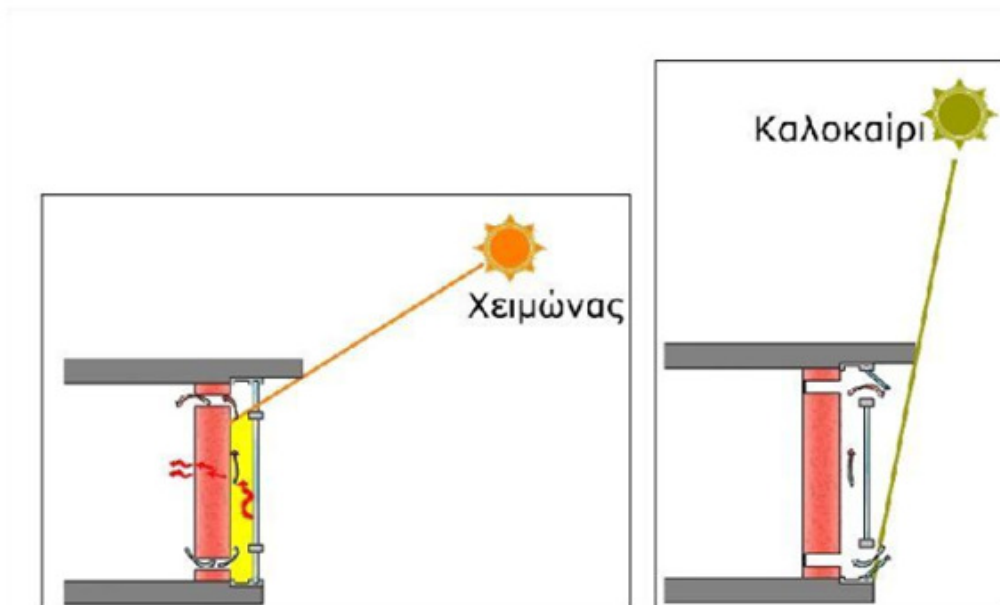
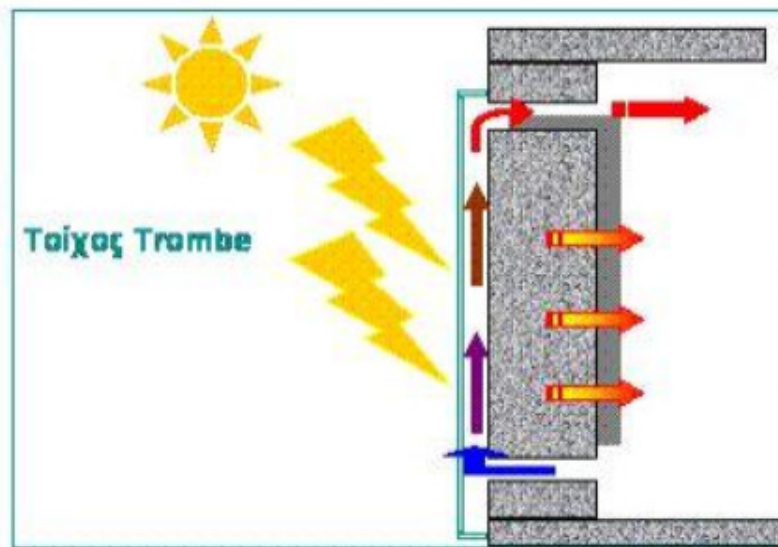


Σχήμα 3.5: Βασική αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητα

Βορινό τοίχωμα θερμοκηπίου συλλέκτης και αποθήκη θερμικής ενέργειας

Το βορινό τοίχωμα του θερμοκηπίου μονώνεται εξωτερικά με blocks από τούβλα ή τσιμέντο γεμισμένα με σκυρόδεμα και εσωτερικά βάφεται μαύρο για μεγαλύτερη αποθήκευση θερμικής ενέργειας, συνθέτοντας έτσι μια πυκνή θερμική μάζα (τοίχος Trombe –Michelle). Κατά την διάρκεια της ημέρας, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία προσκρούει στον τοίχο και αυξάνει σημαντικά την θερμική του αποθηκευτικότητα. Η αποθηκευμένη ενέργεια απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας καλύπτοντας θερμικές ανάγκες μέσα στο θερμοκήπιο. Η δημιουργία αδιαφανούς βορινού τοιχώματος υιοθετείται συνήθως για τα Ανατολής-Δύσης προσανατολισμένα θερμοκήπια που βρίσκονται στις ψυχρότερες κλιματολογικές ζώνες (βόρειο ημισφαίριο), επειδή στο Ανατολής-Δύσης προσανατολισμένο θερμοκήπιο, η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στο νότιο τοίχωμα κατά τη διάρκεια των χειμώνα και αφήνει το βορινό τοίχωμα του θερμοκηπίου λόγω της χαμηλού ύψους γωνίας του ήλιου. Ως εκ τούτου, το βορινό τοίχωμα του θερμοκηπίου παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και συγχρόνως μειώνει τις θερμικές απώλειες του θερμοκηπίου σημαντικά. Η χρήση του βορινού τοιχώματος για απορρόφηση ή ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται κυρίως μαζί με συλλέκτη εδάφους-αέρα ή με εναλλάκτη εδάφους-αέρα EAHES σε υβριδικά σχήματα (σχήμα 3-7). Ένας τέτοιος συνδυασμός

μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου από 1-10 °C και μπορεί να καλύψει το 35-82% των ετήσιων ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου σε θερμοκήπια με εμβαδόν επιφανείας που κυμαίνεται από 30-2000 m² ανάλογα πάντα και με τις κλιματολογικές συνθήκες μιας περιοχής. Εντούτοις, η κατασκευή του βορινού τοιχώματος αυξάνει το γενικό κόστος του θερμοκηπίου, αλλά εξοικονομεί το κόστος των σωλήνων, της άντλησης του αέρα, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας κ.λπ.



Σχήμα 3.6: Χειμερινή και θερινή λειτουργία βορινού τοίχου θερμικής αποθήκευσης

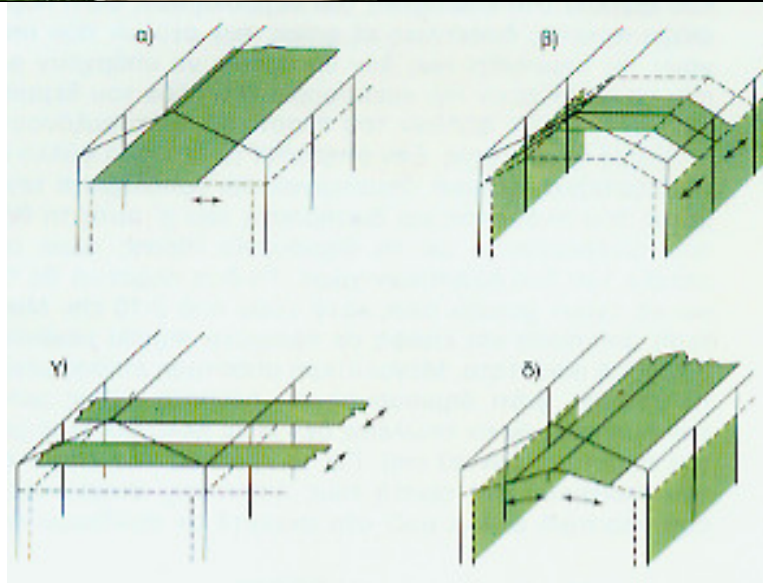
Μετακινούμενη μόνωση / θερμοκουρτίνες

Η μόνωση αυτή πρέπει να είναι κινητή, να μπορεί δηλαδή να απλώνεται και να μαζεύεται ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι θερμικές κουρτίνες λειτουργούν με αυτό τον τρόπο. Ανάλογα με τα υλικά που χρησιμοποιούνται, αυτές οι κουρτίνες μπορούν να μειώσουν την ηλιακή ενέργεια που εισέρχεται στο θερμοκήπιο, δημιουργώντας σκιά και έτσι να μειώσουν την ανάγκη για δροσισμό ή να κρατούν την θερμότητα που ακτινοβολεί το έδαφος τη νύχτα, ελαχιστοποιώντας τις ανάγκες για θέρμανση

Η κινητή μόνωση είναι συνήθως μια θερμοκουρτίνα νύχτας που σύρεται εσωτερικά ή εξωτερικά του καλύμματος θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της νύχτας στους χειμωνιάτικους μήνες για να μειώσει τις απώλειες θερμότητας στο εξωτερικό περιβάλλον καταλήγοντας στην διατήρηση της ενέργειας μέσα στο θερμοκήπιο. Αυτές οι κινητές μονώσεις απομακρύνονται κατά τη διάρκεια της ημέρας προκειμένου η ηλιακή ακτινοβολία για εισέρχεται απρόσκοπτα στο θερμοκήπιο και να ικανοποιεί τις θερμικές και φωτοσυνθετικές ανάγκες των φυτών. Η αρχή λειτουργίας της θερμοκουρτίνας είναι να είναι να παρέχει πρόσθετη θερμική αντίσταση και να μειώνει το συνολικό ποσοστό μεταφοράς θερμότητας στο περιβάλλον. Η θερμοκουρτίνα νύχτας που τοποθετείται μεταξύ των φυτών και του καλύμματος του θερμοκηπίου λέγεται εσωτερική κουρτίνα ενώ η εξωτερική κουρτίνα τοποθετείται μεταξύ του καλύμματος του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος. Η εσωτερική κουρτίνα προτιμάται επειδή μειώνει τη θερμική περατότητα της θερμοκηπιακής δομής. Χαμηλώνει τις ενεργειακές απώλειες με την προσθήκη δύο ή περισσότερων στάσιμων στρωμάτων αέρα μεταξύ του εσωτερικού του θερμοκηπίου και του καλύμματος και την τοποθέτηση υαλοπινάκων.

Οι εσωτερικές θερμοκουρτίνες προτιμώνται σε σχέση με τις εξωτερικές καθώς η χρήση τους είναι απλή, ανέξοδη και αποδοτική στη μείωση των νυχτερινών ενεργειακών απωλειών. Η εξωτερική θερμοκουρτίνα φθείρεται αρκετά γρήγορα κάτι που οφείλεται στις εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος. Αν και πολλοί τύποι υλικών για θερμοκουρτίνες είναι διαθέσιμοι στο εμπόριο, η δημοφιλέστερη επιλογή είναι το φύλλο πολυεστέρα με επικάλυψη αλουμινίου. Όταν και οι δύο πλευρές της θερμοκουρτίνας είναι από αλουμίνιο τότε επιτυγχάνονται τα μεγαλύτερα ενεργειακά οφέλη. Η χρήση

τέτοιων θερμοκουρτίνων μπορεί να πετύχει εξοικονόμηση ενέργειας 30-40% ή μπορεί να διατηρήσει την θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα 3-4 °C υψηλότερα. Η χρήση της νυχτερινής θερμοκουρτίνας σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους εξοικονόμησης θερμική ενέργειας όπως διπλό κάλυμμα, στρώμα πετρωμάτων ή γεωθερμική ενέργεια, μπορεί να αυξήσει την θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα από 8-12 °C κατά την διάρκεια της νύχτας σε σχέση με τις εξωτερικές συνθήκες και μπορεί να μειώσει το ενεργειακό κόστος θέρμανσης του θερμοκηπίου περίπου 90% ανάλογα και με την γεωγραφική περιοχή που βρίσκεται το θερμοκήπιο. Εντούτοις, τα μειονεκτήματα των θερμοκουρτίνων είναι η ανεπαρκής μηχανική αξιοπιστία, η ελλιπής σφράγιση μετά την διαδικασία κλεισίματος και εκτεταμένες βλάβες και προβλήματα από την συμπύκνωση υδρατμών και στις θερμοκουρτίνες και στα φυτά.



Σχήμα 3.7: Χρήση θερμοκουρτίνων σε θερμοκήπια

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την μείωση των ενεργειακών απωλειών ενός θερμοκηπίου χωρίς υποβάθμιση του θερμοκηπιακού περιβάλλοντος είναι απαραίτητα τα ξής:

- Βελτίωση της κατασκευής του θερμοκηπίου για μείωση των ενεργειακών απωλειών
- Σωστή λειτουργία του συστήματος θέρμανσης
- Προσαρμογή των συστημάτων καλλιέργειας στο πνεύμα της εξοικονόμησης ενέργειας

Οι μεγαλύτερες απώλειες συμβαίνουν από την επιφάνεια του καλύμματος. Στον καθορισμό του μεγέθους της θερμοκηπιακής μονάδας λαμβάνονται υπόψη εκτός από τις ενεργειακές απώλειες η επίδραση του μεγέθους στον εξαερισμό και στην λειτουργικότητα του χώρου. Η μείωση του συντελεστή θερμοπερατότητας επιτυγχάνεται με:

- Χρήση διπλού καλύμματος εξοικονομεί θερμότητα έως και 40%
- Χρήση θερμοκουρτίνας από υλικό μη περατό στην θερμική ακτινοβολία
- Μόνωση της βορινής πλευράς. Δεν μειώνεται ο φωτισμός, εξοικονομείται ενέργεια έως και 10% σε μικρής έκτασης θερμοκήπια

Σε θερμοκήπιο με γλαστρικά (σε τραπέζια) μόνωση περιμετρικά του θερμοκηπίου με θερμομονωτικό υλικό έως 0,60 m οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας 3-6%. Καλή θερμοκηπιακή κατασκευή εξοικονομεί καύσιμα 5-25% λόγω μείωση διαφυγών αέρα

Η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου προκαλεί αύξηση των απωλειών θερμότητας λόγω:

- Αύξησης των διαφυγών του αέρα και
- Αύξησης του συντελεστή συναγωγής της εξωτερικής πλευράς του θερμοκηπίου

Οι ενεργειακές απώλειες διπλασιάζονται σε αύξηση της ταχύτητας του ανέμου από 0 σε 25 km/h. Ανεμοφράκτης σε ανεμόπληκτες περιοχές μειώνει κατά 50% την ταχύτητα του ανέμου και την ετήσια κατανάλωση καυσίμου κατά 3-6%

Καλλιεργητικές παρεμβάσεις μπορούν να οδηγήσουν σε εξοικονόμηση ενέργειας και είναι:

- Καλλιέργεια ποικιλιών ανεκτικών σε χαμηλές θερμοκρασίες
- Μείωση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος από το άριστο στο ανεκτό επίπεδο από την καλλιέργεια (οικονομία καυσίμου)
- Μετατόπιση χρόνου καλλιέργειας συνεκτιμώντας τους παράγοντες: τιμή αγοράς και απαιτούμενα καύσιμα

Τέλος τα σχετικά με την σωστή λειτουργία του συστήματος θέρμανσης αφορούν τα παρακάτω:

- Καλή καύση καυσίμου, καλή και συστηματική συντήρηση καυστήρα για αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητας του συστήματος και μείωση της διαφυγής άκαυστου καυσίμου από την καμινάδα
- Κατάλληλη θέση, ρύθμιση και βαθμονόμηση θερμοστάτη (ηλεκτρονικά αισθητήρια ή υδραργύρου)
- Προστασία του θερμοστάτη από την ακτινοβολία
- Χρήση συστήματος θέρμανσης στο επίπεδο της κόμης των φυτών (κίνηση σωλήνων καθ' ύψος) που επιτρέπει την διατήρηση της άριστης θερμοκρασίας στην περιοχή του φυτικού θόλου
- Χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR) για θέρμανση θερμοκηπίων που οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας έως και 50%

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ανδρεαδάκη-Χρονάκη, Ε., «Βιοκλιματικός Σχεδιασμός – Περιβάλλον και Βιωσιμότητα», University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 2006.
2. Αξαρή, Κ., Αραβαντινός, Δ., «Μετρήσεις και αξιολογήσεις εσωκλιματικών συνθηκών και έλεγχος σχηματισμού δρόσου σε πειραματικούς χώρους εξοπλισμένους με ηλιακά παθητικά συστήματα», πρακτικά 7ου Εθνικού Συνεδρίου ΙΗΤ για τις Ήπιες Μορφές Ενέργειας, ΙΗΤ, Πάτρα 6-8 Νοεμβρίου 2002, τόμος Α΄, ISSN 1108-3603, σελ. 241-251.
3. Axarli K., Demetriou M., “The impact of shading on the thermal performance of a passive solar heating system: Experimental evaluation and Simulation analysis”, Int conference proceedings - PLEA 2005 “Environmental Sustainability: The Challenge of Awareness in Developing Societies”, Beirut, Lebanon, 13-16 November, 2005, pp 57-63.
4. Crosbie, M., (Ed.), “The passive solar design and construction handbook”, John Wiley and Sons, 1997.
5. Darvey, P., «Engineering for a Finite Planet», Birkhäuser, Basel, 2009.
6. Eicker, U., «Solar Technologies for Buildings», Wiley, Chichester, 2003.
7. Gallo, C., «Architecture, Comfort and Energy», Pergamon, Amsterdam, 1988.
8. Galloway, T., «Solar House, A Guide for the Solar Designer», Architectural Press, Elsevier, Amsterdam, 2004.
9. Goulding J.R, Lewis J.O., Steemers T.C. (Επιμ), «Energy in Architecture, The European Passive Solar Handbook», Commission of the European Communities, 1994. Ελληνική έκδοση: «Ενέργεια στην Αρχιτεκτονική. Το Ευρωπαϊκό εγχειρίδιο για τα Παθητικά ηλιακά κτήρια», μεταφρ. Ε. Τσίγκας, Μαλλιάρης Παιδεία για την Ευρωπαϊκή Ένωση, 1996.
10. Kerschberger, A., & Binder, M., «Transparent Wärmedämmung im Vergleich.» RK-Stuttgart, Fachartikel TWD, 2006.
11. Legrand, D. G., & Bendler, J. T., (Eds), «Handbook of Polycarbonate Science and Technology.» Markel Dekker Inc, New York, 2000.
12. Mazria (Ed.), «The Passive Solar Energy Book», Rodale Press, Emmaus, Pa., 1979.
13. McKeen, L. W., «The Effect of Temperature and Other Factors on Plastics and Elastomers.» William Andrew, New York, 2008.
14. Norton, B., & Probert, S. D., «Solar-Energy Stimulated, Open-Looped Thermosyphonic Air Heaters.» Applied Energy, Vol. 17, pp 217-234, 1984.

15. Παπαδόπουλος, Μ., & Αξαρλή, Κ., «Δομική Φυσική ΙΙ, Ενεργειακός Σχεδιασμός – Παθητικά Ηλιακά Συστήματα», Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, 1982.
16. Platzler, W. J., & Goetzberger, A., «Recent Advances in Transparent Insulation Technology», EUROSUN 1996, pp 5-10.
17. Yannas, S., «Solar Energy and Housing Design: Principles, Objectives, Guidelines», Architectural Association Publications, 1993.
18. Αργυρίου Αθανάσιος, Γιαννούλη Μυρσίνη. (2010). Ενεργειακή & Περιβαλλοντική Φυσική. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Αράκυνθος. ISBN: 978-960-9474-01-6
19. Αικατερίνη Χρονοπούλου - Σερέλη, Ιωάννης Κ. Χρονόπουλος. (2011). Βιομετεωρολογία – Βιοκλιματολογία. Εκδόσεις Ζήτη, Αθήνα. ISBN: 978-960-456-309-8
20. Πανίδης Θ. (2010). Μετάδοση Θερμότητας. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πάτρα
21. Cengel, Yunus A.(2005). Μεταφορά Θερμότητας, Εκδόσεις Τζιόλας, Θεσσαλονίκη. ISBN: 960-418-063-0.
22. Μπαλάρας Α., Αργυρίου Α., και Καραγιάννης Φ. (2006). Συμβατικές και ήπιες μορφές ενέργειας. Εκδόσεις Σέλκα-4Μ. ISBN: 960-8257-23-9
23. Μαυρογιαννόπουλος Γ. (2005). Θερμοκήπια. Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε, Αθήνα. ISBN: 960-351-620-1
24. Παναγιώτης Γ. Χαρόνης. (1988). Ηλιακά παθητικά θερμοκήπια. Εκδόσεις Ίων. ISBN: 9789604051700

Ιστοσελίδες

http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CF%84%CE%BB%CE%AF%CE%B1_%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82

<http://www.buildnet.gr/default.asp?pid=226&la=1&catid=207&artid=6099>

file:///G:/XPEnergy_gr.pdf

<http://www.gas.gr/9E5C5CB7.el.aspx>

<http://www.interplast.gr/Downloads/ComoPex/20.pdf>