

Α.Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ
ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ
ΞΕΘΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. Σ. ΚΑΠΛΑΝΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2005

Α.Τ.Ε.Ι ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΥΓΚΡΟΝΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΤΙΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. Σ. ΚΑΠΛΑΝΗΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΠΟΥΛΟΣ ΑΛΕΞΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2005

ΑΡΧΟΚΗΤΗΤΙΚΕΣ ΕΠΙΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

1.1	Τα θερμοκήπια στην Ελλάδα.....	1
1.2	Τύποι θερμοκηπίων.....	5
1.2.1	Τύποι θερμοκηπίων σε σχέση με τον τρόπο κατασκευής	7
1.2.2	Ελάχιστες επιτρεπόμενες διαστάσεις κατασκευαστικού στοιχείου θερμοκηπίων.....	7
1.2.3	Μειονεκτήματα – Πλεονεκτήματα Τοξοτών και Αμφίρρικτων Θερμοκηπίων.....	9
1.3	Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων.....	11
1.4	Οπτικές ιδιότητες υλικών κάλυψης.....	22
1.5	Φυσικές ιδιότητες υλικών κάλυψης.....	26
1.6	Επιλογή θέσης – προσανατολισμού.....	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ

2.1	Τεχνική υποστήριξης θερμοκηπίων.....	35
2.1.1	Φωτισμός.....	36
2.2	Εξαερισμός – Κίνηση αέρα.....	39
2.2.1	Συστήματα εξαερισμού.....	41
2.2.2	Κίνηση αέρα	43
2.3	Δροσισμός.....	44
2.3.1	Σύστημα ομίχλης ή υδρονεφωσης.....	45
2.3.2	Σύστημα υγρών πετασμάτων.....	47
2.3.3	Σκίαση.....	51
2.4	Θέρμανση θερμοκηπίων.....	53
2.5	Κατασκευή του συστήματος θέρμανσης.....	56
2.6	Ανάγκες θέρμανσης.....	59
2.6.1	Απώλειες θερμότητας λόγω διαφυγών του αέρα.....	60
2.6.2	Απώλειες θερμότητας λόγω αγωγιμότητας από τα διαφανή μέρη του θερμοκηπίου.....	60

2.6.3	Απώλειες θερμότητας λόγω αγωγιμότητας από το έδαφος.....	61
2.6.4	Απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος των φυτών και του εδάφους.....	61
2.7	Θέρμανση με συμβατικά καύσιμα.....	63
2.7.1	Πετρέλαιο.....	63
2.7.2	Αέριο.....	66
2.7.3	Ηλεκτρική ενέργεια.....	68
2.8	Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας.....	69
2.8.A	Ηλιακά παθητικά συστήματα θέρμανσης.....	69
2.8.A1	Παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας σε νερό εντός του θερμοκηπίου.....	70
2.8.A2	Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας στο υπέδαφος και με υπόγειο εναλλάκτη θερμότητας.....	72
2.8.A3	Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας σε χαλίκι.....	73
2.8.A4	Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας σε υλικά με υψηλή λανθάνουσα θερμότητα.....	73
2.8.A5	Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας σε κατάλληλο τοίχο.....	74
2.8.B	Ενεργητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης.....	75
2.8.B1	Μεταλλικοί συλλέκτες ηλιακής ενέργειας.....	76
2.8.B2	Πλαστικοί συλλέκτες ηλιακής ενέργειας.....	76
2.8.B3	Δυνατότητα θέρμανσης με ηλιακές λίμνες.....	77
2.8.Γ	Σύγκριση ενεργητικών και παθητικών συστημάτων.....	78
2.9	Εφαρμογές της βιομάζας.....	79
2.9.A	Θέρμανση με ξύλο.....	79
2.9.A1.	Δημιουργία ενεργειακών φυτειών και χρήση του παραγόμενου ξύλου για τη θέρμανση θερμοκηπίου.....	80
2.9.A2.	Χρήση υπολλειμάτων ξύλου σαν καύσιμο για την θέρμανση θερμοκηπίων.....	80
2.9.A3	Αεριοποίηση ξύλου και χρήση του παραγόμενου καυσίμου για θέρμανση θερμοκηπίων.....	81
2.9.B	Θέρμανση με ελαιοπυρηνόξυλο.....	82
2.9.Γ	Θέρμανση με βιοαέριο.....	86
2.10	Εφαρμογές της γεωθερμίας.....	87

2.11	Αντλίες θερμότητας.....	89
------	-------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1	Περιγραφή θερμοκηπίου.....	92
3.2	Υπολογισμοί θερμικών απωλειών χώρου.....	96
3.2.1	<i>Απώλειες επιφανειών θερμοκηπίου.....</i>	<i>96</i>
3.2.2	<i>Απώλειες λόγω διαφυγών του αέρα από το θερμοκήπιο.....</i>	<i>97</i>
3.2.3	<i>Απώλειες λόγω αναλλαγής αέρα για την αναπνοή των φυτών.....</i>	<i>98</i>
3.2.4	<i>Συνολικές απώλειες ημέρας.....</i>	<i>99</i>
3.2.5	<i>Συνολικές απώλειες νύχτας.....</i>	<i>99</i>
3.3	Μέθοδος f.....	100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

4.1	Χρήση θερμοκουρτίνων.....	108
4.2	Το διπλό κάλυμμα πλαστικού.....	109
4.3	Η ελαχιστοποίηση των διαρροών του αέρα από το θερμοκήπιο.....	109
4.4	Η μόνωση της βορινής πλευράς του θερμοκηπίου.....	109
4.5	Η μείωση της ταχύτητας του ανέμου εξωτερικά του θερμοκηπίου.....	111

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΕΡΑΓΩΓΟΙ ΕΔΑΦΟΥΣ

5.1	Εισαγωγή.....	112
5.2	Στοιχεία μετάδοσης θερμότητας.....	112
5.2.1	Αγωγή.....	113
5.2.2	Συναγωγή.....	114
5.2.3	Ακτινοβολία.....	115
5.2.4	Ειδική Θερμότητα - Θερμική Διάχυση.....	116
5.3	Θερμική συμπεριφορά του εδάφους.....	118
5.3.1	Θερμοφυσικές Ιδιότητες.....	119
5.3.2	Εις βάθος μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους.....	121

5.3.3 Επίδραση της θερμοκρασίας επιφανείας.....	122
5.4 Αεραγωγοί εδάφους – Εφαρμογή στα κτίρια.....	123
5.5 Τεχνικά στοιχεία αεραγωγών εδάφους.....	124
5.6 Εγκατάσταση αεραγωγών.....	128

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σε μια εποχή όπου οι κλιματολογικές συνθήκες συνεχώς μεταβάλλονται , σε συνάρτηση με την ολοένα πληθυσμιακή αύξηση , επιβάλλεται η ύπαρξη αγαθών σε ποικιλία και ποσότητα. Αυτό οδήγησε τον άνθρωπο στην επινόηση και δημιουργία των θερμοκηπίων.

Με τα θερμοκήπια μας παρέχεται η δυνατότητα παραγωγής προϊόντων σε πρώιμο στάδιο. Έτσι μπορούν να καλυφθούν οι καταναλωτικές ανάγκες κάθε εποχή.

Για να επιτευχθεί η σωστή καλλιέργεια των προϊόντων , πρέπει να επικρατούν και οι ανάλογες συνθήκες στον χώρο του θερμοκηπίου. Το κατά πόσο ευνοϊκές θα είναι οι θερμοκηπιακές συνθήκες , εξαρτάται από τα μέσα και τις τεχνικές που χρησιμοποιούν οι καλλιεργητές.

Αντίθετα με ότι συμβαίνει στους άλλους κλάδους της γεωργίας , στα θερμοκήπια της Ελλάδας εφαρμόζονται ταυτόχρονα βελτιωμένες και πατροπαράδοτες τεχνικές. Δηλαδή στις πολύ εξειδικευμένες τεχνικές, όπως είναι τα μοντέρνα ποτίσματα, τα ειδικά φυτοφάρμακα, οι βελτιωμένοι σπόροι, υπάρχουν οι πρόχειρες κατασκευές θερμοκηπίων, τα πρωτόγονα μέσα κλιματισμού και γενικά η από παράδοση τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών. Το παράξενο αυτό φαινόμενο οφείλεται κατά ένα μεγάλο μέρος στο γεγονός ότι ο κλάδος αυτός της γεωργίας δεν έχει ερευνηθεί αρκετά, με συνέπεια να υπάρχουν ελλείψεις στις γνώσεις και ότι οι παραγωγοί καθυστερούν πολλές φορές να εφαρμόσουν τις νέες βελτιώσεις που εισάγονται στα θερμοκήπια.

Σκοπός της παρόντος εργασίας είναι η παρουσίαση νέων ιδεών στην κατασκευή των θερμοκηπίων και η ανάλυση των διαφόρων τεχνολογιών που αφορούν την εφαρμογή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και των τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας στην θέρμανση των θερμοκηπίων.

Τέλος θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας στον Καθηγητή Δρ. κ. ΣΩΚΡΑΤΗ ΚΑΠΛΑΝΗ και κ. ΑΧΙΛΛΕΑ ΚΩΣΤΟΥΛΑ για τα εποικοδομητικά τους σχόλια και τις πληροφορίες που μας βοήθησαν να πραγματοποιήσουμε την εργασία αυτή και ελπίζουμε οι αναγνώστες να δείξουν κατανόηση για τυχόν λάθη και παραλείψεις μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

1.1. ΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Τα θερμοκήπια, σήμερα είναι ένας από τους δυναμικούς κλάδους της ελληνικής γεωργίας με ευρύτατα περιθώρια ανάπτυξης.

Οι πρώτες σημαντικές θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις στην χώρα μας έγιναν το 1955 στις περιοχές Αττικής, Σύρου και Ερμιονίδος. Τα πρώτα θερμοκήπια ήταν γυάλινα και προοριζόνταν για ανθοκομικές καλλιέργειες. Τα θερμοκήπια που σκεπάζονταν με πλαστικό άρχισαν να διαδίδονται μετά το 1960 και αφού πέρασαν ένα δοκιμαστικό στάδιο που κράτησε γύρω στα 4-5 χρόνια. Παρουσίασαν μια θεαματική ανάπτυξη και επέκταση λόγω του χαμηλού κόστους κατασκευής.

Η εξέλιξη των θερμοκηπίων στην χώρα μας φαίνεται στον πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1. Εξέλιξη των θερμοκηπίων στην χώρα μας.

Καλλιεργητική περίοδος	θερμοκήπια σε στρέμματα	Καλλιεργητική περίοδος	θερμοκήπια σε στρέμματα
1955-56	2	1975-76	19.100
1956-57	40	1976-77	20.600
1957-58	75	1977-78	23.300
1958-59	100	1978-79	26.200
1959-60	120	1979-80	27.600
1960-61	150	1980-81	29.400
1966-67	2.690	1981-82	3200
1967-68	4.551	1982-83	31.457
1968-69	8300	1983-84	31.606
1969-70	12.400	1984-85	34.797
1970-71	12.300	1985-86	35.689
1971-72	15.400	1986-87	37.404
1972-73	17.300	1987-88	39.504
1973-74	18.000	1991-92	42.500

Από τα στατιστικά στοιχεία του Υπουργείου Γεωργίας για το 1992 φαίνεται ότι, την χρονιά αυτή τα θερμοκήπια που σκεπάζονταν με φύλλο πλαστικού, κάλυπταν έκταση 42.500 στρέμματα (πίνακας 1.3.).

Τα πιο πρώιμα εκτός εποχής κηπευτικά παράγονται σε ορισμένες περιοχές της Κρήτης, όπως της Ιεράπετρας, του Τυμπακίου και των Χανίων. Στις περιοχές αυτές, τα διάφορα είδη κηπευτικών (αγγούρια, τομάτες, πιπεριές κ.α.) παράγονται χωρίς θέρμανση όλους τους χειμερινούς μήνες. Οι μεταφυτεύσεις των κηπευτικών στα θερμοκήπια αρχίζουν από τα μέσα του φθινοπώρου. Σαν δεύτερες καλλιέργειες ύστερα από την τομάτα ή το αγγουράκι, άρχισαν να μπαίνουν πεπόνια, φασολάκια και καρπούζια. Από τα είδη που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια, μόνο τα αγγουράκια εξάγονται σε ποσότητες 30-40.000 τόνους τον χρόνο σε αγορές της Δυτικής Ευρώπης, ενώ τα άλλα είδη περιορίζονται για την εσωτερική αγορά. Από τα ανθοκομικά είδη καλλιεργούνται σε μεγάλες εκτάσεις το γαρύφαλλο και σε μικρότερες το τριαντάφυλλο. Η εκτός εποχής κηπευτικών της Κρήτης συναντά ανταγωνιστές στις εξαγωγές τις περιοχές των Κανάριων νησιών και του βόρειου Μαρόκου, όπου παράγονται παρόμοια προϊόντα.

Η δεύτερη αξιόλογη, πρώιμη περιοχή είναι η Πελοπόννησος, όπου η παραγωγή στα θερμοκήπια γίνεται όλο σχεδόν τον χειμώνα και λίγο οψιμότερα από αυτή της Κρήτης, αλλά μερικές καλλιέργειες, όπως του αγγουριού, της πιπεριάς κ.α υποφέρουν από τις χαμηλές θερμοκρασίες, που πέφτουν κάτω από τα ανεκτά όρια. Γι' αυτό οι παραγωγοί άρχισαν να χρησιμοποιούν θέρμανση έτσι ώστε να έχουν πιο ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η παραγωγή των κηπευτικών που αρχίζει, το χειμώνα, συνεχίζεται ως τον Ιούνιο και συμπίπτει με την παραγωγή ορισμένων περιοχών της νότιας Ισπανίας, της νότιας Ιταλίας και της βόρειας Αφρικής.

Η τρίτη περιοχή παραγωγής είναι της κεντρικής Μακεδονίας με τα θερμοκήπια να βρίσκονται στα χωριά Ορμύλια Χαλκιδικής, Βασιλικά, Αγγελολόφρι, Ν. Μαγνησία και Λαγκαδά Θεσσαλονίκης, Άσπρο και Σταυροδρόμι Πέλλης και ο Άγιος Γεώργιος Ημαθίας. Οι μεταφυτεύσεις στα θερμοκήπια της τομάτας και της πιπεριάς αρχίζουν από τα μέσα Φεβρουαρίου, ενώ του αγγουριού από το τρίτο δεκαήμερο του Μαρτίου. Η παραγωγή αρχίζει το πρώτο δεκαπενθήμερο του Μαΐου και συνεχίζεται για την τομάτα και την πιπεριά ως το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιουλίου και για το αγγουράκι έως το φθινόπωρο.

Η τέταρτη περιοχή όπου διαδόθηκαν τα θερμοκήπια, είναι η περιοχή της Πρέβεζας. Στα θερμοκήπια της περιοχής αυτής καλλιεργείται κυρίως τομάτα και λιγότερα άλλα είδη κηπευτικών από τον Φεβρουάριο ως τον Ιούλιο.

Εκτός από τις τέσσερις αυτές μεγάλες ζώνες τα θερμοκήπια εξαπλώθηκαν σε πολλές άλλες περιοχές και καλύπτουν τοπικές ανάγκες (πίνακας 1.2.). Αυτές οι περιοχές είναι η Ανατολική Μακεδονία και Θράκη, Θεσσαλία, Αττική και νησιά.

Διαμερίσματα	Στρέμματα			
	1976-77	1978-79	1983-84	1991-92
Κρήτη	7.556	9.791	13.954	20.000
Κεντρική Μακεδονία	2.676	4.312	5.407	6.500
Πελοπόννησος	6.492	7.667	8.044	10.000
Λοιπά	3.897	4.430	4.052	6.000
Σύνολο	20.621	26.200	31.457	42.500

. Πίνακας 1.2. Τα θερμοκήπια στα διάφορα διαμερίσματα της χώρας

Η αλματώδη επέκταση των θερμοκηπίων από πλαστικό στη χώρα μας, οφείλεται στη διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση των εκτός εποχής κηπευτικών υψηλής ποιότητας, για τα οποία ο καταναλωτής προσφέρεται να πληρώσει μεγάλες τιμές, στις ενισχύσεις των παραγωγών με δάνεια και επιδοτήσεις και στις ευνοϊκές για την ανάπτυξη των θερμοκηπίων εδαφοκλιματολογικές συνθήκες.

Στην Ελλάδα, οι έρευνες σε θέματα καλλιεργειών κηπευτικών εκτός εποχής γίνονται στα Ινστιτούτα κηπευτικών Ηρακλείου και Αμαλιάδας, στους σταθμούς Γεωργικής Έρευνας Ιεράπετρας, Τυμπακίου και Καλαμάτας και στα τμήματα Λαχανοκομίας των κέντρων Γεωργικής Έρευνας Αθηνών, Λάρισας και Θεσσαλονίκης. Οι έρευνες, οι σχετικές με τις κατασκευές και τους κλιματισμούς των θερμοκηπίων, γίνονται στο τμήμα Λαχανοκομίας του κέντρου Γεωργικής Έρευνας Βόρειας Ελλάδας στη Θεσσαλονίκη και στην Ανώτατη Γεωπονική Σχολή Αθηνών και αποσκοπούν στη δημιουργία βελτιωμένων τύπων κατασκευών θερμοκηπίων, στη μελέτη των πλαστικών, στη ρύθμιση των κλιματικών συνθηκών στα θερμοκήπια και στην μελέτη της συμπεριφοράς των καλλιεργειών στα μέσα κλιματισμού.

Οι λόγοι για τους οποίους ενδείκνυνται η επέκταση των θερμοκηπίων από πλαστικό στην χώρα μας είναι οι εξής:

1. Οι καλλιέργειες κηπευτικών και ανθοκομικών ειδών αποδίδουν τη μεγαλύτερη ανά στρέμμα ακαθάριστη πρόσοδο και το ψηλότερο γεωργικό εισόδημα.
2. Η παραγωγή των εκτός εποχής κηπευτικών και ανθοκομικών ειδών ευνοείται από τις κλιματολογικές συνθήκες της χώρας μας.
3. Οι καλλιέργειες στα θερμοκήπια ταιριάζουν στις μικρές γεωργικές εκμεταλλεύσεις της χώρας μας, γιατί απασχολούν πολλά εργατικά χέρια τους χειμερινούς μήνες που είναι δύσκολο να βρουν άλλη δουλειά.
4. Η ποιότητα των παραγόμενων κηπευτικών στα θερμοκήπια ευνοείται από τις κλιματολογικές συνθήκες όσον αφορά των χρωματισμό, τη γεύση και την εμφάνιση. Οι δυσχέρειες που συναντούνται στην επέκταση των προστατευόμενων με θερμοκήπια καλλιεργειών στη χώρα μας είναι οι εξής:
 - Τα θερμοκήπια στην πλειοψηφία τους, παρουσιάζουν πολλές ατέλειες, όπως μικρή διάρκεια ζωής, χαμηλό ύψος κ.α., που έχουν ως συνέπεια την επιβάρυνση του κόστους των προϊόντων.
 - Ο όγκος παραγωγής είναι μικρός και εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες της κάθε χρονιάς, πράγμα που δυσχεραίνει τον προγραμματισμό των εξαγωγών.
 - Όσο ευνοϊκές και αν είναι οι κλιματολογικές συνθήκες των πιο προνομιούχων περιοχών, απέχουν πολύ από τα άριστα επίπεδα. Εξάλλου με τα απλά θερμοκήπια που δεν αερίζονται ικανοποιητικά και που δεν διαθέτουν μέσα θέρμανσης πετυχαίνονται μικρές αποδόσεις και κακή ποιότητα προϊόντων.
 - Η μεταφορά των ευπαθών προϊόντων των θερμοκηπίων σε μακρινές αγορές είναι πολλή δαπανηρή. Επιπλέον τα προϊόντα, για να αντέχουν στις μεταφορές, συγκομίζονται μισοώριμα και αυτό αποβαίνει σε βάρος της ποιότητας.
 - Το ειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό σε θέματα θερμοκηπίων είναι λιγοστό και δεν καλύπτει ούτε τις στοιχειώδεις ανάγκες των υπηρεσιών.
 - Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν δυσμενώς την επέκταση των θερμοκηπίων στη χώρα μας είναι η απότομη αύξηση του κόστους των υλικών κατασκευής των θερμοκηπίων, η έλλειψη εργατικών χεριών, ο καθορισμός από την πολιτεία ανώτατων τιμών πώλησης των κηπευτικών, η κακή οργάνωση της εμπορίας των κηπευτικών και ανθοκομικών ειδών και η διστακτικότητα που τα τελευταία χρόνια δείχνει η ΑΤΕ στην χρηματοδότηση των παραγωγών.

1.2. ΤΥΠΟΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

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

Ανάλογα με το σχήμα των θερμοκηπίων διακρίνονται οι ακόλουθοι τύποι: 1.

Αμφίρρικτο: ο τύπος αυτός έχει επίπεδες επιφάνειες και δίρρικτη στέγη (σχήμα 1.7α).

- Αμφίρρικτο απλό: λέγεται το θερμοκήπιο που σχηματίζεται με την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας (σχήμα 1.7 β.)

- Αμφίρρικτο πολλαπλό: λέγεται το θερμοκήπιο που σχηματίζεται από την κατά μήκος και πλάτος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας (σχήμα 1.7γ.).

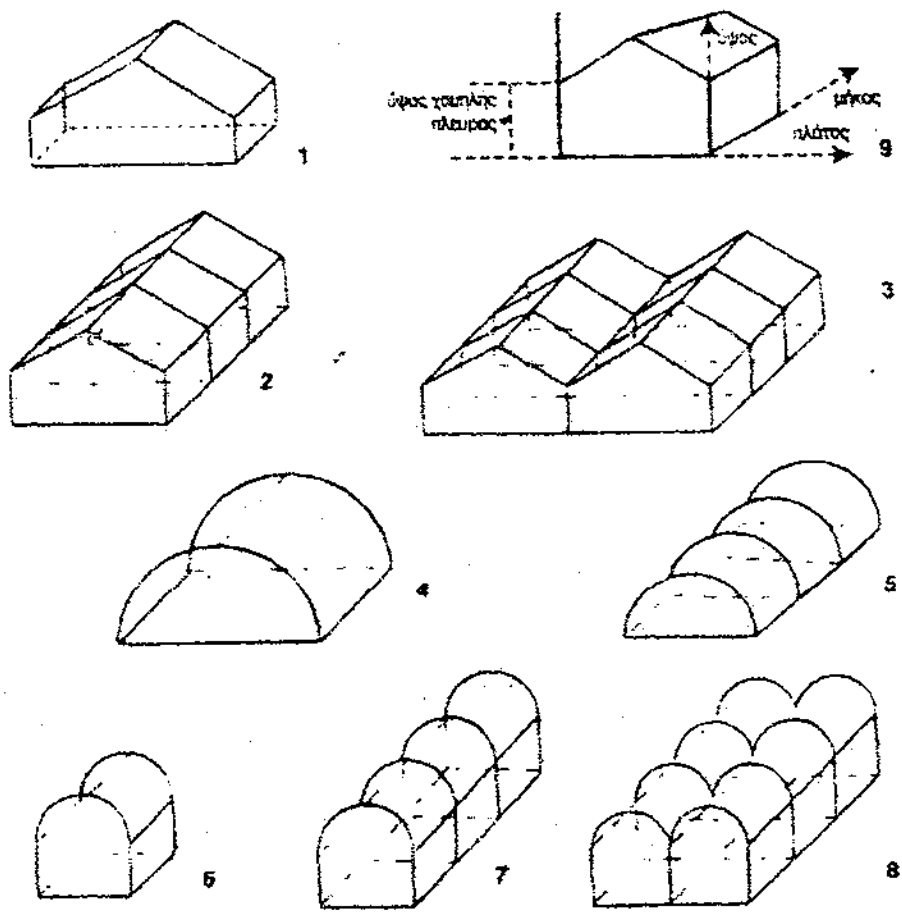
2. **Τοξωτό:** το θερμοκήπια του οποίου η απλή κατασκευαστική μονάδα καθορίζεται από δύο συνεχόμενα τόξα (σχήμα 1.7δ.).

- Τοξωτό απλό: λέγεται το θερμοκήπιο που σχηματίζεται από την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας (σχήμα 1.7ε.).

3. **Τροποποιημένο τοξωτό:** το θερμοκήπια του οποίου η απλή κατασκευαστική μονάδα έχει επίπεδες πλευρές (ορθοστάτες) και τοξωτή στέγη (σχήμα 1.7 στ.).

- Τροποποιημένο τοξωτό απλό: το θερμοκήπιο που σχηματίζεται από την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας (σχήμα 1.7 ζ.).

- Τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό: το θερμοκήπιο που σχηματίζεται από την κατά μήκος και πλάτος, επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας (σχήμα 1.7η.).



Σχήμα 1.1. Τύποι θερμοκηπίων.

1.2.1. Τύποι θερμοκηπίων σε σχέση με τον τρόπο κατασκευής

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

1. **Χωρικού τύπου:** θερμοκήπια που κατασκευάζονται από τους ίδιους τους παραγωγούς.
2. **Τυποποιημένα:** θερμοκήπια που κατασκευάζονται από βιοτεχνίες και βιομηχανίες σε μαζική παραγωγή.

1.2.2. Ελάχιστες επιτρεπόμενες διαστάσεις κατασκευαστικού στοιχείου θερμοκηπίων.

1. Αμφίρροκτα απλά τι πολλαπλά.

Ύψος: Ελάχιστο ύψος χαμηλής πλευράς (ορθοστατών) στα απλά και της υδροροής στα πολλαπλά:

- Χωριάτικου τύπου 2.20m.
- Τυποποιημένα 2.60 m.

Πλάτος: Ελάχιστο πλάτος κατασκευαστικής μονάδας:

- Χωριάτικου τύπου 2.00m.
- Τυποποιημένα 2.50 m.

Κλίση οροφής: Η κλίση οροφής θα κυμαίνεται στα:

- Χωριάτικου τύπου 20° - 30°.
- Τυποποιημένα 20° - 30°.

Τοξωτά.

Υψος: Ελάχιστο ύψος στην κορυφή 3m και ελάχιστο ύψος σε απόσταση μισό μέτρο από το σημείο στήριξης στο έδαφος 1.50m Πλάτος: Ελάχιστο ελεύθερο πλάτος 7m 3. Τροποποιημένα τοξωτά απλά ή πολλαπλά. Υψος: Ελάχιστο υδρορροής.

- Χωριάτικου τύπου 2.20m.
- Τυποποιημένα 2.60 m. Ελάχιστο ύψος στην κορυφή:
- Χωριάτικου τύπου 3.10m.
- Τυποποιημένα 3.50 m.

Πλάτος: Ελάχιστο ελεύθερο πλάτος στο έδαφος 5m.

Απόσταση στηλών (ορθοστατών): Ελάχιστο μήκος κατασκευαστικής μονάδας (απόστασης στύλων ή τόξων επί της γραμμής):

- Χωριάτικου τύπου 2m.
- Τυποποιημένα 2m,

1.2.3. Μειονεκτήματα - Πλεονεκτήματα των Τοξωτών και Αμφίρρικτων

Θερμοκηπίων.

Τα θερμοκήπια διαφέρουν μεταξύ τους από κατασκευαστικής και λειτουργικής πλευράς, στο σχήμα και στις διαστάσεις της βασικής κατασκευαστικής μονάδας καθώς και σε άλλα.

Τα θερμοκήπια κατασκευάζονται σε διάφορα σχήματα. Δύο όμως βασικά σχήματα επικράτησαν, το τοξωτό και το αμφίρρικτο.

- Τοξωτά θερμοκήπια. Τα συνηθισμένα θερμοκήπια αυτού του σχήματος έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

=> Για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται επαναλαμβανόμενα ομοιόμορφα τόξα και γι' αυτό είναι εύκολα στην κατασκευή.

=> Έχουν ελαφρότερο σκελετό και επομένως φθηνότερα.

Μειονεκτούν όμως στο ότι στις δύο άκρες του τόξου δημιουργούνται δυσκολίες στην εργασία του ανθρώπου, λόγω του χαμηλού ύψους, ενώ παράλληλα, δεν προσφέρουν ευκολίες στην κατασκευή και στους αυτοματισμούς του παθητικού εξαερισμού οροφής. Επίσης δεν είναι εύκολη η κατασκευή υαλόφρακτων θερμοκηπίων αυτού του σχήματος.

- θερμοκήπια αμφίρρικτα. Τα θερμοκήπια αυτά έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

=> Τα διάφορα στοιχεία του σκελετού τους είναι σχετικά ομοιόμορφα και γι' αυτό τυποποιούνται εύκολα.

=> Είναι ευρύχωρα.

=> Προσφέρουν δυνατότητες για καλό παθητικό εξαερισμό οροφής και πλευρικό.

=> Διευκολύνεται περισσότερο ο αυτοματισμός στα συστήματα παθητικού εξαερισμού, γιατί αποτελούνται από ευθύγραμμα τμήματα και επίπεδες επιφάνειες.

=> Η επιφάνεια τους αποτελείται από επίπεδες επιφάνειες και γι' αυτό προσφέρουν τη δυνατότητα χρησιμοποίησης υαλοπινάκων στην κάλυψη του θερμοκηπίου.

Διαστάσεις.

- Ύψος. Τα χαμηλά θερμοκήπια (η χαμηλή πλευρά έχει ύψος 1.8 - 2.60m), λόγω του μικρού τους όγκου έχουν σχετικά μικρότερες απώλειες ενέργειας. Μειονεκτούν όμως στα ακόλουθα σημεία:

=> Οι θερμοκρασία στο εσωτερικό τους μεταβάλλονται απότομα μεταξύ ημέρας-νύχτας, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται δυσμενείς συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας.

=> Δυσκολεύονται μερικές καλλιεργητικές εργασίες λόγω του χαμηλού ύψους.

Αντίθετα, τα υψηλά θερμοκήπια (η χαμηλή πλευρά τους έχει ύψος 2.60m και άνω) έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

=> Παρέχουν καλό παθητικό εξαερισμό.

=> Ικανοποιούν τις ανάγκες των περισσότερων καλλιεργειών από πλευράς χώρου.

=> Είναι φωτεινότερα.

- Ύψος οροφής. Τα αμφίρρικτα υψηλά θερμοκήπια μπορούν επίσης να διακριθούν σε θερμοκήπια υψηλής και χαμηλής οροφής. Τα θερμοκήπια υψηλής οροφής έχουν δύο κεκλιμένες επιφάνειες στην οροφή τους, οι οποίες δημιουργούν χώρο μεγάλου όγκου.

Στα χαμηλής οροφής, η οροφή τους σχηματίζεται από δύο ζεύγη κεκλιμένων επιφανειών που δημιουργούν μικρότερο χώρο (ο τύπος χαρακτηρίζεται διεθνώς με το όνομα Venlo). Στην βόρεια Ευρώπη, τα χαμηλής οροφής θερμοκήπια είναι πιο διαδεδομένα για την καλλιέργεια λαχανικών, ενώ τα υψηλής οροφής για την καλλιέργεια καλλωπιστικών φυτών.

Τα χαμηλής οροφής, συγκριτικά με τα υψηλής οροφής θερμοκήπια, έχουν μειωμένες απώλειες θερμότητας, λόγω μικρότερου όγκου, είναι φθηνότερα, η κίνηση όμως του αέρα μέσα σε αυτά δυσχεραίνεται περισσότερο, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για μεγάλης έκτασης θερμοκήπια, με καλλιέργεια υψηλών φυτών. Γι' αυτό το λόγο, σε θερμά κλίματα (τη θερμή περίοδο κατά την διάρκεια της ημέρας) στα μεγάλης έκτασης θερμοκήπια αυτού του τύπου είναι δυσκολότερο να κρατηθεί η θερμοκρασία χαμηλά.

1.3. Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων.

Μέχρι το 1940 το μοναδικό υλικό που ήταν γνωστό για την κάλυψη του θερμοκηπίου ήταν το γυαλί. Οι πρώτες έρευνες για την αντικατάσταση του γυαλιού στα θερμοκήπια με διαφανή πλαστικά άρχισαν το 1940 από τον καθηγητή του πανεπιστημίου του Kentucky των Η.Π.Α., κ. Emmert και άνοιξαν νέους ορίζοντες στα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων.

Τα υλικά κάλυψης για να είναι κατάλληλα για κάλυψη θερμοκηπίων πρέπει να έχουν τις εξής ιδιότητες:

- Να είναι πολύ διαπερατά στην ηλιακή ακτινοβολία μήκους κύματος 0.3-2.0 μικρών και αδιαπέραστα στη θερμική ακτινοβολία του εδάφους μήκους κύματος 6-15 μικρών.
- Να διαμορφώνονται σε φύλλα μεγάλου πλάτους.
- Να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Να είναι εύκαμπτα (εκτός από το γυαλί).
- Να έχουν μεγάλη αντοχή.
- Να είναι φτηνά.

Η τεχνολογία στα υλικά κάλυψης εξελίσσεται πολύ γρήγορα. Κάθε χρόνο παράγονται πολλά είδη υλικών κάλυψης, από τα οποία πολύ λίγα όμως βρίσκουν πρακτική εφαρμογή. Τα κυριότερα από τα υλικά κάλυψης που χρησιμοποιούνται σήμερα στην κάλυψη των θερμοκηπίων είναι:

1. Γυαλί

- Απλό.
- Τύπου Μαρτελέ.

2. Πλαστικά φύλλα

- Πολυαιθυλένιο.
- Χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC).
- Πολυπροπυλένιο.
- EVA.
- Πολυεστέρες.
- Tedlar.
- Nylon.

3. Πλαστικά σε στερεές πλάκες.

- Πλάκες χλωριούχου πολυβινυλίου.
- Πλάκες πολυεστέρα ενισχυμένες με γυάλινες ίνες.
- Πλάκες ακρυλικές.
- Πλάκες πολυκαρμπονάτ.

1. Γυαλί

Το γυαλί, για να είναι κατάλληλο για την κάλυψη θερμοκηπίων, πρέπει να έχει πάχος τουλάχιστον 3mm, να είναι απαλλαγμένο από πέτρες και φυσαλίδες, επειδή οι πέτρες δημιουργούν σπασίματα ενώ οι φυσαλίδες αέρα συγκεντρώνουν σαν φακοί την ηλιακή ακτινοβολία, προκαλώντας εγκαύματα στα φυτά. Το καλό γυαλί έχει ομοιόμορφο πάχος. Ακόμη, επειδή από έρευνες έχει βρεθεί ότι με την πάροδο του χρόνου στο γυαλί δεν αλλάζουν οι οπτικές του ιδιότητες, κάθε μείωση της διαπερατότητας του φωτός αποδίδεται σε αποθέσεις σκόνης, υγρασίας και αλγαι. Από άλλα πειράματα όμως διαπιστώθηκε, ότι με την πάροδο του χρόνου το γυαλί γίνεται πιο εύθραυστο. Το γυαλί μπορεί να υποστεί ζημιές από χαλάζι και από σεισμούς, ιδίως όταν δεν υπάρχει δυνατότητα διαστολής της πισσομαστίχας που το συγκρατεί.

Τα τελευταία χρόνια δημιουργήθηκαν ειδικοί τύποι γυαλιού για θερμοκήπια. Ένας από αυτούς που λέγεται *hammered glass* έχει μεγαλύτερη από το κοινό γυαλί αντοχή και διαχέει το φως, οπότε εμποδίζει τη σκίαση. Άλλος τύπος γυαλιού φέρει κινητούς κρυστάλλους, οι οποίοι προσανατολίζονται ανάλογα με τη θερμοκρασία. Όταν ανεβαίνει η θερμοκρασία, οι κρύσταλλοι παίρνουν τέτοια θέση ώστε να ανακλούν τη θερμική ακτινοβολία και να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του θερμοκηπίου.

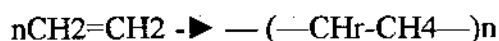
2. Τα Πλαστικά

Πήραν την ονομασία τους από την ικανότητα που έχουν να διαμορφώνονται ή να πλάθονται. Είναι πολυμερή και έχουν ως βάση τον άνθρακα, εκτός από τις σιλικόνες, που για βάση έχουν το πυρίτιο. Μερικά πλαστικά είναι άμορφα και άλλα είναι κρυσταλλικά. Τα πλαστικά που βρήκαν εφαρμογή στα θερμοκήπια έχουν μορφή εύκαμπτων φύλλων ή στερεών πλακών. Παρά τις εντατικές έρευνες των βιομηχανιών είναι πολύ δύσκολη η εξεύρεση νέων τύπων πλαστικών. Τα σπουδαιότερα με μορφή πλαστικά είναι τα παρακάτω:

Πολυαιθυλένιο.

Ανακαλύφθηκε το 1933 από τους Βρετανούς χημικούς Faucet και Bibson, αλλά μόνο το 1938 διαμορφώθηκε σε μορφή φύλλου. Η εμπορική παραγωγή των φύλλων του πολυαιθυλενίου άρχισε το 1943 στις Η.Π.Α. Ύστερα από σειρά πειραμάτων που έκανε ο καθηγητής Emmert στο πανεπιστήμιο του Kentucky των Η.Π.Α., συνέστησε το 1954 το πολυαιθυλένιο ως κατάλληλο πλαστικό για κάλυψη θερμοκηπίων.

Το πολυαιθυλένιο έχει ειδικό βάρος 0.92 και παρασκευάζεται από αργό πετρέλαιο ύστερα από καταλυτική διάσπαση και πολυμερισμό, με πίεση του αερίου αιθυλενίου σύμφωνα με την εξίσωση:



Οι σπουδαιότερες ιδιότητες του πολυαιθυλενίου είναι ότι διαμορφώνεται σε φύλλα μεγάλου πλάτους (στην Ελλάδα μέχρι 14m), είναι ελαφρό, εύκαμπτο και φθηνότερο από όλα τα άλλα είδη πλαστικών και αντέχει σε ψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες. Μερικά από τα μειονεκτήματα του πλαστικού είναι ότι έχει μικρή διάρκεια ζωής, επιτρέπει την έξοδο της θερμικής ακτινοβολίας από το θερμοκήπιο και διευκολύνει τη δημιουργία σταγόνων πάνω στο πλαστικό. Ο Kevegen αναφέρει, ότι το πολυαιθυλένιο αντέχει σε θερμοκρασίες -60°C μέχρι 60°C και λιώνει στους 115°C . Από πολυάριθμες φωτομετρήσεις βρέθηκε ότι η διαπερατότητα του καθαρού φύλλου στην υπεριώδη ακτινοβολία είναι 80%, στην ορατή 86% και τη θερμική 88%. Η μεγάλη διαπερατότητα της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας μειώνει τη διάρκεια ζωής του πλαστικού και επηρεάζει την απόδοση, την εποχή παραγωγής, το χρώμα και τη γεύση των καρπών. Το πολυαιθυλένιο είναι πολύ διαπερατό στη θερμική ακτινοβολία του εδάφους, επιτρέπει το 77% με συνέπεια, όταν ο ουρανός είναι ακάλυπτος από σύννεφα, η θερμοκρασία αέρα μέσα στο θερμοκήπιο πέφτει κάτω από τη θερμοκρασία αέρα του περιβάλλοντος. Το καλοκαίρι θερμοκήπια καλυμμένα με πολυαιθυλένιο είναι λιγότερο θερμά από τα γυάλινα επειδή έχουν μεγαλύτερες απώλειες στη θερμότητα με ακτινοβολία. Το πολυαιθυλένιο είναι αδιάβροχο και αδιαπέραστο στο νερό, αλλά αέρια, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το οξυγόνο και οι υδρατμοί, διαχέονται από τα μόρια του. Έχει μάλιστα βρεθεί ότι ο διοξείδιο του άνθρακα είναι τρεις φορές πιο διαπερατό από το οξυγόνο, αλλά η διαπερατότητα είναι βραδεία και είναι αμφίβολο αν μπορεί να συμπληρώσει μεγάλο ποσοστό από αυτό που καταναλίσκουν τα φυτά.

Ένα από τα σοβαρότερα μειονεκτήματα του πολυαιθυλενίου είναι η μικρή διάρκεια της ζωής του. Οι παράγοντες, οι οποίοι συντελούν στην παλαιώση του πλαστικού, είναι η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία, το οξυγόνο του αέρα, η υγρασία και η Θερμοκρασία. Η παλαιώση του πολυαιθυλενίου είναι φωτοοξειδωτικό φαινόμενο, που οδηγεί στον αποχρωματισμό και στην μείωση της μηχανικής αντοχής. Το πολυαιθυλένιο αρχίζει να καταστρέφεται από τα σημεία που ακουμπά στο σκελετό του Θερμοκηπίου και στις διπλώσεις. Ο αποχρωματισμός του πλαστικού σημαίνει δημιουργία πολυαιθυλενίου. Το απλό πολυαιθυλένιο μπορεί να ενισχυθεί, αν κατά τη διαμόρφωση του φύλλου προστεθούν αντιοξειδωτικά και σταθεροποιητές, όπως βενζοτριαζόλες, ακρυλονιτρίλια κ.α. Τα υλικά αυτά δίνουν μια ελαφριά απόχρωση στο πλαστικό και αυξάνουν σημαντικά τη διάρκεια ζωής του, χωρίς να μεταβάλλουν σοβαρά τις οπτικές ιδιότητες. Υπολογίζεται ότι η μείωση της διαπερατότητας του φωτός από τους σταθεροποιητές κυμαίνεται γύρω στο 1.5-5%. Το φύλλο του πλαστικού πολυαιθυλενίου, εκτός από την εξωτερική κάλυψη του θερμοκηπίου, χρησιμοποιείται και σαν δεύτερο φύλλο, τόσο στα γυάλινα όσο και στα θερμοκήπια από πλαστικό, για εξοικονόμηση των καυσίμων θέρμανσης. Τα τελευταία χρόνια έχουν εισαχθεί πολλές βελτιώσεις στο φύλλο του πολυαιθυλενίου και κατασκευάστηκαν τύποι με πολύ ενδιαφέρουσες ιδιότητες, σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι οι εξής:

- **Πολυαιθυλένιο μεγάλης διάρκειας ζωής.** Από το 1965 ο Courier αναφέρει τη χρησιμοποίηση πολυαιθυλενίου που έχει διάρκεια ζωής περί τα δύο χρόνια. Με την αύξηση της διάρκειας ζωής του πολυαιθυλενίου στη Γαλλία ασχολήθηκε η Ethylene Plastique S.A., η οποία ανέπτυξε τύπους πολυαιθυλενίου που είχαν διάρκεια ζωής πάνω από δύο χρόνια. Η Βρετανική εταιρεία British Visqueen Ltd, το 1971 δημιούργησε ένα τύπο πολυαιθυλενίου που περιέχει δύο απορροφητές υπεριώδους ακτινοβολίας, που δρουν από κοινού (synergistically) δημιουργώντας στο πλαστικό μια κίτρινη απόχρωση που απορροφά 1.5% του ηλιακού φωτός.
- **Πολυαιθυλένιο αδιαπέραστο στη θερμική ακτινοβολία.** Η Ethylene Plastique S.A. έχει πατεντάρει τύπο πολυαιθυλενίου που συνδυάζει πολύ καλές οπτικές ιδιότητες και απορροφά το 88% της θερμικής ακτινοβολίας του εδάφους έναντι των συνηθισμένων πολυαιθυλενίων που απορροφούν λιγότερο από 30% της ίδιας ακτινοβολίας.
- **Πολυαιθυλένιο που εμποδίζει την απόθεση σταγόνων (PE Anti - buee).** Στο πλαστικό αυτό δε δημιουργείται θάμνωμα και η υγρασία που αποτίθεται γλιστρά και φεύγει προς τα πλάγια, επειδή όλη η επιφάνεια του εσωτερικού πλαστικού έχει μια επάλειψη ειδικού λαδιού. Το είδος αυτό του πολυαιθυλενίου βρήκε μεγάλη εφαρμογή στην κάλυψη σαμαριών σπαραγγιού, επειδή πέρα από την πρωίμιση διευκολύνει τη συγκομιδή. Διάφορες εταιρείες πλαστικών έχουν εντείνει τις προσπάθειες τους και έχουν κατασκευάσει πλαστικά που δεν επιτρέπουν τη δημιουργία σταγόνων.

Φωτοεκλεκτικά πολυαιθυλένια. Είναι πλαστικά με διάφορες αποχρώσεις, που απορροφούν μέρος του φάσματος του ηλιακού φωτός. Οι εταιρείες πλαστικών που τα κατασκευάζουν, ισχυρίζονται ότι τα πλαστικά αυτά αυξάνουν τις αποδόσεις ορισμένων καλλιεργειών, όμως η πρακτική εμπειρία έδειξε ότι τα αποτελέσματα ήταν αρνητικά. Πρωτοπόρος στα φωτοεκλεκτικά πολυαιθυλένια είναι η ιταλική εταιρεία πλαστικών Montedison, η οποία κυκλοφόρησε τα πλαστικά αυτά στους χρωματισμούς βιολετί, πορτοκαλί και ενδιάμεσου χρωματισμού. Το στρώμα του πλαστικού δεν επηρεάζει τη διάρκεια ζωής του και από τις παρατηρήσεις μας φαίνεται ότι με το χρόνο το χρώμα υποβαθμίζεται.

Μαύρο πολυαιθυλένιο. Έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από το απλό πολυαιθυλένιο. Η προσθήκη σταθεροποιητών είναι και σ' αυτό απαραίτητη. Το μαύρο πολυαιθυλένιο κατασκευάζεται με προσθήκη στο απλό πολυαιθυλένιο μαύρης χρωστικής. Το πλαστικό αυτό βρήκε εφαρμογή στην κάλυψη θερμοκηπίων που προορίζονται για μανιτάρια, στη ρύθμιση της εποχής άνθησης χρυσάνθεμων με συσκότιση, στις κινητές κουρτίνες για μείωση απωλειών θερμότητας και στην κάλυψη του εδάφους ανάπτυξης κηπευτικών.

Πολυαιθυλένιο ενισχυμένο με συνθετικές ίνες. Έχει μεγαλύτερη αντοχή, από τα άλλα είδη του πολυαιθυλενίου αλλά και ψηλότερη τιμή.

Πολυαιθυλένιο χρώματος γκρι. Έχει ενδιάμεσες ιδιότητες, ανάμεσα στο μαύρο και στο διαφανές πολυαιθυλένιο και συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των δύο αυτών ειδών.

Χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC).

Μετά το πολυαιθυλένιο το PVC είναι το πιο διαδεδομένο πλαστικό στην κάλυψη των θερμοκηπίων. Παρασκευάζεται από τον πολυμερισμό του βινυλοχλωριδίου, σύμφωνα με την αντίδραση:



Το πολυμερές PVC είναι λιγότερο κρυσταλλικό από το πολυαιθυλένιο και κυκλοφορεί στο εμπόριο με μορφή φύλλου ή με μορφή ενισχυμένων πλακών. Για τη βελτίωση των φυσικών και οπτικών ιδιοτήτων του προστίθενται στη μάζα του οι πλαστικοποιητές phthalates και dedecyl phthalates και όσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία των, τόσο το φύλλο του PVC γίνεται πιο εύκαμπτο. Το πλαστικό αυτό γίνεται πιο σταθερό στην ηλιακή ακτινοβολία όταν περιέχει phthalates, ενώ οι ανώσεις phosphates δίνουν αντίθετο αποτέλεσμα. Ο Bowman από πολυάριθμες φωτομετρήσεις που έκανε, βρήκε ότι η διαπερατότητα του PVC στη φωτεινή ακτινοβολία μήκους κύματος 0.6 μικρά είναι 88%, ενώ στη θερμική ακτινοβολία μήκους κύματος 5-25 μικρά είναι 12%. Η μικρή διαπερατότητα του πλαστικού στη θερμική ακτινοβολία συντελεί στην εξασφάλιση ψηλότερης κατά 2-3°C θερμοκρασίας σε μη θερμαινόμενα θερμοκήπια που σκεπάζονται με PVC, έναντι εκείνων που καλύπτονται με πολυαιθυλένιο και στην εξοικονόμηση καυσίμων θέρμανσης.

Το πλαστικό PVC είναι ηλεκτροστατικό, με συνέπεια να προσελκύει σκόνη που επηρεάζει τις οπτικές ιδιότητες. Όταν περιέχει μεγάλη αναλογία πλαστικοποιητών, προσβάλλεται από μικροοργανισμούς. Η σκόνη κολλά στο πλαστικό και δύσκολα ξεπλένεται με το πλύσιμο. Το φύλλο του πλαστικού PVC είναι λιγότερο διαπερατό στο οξυγόνο και στο διοξείδιο του άνθρακα και σε σύγκριση με τα άλλα είδη πλαστικών είναι πιο διαπερατό στους υδρατμούς. Είναι απρόσβλητο από τις περισσότερες χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία, εκτός από μερικά εντομοκτόνα που περιέχουν διαλύτες PVC. Ο Kevergen αναφέρει ότι το φύλλο του PVC διατηρεί την ευκαμψία του στις θερμοκρασίες από -5°C μέχρι 60°C.

Το είδος του φύλλου του PVC που παράγεται στις χώρες της Ευρώπης πολυαιθυλένιο, τείνει να γίνει άκαμπτο σε χαμηλές θερμοκρασίες και μαλακώνει πολύ σε ψηλές θερμοκρασίες. Άλλες ιδιότητες που έχει το φύλλο του PVC, είναι η δυσκολία παραγωγής του σε μεγάλο πλάτος και το ψηλό κόστος κατασκευής. Το φύλλο του πλαστικού PVC που παράγεται σήμερα στη χώρα μας, δεν επιτρέπει την απόθεση υγρασίας, έχει διάρκεια ζωής 2-3 χρόνια, πλάτος 2.20m, πάχος 200 μικρά και επιτρέπει τη συγκέντρωση σκόνης. Γι' αυτό παρά την πρωϊμια και την αύξηση της παραγωγής, δε βρήκε μεγάλη εφαρμογή στη χώρα μας.

Μεγάλη διάδοση των φύλλων του PVC σημειώθηκε στην Ιαπωνία, όπου στην πλειοψηφία τους τα θερμοκήπια καλύπτονται με PVC. Εκεί έχουν δημιουργηθεί πολύ ενδιαφέροντες τύποι πλαστικού PVC που δεν αφήνουν τη δημιουργία σταγόνων (mondrop) ούτε την απόθεση σκόνης (dust-free). Ακόμη άρχισαν να κυκλοφορούν φωτοεκλεκτικά PVC διαφόρων χρωμάτων, ειδικά για κάθε σχεδόν καλλιέργεια. Η προτίμηση των φύλλων του PVC αποδίδεται από τους Ιάπωνες ερευνητές στη μικρή διαπερατότητα του πλαστικού στην υπεριώδη ακτινοβολία, με την έλλειψη της οποίας τα φυτά αναπτύσσονται πιο γρήγορα. Τελευταία έχουν διαδοθεί διάφορα είδη φωτοεκλεκτικών φύλλων PVC χρώματος μπλε, πορτοκαλί, κόκκινου και ερυθροκυανού. Επίσης από χρόνια τώρα έχουν κατασκευαστεί φύλλα ενισχυμένα με κλωστές πολυεστέρα ή nylon, φύλλα PVC που είναι κατάλληλα για κάλυψη ημικυκλικών θερμοκηπίων. Ακόμη φύλλα PVC φέρονται στο εμπόριο ενισχυμένα με σύρματα (griltex). Στη Σοβιετική Ένωση, ο Busygina και οι συνεργάτες του πέτυχαν να παράγουν φύλλο PVC που δεν προσβάλλεται από μύκητες. Αυτό έγινε με την προσθήκη στο αρχικό μίγμα 0.1-0.2% παραγώγων τριεθυλίου (triethyl).

Πολυεστέρες.

Είναι γνωστοί με διάφορες εμπορικές ονομασίες, όπως Mylar (της Du Pont Co), melinex (Imperial Chemical Industries Ltd), montikel (Montedison) κ.α. Οι πολυεστέρες που κυκλοφορούν σήμερα στο εμπόριο χαρακτηρίζονται σαν υλικά κάλυψης θερμοκηπίων που εύκολα χάνουν τη φωτοδιαπερατότητά τους και έχουν μικρή διάρκεια ζωής.

Από φωτομετρήσεις του Bowman βρέθηκε ότι ο πολυεστέρας mylar έχει διαπερατότητα 88% στη φωτεινή ακτινοβολία μήκους κύματος 0.5 μικρά και 24% στη θερμική ακτινοβολία 5-25 μικρά, δηλαδή παρουσιάζει πολύ καλές οπτικές ιδιότητες, αλλά υστερεί έναντι του PVC στις απώλειες θερμότητας με ακτινοβολία. Από την κάλυψη θερμοκηπίων με τον πολυεστέρα mylar στη Φλόριδα των Η.Π.Α. βρέθηκε ότι έχει διάρκεια ζωής τέσσερα χρόνια, δηλαδή διπλάσια του πλαστικού PVC.

EVA.

Είναι πολυμερές του αιθυλενίου και του βινυλακετυλενίου. Έχει διαδοθεί στις Σκανδιναβικές χώρες, όπου η ελάχιστη θερμοκρασία κατεβαίνει πολύ πιο κάτω από τους -30°C , οπότε τα άλλα πλαστικά παθαίνουν ζημιές. Η διάρκεια ζωής του απλού φύλλου EVA είναι μια καλλιεργητική περίοδος και του ενισχυμένου φύλλου EVA περί τα δύο έως και τρία χρόνια. Επιτρέπει τη συγκέντρωση υγρασίας περισσότερο από το πολυαιθυλένιο και συγκεντρώνει λιγότερη σκόνη από το PVC. Έχει καλές οπτικές ιδιότητες, ενώ οι θερμικές ιδιότητες μοιάζουν πιο πολύ με το PVC, όταν περιέχει πάνω από 17% οξικό βινύλιο, παρά με το πολυαιθυλένιο. Το φύλλο του πλαστικού EVA γλιστρά στα σημεία που καρφώνεται πάνω στα καδρόνια και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη συγκράτηση. Έχει κατασκευαστεί τύπος του πλαστικού EVA που παρουσιάζει ανώμαλη επιφάνεια η οποία διαχέει το φως. Από πειράματα, όμως, βρέθηκε ότι εκτός του ότι μειώνει κατά 15-20% τη διαπερατότητα του φωτός, παθαίνει εύκολα ζημιές από ποντίκια ή από πουλιά.

Πολυπροπυλένιο.

Είναι πολυμερή ολεφίνης και ανήκει στην οικογένεια πολυμερών του πολυαιθυλενίου. Στο εμπόριο κυκλοφορεί ως απλό για μια καλλιεργητική περίοδο και ως σταθεροποιημένο για δυο χρόνια. Παράγεται εύκολα σε διάφορα πλάτη, έχει καλή διαπερατότητα στο φως, έχει ενδιάμεσες θερμικές ιδιότητες μεταξύ πολυαιθυλενίου και PVC, συγκεντρώνει σταγόνες υγρασίας, όπως και το πολυαιθυλένιο, αλλά δεν πιάνει σκόνη. Είναι πιο σκληρό από το πολυαιθυλένιο και χρειάζεται προσοχή στο κάρφωμα. Παρουσιάζει μικρή αντοχή στην τριβή. Η αντοχή του πολυπροπυλενίου δεν είναι τόσο καλή στις χαμηλές θερμοκρασίες όσο του πολυαιθυλενίου. Το πλαστικό αυτό χρησιμοποιείται στον Καναδά και στην Ιταλία για κάλυψη των πλευρών των θερμοκηπίων.

Nylon.

Ο Kevergen αναφέρει, ότι το πλαστικό nylon έχει διαπερατότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία 80%, στη φωτεινή 88% και στη θερμική 20%. Το πλαστικό αυτό με το χρόνο έχει την τάση να απορροφά υγρασία από τον αέρα. Παρόλο που το κόστος κατασκευής είναι πολύ ψηλότερο από το κόστος του πολυαιθυλενίου, όμως άρχισε να χρησιμοποιείται στην κάλυψη θερμοκηπίων, ιδίως σε χώρες όπως στη Σοβιετική Ένωση που το χειμώνα επικρατούν πολύ αντίξοες καιρικές συνθήκες.

Tedlar.

Είναι προϊόν της εταιρείας Dupont Registered Trade Mark. Ο Bowman αναφέρει ότι το πλαστικό αυτό έχει διάρκεια ζωής 8 χρόνια και πολύ καλές οπτικές και θερμικές ιδιότητες. Η διαπερατότητα του πλαστικού, στη φωτεινή ακτινοβολία μήκους κύματος 0.64 μικρά είναι 92% και στη θερμική ακτινοβολία μήκους κύματος 5-25 μικρών είναι 33%. Έχει ικανοποιητική αντοχή στην τριβή και στην έλξη τόσο σε χαμηλές όσο και σε υψηλές θερμοκρασίες μέχρι 180°C. Μια από τις χρήσεις του πλαστικού Tedlar είναι η επάλειψη των ενισχυμένων πλακών του πολυεστέρα (GRP) για να προφυλάγονται από τις αλλοιώσεις και τη συγκέντρωση της σκόνης.

3. Πλαστικά σε στερεές πλάκες.

Με την επέκταση των θερμοκηπίων από πλαστικό, διαδόθηκαν και οι στερεές πλάκες, οι οποίες πλεονεκτούν έναντι των φύλλων του πλαστικού στην αντοχή, στην εύκολη συντήρηση, και στη διάρκεια ζωής, αλλά μειονεκτούν στη διαπερατότητα του φωτός και στο κόστος. Από τα πολυάριθμα είδη πλαστικών πλακών που κυκλοφορούν στο εμπόριο, τρία κυρίως είδη βρήκαν εφαρμογή στα θερμοκήπια, οι ενισχυμένοι με γυάλινες κλωστές πολυεστέρες, οι πλάκες PVC και οι ακρυλικές πλάκες.

Πλάκες πολυεστέρα ενισχυμένες με γυάλινες κλωστές.

Εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στις Η.Π.Α. γύρω στο έτος 1947 και αφού το 1960 βελτιώθηκαν με προσθήκη μονομερούς ακρυλικού άρχισαν να χρησιμοποιούνται σε θερμοκήπια. Σήμερα οι πλάκες αυτές κυκλοφορούν σε επίπεδη και κυματοειδή μορφή. Από αυτές οι δεύτερες είναι πιο ανθεκτικές, αλλά αυξάνουν την εκτιθέμενη επιφάνεια και τις απώλειες θερμότητας. Οι ενισχυμένες πλάκες έχουν 2 φορές μεγαλύτερη αντοχή από το γυαλί, είναι ελαφριές, παθαίνουν δύσκολα ζημιές από το χαλάζι, αλλά παρουσιάζουν μικρή διαπερατότητα στο φως. Από την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας παίρνουν κιτρινωπό χρώμα που βαθμηδόν γίνεται καστανό, δεν επιτρέπουν το πέρασμα της υπεριώδους και της θερμικής ακτινοβολίας. Οι πλάκες όμως αυτές είναι πολύ εύφλεκτες και θερμοκήπιο ολόκληρο μπορεί να καεί σε λίγα λεπτά της ώρας. Οι πλάκες πρέπει να καθαρίζονται μία ή δύο φορές το χρόνο και να επαλείφονται με ακρυλικές ουσίες ή tedlar για να προστατεύονται από τη φθοροποιό επίδραση της υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας. Με το χρόνο σπάζουν οι γυάλινες κλωστές και συγκεντρώνεται σκόνη, η οποία μειώνει τη διαπερατότητα του φωτός. Οι πλάκες του πολυεστέρα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε καλλιέργειες που έχουν μικρές απαιτήσεις σε φως και σε περιοχές με μεγάλη ηλιοφάνεια.

Πλάκες χλωριούχου πολυβινυλίου.

Είναι ευλύγιστες και έτσι διευκολύνουν τη διαμόρφωση οποιουδήποτε σχήματος στο θερμοκήπιο. Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, αλλά δε συνιστάται να χρησιμοποιούνται για περισσότερα από τρία ή τέσσερα χρόνια, επειδή με το χρόνο μειώνεται η διαπερατότητα του φωτός.

Ακρυλικές πλάκες.

Ακρυλικά μονομερή κατασκευάστηκαν από το 1843, αλλά σε εμπορική εφαρμογή πέρασαν μετά το 1927. Σήμερα στο εμπόριο κυκλοφορούν ακρυλικές πλάκες σε διάφορα σχήματα και παρουσιάζουν πολύ ενδιαφέρουσες ιδιότητες, όπως μεγάλη αντοχή, μεγάλη διάρκεια ζωής, ευλυγισία, διαπερατότητα στο φως που φθάνει τα 90-92%, αντοχή στο χιόνι, στον πάγο, στο χαλάζι κ.α. Με την ανύψωση της θερμοκρασίας, οι ακρυλικές πλάκες διαστέλλονται και αλλάζουν μέγεθος, γι' αυτό πρέπει να συγκρατούνται με ειδικά κανάλια, και να καρφώνονται με προσοχή. Οι πλάκες αυτές προσβάλλονται από ορισμένους διαλύτες. Το μεγαλύτερο εμπόδιο στη διάδοση των πλακών είναι το ψηλό κόστος τους. Άλλο ένα μειονέκτημα, είναι ότι, σχίζονται στα σημεία που κάμπτονται. Το πάχος των πλακών με κυψελίδες πρέπει να είναι τουλάχιστον 16mm για να πετυχαίνεται καλή μόνωση.

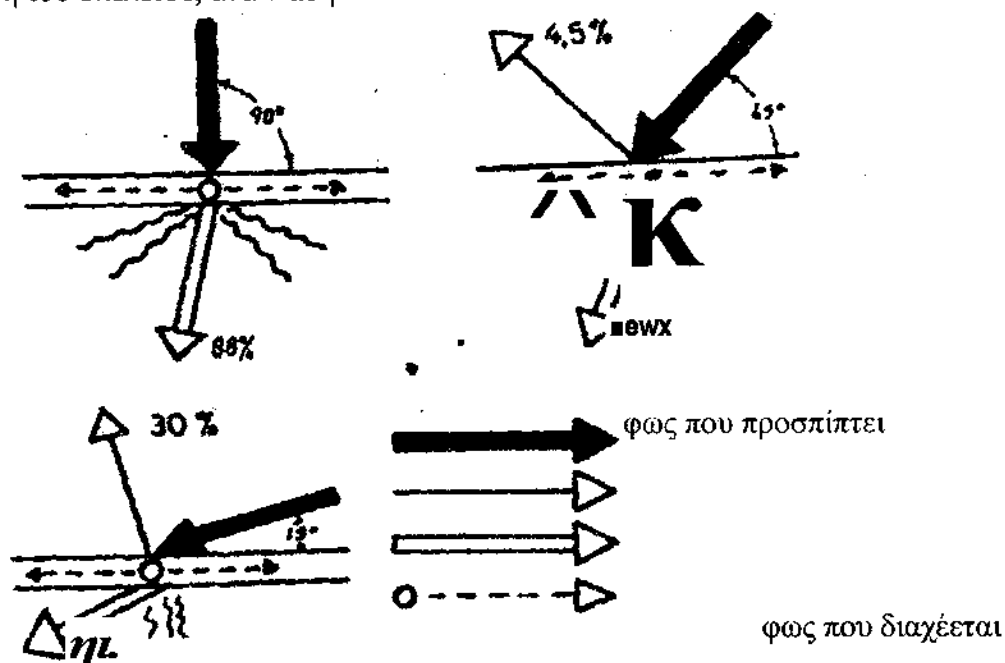
Πλάκες πολυκαρμπονάτ.

Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής που μπορεί να φθάσει τα 10 χρόνια. Στο εμπόριο κυκλοφορούν πλάκες πάχους 3-32mm. Έρευνες που έγιναν στη Δ. Γερμανία έδειξαν ότι όταν ένα θερμοκήπιο καλύπτεται με πλάκες πολυκαρμπονάτ που έχουν πάχος 16 τουλάχιστον mm τότε πετυχαίνεται έναντι γυάλινου θερμοκηπίου εξοικονόμηση 25-30% ενέργειας για θέρμανση. Η μέχρι τώρα εμπειρία από την χρήση των πλακών αυτών για κάλυψη θερμοκηπίων έχει δείξει ότι η υγρασία του αέρα διαπερνά τις πλάκες και αποτίθεται σε μορφή σταγόνων μέσα στις κυψελίδες με συνέπεια να μειώνεται σημαντικά η φωτοδιαπερατότητα. Για την αποφυγή του μειονεκτήματος αυτού γίνεται εμβάπτιση των πλακών σε διάλυμα Sunpear, είτε εμβάπτιση των πλακών σε ακρυλικά υλικά, καθώς και κατάλληλη συρραφή και τοποθέτηση των πλακών. Οι πλάκες του πολυκαρμπονάτ πάχους 3-6mm μπορεί να βρουν εφαρμογή στην κάλυψη των πλευρών των μη θερμαινόμενων θερμοκηπίων σε συνδυασμό με κάλυψη της στέγης με δύο φύλλα πλαστικού πολυαιθυλενίου, γιατί έτσι θα έχουμε μόνωση και λιγότερα ημερομίσθια για αλλαγές των φύλλων των πλαστικών.

1.4. ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ

Κατά την επιλογή των υλικών κάλυψης θερμοκηπίων δίνεται ιδιαίτερη έμφαση σ' αυτά που παρουσιάζουν μεγάλη διαπερατότητα στη φωτεινή ηλιακή ακτινοβολία και μικρή διαπερατότητα στη θερμική ακτινοβολία του εδάφους.

Είναι γνωστό ότι από το φως που προσπίπτει πάνω σε ένα υλικό κάλυψης, ένα μέρος ανακλάται, ένα άλλο μέρος απορροφάται και το υπόλοιπο διαπερνά και μπαίνει στο θερμοκήπιο (σχήμα 1.2.). Το ποσοστό του φωτός που εισέρχεται στα θερμοκήπια, εξαρτάται από το είδος, το χρώμα, το πάχος και την καθαριότητα του υλικού κάλυψης, από τη γωνία πρόσπτωσης και από τα αδιαφανή μέρη του σκελετού, ανάκλαση



Σχήμα 1.2

Πως επηρεάζεται η διαπερατότητα του φωτός από τα υλικά κάλυψης ανάλογα με την γωνία πρόσπτωσης του φωτός.

Τα διάφορα υλικά κάλυψης έχουν διάφορη διαπερατότητα στη φωτεινή ηλιακή ακτινοβολία. Τα τελευταία δέκα χρόνια οι βιομηχανίες πλαστικών έχουν κατασκευάσει πλαστικά τα οποία παρουσιάζουν μικρότερη ανάκλαση και απορρόφηση του φωτός και μεγαλύτερη διαπερατότητα. Σε διογκωμένα διαφανή πλαστικά, σε ενισχυμένα PVC και σε θερμοκήπια που καλύπτονται με διπλά φύλλα πολυαιθυλενίου, σημειώνονται μεγάλες απώλειες από ανάκλαση που φτάνει και τα 25%. Από φωτομετρήσεις που έγιναν σε γυάλινα θερμοκήπια, που έφεραν εσωτερική επικάλυψη με διογκωμένα διαφανή πλαστικά για να μειώνουν τις απώλειες θερμότητας, βρέθηκε ότι μειώνεται η διαπερατότητα του φωτός κατά 22-24%.

Το χρώμα του υλικού κάλυψης είναι γνωστό ότι επηρεάζει την απορρόφηση της φωτεινής ακτινοβολίας και αλλάζει το φάσμα. Οι σταθεροποιητές που προστίθενται στο πλαστικό πολυαιθυλένιο, δίνουν ελαφριά απόχρωση, η οποία βρέθηκε ότι μειώνει τη διαπερατότητα κατά 5% στα μήκη κύματος 0.300-0.480 μικρών. Από φωτομετρήσεις που έγιναν στο Βέλγιο και το Νίσην, βρέθηκε ότι τα διάφορα είδη πλαστικών εκτός από τα έγχρωμα, απορροφούν σχεδόν ομοιόμορφα τα διάφορα μήκη κύματος της φωτεινής ακτινοβολίας. Μικρές εξαιρέσεις εμφανίζουν τα ενισχυμένα PVC, τα αφρώδη πλαστικά και το πολυαιθυλένιο μεγάλης διάρκειας ζωής.

Το πάχος του υλικού κάλυψης φαίνεται ότι επηρεάζει ελάχιστα τη διαπερατότητα του φωτός. Ο Νίσην βρήκε ότι με την αύξηση του πλαστικού πολυαιθυλενίου από 70 σε 150 μικρά ελαττώνεται η διαπερατότητα του φωτός κατά 1-2%. Ακόμη με την πάροδο του χρόνου είναι γνωστό ότι στα περισσότερα είδη υλικών κάλυψης μειώνεται η διαπερατότητα του φωτός, μάλιστα στο πολυαιθυλένιο κατά 1% το χρόνο, στις ενισχυμένες πλάκες PVC κατά 2-3% το χρόνο, με την προϋπόθεση ότι θα καθαριστούν από τη συγκεντρωμένη σκόνη, ενώ στο γυαλί δεν παρατηρήθηκαν παρόμοιες αλλαγές.

Η διαπερατότητα των πλαστικών στην ηλιακή ακτινοβολία έχει βρεθεί ότι επηρεάζεται σημαντικά από την αποτιθεμένη σκόνη και υγρασία. Μερικά πλαστικά, όπως το PVC, έχουν την ιδιότητα να προσελκύουν σκόνη και να μειώνουν τη διαπερατότητα τους. Εξάλλου, οι σταγόνες νερού πάνω στα πλαστικά αποδείχτηκε ότι μειώνουν κατά 10-40% τη διαπερατότητα του φωτός, ανάλογα με τη θέση του ήλιου στον ορίζοντα. Επίσης επικάλυψη του θερμοκηπίου με δύο φύλλα πλαστικού πολυαιθυλενίου μειώνει σημαντικά τη διαπερατότητα του φωτός, λόγω της διπλής απορρόφησης και ανάκλασης του φωτός.

Το ποσοστό της εισερχόμενης στο θερμοκήπιο φωτεινής ακτινοβολίας επηρεάζεται επίσης σοβαρά από τη γωνία πρόσπτωσης (πίνακας 1.3). Όσο μικρότερη είναι η γωνία πρόσπτωσης, τόσο αυξάνονται οι απώλειες με ανάκλαση.

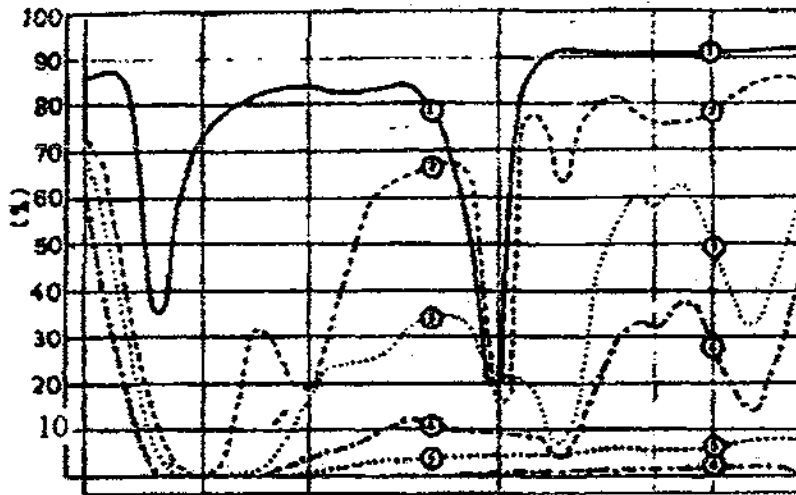
Πίνακας 1.3

Ποσοστά τη ηλιακής ακτινοβολίας που ανακλώνται από γυάλινο θερμοκήπιο, ανάλογα με τη γωνία πτώσης της ακτινοβολίας.

Γωνία πτώσης της ηλιακής ακτινοβολίας	Απώλεια φωτός με ανάκλαση %
60°	2,7
50°	3,4
40°	5,7
30°	11,2
20°	22,2
15°	30
10°	41,2

Ενώ μας ενδιαφέρει τα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων να είναι κατά το δυνατό πιο διαπερατά στη φωτεινή ακτινοβολία, αντίθετα επιδιώκουμε να εμποδίζουν την έξοδο της θερμικής ακτινοβολίας των φυτών και του εδάφους. Αυτό γιατί τα υλικά κάλυψης που απορροφούν τη θερμική ακτινοβολία, διατηρούν το θερμοκήπιο και συμβάλλουν στην εξοικονόμηση καυσίμων.

Από το σχήμα 1.9. φαίνεται ότι το γυαλί, το χλωριούχο πολυβινύλιο και τα μετακρυλικά έχουν πολύ μικρή διαπερατότητα στην θερμική ακτινοβολία, ενώ άλλα πλαστικά όπως το πολυαιθυλένιο, είναι πολύ διαπερατά, με αποτέλεσμα θερμοκήπια καλυμμένα με τέτοια υλικά να ψύχονται απότομα μόλις σταματήσει η θέρμανση. Από το ίδιο σχήμα φαίνεται ότι το πολυαιθυλένιο έχει δύο αδιαπέραστες αιχμές στα μήκη κύματος 7 και 14 και το χλωριούχο πολυβινύλιο έχει αδιαπέραστες αιχμές στα μήκη κύματος 7.5-9,14-17 και 24-32 μικρά. Το πλαστικό φύλλο EVA παρουσιάζει ενδιάμεσες ιδιότητες μεταξύ πολυαιθυλενίου και χλωριούχου πολυβινυλίου. Το γυαλί και το πολυμετακρυλικό πλαστικό πρακτικά θεωρούνται ως εντελώς αδιαπέραστα στην θερμική ακτινοβολία. Υπολογίζεται ότι σε μήκη κύματος 5-36 μικρών, το πολυαιθυλένιο απορροφά τα 15-30% της θερμικής ακτινοβολίας, το χλωριούχο πολυβινύλιο το 60-78% και οι πολυεστέρες και τα μετακρυλικά το 90%.



- (1) πολυαιθ70μ
- (2) EVA-70μ
- (3) PVC:-80μ
- (4) PVC ενισχ.
- (5) Πολυεστέρες
- (6) Γυαλί

Σχήμα 1.3.

Απορροφήσεις της θερμικής ακτινοβολίας μήκους κύματος $\lambda > 5\mu$ από είδη των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων

1.5. Φυσικές ιδιότητες υλικών κάλυψης.

Επειδή τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων βρίσκονται εκτεθειμένα συνέχεια στις καιρικές συνθήκες, υφίστανται με το χρόνο αλλοιώσεις στο χρώμα, στη διαπερατότητα του φωτός και στην αντοχή. Από τα μέχρι τώρα γνωστά υλικά, μόνο το γυαλί δεν παθαίνει αλλοιώσεις. Οι πιο σπουδαίοι παράγοντες που συντελούν στην παλαιώση και αποσύνθεση των πλαστικών είναι η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία, η υγρασία, το οξυγόνο, το διοξείδιο του θείου, διάφοροι υδατάνθρακες, ελεύθερα σωματίδια και βακτήρια.

Η υπεριώδης ακτινοβολία, όταν απορροφηθεί από τα πλαστικά, ενεργοποιεί άτομα και μόρια που συνδέονται με δεσμούς. Από τα *quanta* που έχουν απορροφηθεί, εξαρτάται πόσοι δεσμοί θα σπάσουν και πόσες ρίζες υδρογονανθράκων θα σχηματιστούν στο μόριο του πλαστικού. Η έκταση της διάσπασης των δεσμών των πλαστικών καθορίζεται από την ένταση και την διάρκεια πρόσπτωσης της υπεριώδους ακτινοβολίας.

Η θερμοκρασία επηρεάζει τους πλαστικοποιητές, συντελεί στον αποχρωματισμό ορισμένων πλαστικών και επιταχύνει μερικές χημικές αντιδράσεις, όπως την υδρόλυση των πολυεστέρων. Ο Martin αναφέρει ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 10°C διπλασιάζεται η υδρόλυση.

Η υγρασία επιταχύνει την αποσύνθεση των πλαστικών, επειδή υδρολύει ορισμένα πολυμερή πολυεστέρων, πολυαμιδίων και πολυακετύλιων, μεταφέρει τα διαλυτά στο νερό προϊόντα φωτοοξειδωσης και δημιουργεί με την απορρόφηση της υπεριώδους ακτινοβολίας ελεύθερες ρίζες υδροξυλίου. Ακόμη η υγρασία διαχέεται στο πολυμερές και απορροφάται από υδρόφιλα υλικά.

Το οξυγόνο του αέρα επιδρά στα άτομα του πλαστικού που έχουν ενεργοποιηθεί από την υπεριώδη ακτινοβολία και σχηματίζει ρίζες υπεροξειδίου.

Η αποσύνθεση των πλαστικών επιταχύνεται από την παρουσία **υδατανθράκων, ελεύθερων σωματιδίων και διοξειδίου του θείου**. Οι υδατάνθρακες, όταν οξειδωθούν από την ηλιακή ακτινοβολία, ελευθερώνουν ρίζες, οι οποίες επηρεάζουν τη φωτοοξειδωση των πλαστικών. Τα ελεύθερα σωματίδια που αποτίθεται στα πλαστικά. Αλλοτε επιταχύνουν και άλλοτε επιβραδύνουν την αποσύνθεση των πλαστικών. Το διοξείδιο του θείου που παράγεται από τα μέσα θέρμανσης, ενώνεται με υπεροξείδια και δημιουργεί ενώσεις υδρόθειου που είναι έγχρωμες και αλλάζουν το χρώμα των πλαστικών.

Η βακτηριακή αποσύνθεση γίνεται σε πλαστικά που περιέχουν πρόσθετες ουσίες, όπως πλαστικοποιητές, σταθεροποιητές κ.α., τις οποίες προσβάλλουν τα βακτήρια. Η προσβολή αρχίζει από το πλαστικό που είναι παραχωμένο στο έδαφος. Πολυμερή που περιέχουν μικρά ποσοστά σταθεροποιητών όπως το πολυμεθυλένιο, είναι πιο ανθεκτικά, ενώ άλλα όπως το PVC με πολλές πρόσθετες ουσίες προσβάλλονται περισσότερο.

Ο τρόπος που επενεργούν όλοι μαζί οι παράγοντες σε ένα από τα πιο διαδεδομένα πλαστικά, το πολυαιθυλένιο, είναι ο ακόλουθος: η υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία, όταν απορροφηθεί από τα πλαστικά φύλλα και μαζί με την βοήθεια των άλλων παραγόντων, ενεργοποιεί άτομα ή μόρια που συνδέονται με δεσμούς, συμβάλλει στην ελευθέρωση ριζών στο μόριο και στη δημιουργία ενεργού κέντρου. Οι ρίζες αντιδρούν, είτε μεταξύ τους, είτε με αλυσίδες του πλαστικού πολυαιθυλενίου. Από την ένωση οξυγόνου με άτομα που έχουν ενεργοποιηθεί σχηματίζονται ρίζες *peroxyl*. Έτσι αρχίζει η διάσπαση του πολυαιθυλενίου. Για την αύξηση διάρκειας ζωής των πλαστικών προστίθενται αντιοξειδωτικές και σταθεροποιητικές ουσίες, που ενεργούν ως φίλτρα της υπεριώδους ακτινοβολίας, την απορροφούν και την μετατρέπουν σε θερμότητα. Σε πλαστικά που δεν μας ενδιαφέρει η διαφάνεια όπως* μαύρο πολυαιθυλένιο και μόνο ο άνθρακας (carbon black) που προστίθεται είναι ικανοποιητικός απορροφητής υπεριώδους ακτινοβολίας. Ορισμένα πλαστικά, όπως το PVC, είναι πιο ανθεκτικά στην φωτουπόβαθμιση (photo degradation) από το πολυαιθυλένιο. Από την ηλιακή ακτινοβολία αυτή, που έχει μήκος κύματος 0.300-0.350 μικρά, έχει αποδειχτεί ότι δρα πιο ενεργά στην διάσπαση των πλαστικών.

Με την αύξηση της θερμοκρασίας έχει βρεθεί ότι μειώνεται η αντοχή των πλαστικών στην έλξη, πράγμα που δε συμβαίνει στο γυαλί. Από τα πλαστικά που χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια μεγαλύτερη αντοχή στην έλξη ανά μονάδα πάχους, δείχνει το πολυαιθυλένιο. Γενικά τα πλαστικά δείχνουν μεγαλύτερη αντοχή στην έλξη από το γυαλί

Από πειράματα του Massey στις Η.Π.Α. βρέθηκε ότι σχετίζεται στενά το πάχος του πλαστικού με τη διάρκεια ζωής, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.4.

Πίνακας 1.4

Μέση διάρκεια ζωής πλαστικών που εκτέθηκαν σε έξι διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές τον Η.Π.Α. για τρία χρόνια

Είδος πλαστικού)	Πάχος πλαστικού σε μικρά	Διάρκεια ζωής σε μήνες
Πολυαιθυλένιο ενισχυμένο	50	110
Πολυαιθυλένιο ενισχυμένο	100	145
Πολυαιθυλένιο ενισχυμένο	150	195
PVC	100	185
PVC	150	260

Οι οπτικές ιδιότητες των πλαστικών μελετούνται με την έκθεση δειγμάτων σε φυσικές και τεχνητές συνθήκες. Στην πρώτη περίπτωση απαιτείται πολύ περισσότερος χρόνος και τα αποτελέσματα εξαρτιούνται σε ένα μεγάλο μέρος από τη γεωγραφική θέση της περιοχής και το μικροκλίμα. Πιο γρήγορη μέθοδος αξιολόγησης των διάφορων ειδών πλαστικών είναι και αυτή που γίνεται με τεχνητές συνθήκες με την μέθοδο ξενοτέστ. Γι' αυτό τα διάφορα δείγματα των πλαστικών εκτίθενται σε υπεριώδη ακτινοβολία που προέρχεται από λαμπτήρες. Η μέθοδος αυτή επαναλαμβανόμενη θα δώσει τα ίδια αποτελέσματα και μάλιστα σε οποιαδήποτε τοποθεσία, σε αντίθεση με την προηγούμενη που τα αποτελέσματα διαφέρουν από τοποθεσία σε τοποθεσία και από χρονιά σε χρονιά. Η μέθοδος της τεχνητής παλαιώσης όμως, μόνο σαν συμπληρωματική της φυσικής παλαιώσης πρέπει να χρησιμοποιείται.

Με την παλαιώση το πολυαιθυλένιο αποκτά ελαφρώς θαμπό χρώμα, ενώ το χλωριούχο πολυβινύλιο, αλλάζει πολύ το χρώμα του και στα σημεία επαφής με το ξύλο ή το χάλυβα παίρνει χρώμα καφετί και αρχίζει να σχίζεται. Για την προστασία στα σημεία αυτά του πλαστικού ο Kevergen συνιστά το βάψιμο εξωτερικά του φύλλου του πλαστικού με λευκό πλαστικό χρώμα.

Σχετικά με τις φυσικές ιδιότητες των εύκαμπτων πλαστικών πλακών που χρησιμοποιούνται στην κάλυψη των θερμοκηπίων, είναι γνωστό ότι με το χρόνο αλλάζει το χρώμα τους, σπάζουν οι ίνες και σχηματίζονται πολυπληθή πολύγωνα. Στις πολλές αυτές μικρές ρωγμές αναπτύσσονται διάφοροι μύκητες, ο πιο συνηθισμένος από τους οποίους είναι ο **Aureobasidium Pullalans**, ο οποίος συναντιέται πάνω στους κορμούς των δέντρων και σε βαμμένες επιφάνειες. Η υποβάθμιση των στερεών πλαστικών πλακών συντελείται από τους ίδιους παράγοντες που προκαλούν την αποσύνθεση των φύλλων των πλαστικών. Για την διατήρηση και τη βελτίωση των οπτικών και των φυσικών ιδιοτήτων στερεών πλαστικών πλακών ακολουθείται η εξής μέθοδος: αφού οι πλάκες καθαριστούν, επαλείφονται με διάφορες ουσίες, από τις οποίες προς το παρόν φαίνεται ότι υπερέχει μια ουσία που λέγεται **tedlar**, προϊόν της εταιρείας Bu Pont Corporation. Σε έρευνες που έγιναν στο πανεπιστήμιο του Colorado, βρέθηκε ότι με την επικάλυψη πλαστικών πλακών χαμηλής ποιότητας χωρίς ακρυλικές ουσίες με **tedlar**, δεν προλαμβάνεται το κιτρίνισμα, που αποδίδεται σε θερμική υποβάθμιση.

Πίνακας 1.5. Σκληρά υλικά κάλυψης

Υλικό	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Γυαλί	<ul style="list-style-type: none"> > Υψηλή διαφάνεια > Αδιαπερατοτητα στη θερμική ακτινοβολία > Μεγάλη διάρκεια ζωής 	<ul style="list-style-type: none"> > Εύθραυστο > Μικρή αντοχή σε πρόσκρουση (χαλάζι) > Απώλειες θερμότητας με διαφύγι
Πλάκες πολυεστέρα ενισχυμένες με ίνες γυαλιού	<ul style="list-style-type: none"> > Ισχυρή διάχυση του ηλιακού φωτός > Αδιαπερατοτητα στη θερμική ακτινοβολία > Υψηλές μηχανικές αντοχές > Μεγάλη διάρκεια ζωής > Μικρό βάρος 	<ul style="list-style-type: none"> > Χαμηλή διαφάνεια λόγω σκόνης και σταγόνων > Ανάγκη καθαρισμού και συντήρησης > Υψηλό κόστος
Πλάκες στερεού PVC	<ul style="list-style-type: none"> > Υψηλή διαφάνεια > Μεγάλη διάρκεια ζωής > Αδιαπερατοτητα στη θερμική ακτινοβολία > Σχετική ευλυγισία > Υψηλές μηχανικές αντοχές 	<ul style="list-style-type: none"> > Μείωση της διαφάνειας λόγω σκόνης > Υψηλό κόστος > Μικρή αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες
Ακρυλικές πλάκες (PMMA)	<ul style="list-style-type: none"> > Υψηλές μηχανικές αντοχές > Μεγάλη διάρκεια ζωής > Ευλυγισία > Υψηλή διαφάνεια > Αδιαπερατοτητα στη θερμική ακτινοβολία 	<ul style="list-style-type: none"> > Υψηλό κόστος αγοράς και συντήρησης > Σταδιακή μείωση της διαφάνειας, λόγω επικάλυψης σκόνης και σταγόνων
Πλάκες πολυκαρμπονάτ (PC)	<ul style="list-style-type: none"> > Πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής , εώς 10 χρόνια > Μηχανικές αντοχές > Διαφάνεια > Αδιαπερατοτητα στη θερμική ακτινοβολία 	<ul style="list-style-type: none"> > Μείωση της διαφάνειας κατά τη χρήση, λόγω σκόνης και υγρασίας > Υψηλό κόστος

Πίνακας 1.6 Μαλακα υλικά κάλυψης

Υλικό	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE.LLDPE)	<ul style="list-style-type: none"> > Διαφάνεια. > Μηχανικές αντοχές > Διάρκεια ζωής (σταθεροποιημένο) > Δυνατότητα παραγωγής σε μεγάλη πλάτη > Χαμηλό κόστος > Διατηρεί τις ιδιότητες του σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες 	<ul style="list-style-type: none"> > Διαπερατό στη θερμική ακτινοβολία > Δημιουργία σταγόνων στην επιφάνεια του.
EVA (14-19% VA)	<ul style="list-style-type: none"> > Αδιαπερατότητα στη θερμική ακτινοβολία. > Μεγαλύτερη αντοχή στην παλαίωση από LDPE. > Υψηλότερη διαφάνεια από το LDPE 	<ul style="list-style-type: none"> > Μεγάλη ελαστικότητα. > Προσελκύει σκόνη στην επιφάνεια του > Ακριβότερο > Μαλακώνει σε υψηλές θερμοκρασίες > Διαμορφώνεται δυσκολότερα σε φύλλο
PVC	<ul style="list-style-type: none"> > Διαφάνεια. > Αδιαπερατότητα στη θερμική ακτινοβολία. > Διάρκεια ζωής (σταθεροποιημένο). 	<ul style="list-style-type: none"> > Μείωση διαφάνειας με προσέλκυση σκόνης > Μεγάλο ειδικό βάρος > Ακαμψία σε χαμηλές θερμοκρασίες > Μαλακώνει σε υψηλές θερμοκρασίες > Μικρότερη αντοχή στο σχίσσιμο > Δυσκολία διαμόρφωσης σε μεγάλα
Πολυεστέρας	<ul style="list-style-type: none"> > Καλές οπτικές ιδιότητες. > Ικανοποιητική αδιαπερατότητα στη θερμική ακτινοβολία > Διάρκεια ζωής. 	<ul style="list-style-type: none"> · Υψηλό κόστος
Πολυπροπυλένιο	<ul style="list-style-type: none"> > Καλές οπτικές και θερμικές 	<ul style="list-style-type: none"> · Μικρότερη αντοχή στην παλαίωση > Μεγαλύτερη ακαμψία, ειδικά στις χαμηλές θερμοκρασίες.
Πολυαμίδιο	<ul style="list-style-type: none"> > Πολύ υψηλές μηχανικές αντοχές. > Καλές οπτικές και θερμικές ιδιότητες. 	<ul style="list-style-type: none"> > Κόστος. > Δυσκολία παραγωγής. · Μικρή εμπειρία στη σταθεροποίηση. > Απορροφά υγρασία και χάνει τις μηχανικές και οπτικές του ιδιότητες.

1.6. ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ - ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ

Κατά την επιλογή της θέσης του θερμοκηπίου και του είδους της κατασκευής, θα πρέπει πάντα να δίνεται προτεραιότητα στις κατασκευές και θέσεις που επιτρέπουν να αποκτάται η μέγιστη φωτεινότητα μέσα στο θερμοκήπιο, κατά τις μικρές ημέρες του χειμώνα, που ο ήλιος βρίσκεται στο χαμηλότερο ύψος του ουρανού.

Το χειμώνα, το μεσημέρι ο ήλιος φαίνεται προς τα νότια. Αυτό σημαίνει ότι τα θερμοκήπια θα πρέπει να έχουν ανοικτή έκθεση προς τα νότια για να δέχονται το μεγαλύτερο ποσοστό ακτινοβολίας στο εσωτερικό τους. Αν το έδαφος έχει κλίση, το ιδανικό είναι η κλίση αυτή να είναι προς τα νότια.

Γενικά, οι παραθαλάσσιες περιοχές με ήπιο κλίμα που δημιουργεί η μεγάλη θερμοχωρητικότητα της θάλασσας, είναι προτιμότερες από τις ηπειρωτικές. Χαμηλά μέρη που δημιουργούν θύλακες ψυχρού αέρα ή θέσεις συσσώρευσης χιονιού θα πρέπει να αποφεύγονται, γιατί οι απώλειες θερμότητας θα είναι πολύ μεγάλες. Επίσης, αποφεύγονται περιοχές με συχνές ομίχλες που διαρκούν. Η τοποθέτηση του θερμοκηπίου σε μια υπήνεμη περιοχή περιορίζει σημαντικά τις απώλειες θερμότητας. Προτιμούνται περιοχές που προστατεύονται από τους βόρειους ανέμους με λόφους ή φυσικούς ανεμοθραύστες.

Σε περιοχές με χιονοπτώσεις, ο ανεμοθραύστης θα πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση 30m από το θερμοκήπιο, για να μην τινάζεται και συσσωρεύεται το χιόνι στην οροφή. Σε χιονόπληκτες επίσης περιοχές αφήνεται απόσταση 2-3m μεταξύ των θερμοκηπίων για να διευκολύνεται η μετακίνηση του χιονιού.

Πάντως, περιοχές με συχνούς ανέμους κατά την διάρκεια του καλοκαιριού ευνοούν τον αποτελεσματικό εξαερισμό του θερμοκηπίου και τη συγκράτηση της θερμοκρασίας του χώρου, ώστε να μην φθάσει σε υψηλά επίπεδα.

Υψηλά κτίρια, δέντρα ή άλλα εμπόδια κοντά στο θερμοκήπιο μπορεί να σκιάζουν το θερμοκήπιο καινά δημιουργούν σοβαρό πρόβλημα φωτισμού.

Ως γενικό κανόνα μπορούμε να πούμε ότι το θερμοκήπιο θα πρέπει να τοποθετείται σε απόσταση τουλάχιστον 2.5 φορές το ύψος του εμποδίου, ανεξάρτητα αν το εμπόδιο βρίσκεται ανατολικά, δυτικά ή νότια.

Σ¹ ότι αφορά τον προσανατολισμό του θερμοκηπίου, επισημάνεται ότι αυτός επιδρά στο εσωτερικό περιβάλλον, με την ποσότητα και κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας που επιτρέπει να φθάσει μέχρι την καλλιέργεια, αλλά και με το μέγεθος των επιφανειών που είναι εκτεθειμένες στον κυριότερο άνεμο της περιοχής, γιατί αλλάζουν οι θερμικές ισορροπίες.

Γενικά, στις περιπτώσεις περιοχών που επικρατούν ισχυροί άνεμοι, το θερμοκήπιο τοποθετείται με την μεγάλη του πλευρά παράλληλα προς την κατεύθυνση του επικρατούμενου ανέμου. Στις άλλες περιπτώσεις όμως η εκλογή γίνεται από την εξέταση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων διαφορετικών λύσεων.

Θερμοκήπια με προσανατολισμό Α-Δ δέχονται στο εσωτερικό τους μικρότερη ενέργεια νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα, αλλά δέχονται σημαντικά παραπάνω ενέργεια το μεσημέρι. Επίσης ευνοούν την ετερογενία του περιβάλλοντος (η ετερογενία μπορεί να βελτιωθεί με τον αριθμό και την θέρμανση). Ο προσανατολισμός Β-Ν επιτρέπει μικρότερη ετερογενία και βελτίωση την αντοχή του θερμοκηπίου στους βόρειους ή νότιους ανέμους.

Γενικά στην πράξη, για απλά θερμοκήπια, σε γεωγραφικά πλάτη πάνω από 40°, για χειμωνιάτικες καλλιέργειες προτιμάται ο προσανατολισμός Α-Δ. Στις άλλες περιπτώσεις προτιμάται ο προσανατολισμός Β-Ν. Τα πολλαπλά θερμοκήπια τοποθετούνται με προσανατολισμό υδροροής Α-Δ. Οι γραμμές φύτευσης συνήθως, σε όλες τις περιπτώσεις, τοποθετούνται με προσανατολισμό Β-Ν.

Άλλοι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή της θέσης του θερμοκηπίου είναι το έδαφος, η ποσότητα και η ποιότητα του διαθέσιμου νερού, η ύπαρξη εργατικού δυναμικού, η υποδομή της περιοχής κ.α.

Η επιφάνεια του εδάφους θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο επίπεδη, για να αποφευχθούν δαπάνες ισοπέδωσης, ιδιαίτερα όπου επιδιώκεται πλήρης εκμηχάνιση των εργασιών. Επίσης θα πρέπει να προβλεφτεί η κατασκευή ενός σωστού δικτύου στράγγισης, ώστε να μπορεί να απομακρύνεται το πλεονάζον νερό ή να γίνονται εκπλύσεις του εδάφους αν χρειαστεί. Καλύτερο έδαφος θεωρείται τα βαθύ στραγγερό, το πήλοαμμώδες ή το αμμοπηλώδες.

Πρωταρχικής σημασίας παράγοντας είναι η ποιότητα και η ποσότητα του διαθέσιμου νερού στην περιοχή, γιατί χωρίς την απαιτούμενη ποσότητα καλής ποιότητας νερού δεν είναι δυνατό να λειτουργήσει αποδοτικά το θερμοκήπιο (το κόστος απομάκρυνσης ιόντων Na και Cl είναι απαγορευτικά υψηλό). Υπολογίζεται ότι γενικά χρειάζονται 15-40m³ νερό ανά στρέμμα για κάθε πότισμα.

Κατά την εγκατάσταση της μονάδας θα πρέπει να ληφθούν, υπόψη οι παρούσες και οι μελλοντικές ανάγκες της σε εργατικό δυναμικό, καθώς και η δυνατότητα των γειτονικών περιοχών να το προμηθεύσουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΨΥΞΗΣ

2.1 ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Η χαμηλή παραγωγικότητα των θερμοκηπιακών καλλιεργειών στην Ελλάδα οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στον ανεπαρκή εξοπλισμό και τις υποτυπώδεις εγκαταστάσεις πολλών μονάδων, γεγονός που εμποδίζει την εφαρμογή σύγχρονων τεχνολογικών μεθόδων.

Από το σύνολο των θερμοκηπίων μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό διαθέτει των απαραίτητο εξοπλισμό για τον έλεγχο του περιβάλλοντος, ο οποίος δίνει την δυνατότητα διαμόρφωσης των κατάλληλων συνθηκών για κάθε καλλιέργεια.

Αντίθετα ,τα περισσότερα θερμοκήπια, είναι απλές κατασκευές συνήθως ξύλινες και φτιαγμένες από ερασιτέχνες, ή από τους ίδιους τους παραγωγούς. Με τον τρόπο όμως αυτό δεν είναι δυνατό να ελεγχθούν οι συνθήκες τους περιβάλλοντος μέσα στο θερμοκήπιο.

Ο προσανατολισμός σε τεχνολογικά εκσυγχρονισμένες εγκαταστάσεις θα επιτρέψει στους καλλιεργητές όχι μόνο την αύξηση της παραγωγής των προϊόντων ποιότητας, αλλά και μείωση των λειτουργικών εξόδων ,και κυρίως των εργατικών.

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου θερμοκηπίου, με τον απαραίτητο εξοπλισμό για την συγκεκριμένη καλλιέργεια, δεν είναι απλή υπόθεση, διότι εξαρτάται από πολλούς παράγοντες.

Ο κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής , το μέγεθος της εκμετάλλευσης, η εποχή διάθεσης του προϊόντος, η κατάσταση της αγοράς , η τεχνική καλλιέργεια που πρόκειται να εφαρμοστεί, η κατάρτιση και γενικότερα οι ικανότητες του καλλιεργητή θα πρέπει α συνεκτιμώνται κατά περίπτωση. Καθώς όμως ο παραγωγός δεν έχει καμία ουσιαστική βοήθεια από τις αρμόδιες υπηρεσίες, συνήθως επιλέγει με μοναδικό κριτήριο το κόστος και τον τρόπο εξόφλησης.

Φυσικά αν κανείς ενδιαφέρεται μόνο για μια ικανοποιητική παραγωγή εκτός εποχής, χωρίς ακριβό κεφάλαιο, τότε ο ποιο οικονομικός τρόπος είναι να σκεπάσει απλώς την καλλιέργεια με μια πρόχειρη κατασκευή, γεγονός που εγκυμονεί πολλούς κινδύνους. Ένας καλλιεργητής, που τον απασχολεί το προϊόν που θα παράγει να είναι ανταγωνιστικό στην αγορά, και να έχει την δυνατότητα να το εξάγει σε ξένες αγορές, τότε θα πρέπει να έχει πλήρη έλεγχο τόσο των συνθηκών περιβάλλοντος όσο και του κόστους παραγωγής. Επομένως ,προς όφελος όλων αυτών ο ιδιοκτήτης του θερμοκηπίου πρέπει να στήσει μια σύγχρονη μονάδα και να εξετάσει προσεκτικά κάθε λεπτομέρεια, ώστε να καταλήξει στην πιο αποδοτική.

2.1.1 Φωτισμός

Ο φωτισμός ενός θερμοκηπίου διακρίνεται στον φυσικό φωτισμό και στον τεχνικό φωτισμό.

A. Φυσικός φωτισμός

Η φωτεινότητα ενός θερμοκηπίου εξαρτάται από τους μετεωρολογικούς παράγοντες, αλλά και από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής. Παράγοντες που ευνοούν τον φωτισμό είναι:

- Ο απλός σκελετός. Όσο πιο απλός είναι ο σκελετός, τόσο περισσότερο φως περνάει στον μέσα χώρο του θερμοκηπίου. Σκελετοί με χοντρές διατομές ή με πολλά στοιχεία μειώνουν το φωτισμό. Σ' ένα καλό υαλόφρακτο θερμοκήπιο τα κύρια σκελετικά στοιχεία μειώνουν κατά 4-12% το φωτισμό, ενώ τα δευτερεύοντα στοιχεία κατά 2-5%.
- Το υλικό κάλυψης. Το καθαρό τζάμι μειώνει κατά 10% το φωτισμό, ενώ το ακάθαρμο κατά 70%. Η μείωση του φωτισμού στα πλαστικά φύλλα και στα σκληρά πλαστικά είναι κάπως μεγαλύτερη από του τζαμιού και επιπλέον μεγαλώνει με την πάροδο του χρόνου.
- Οι διάφορες εναέριες εγκαταστάσεις μειώνουν σημαντικά το φωτισμό στο χώρο του θερμοκηπίου. Για αυτό όπου είναι δυνατό θα πρέπει να αποφεύγονται.
- Το απλό θερμοκήπιο είναι πιο φωτεινό από το πολλαπλό, γιατί δέχεται περισσότερο διάχυτο φωτισμό από τα πλευρικά του τοιχώματα. Στις περιπτώσεις που η αύξηση του φωτισμού ενδιαφέρει ιδιαίτερα, κατασκευάζονται απλά θερμοκήπια. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι αυτά τα θερμοκήπια παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας και μικρότερη του εδάφους.
- Η πυκνότητα των φυτών, η οποία θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε το φως που φτάνει στα φυτά να καλύψει τις απαιτήσεις τους για λειτουργία της φωτοσύνθεσης. Σημειώνεται ότι για μια συγκεκριμένη πυκνότητα φυτών, σημαντικό ρόλο παίζει και η διεύθετηση των φυτών μεταξύ τους, όπως πλατύτεροι διάδρομοι με πυκνότερη φύτευση στις γραμμές, γεγονός που βοηθάει στην βελτίωση του φωτισμού.

Γενικά μια αύξηση του φυσικού φωτισμού τον χειμώνα έστω και 1% ,αυξάνει το ύψος της παραγωγής κατά 2% περίπου, την περίοδο αυτή, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο ανάπτυξη της καλλιέργειας. Έτσι και η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση είναι μειωμένη.

B. Τεχνητός φωτισμός

Τα διάφορα είδη φυτών και κυρίως τα ανθοκομικά (τα περισσότερα λαχανικά καθώς και το τριαντάφυλλο και άλλα φυτά, είναι ουδέτερα, δηλαδή δεν αντιδρούν στη σχετική διάρκεια της ημέρας και νύχτας, αλλά επηρεάζονται περισσότερο από άλλους παράγοντες όπως το άθροισμα της φωτεινής ενέργειας που δέχτηκαν, η θερμοκρασία ,η ηλικία κ.τ.λ.) έχουν διαφορετικές απαιτήσεις φωτισμού και αντιδρούν θετικά όταν η διάρκεια της νύχτας είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη.

Σε ορισμένα καλλωπιστικά, καθώς και σε σπορεία λαχανικών, όταν δεν επαρκεί ο φυσικός φωτισμός, όπως π.χ. το χειμώνα που η διάρκεια της ημέρας είναι μικρότερη, χρησιμοποιείται συχνά συμπληρωματικός εξοπλισμός με λαμπτήρες. Ο τεχνητός φωτισμός κοστίζει πολύ (όχι μόνο η εγκατάσταση, αλλά και η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται), για αυτό χρησιμοποιείται μόνο σε περιπτώσεις που οικονομικά αποδίδει π.χ. σε ανθοκομικές καλλιέργειες που απολαμβάνουν υψηλές τιμές το χειμώνα.

Οι λαμπτήρες ανάβουν μετά την δύση του ηλίου , αποδίδοντας έτσι καλύτερα αργά την νύχτα. Διακρίνουμε δύο τύπους λαμπτήρων :

1. λαμπτήρες πυρακτώσεως. Χρησιμοποιούνται μόνο για την αύξηση της διάρκειας της ημέρας σε καλλιέργειες μεγάλης φωτοπεριόδου, γιατί αποδίδουν μεγάλη ποσότητα ενέργειας στην περιοχή του κόκκινου και υπέρυθρου φάσματος που ενεργοποιεί το φυτόχρωμα. Δεν χρησιμοποιούνται για την αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών γιατί είναι ενεργοβόροι και μόνο το 7-12% της καταναλισκόμενης ενέργειας αποδίδεται σε ορατό φως.
2. λαμπτήρες φθορισμού. Τους οποίους χωρίζουμε στις εξής υπο-κατηγορίες :
 - I. Κοινούς λαμπτήρες φθορισμού με αποδοτικότητα 20% περίπου στο ορατό και μικρή ακτινοβολία στο υπέρυθρο. Χρησιμοποιούνται κυρίως για αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας σε νεαρά φυτά. Έχουν το μειονέκτημα να είναι μικρής ισχύος , με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγάλος αριθμός λαμπτήρων.
 - II. Gto luc, ευρύτερου φάσματος από τους προηγούμενους. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε κλειστούς θαλάμους ανάπτυξης φυτών, για φωτοσύνθεση και επιμήκυνση της φωτοπεριόδου.

- III. Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης (HID) με εσωτερικό ανακλαστήρα. Πολύ μεγαλύτερης ισχύος από τους προηγούμενους, χρησιμοποιούνται ευρέως για αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας στα θερμοκήπια, με απόδοση σε φως περίπου 15%.
- IV. Λαμπτήρες υδραργύρου υψηλής πίεσης με πρόσθετα μέταλλο - αλογόνου με απόδοση στο φως 23% περίπου.
- V. Λαμπτήρες υψηλής πίεσης νατρίου (HPS). Μεγάλης ισχύος χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια ευρέως, για αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας. Το φάσμα τους , εκτείνεται από 0.4-0.85μ , έχει ένα μέγιστο στο κίτρινο με απόδοση στο φως 25-32%.

Λαμπτήρες χαμηλής πίεσης νατρίου (LPS), σε διάφορα μεγέθη (μέχρι 180watt). Οι πιο αποδοτικοί λαμπτήρες (το 27-36% της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε ορατή ακτινοβολία) μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στα φυτά, χωρίς τον κίνδυνο υπερθέρμανσης.

Για μείωση του κόστους εγκατάστασης, ο συμπληρωματικός φωτισμός μπορεί να είναι κυκλικός με μετακινούμενες σειρές λαμπτήρων (4,6,8 ή 10), οι οποίες κρέμονται από τους σωλήνες θέρμανσης και κινούνται συνήθως με ταχύτητα 1m/min. Έτσι το κόστος μειώνεται κατά 40% σε σύγκριση με την εγκατάσταση συνεχούς φωτισμού.

2.2 ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ - ΚΙΝΗΣΗ ΑΕΡΑ

Για να πετύχουμε το μέγιστο της απόδοσης των καλλιεργειών του θερμοκηπίου και υψηλή ποιότητα προϊόντων, είναι απαραίτητο να περιορίζεται η υπερβολική θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου, να μειώνεται η σχετική υγρασία του αέρα και να μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα από το περιβάλλον στο θερμοκήπιο.

Ο εξαερισμός των θερμοκηπίων γίνεται είτε συμπτωματικά είτε από πρόθεση. Ο συμπτωματικός εξαερισμός οφείλεται σε ατέλειες της κατασκευής, όπως είναι κακή συναρμολόγηση του πλαστικού πάνω στο σκελετό, τα ανοίγματα γύρω από τα παράθυρα και τις πόρτες κ.α. Ο εξαερισμός από πρόθεση διακρίνεται στον φυσικό και στον τεχνητό. Ο φυσικός εξαερισμός προκαλείται από τον άνεμο ή από την διακίνηση του αέρα, που οφείλεται σε διαφορά θερμοκρασίας μέσα και έξω από το θερμοκήπιο. Ο τεχνητός εξαερισμός βασίζεται στην κίνηση του αέρα με μηχανικά μέσα.

Ένα σύστημα εξαερισμού για να είναι κατάλληλο να εφαρμοστεί στα θερμοκήπια πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά :

- Να εξασφαλίζει ικανοποιητικές συνθήκες θερμοκρασίας σε αντίξοες κλιματολογικές συνθήκες, όπως σε πολύ ψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.
- Να μετακινεί ομοιόμορφα τον αέρα από τον χώρο ανάπτυξης των καλλιεργειών
- Να λειτουργεί αυτόματα
- Να είναι απλό και αξιόπιστο
- Να είναι φτηνό στην κατασκευή και να καταναλώνει λίγα καύσιμα

Στις διάφορες εποχές του χρόνου αντιμετωπίζονται εντελώς διαφορετικά προβλήματα εξαερισμού των θερμοκηπίων. Το χειμώνα ο αέρας που εισάγεται στα θερμοκήπια είναι ψυχρότερος από τον αέρα του θερμοκηπίου και πριν διανεμηθεί πρέπει να αναμιγνύεται με το θερμότερο του θερμοκηπίου στο χώρο πάνω από τις καλλιέργειες. Το καλοκαίρι για να προλαμβάνεται η υπερβολική ανύψωση της θερμοκρασίας του αέρα, πρέπει να εισάγονται στα θερμοκήπια μεγάλες ποσότητες αέρα, χωρίς να αυξάνεται υπερβολικά η ταχύτητα της κίνησης του. Ακόμη για να αποφεύγεται η υπερθέρμανση των φυτών στα θερμοκήπια, ο αέρας πρέπει να κινείται ανάμεσα στα φυτά και κοντά στο έδαφος. Την άνοιξη και το φθινόπωρο ο αέρας του θερμοκηπίου άλλοτε είναι θερμότερος και άλλοτε ψυχρότερος από αυτόν που χρειάζεται. Τα μέσα εξαερισμού που έχουμε για τις εποχές του χειμώνα και του καλοκαιριού καλύπτουν τις ανάγκες σε εξαερισμό και για το φθινόπωρο και για την άνοιξη.

Οι ανάγκες των θερμοκηπίων σε εξαερισμό, εξαρτώνται από το μέγεθος του θερμοκηπίου, από τη μέγιστη ανεκτή θερμοκρασία αέρα στο θερμοκήπιο και από τις κλιματολογικές συνθήκες του περιβάλλοντος. Οι σπουδαιότεροι παράγοντες από τους οποίους εξαρτώνται οι αλλαγές του αέρα και οι οποίες πρέπει να εφαρμοστούν κάθε ώρα, είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η νέφωση, η θερμοκρασία αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο, τα χαρακτηριστικά των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων, το είδος των καλλιεργειών κ.α. για να υπολογιστεί ο εξαερισμός που θα πρέπει να εφαρμοστεί σε μια δεδομένη στιγμή σ' ένα θερμοκήπιο, βρίσκεται ο όγκος του θερμοκηπίου και ορίζονται οι αλλαγές αέρα που πρέπει να δοθούν την κάθε ώρα. Από έρευνες έχει βρεθεί ότι 60 αλλαγές του αέρα του θερμοκηπίου την ώρα, προκαλούν ικανοποιητική μείωση στη θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου και ότι πάνω από 75 αλλαγές την ώρα επιβαρύνεται πολύ το κόστος εξαερισμού, χωρίς να επέρχεται μεγάλη μείωση της θερμοκρασίας. Παραπέρα έρευνες έδειξαν ότι σε θερμοκήπιο που καλύπτεται με πολυαιθυλένιο, όταν εφαρμόστηκαν 30 αλλαγές την ώρα, η θερμοκρασία αέρα ήταν 8.8 - 9.8 °C πιο πάνω από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Όταν οι αλλαγές του αέρα έφταναν τις 60, η θερμοκρασία του αέρα στο θερμοκήπιο ήταν 4.4 - 5.5 °C πιο πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, και με 120 αλλαγές την ώρα, η διαφορά περιοριζόταν στους 2.2 - 3.3 °C. Οι ανάγκες του θερμοκηπίου σε εξαερισμό, έχει βρεθεί ότι επηρεάζονται σημαντικά από την σκίαση του θερμοκηπίου. Όταν εφαρμόζονται πάνω από 60 αλλαγές την ώρα δημιουργείται μεγάλη κίνηση του αέρα με δυσμενείς για τα φυτά συνέπειες.

2.2.1 Συστήματα εξαερισμού

Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες από τις οποίες, η πρώτη περιλαμβάνει τα συστήματα του φυσικού εξαερισμού και η δεύτερη τα συστήματα τεχνητού εξαερισμού.

Ο φυσικός εξαερισμός εφαρμόζεται στα απλά θερμοκήπια και όπου δεν χρειάζεται ακριβής έλεγχος της υψηλής θερμοκρασίας. Ο εξαερισμός αυτός γίνεται από ανοίγματα που βρίσκονται στην στέγη και στις πλευρές των θερμοκηπίων. Χρειάζεται συνεχής παρακολούθηση, καθώς και εργατικά χέρια για το ανοιγο-κλείσιμο των ανοιγμάτων εξαερισμού. Όταν δεν φυσά άνεμος ο φυσικός εξαερισμός είναι ανεπαρκής, ενώ όταν φυσά δυνατός άνεμος τα θερμοκήπια υπέρ-αερίζονται και πολλές φορές τα φυτά παθαίνουν μηχανικές βλάβες. Ο φυσικός εξαερισμός δεν απαιτεί συνήθως μηχανικά μέσα ούτε και καύσιμα για την λειτουργία του.

Ο φυσικός εξαερισμός βασίζεται στην ιδιότητα του αέρα να ανυψώνεται καθώς θερμαίνεται. Έτσι το κενό που δημιουργείται, καταλαμβάνεται από ψυχρότερο αέρα. Η αρχή αυτή εφαρμόζεται όταν υπάρχουν ανοίγματα, τόσο στη στέγη, όσο και στις πλευρές του θερμοκηπίου, οπότε ο θερμότερος αέρας βγαίνει από την στέγη, ενώ ψυχρότερος μπαίνει από τα πλαϊνά ανοίγματα. Έχει ότι για να είναι αποτελεσματικός ο φυσικός εξαερισμός πρέπει τα ανοίγματα να έχουν συνολική επιφάνεια ίση με το 1/4 - 1/6 της καλυπτόμενης από το θερμοκήπιο επιφάνειας του εδάφους. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα του συστήματος του φυσικού εξαερισμού είναι η δυσκολία της αυτόματης ρύθμισης των ποσοτήτων του εισερχόμενου αέρα. Τα τελευταία χρόνια έχουν διαδοθεί στη χώρα μας διάφορα συστήματα φυσικού εξαερισμού θερμοκηπίων στα οποία το ανοιγοκλείσιμο των παραθύρων της στέγης και των πλευρικών ανοιγμάτων γίνεται με χειροκίνητους μηχανισμούς. Ένα από τα πιο συνηθισμένα συστήματα εξαερισμού φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα. Ακόμη μερικοί από τους μηχανισμούς ανοιγοκλείνουν αυτόματα, με κινητήρα ο οποίος παίρνει εντολή από θερμοστάτη.

Πιο αποτελεσματικός είναι ο τεχνητός εξαερισμός. Αυτός δίνει την δυνατότητα να ρυθμίζεται με ακρίβεια ο όγκος του εισερχόμενου αέρα. Ανάλογα με τη θέση εγκατάστασης των εξαεριστήρων και τον τρόπο τοποθέτησης τους για να βγάζουν ή να βάζουν αέρα από το θερμοκήπιο, έχουν βρει εφαρμογή στα θερμοκήπια δύο συστήματα τεχνητού εξαερισμού. Το πρώτο είναι το σύστημα υποπίεσης ο εξαεριστήρας τοποθετείται συνήθως στη μικρή πλαϊνή πλευρά και καθώς εξάγει από το θερμοκήπιο αέρα, δημιουργεί υποπίεση και αναγκάζει τον εξωτερικό αέρα να μπει από ανοίγματα, που βρίσκονται στην απέναντι πλευρά. Το σύστημα αυτό μπορεί

εύκολα να συνδυαστεί με εξάτμιση νερού και ψύξη του θερμοκηπίου. Η απόσταση μεταξύ των εξαεριστήρων και των ανοιγμάτων εισόδου του αέρα, έχει υπολογιστεί ότι δεν πρέπει να είναι πάνω από 80 m. Το δεύτερο σύστημα τεχνητού εξαερισμού είναι το σύστημα υπερπίεσης. Σύμφωνα με αυτό, ο αέρας του περιβάλλοντος εισάγεται με πίεση στο θερμοκήπιο και ο θερμότερος και υγρότερος βγαίνει από ειδικά ανοίγματα. Με το σύστημα αυτό μπορεί να συνδυαστεί ύγρανση , θέρμανση , ψύξη ή και φιλτράρισμα του αέρα που μπαίνει στο θερμοκήπιο.

2.2.2 Κίνηση αέρα

Για να εξασφαλιστούν ικανοποιητικές συνθήκες ανάπτυξης των καλλιεργειών στα θερμοκήπια, δεν αρκεί να εισάγονται μεγάλες ποσότητες αέρα, αλλά πρέπει ο αέρας να κυκλοφορεί ομαλά ανάμεσα στα φυτά. Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε στην Αμερική, όπου υπήρχε διαρκής κυκλοφορία του αέρα σε θερμαινόμενο θερμοκήπιο, βρέθηκε ότι η θερμοκρασία αέρα σε ύψος 60 cm ήταν κατά 4.4 °C υψηλότερη και η σχετική υγρασία κατά 11% χαμηλότερης σε σύγκριση με άλλο όμοιο θερμοκήπιο που θερμαινόταν με ίδιο σύστημα, αλλά που δεν διέθετε σύστημα ανακυκλοφορίας του αέρα. Στο ίδιο πείραμα διαπιστώθηκε ότι με την κίνηση του αέρα στα θερμοκήπια αυξήθηκε η παραγωγή τομάτας και μειώθηκαν οι κίνδυνοι από ασθένειες. Σε άλλα πειράματα βρέθηκε ότι με την ανακυκλοφορία του αέρα του θερμοκηπίου αυξάνεται η απόθεση υγρασίας στα υλικά κάλυψης και αυτό έχει σαν συνέπεια να μειώνεται η σχετική υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου.

Τα ανοίγματα εξαερισμού πρέπει να τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις έτσι ώστε να αποφεύγονται επικίνδυνα ρεύματα και να πετυχαίνεται ομοιόμορφη διανομή του αέρα. Η διανομή του αέρα στο θερμοκήπιο βελτιώνεται αισθητά όταν γίνεται από τρυπημένους σωλήνες πολυαιθυλενίου ή όταν χρησιμοποιούνται βαλβίδες εκτροπής του αέρα. Αύξηση της ταχύτητας του αέρα σε ορισμένα σημεία του θερμοκηπίου, συνοδεύεται από πτώση της θερμοκρασίας και δημιουργεί ρεύματα αέρα. Τέτοια ρεύματα δημιουργούνται πιο συχνά στα σημεία εισόδου και εξόδου του αέρα και αν δεν είναι δυνατό να αποφευχθούν, τουλάχιστον πρέπει να περιορίζονται σε διαδρόμους και σε σημεία που αποτίθεται υγρασία.

2.3 ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ

Στις ελληνικές συνθήκες κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, η θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο ανεβαίνει σε πολύ ψηλά επίπεδα, προκαλώντας ζημιές στα φυτά, ακόμη και αν εφαρμόζεται δυναμικός εξαερισμός. Μάλιστα, αν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ανέβει πάνω από τους 30°C, η θερμοκρασία στο εσωτερικό δεν μπορεί να πέσει κάτω από τους 33-35°C παρά μόνο με σύστημα δροσισμού.

Επειδή οι συνηθισμένοι ψυκτικοί μηχανισμοί (freon κ.λ.π) είναι αντιοικονομικοί ή ακατάλληλοι, για μείωση της θερμοκρασίας στα θερμοκήπια, καταφεύγουμε στην εξάτμιση νερού, εφαρμόζοντας:

- συχνό πότισμα
- διαβροχή των φυτών και των διαδρόμων,
- εκτόξευση νερού σε λεπτές σταγόνες (ομίχλη - υδρονέφωση), διοχέτευση του θερμού αέρα του περιβάλλοντος διαμέσου υγρών διαπερατών περασμάτων..

Η εξάτμιση ενός κιλού νερού προκαλεί μείωση της θερμοκρασίας όσο 600 μονάδες ψύχους, γιατί όταν εξατμίζεται το νερό απορροφά ενέργεια από το περιβάλλον (λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης).

Η εξάτμιση συνδυάζεται με την εφαρμογή δυναμικού εξαερισμού για απομάκρυνση της περιττής υγρασίας.

Τα καλύτερα αποτελέσματα δίνουν τα υγρά περάσματα (fan and pad system) και τα συστήματα ομίχλης (fog) ή υδρονέφωσης (mist). Επειδή όμως το κόστος των συστημάτων αυτών είναι σημαντικό, πρακτικά στην Ελλάδα χρησιμοποιείται μόνο σε ανθοκομικές καλλιέργειες και ιδιαίτερα για κομμένα λουλούδια (τριαντάφυλλα, κ. α), το σύστημα της υδρονέφωσης.

2.3.1 Σύστημα ομίχλης ή υδρονέφωσης

Στο χώρο του θερμοκηπίου πάνω από τα φυτά, από ειδικούς εκτοξευτές (μπεκ) εκτοξεύονται πολύ λεπτές σταγόνες νερού, οι οποίες εξατμίζονται, απορροφώντας θερμότητα και μειώνοντας τη θερμοκρασία. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται σύστημα αντλιών και σωλήνων με ακροφύσια, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στο ύψος των παραθύρων. Η εκτόξευση του νερού γίνεται με υψηλή πίεση (>35 atm) ή χαμηλή (< 7atm) και η παροχή των εκτοξευτήρων είναι 2-100 lt την ώρα. Το νερό δεν πρέπει να έχει άλατα, γιατί προκαλεί τοξικότητες στα φυτά, φράξιμο στα μπεκ και καταστροφή των σωλήνων. Ο έλεγχος του συστήματος γίνεται από θερμοστάτες και υγροστάτες.

Η υψηλή πίεση δημιουργεί πολύ λεπτές σταγόνες (διαμέτρου <30μ), οι οποίες εξατμίζονται αμέσως, μειώνοντας τη θερμοκρασία κατά 5-14°C (σύστημα ομίχλης), δίνονται καλύτερα αποτελέσματα από τη χαμηλή πίεση.

Πράγματι οι μεγαλύτερες σταγόνες που δημιουργεί η χαμηλή πίεση (σύστημα υδρονέφωσης) μειώνουν τη θερμοκρασία μόνο κατά 2,5°C, παραμένουν για ένα διάστημα πάνω στα φυτά και προκαλούν απόπλυση των φυτοφαρμάκων και των θρεπτικών στοιχείων, ευνοούν τη διάδοση ασθενειών και μπορεί να προκαλέσουν κάμψη των στελεχών των φυτών.

Στη χώρα μας συνήθως χρησιμοποιείται ένα απλό σύστημα ψεκασμού (sprayer) με μπεκ τοποθετημένα στη οροφή του θερμοκηπίου. Το λειτουργεί και σαν σύστημα άρδευσης, χρησιμοποιείται γλαστρικών φυτών αλλά και κομμένων λουλουδιών.

Η εγκατάσταση, μικρού κόστους, αποτελείται από δίκτυο σωλήνων (Φ32) σύστημα αυτό το οποίο κυρίως σε καλλιέργειες γαλβάνιζε ή από PVC, που διακλαδίζεται σ' ένα συγκεκριμένο ύψος πάνω από τα φυτά. Σε κάθε τολ υπάρχουν 4 παράλληλοι σωλήνες, πάνω στους οποίους ανά 1 m τοποθετούνται τα μπεκ τύπου πεταλούδας, με παροχή 1,6 lit/min που λειτουργούν με πίεση 3 atm. Ένα κομπιούτερ με εβδομαδιαίο πρόγραμμα, καθορίζει τη συχνότητα και διάρκεια ψεκασμού, καθώς και την ποσότητα του νερού. Παράλληλα γίνεται βρέξιμο των διαδρόμων και ασβέστωμα της οροφής για σκίαση, δίνοντας αρκετά ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Η ίδια εγκατάσταση με διαφορετικά μπεκ μικρότερης παροχής και αντλία πρεσαριστή (12 atm) λειτουργεί και σαν "ψευδοϋδρονέφωση" με καλύτερα αποτελέσματα, μειώνοντας τη θερμοκρασία κατά 2-3 °C περισσότερο.

Το σύστημα ομίχλης (fog system) είναι το πιο αποτελεσματικό σύστημα της κατηγορίας αυτής για μείωση της θερμοκρασίας. Αποτελείται από ένα δίκτυο σωλήνων PVC σε ύψος 2-2.20 m από το έδαφος, με ειδικά μπρούτζινα μπέκ παροχής 5lt /ώρα τοποθετημένα ανά 2m. Διαθέτει αντλία ειδικής κατασκευής και μεγάλης πίεσης (38 atm), με τη βοήθεια της οποίας σχηματίζει ένα νέφος από λεπτότατες σταγόνες, σαν ομίχλη, δημιουργώντας ένα περιβάλλον με υψηλή σχετική υγρασία(100%), ενώ η θερμοκρασία μειώνεται 6-8°C. Το νερό δεν πρέπει να περιέχει άλατα και γενικά να είναι καθαρό, γι' αυτό η εγκατάσταση πρέπει να είναι εφοδιασμένη με φίλτρα καθαρισμού και με σύστημα χλωρίωσης του νερού.

Το σύστημα ομίχλης χρησιμοποιείται κυρίως σε καλλιέργειες ανθοκομικών για κομμένο λουλούδι, καλοκαιρινής παραγωγής, ενώ είναι ιδανικό για τα ριζωτήρια, γιατί εκτός από μείωση της θερμοκρασίας εξασφαλίζει και τις ιδανικότερες συνθήκες υγρασίας. Τέλος, αν μαζί με τους εκτοξευτήρες χρησιμοποιηθούν και ανεμιστήρες, επιτυγχάνεται ένα αποτελεσματικό σύστημα δροσισμού πολύ οικονομικότερο από τα υγρά πετάσματα.

2.3.2 Σύστημα υγρών πετασμάτων.

Η εφαρμογή του συστήματος των υγρών πετασμάτων ή "εξατμιστική ψύξη" (evaporative cooling), συνιστάται σε περιοχές και περιόδους με υψηλή θερμοκρασία και χαμηλή υγρασία. Απαιτεί αρκετό διαθέσιμο νερό και ηλεκτρική ενέργεια, αρκετά ξηρό εξωτερικό περιβάλλον και φυσικά η καλλιέργεια να είναι τέτοια που να δικαιολογεί την σχετική δαπάνη. Όσο πιο χαμηλῆ είναι η σχετική υγρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος και όσο πιο υψηλή του εσωτερικού χώρου, τόσο πιο αποτελεσματικό είναι το σύστημα.

Το σύστημα μπορεί να λειτουργεί με υποπίεση ή αρνητική πίεση (χρησιμοποιείται περισσότερο) και με υπερπίεση ή θετική πίεση.

Στην πρώτη περίπτωση τοποθετείται στο ένα άκρο του θερμοκηπίου η εξατμιστική επιφάνεια (πέτασμα) και οι εξαεριστήρες στο άλλο άκρο. Καθώς αυτοί μπαίνουν σε λειτουργία, αέρας του θερμοκηπίου οδηγείται στο εξωτερικό περιβάλλον, δημιουργείται υποπίεση και φρέσκος αέρας εξαναγκάζεται να μπει από την απέναντι πλευρά, περνώντας μέσα από το υγρό διαπερατό πέτασμα. Έτσι η θερμοκρασία του αέρα μειώνεται, γιατί ένα μέρος της θερμότητας του χρησιμεύει για την εξατμισμό του νερού του πετάσματος.

Για να είναι αποτελεσματικό το σύστημα, πρέπει το θερμοκήπιο να έχει καλή στεγανότητα γιατί από ανοίγματα και χαραμάδες εισβάλλουν κάποιες ανεξέλεγκτες ποσότητες θερμού αέρα, οι οποίες είναι δυνατόν να περιέχουν και ποσότητες σκόνης, που σε ορισμένες περιοχές μπορεί να είναι σημαντικές.

Αντίθετα, το σύστημα με υπερπίεση δημιουργεί σχεδόν ομοιόμορφη θερμοκρασία και δεν επιτρέπει την είσοδο σκόνης (ακόμη και αν το θερμοκήπιο δεν είναι πολύ στεγανό), γιατί το υγρό πέτασμα είναι τοποθετημένο μπροστά στον ανεμιστήρα που οδηγεί τον αέρα του περιβάλλοντος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, εξαναγκάζοντας τον να περάσει μέσα από το πέτασμα που λειτουργεί σαν φίλτρο. Έτσι ο αέρας καθαρίζεται, αποκτά μειωμένη θερμοκρασία και διατρέχοντας στη συνέχεια το θερμοκήπιο, βγαίνει από τα παράθυρα της απέναντι πλευράς.

Ο κρύος αέρας είναι δυνατόν επίσης να διοχετευτεί σε διάτρητο πλαστικό σωλήνα κατά μήκος της οροφής του θερμοκηπίου, ώστε να γίνει ομοιόμορφη κατανομή του σε όλο το χώρο. Τότε όμως τα ανοίγματα πρέπει να βρίσκονται στις πλευρές του θερμοκηπίου.

Το σύστημα δροσισμού με υπερπίεση μπορεί ακόμη να συνδυαστεί με φυσικό αερισμό, αν η εγκατάσταση του γίνει μεταξύ των δυο μονάδων ενός διπλού θερμοκηπίου. Το πέτασμα διαθέτει φίλτρο πάχους 5-15 cm, φτιαγμένο από ένα στρώμα υλικού με μεγάλη επιφάνεια εξάτμισης (40-60 m²/m² στρώματος), όπως είναι οι κυψέλες από πεπιεσμένο χαρτί ή πλαστικό ή διογκωμένη άργιλος, συνθετικά νήματα, ρινίσματα ξύλου κ.α.

Η τοποθέτηση του γίνεται κατά κανόνα κάθετα, 60cm πάνω από το έδαφος και στην περίπτωση του συστήματος με υποπίεση, για καλύτερα αποτελέσματα δεν πρέπει να απέχει από τους εξαεριστήρες περισσότερο από 30 cm. Το πιο συνηθισμένο είναι να τοποθετείται σε όλο το μήκος της πλευράς και να έχει πλάτος 1.20 m. Όταν δεν λειτουργεί το σύστημα πρέπει εξωτερικά να καλύπτεται με πλαστικό φύλλο ή να έχει προβλεφτεί η κατασκευή παραθύρου.

Αποτελείται συνήθως από πεπιεσμένο χαρτί με κυψελοειδή μορφή, που έχει διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 10 χρόνια και δεν λερώνεται πολύ εύκολα, σε περιπτώσεις χρησιμοποίησης υφάλμυρου νερού. Για να διατηρηθεί καθαρό όσο το δυνατόν περισσότερο, πρέπει να χρησιμοποιούνται μεγαλύτερες ποσότητες νερού από αυτές που απαιτούνται για να λειτουργήσει το σύστημα ώστε όσο νερό δεν εξατμίζεται να μην επιτρέπει τη γρήγορη συσσώρευση αλάτων που καταστρέφουν το φίλτρο. Πάντως μετά από κάποια χρόνια λειτουργίας, η αποτελεσματικότητά του μειώνεται σιγά-σιγά, καθώς τόσο τα άλατα του νερού όσο και τα έντομα που απορροφώνται από το σύστημα ρυπαίνουν το φίλτρο και εμποδίζουν τη διέλευση του αέρα. Το υφάλμυρο νερό προκαλεί ακόμη περισσότερες ζημιές στους συνδέσμους του συστήματος (διαρροές από διάβρωση κ.λ.π).

Τη λειτουργία των εξαεριστήρων ρυθμίζουν θερμοστάτες, ενώ υγροστάτες ελέγχουν την υγρασία των πετασμάτων και ρυθμίζουν τη λειτουργία υδραντλιών, ώστε η διαβροχή να είναι ομοιόμορφη.

Αρκετά σημαντικές είναι οι ποσότητες νερού που απαιτούνται, ανάλογα βέβαια με τις εξωτερικές συνθήκες και τις ανάγκες της καλλιέργειας(υπο λογίζεται στο 1 lt/m² την ώρα.

Η αύξηση της σχετικής υγρασίας στο θερμοκήπιο εξαιτίας της λειτουργίας του συστήματος, μπορεί να προκαλέσει προσβολές από μυκητολογικές ασθένειες κάτι που αποφεύγεται με την τοποθέτηση εξαεριστήρων κατάλληλης ισχύος και την κατασκευή του σωστού αριθμού παραθύρων, ώστε να γίνεται καλός αερισμός του θερμοκηπίου. Για την καλή λειτουργία του συστήματος θα πρέπει απαραίτητα η σχετική υγρασία της ατμόσφαιρας να είναι χαμηλή. Η χρησιμοποίηση συστήματος δροσισμού με υγρό διαπερατό πέτασμα, αντί για απλό δυναμικό εξαερισμό του θερμοκηπίου, συνεπάγεται πολύ υψηλότερο κόστος εγκατάστασης καθώς και σημαντική αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας (κατά 65% περίπου). Πάντως, τα αποτελέσματα είναι ασύγκριτα καλύτερα, ιδίως στις νοτιότερες περιοχές.

Για την εγκατάσταση ενός συστήματος δροσισμού, πρέπει να είναι γνωστός ο συνολικός όγκος του θερμοκηπίου, ο αριθμός των ωριαίων ανταλλαγών αέρα (45-60), η επιφάνεια των υγρών φίλτρων και ο αριθμός, των εξαεριστήρων(μέση απόσταση μεταξύ τους 7 m). Η ισχύς των κινητήρων /ους πρέπει να είναι 3-5 w/m² καλυμμένης επιφάνειας.

Η τοποθέτηση συστήματος δροσισμού θα πρέπει να προβλέπεται από την αρχική μελέτη εγκατάστασης του θερμοκηπίου, ώστε να πληρούνται ορισμένες προϋποθέσεις.

Ειδικότερα:

- Ο προσανατολισμός του θερμοκηπίου να είναι τέτοιος ώστε να "αξιοποιούνται" οι επικρατούντες άνεμοι. Είναι προτιμότερο τα υγρά πετάσματα να τοποθετούνται από την πλευρά του κυρίαρχου ανέμου και οι εξαεριστήρες από την αντίθετη (σε σύστημα υποπίεσης).
- Η στεγανότητα του θερμοκηπίου να είναι κατά το δυνατό μεγαλύτερη, ειδικά σε περιοχές που επικρατούν ισχυροί άνεμοι και υπάρχει πολλή σκόνη.
- Το φίλτρο να κατασκευάζεται από ειδικό υλικό ώστε να υπάρχει δυνατότητα χρησιμοποίησης και υφάλμυρου νερού χωρίς να καταστρέφεται εύκολα.

- Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ υγρού πετάσματος και εξαεριστήρα να μην είναι μεγάλη. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να κλείνονται ερμητικά όλα τα ανοίγματα και οι χαραμάδες του θερμοκηπίου. Επίσης οι εξαεριστήρες να απέχουν το πολύ 40 m από τα υγρά πετάσματα. Αν οι αποστάσεις είναι μεγαλύτερες, τα πετάσματα μπορούν να τοποθετούνται στο ενδιάμεσο της απόστασης και οι εξαεριστήρες στις δύο πλευρές ή στο κέντρο ανάλογα αν πρόκειται για σύστημα υποπίεσης ή υπερπίεσης αντίστοιχα ή να τοποθετούνται στα δύο μέτωπα και οι εξαεριστήρες στη στέγη στο μέσο του θερμοκηπίου. Ακόμη είναι δυνατό να αυξάνεται ο αριθμός των εξαεριστήρων, έτσι ώστε να δημιουργείται πιο αποτελεσματικό ρεύμα αέρα ή να τοποθετούνται εκτοξευτήρες νερού στο θερμοκήπιο ώστε να δημιουργείται συμπληρωματικά ομίχλη
- Για να μην προκληθούν ζημιές στα φυτά που βρίσκονται κοντά στα υγρά πετάσματα, είναι καλό το ρεύμα αέρα να οδηγείται με μια μικρή παρέκκλιση πάνω από τα φυτά αν το ύψος τους ξεπερνά το ύψος τοποθέτησης των πετασμάτων
- Να υπάρχει υπόγεια δεξαμενή, όπου μπορεί να διατηρείται για λίγο το νερό που έχει διασχίσει ένα πέτασμα, ώστε όταν χρησιμοποιηθεί και πάλι να έχει αρκετά μικρότερη θερμοκρασία αφού με το κρύο νερό το σύστημα δίνει καλύτερα αποτελέσματα απ' ότι με το ζεστό.
- Η πίεση του νερού που ψεκάζεται στο πέτασμα, να διατηρείται ομοιόμορφη ώστε αυτό να υγραίνεται κανονικά.
- Καλό είναι να υπάρχει και σύστημα σκίασης στο θερμοκήπιο ή ακόμα καλύτερα σύστημα ομίχλης ώστε ο δροσισμός να γίνεται καλύτερα. Με τον τρόπο αυτό γίνεται μια σημαντική εξοικονόμηση νερού.
- Λόγω του κόστους του, το σύστημα των υγρών πετασμάτων, σε συνδυασμό ή όχι με τα υπόλοιπα, χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά σε καλλιέργειες υψηλής προσόδου, όπως τα ανθοκομικά. Άλλωστε οι καλλιέργειες κηπευτικών στη χώρα μας καλλιεργούνται το καλοκαίρι στο ύπαιθρο.

Ο φρέσκος αέρας που εξαναγκάζεται να μπει στο θερμοκήπιο περνώντας μέσα από το υγρό διαπερατό πέτασμα (κάτω), καθώς οι εξαεριστήρες από την απέναντι πλευρά μπαίνουν σε λειτουργία (πίσω) μειώνει τη θερμοκρασία του χώρου.

2.3.3 Σκίαση.

Τα συστήματα σκίασης, εκτός από τη μείωση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας συμβάλλουν σημαντικά και στη μείωση της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο.

Συνήθως χρησιμοποιούνται σύνθετα συστήματα, που τον χειμώνα μπορούν να παίξουν και το ρόλο της θερμοκουρτίνας, συγκρατώντας θερμική ακτινοβολία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Το καλοκαίρι όμως - η ηλιακή ενέργεια μπαίνει στο θερμοκήπιο γι' αυτό η θερμοκρασία δε μειώνεται σημαντικά όπως η ένταση του φωτισμού. Ωστόσο η θερμοκρασία των σκιασμένων φυτών είναι αρκετά μικρότερη (περίπου 5°C) από εκείνη των μη σκιασμένων.

Τα χαρακτηριστικά ενός σωστού υλικού σκίασης συνοψίζονται στα εξής:

- Επιλέγει και συγκρατεί την υπέρυθη (θερμική) ακτινοβολία και όχι την ορατή που είναι απαραίτητη για την φωτοσύνθεση. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο περισσότερο επιβλαβής είναι για τα φυτά η μείωση του φωτός, ακόμη και σε περιοχές μεγάλης γενικά ηλιοφάνειας. Ωστόσο, τα υλικά που απλά περιορίζουν, ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας αν και δεν είναι τα πιο κατάλληλα είναι πιο οικονομικά από τα εκλεκτικά, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται ευρύτερα.
- Δεν είναι χρωματισμένο γιατί τότε περιορίζει ένα μέρος του ορατού φάσματος, που αντιστοιχεί στο συμπληρωματικό χρώμα του χρώματος του υλικού (π.χ ένα πορτοκαλί ή κόκκινο υλικό απορροφά περισσότερο το μπλε). Έτσι όμως όχι μόνο περιορίζεται η λειτουργία της φωτοσύνθεσης, αλλά αυξάνεται και η θερμοκρασία στην καλυμμένη περιοχή, επηρεάζοντας αρνητικά την ανάπτυξη των φυτών.
- Απορροφά όσο το δυνατό λιγότερο το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που περιορίζει. Πράγματι, αν αντανακλά αντί να απορροφά την ακτινοβολία, δε ζεσταίνεται και κατά συνέπεια αυξάνει λιγότερο τη θερμοκρασία της σκιασμένης ζώνης από ένα υλικό που απορροφά την ακτινοβολία, χωρίς να προκαλεί το "φαινόμενο του θερμοκηπίου".
- Ρυθμίζεται αυτόματα, ανάλογα όχι μόνο με την ένταση της ακτινοβολίας, αλλά και τη σπουδαιότητα της.

Είναι μετακινούμενο, ώστε να εξασφαλίζεται η αναγκαία για την φωτοσύνθεση ηλιακή ακτινοβολία και να περιορίζεται μόνο η υπερβολική θερμική ακτινοβολία ορισμένες, ώρες της ημέρας.

- Επιτρέπει τον αερισμό του θερμοκηπίου, ακόμη και αν είναι ξεδιπλωμένο.
- Έχει προσιτή τιμή, χωρίς αυτό να αποβαίνει σε βάρος της ποιότητας.

Τα υλικά σκίασης κατασκευάζονται συνήθως από PE, EVA, πολυεστέρες, ακρυλικά ή μείγματα αυτών κ.λ.π. είναι χρωματισμένα ή όχι και έχουν μορφή υφασμένου ή μη υφασμένου υλικού. Τα περισσότερα απορροφούν αντί να ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία, δεν είναι εκλεκτικά αλλά χρωματισμένα και δεν ρυθμίζεται το ποσοστό σκίασης. Επίσης είναι λιγότερο διαπερατά σε διάχυτη ακτινοβολία (με αίθριο και κυρίως με νεφελώδη καιρό) παρά στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Με τον τρόπο αυτό που είναι φτιαγμένα τα περισσότερα θερμοκήπια στην χώρα μας, είναι δύσκολο η διαδικασία της σκίασης να αυτοματοποιηθεί και γενικά να γίνουν επενδύσεις σε ακριβά υλικά σκίασης.

Μια καλή λύση δίνουν σκίαστρα που κατασκευάζονται από ένα διαφανές φύλλο πολυεστέρα που καλύπτεται σε ταινίες από μια ουσία που ανακλά την ηλιακή ακτινοβολία (με βάση το αλουμίνιο ή παρόμοια υλικά, όπως το χρώμιο). Έτσι δημιουργούνται υλικά με διάφορα ποσοστά σκίασης, τα οποία ανακλούν ένα μέρος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

2.4 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση σήμερα εκτιμάται ότι υπάρχουν 600.000 στρέμματα θερμοκηπίων. Τα θερμοκήπια αυτά καταναλώνουν για θέρμανση και ψύξη το 1,5% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης της Ε.Ε. Οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση θερμοκηπίων ποικίλουν και κυμαίνονται από 7 - 8 lt καυσίμου ανά m² θερμοκηπίου ετησίως στη Νότια Ευρώπη μέχρι 80 lt καυσίμου ανά m² θερμοκηπίου ετησίως στη Βόρεια Ευρώπη.

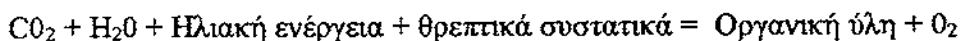
Στη Νότια Ευρώπη το κόστος της θέρμανσης του θερμοκηπίου με συμβατικά καύσιμα συνήθως υπερβαίνει το 30% του συνολικού λειτουργικού κόστους του θερμοκηπίου.

Στην Ελλάδα περίπου το 6,4% (κατ' άλλους το 8,8%) των υαρχόντων θερμοκηπίων χρησιμοποιούν το 0,5% της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας στη χώρα.

Η θερμοκρασία είναι από τους βασικούς παράγοντες που επιδρούν στην ανάπτυξη των καλλιεργειών, στην ποιότητα και την ποσότητα των παραγομένων προϊόντων αλλά και γενικότερα στις διάφορες λειτουργίες των φυτών. Για κάθε φυτό υπάρχει μια άριστη θερμοκρασία στην οποία επιτυγχάνεται το μέγιστο της απόδοσης και της παραγωγικότητάς του. Με τη θέρμανση του θερμοκηπίου γίνεται προσπάθεια να προσεγγιστεί η κατάλληλη θερμοκρασία για την ανάπτυξη των φυτών και να επιτευχθεί έτσι το μέγιστο της οικονομικής απόδοσής τους.

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι άριστες θερμοκρασίες για διάφορα φυτά που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια, ενώ στον πίνακα 2.2 φαίνεται η πορεία και η κατάληξη της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο.

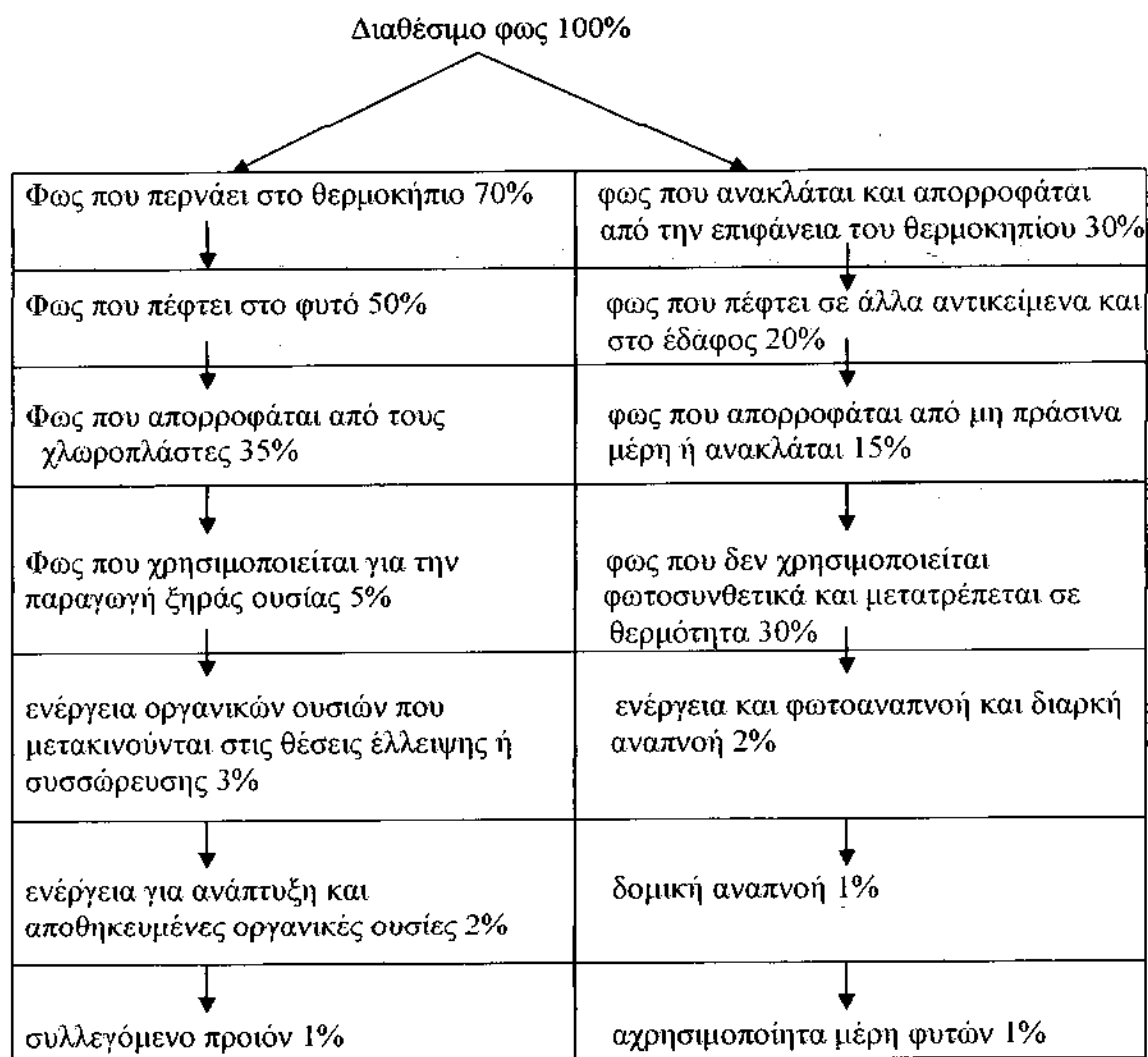
Το θερμοκήπιο αποτελεί ένα χώρο μερικώς ελεγχόμενων συνθηκών που είναι πιο ευνοϊκός για την ανάπτυξη των φυτών απ' ότι ο ανοικτός αγρός. Ο φωτοσυνθετικός μηχανισμός ανάπτυξης των φυτών εκφράζεται από την εξίσωση:



Πίνακας 2.1
Απαιτήσεις σε θερμοκρασία των καλλιεργειών του θερμοκηπίου

Είδος καλλιέργειας	Θερμοκρασία αέρα (°C)										Θερμοκρασία εδάφους στο θερμοκήπιο
	Φύτρωμα σπόρου		Ανάπτυξη φυτών στο σπορείο		Ανάπτυξη φυτών στο θερμοκήπιο						
	Ελάχιστη	Αριστη	Ελάχιστη βιολογική	Αριστη	Ημέρα			Νύχτα			
					Ελάχιστη βιολογική	Μέγιστη	Αριστη	Ελάχιστη βιολογική	Ελάχιστη θανατηφόρος	Αριστη	
Τομάτα	9 -10	29	8 -10	10 -16	13	32	21 - 26	8 -10	0-1	14 -17	15-17
Μελιτζάνα	12 - 14	29	8 -10	16 -18	10-12	30	22 - 25	8 -10	0-1	16 -17	15-17
Πιπεριά	12 -15	29	10	16 -18	10-12	30	20 - 29	8 -10	0-1	16 -18	15-17
Αγγούρι	13-15	32	8 -10	25	10-14	30	20 - 25	10 -13	2-4	18	20
Πεπόνι	14 -16	30-34	8 -10	25	12-14	28	20 - 22	8-10	2-4	18 -20	20 - 22
Κολοκυθάκι	13-14	20 - 25	11 -13	20 - 25	8 -10	30 - 32	25 - 27	10	0-2	15 -17	15 -17
Φασολάκι	14-15	20 - 30	-	-	12 -14	30	25 - 28	10	2-5	15 -18	15 - 20
Μαρούλι	5-6	24	3-5	15	4-6	20 - 22	10 - 21	5-6	-3	7 -10	10-12
Φράουλα	-	-	-	-	3-6	28	18 - 20	2-4	-1	12-14	10-15
Τριαντάφυλλο	-	-	-	-	10-12	30	21 - 24	7 -10	0-1	16 -17	13 -15
Γαρύφαλλο	-	-	-	-	8 -10	25	10 -18	6-8	0-1	10-12	10 -13
Χρυσάνθεμο	-	-	-	-	10 -12	25	17 - 21	6-8	0-1	16 -17	14

πίνακας 2.2
πορεία και κατάληξη της ηλιακής ενέργειας
μέσα στο θερμοκήπιο



2.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Πριν ο καλλιεργητής προχωρήσει στην εγκατάσταση κάποιου συστήματος θέρμανσης σε υπάρχον ή σε νέο θερμοκήπιο γίνεται ο υπολογισμός των αναγκών θέρμανσης και των δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας στο θερμοκήπιο. Στο στάδιο αυτό συλλέγονται δεδομένα για τις κλιματολογικές συνθήκες του τόπου που βρίσκεται ή θα εγκατασταθεί το θερμοκήπιο, καθώς και για τις απαιτήσεις της καλλιέργειας για τη διατήρηση κάποιας ελάχιστης θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου. Στο στάδιο αυτό είναι απαραίτητη η συνεργασία γεωπόνου και εξειδικευμένου μηχανικού κατά προτίμηση μηχανολόγου. Ανάλογα με τις δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας γίνονται πιθανώς αλλαγές στο σχεδιασμό του νέου θερμοκηπίου ή του υπάρχοντος.

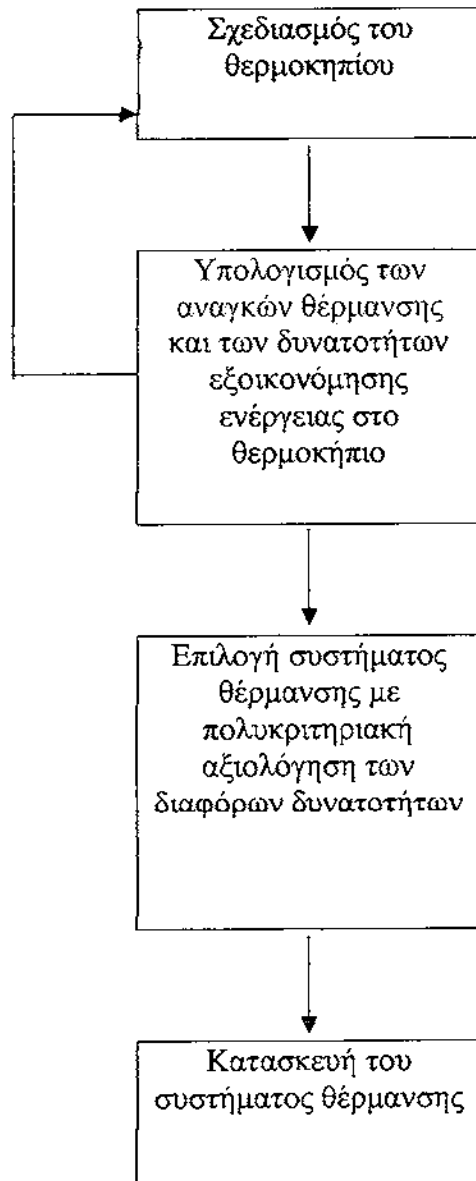
Το επόμενο στάδιο αφορά στην επιλογή του συστήματος θέρμανσης. Είναι απαραίτητο να γίνει πολυκριτηριακή αξιολόγηση των διαφόρων δυνατοτήτων που υπάρχουν και των μεθόδων θέρμανσης πριν γίνει η τελική επιλογή. Στο στάδιο αυτό είναι επίσης απαραίτητη η συνεργασία εξειδικευμένου μηχανικού και γεωπόνου.

Το τελικό στάδιο αφορά στην κατασκευή του επιλεγθέντος συστήματος θέρμανσης. Στο στάδιο αυτό είναι απαραίτητη η συνεργασία γεωπόνου, εξειδικευμένου μηχανικού, του καλλιεργητή και του κατασκευαστή του συστήματος.

Στο Σχήμα 2.1 φαίνονται τα διάφορα στάδια από τον σχεδιασμό του θερμοκηπίου μέχρι την κατασκευή του συστήματος θέρμανσης.

Θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη ότι η εφαρμογή ενός υδροπονικού συστήματος καλλιέργειας μειώνει τις θερμικές απαιτήσεις για την επίτευξη της κατάλληλης θερμοκρασίας του ριζικού συστήματος των καλλιεργούμενων φυτών, συμβάλλοντας στην αποτελεσματικότερη απόδοση των όποιων συστημάτων θέρμανσης.

Ο καλλιεργητής, αφού αποφασίσει για το σύστημα θέρμανσης που θα εγκαταστήσει στο θερμοκήπιο, θα πρέπει να προχωρήσει στη κατασκευή του.



Σχήμα 2.1

Τα διάφορα στάδια από το σχεδιασμό του θερμοκηπίου μέχρι την κατασκευή του συστήματος θέρμανσης, όπου απαιτείται συνεργασία του γεωπόνου με εξειδικευμένο μηχανικό

Ανάλογα με το σύστημα που έχει επιλεγεί, ο καλλιεργητής έχει διάφορες εναλλακτικές δυνατότητες:

A) Αν το σύστημα θέρμανσης αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια, η κατασκευή του μπορεί να γίνει από τον καλλιεργητή σε συνεργασία με το γεωπόνο κι τον μηχανικό του. Στην περίπτωση αυτή δεν απαιτούνται πολύπλοκα συστήματα και η προμήθειά τους συνήθως γίνεται από την τοπική αγορά.

B) Αν το σύστημα θέρμανσης χρησιμοποιεί βιομάζα, π.χ. πυρηνόξυλο, καλλιεργητής θα πρέπει να απευθυνθεί είτε σε κάποιο κατασκευαστή τέτοιων λέβητων είτε σε κάποιο προμηθευτή. Τα συστήματα αυτά κατασκευάζονται από τοπικές βιοτεχνίες, αλλά μπορεί να είναι και εισαγόμενα. Μετά την αγορά του καυστήρα και του λέβητα, τα άλλα μηχανήματα (αντλίες, σωληνώσεις, σιλό) μπορούν να αγοραστούν και να εγκατασταθούν εύκολα.

Γ) Αν το σύστημα θέρμανσης αξιοποιεί τη γεωθερμία, η κατασκευή το δεν είναι εύκολη. Τα περισσότερα τμήματα του συστήματος είναι εύκολο να βρεθούν στην τοπική αγορά. Ο εναλλάκτης θερμότητας μπορεί να αγορασθεί από κάποιον εγχώριο κατασκευαστή ή να είναι εισαγόμενος. Εφ' όσον το γεωθερμικό ρευστό πρέπει να μεταφερθεί σε κάποια απόσταση από την πηγή, εκεί που βρίσκεται το θερμοκήπιο, απαιτούνται καλά μονωμένοι σωλήνες και ανθεκτικοί στη διάβρωση, οι οποίοι δεν κατασκευάζονται στην Ελλάδα.

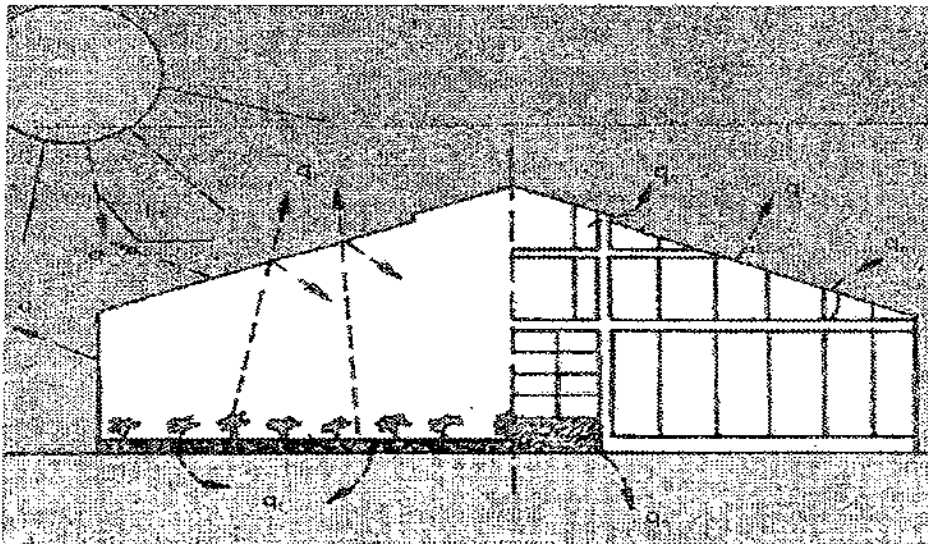
Δ) Αν στο θερμοκήπιο εγκατασταθεί αντλία θερμότητας, ο καλλιεργητής θα πρέπει να απευθυνθεί σε κάποιον Έλληνα κατασκευαστή (είναι λίγοι και εξειδικευμένοι), είτε να προτιμήσει κάποια εισαγόμενη αντλία θερμότητας.

2.6 ΑΝΑΓΚΕΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Οι ανάγκες θέρμανσης των θερμοκηπίων εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες. Όταν ο αέρας έξω από το θερμοκήπιο έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από τον αέρα μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου, θερμότητα μεταφέρεται από μέσα προς τα έξω. Τις θερμικές αυτές απώλειες πρέπει να ης αναπληρώσουμε θερμαίνοντας τον χώρο του θερμοκηπίου για να διατηρήσουμε τη θερμοκρασία του σταθερή.

Για να γνωρίσουμε πόση θερμότητα πρέπει να δώσουμε στο θερμοκήπιο, πρέπει να υπολογίσουμε πρώτα τις θερμικές απώλειες του.

Στο παρακάτω σκαρίφημα φαίνονται σχεδιαστικά τα είδη απωλειών.



Ανταλλαγές θερμότητας του θερμοκηπίου με το περιβάλλον

I = εισροή θερμότητας λόγω ηλιακής ακτινοβολίας

q_e = απώλειες θερμότητας λόγω διαφυγών αέρα από το θερμοκήπιο

q_t = απώλειες θερμότητας λόγω αγωγιμότητας από το έδαφος

q = απώλειες θερμότητας λόγω αγωγιμότητας από τα διαφανή μέρη του θερμοκηπίου

q_r = απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος των φυτών και του εδάφους

2.6.1 Απώλειες θερμότητας λόγω διαφυγών του αέρα

Οι απώλειες αυτές προέρχονται λόγω των κατασκευαστικών ατελειών του θερμοκηπίου και διαφυγών του αέρα από μικρές οπές. Προέρχονται επίσης από την αλλαγή του αέρα από τα παράθυρα λόγω εξαερισμού. Οι απώλειες θερμότητας υπολογίζονται από την σχέση

$$Q_1 = 0,31 * n * V * (T_1 - T_2)$$

Όπου Q_1 οι απώλειες θερμότητας του θερμοκηπίου σε KCal / h

T_1, T_2 θερμοκρασία αέρα εντός και εκτός θερμοκηπίου σε ($^{\circ}\text{C}$)

V ο όγκος του αέρα που ανταλλάσσεται

n ο αριθμός των ανταλλαγών του αέρα και έχει τις ακόλουθες τιμές

$\eta = 0,8 - 1$ για νέα κατασκευή - γυαλί

$\eta = 0,8 - 2,5$ για νέα κατασκευή απλό πλαστικό

$\eta = 0,6 - 1,2$ για νέα κατασκευή διπλό πλαστικό

$\eta = 1,5$ για παλιά κατασκευή γυαλί (καλή συντήρηση)

$\eta = 2,5$ για παλιά κατασκευή γυαλί (κακή συντήρηση)

$\eta = 50$ για ανοικτό θερμοκήπιο.

2.6.2 Απώλειες θερμότητας λόγω αγωγιμότητας από τα διαφανή μέρη του θερμοκηπίου

Τα υλικά κάλυψης του θερμοκηπίου έχουν μικρό πάχος και συνεπώς μικρή θερμική μόνωση, με συνέπεια όταν η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου, να υπάρχει ροή θερμότητας προς τα έξω. Η ροή της θερμότητας δίδεται από τον τύπο:

$$Q_2 = K * S * \Delta T$$

όπου:

Q_2 = μεταφερόμενη θερμότητα (Kcal/h)

K = συντελεστής θερμοαγωγιμότητας του υλικού κάλυψης (Kcal/m²*h* $^{\circ}\text{C}$) S = η επιφάνεια του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου (m²)

ΔT = η διαφορά θερμοκρασίας μέσα κι έξω από το θερμοκήπιο ($^{\circ}\text{C}$)

ο συντελεστή K έχει τις τιμές:

- για γυαλί πάχους 3 mm, $K = 5,1$
- για γυαλί πάχους 6 mm, $K = 4,9$
- για πολυαιθυλένιο πάχους 8/100 mm, $K = 5,7$
- για πολυαιθυλένιο πάχους 8/100 mm διπλό, $K = 2 - 3$
- για πολυαιθυλένιο πάχους 12/100 mm, $K = 5,4$
- για πολυαιθυλένιο πάχους 1,5 mm, $K = 4,8$

2.6.3 Απώλειες θερμότητας λόγω αγωγιμότητας από το έδαφος

Λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου με τα έδαφος παρατηρείται ροή θερμότητας προς τα έδαφος.

Η ροή θερμότητας δίδεται από τον τύπο:

$$Q_3 = K * S * \Delta T$$

όπου:

Q_3 = ροή θερμότητας προς το έδαφος (kcal/h)

K = συντελεστής θερμοαγωγιμότητας του εδάφους.

ενδεικτικά $K_{εδ} = 1,6 \text{ kcal/m}^2 * ^\circ\text{C} * \text{h}$

S = επιφάνεια εδάφους (m^2)

ΔT = διαφορά θερμοκρασίας αέρα - εδάφους εντός του θερμοκηπίου ($^\circ\text{C}$).

2.6.4 Απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος των φυτών και του εδάφους

Θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος εκπέμπεται από τα φυτά και το έδαφος του θερμοκηπίου προς την ατμόσφαιρα. Για την απλούστευση των υπολογισμών θεωρούμε ότι οι θερμικές απώλειες λόγω ακτινοβολίας για τις συνθήκες της Ελλάδας ισούνται με το 25% περίπου του αθροίσματος των άλλων θερμικών απωλειών στο θερμοκήπιο.

Θερμικές απώλειες υπάρχουν επίσης στο θερμοκήπιο λόγω:

α) Διαπνοής των φυτών και εξάτμισης του νερού από το έδαφος

β) Φωτοσύνθεσης των φυτών

γ) Συμπύκνωσης των υδρατμών στο κάλυμμα του θερμοκηπίου.

Οι απώλειες αυτές είναι σχετικά μικρές και για την απλούστευση των υπολογισμών θεωρούνται αμελητέες.

2.7 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΚΑΥΣΙΜΑ

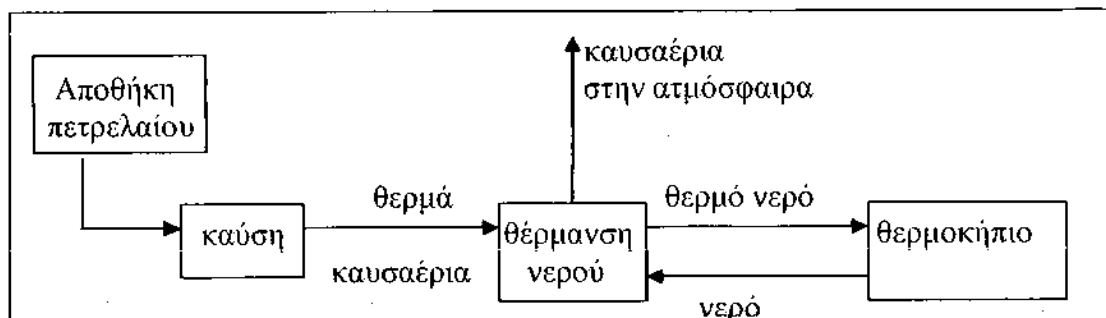
Η θέρμανση των θερμοκηπίων με συμβατικά καύσιμα περιλαμβάνει:

- α) Τη θέρμανση με πετρέλαιο
- β) Τη θέρμανση με αέριο (φυσικό ή υγραέριο)
- γ) Τη θέρμανση με ηλεκτρική ενέργεια.

2.7.1 Πετρέλαιο

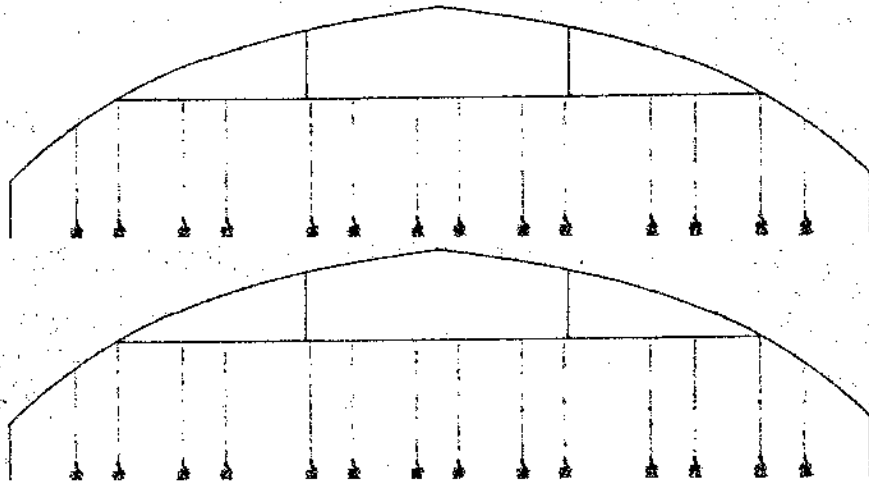
Η θέρμανση των θερμοκηπίων επιτυγχάνεται κυρίως με Μαζούτ, το οποίο καίγεται σε ειδικούς καυστήρες και η παραγόμενη θερμότητα μέσω κάποιου ρευστού (νερού ή αέρα) θερμαίνει το θερμοκήπιο.

Στην περίπτωση θέρμανσης νερού, αυτό κυκλοφορεί συνήθως σε επιδαπέδιους πλαστικούς σωλήνες που βρίσκονται μέσα στο θερμοκήπιο και επιτυγχάνεται η θέρμανση του χώρου.

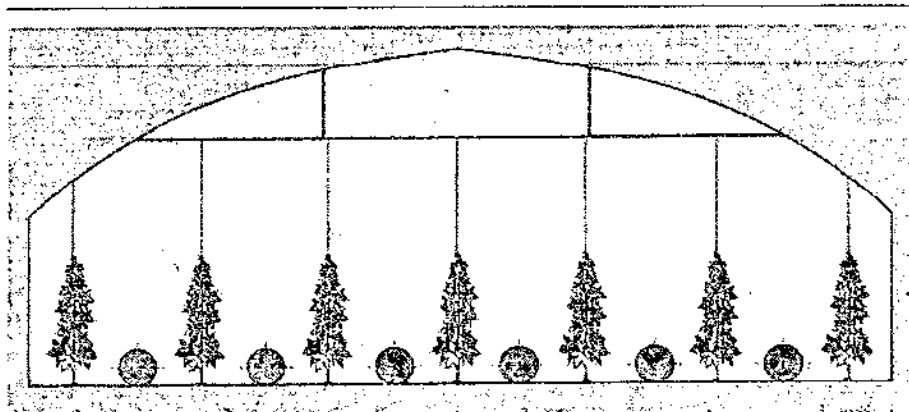


σχήμα 2.2

θέρμανση θερμοκηπίου με πετρέλαιο (κυκλοφορία νερού)



σχήμα 2.3
ενδοδαπέδιοι σωλήνες θέρμανσης

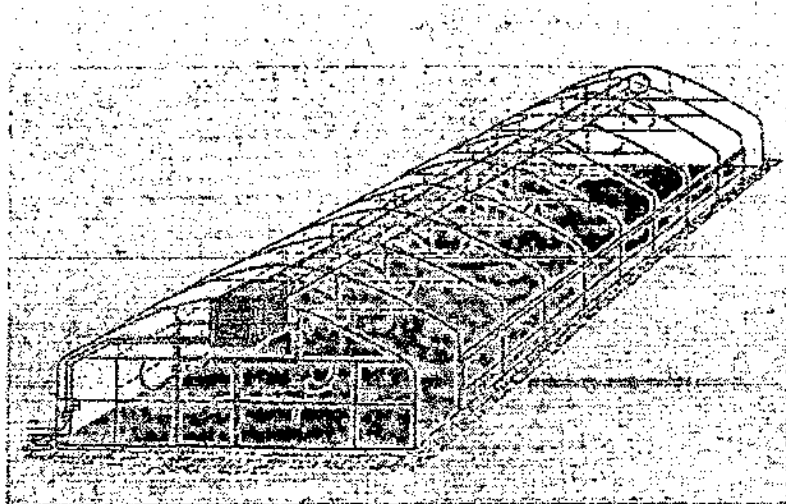


σχήμα 2.4
εγκατάσταση αεραγωγών στο έδαφος

Στην περίπτωση θέρμανσης αέρα, αυτός κυκλοφορεί με τη βοήθεια ανεμιστήρων εντός πλαστικών διαφανών σωλήνων καθ' όλο το μήκος του θερμοκηπίου και έτσι επιτυγχάνεται η θέρμανση του χώρου.

Τα συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων με πετρέλαιο είναι αρκετά διαδεδομένα και μπορούν να αυτοματοποιηθούν πλήρως, ενώ επιτυγχάνουν σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό τη θέρμανση του θερμοκηπίου.

Το χρησιμοποιούμενο πετρέλαιο αποθηκεύεται σε δεξαμενές έξω από το χώρο του θερμοκηπίου, ενώ για την αποφυγή ρύπανσης του περιβάλλοντος από τα καυσαέρια, λαμβάνονται μέτρα όπως και στην περίπτωση θέρμανσης κτιρίων με πετρέλαιο.



σχήμα 2.5
εγκατάσταση θέρμανσης αέρα

2.7.2 Αέριο

Η θέρμανση των θερμοκηπίων με αέριο (υγραέριο) είναι ανάλογη της θέρμανσης με υγρά καύσιμα. Χρησιμοποιούνται βέβαια διαφορετικά συστήματα καύσης, ενώ το υγραέριο αποθηκεύεται σε ειδικές δεξαμενές έξω από το θερμοκήπιο. Με τη λειτουργία του δικτύου διανομής του φυσικού αερίου σε μεγάλο μέρος της χώρας θα είναι δυνατή η χρήση φυσικού αερίου σύντομα για τη θέρμανση θερμοκηπίων. Με τη χρησιμοποίηση υγραερίου μπορεί να επιτευχθεί πολύ ικανοποιητικός έλεγχος της θερμοκρασίας του χώρου του θερμοκηπίου, ενώ το σύστημα θέρμανσης αυτοματοποιείται πλήρως. Όταν η θέρμανση του θερμοκηπίου επιτυγχάνεται με την κυκλοφορία θερμού νερού σε σωληνώσεις, ένας θερμοστάτης εντός του χώρου του θερμοκηπίου ενεργοποιεί τον κυκλοφορητή και τις ηλεκτροβάννες, ενώ ένας άλλος θερμοστάτης στο κύκλωμα του θερμού νερού ενεργοποιεί το σύστημα καύσης.

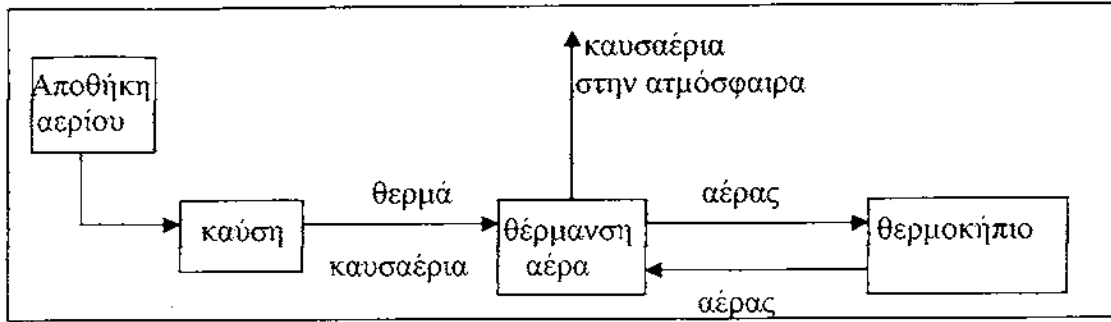
Όταν η θέρμανση του θερμοκηπίου επιτυγχάνεται με την κυκλοφορία θερμού αέρα, ένας θερμοστάτης στο χώρο του θερμοκηπίου ενεργοποιεί το σύστημα καύσης και τον ανεμιστήρα μεταφοράς του θερμού αέρα.

Στην περίπτωση χρησιμοποίησης πλαστικών σωλήνων νερού, τοποθετημένων πάνω στο έδαφος του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία του νερού θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 40 - 60 °C.

Σύμφωνα με τους κατασκευαστές των πλαστικών σωλήνων η θερμοκρασία του νερού δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 70 - 80 °C για την αποφυγή της φθοράς των σωλήνων.

Στην περίπτωση χρησιμοποίησης θερμού αέρα που μεταφέρεται δια μέσου πλαστικών αεραγωγών εντός του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία του θερμού αέρα θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 35 - 40 °C.

Το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος θέρμανσης θερμοκηπίου με υγραέριο ισχύος 150.000 Kcal/h ανέρχεται σήμερα σε 6.000 ευρώ περίπου.



σχήμα 2.6

θέρμανση θερμοκηπίου με υγραέριο (κυκλοφορία αέρα)

2.7.3 Ηλεκτρική ενέργεια

Η θέρμανση θερμοκηπίων με ηλεκτρική ενέργεια είναι μια ακριβή μέθοδος και δεν εφαρμόζεται σήμερα παρά μόνο σε ειδικές περιπτώσεις. Χρησιμοποιούνται ηλεκτρικές σόμπες τοποθετημένες κατάλληλα σε διάφορα σημεία του θερμοκηπίου. Βρίσκει όμως κάποιες εφαρμογές σε μικρούς θερμοκηπιακούς χώρους, που διαθέτουν συστήματα υδρονέφωσης. Οι προοπτικές ευρύτερης εφαρμογής αυτής της μεθόδου στο μέλλον είναι μηδαμινές.

Στον Πίνακα που ακολουθεί, παρουσιάζονται:

α) ο βαθμός απόδοσης των διαφόρων συστημάτων θέρμανσης θερμοκηπίων με συμβατικά καύσιμα

β) η θερμογόνος δύναμη των διαφόρων καυσίμων

Πίνακας 2.3
Θερμική ισχύς των καυσίμων

ΚΑΥΣΙΜΑ	ΘΕΡΜΟΓΟΝΟΣ ΔΥΝΑΜΗ KCAL/MONΑΔΑ	ΑΠΟΔΟΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (%)
Ελαφρό μαζούτ	8.600/lit	80
Βαρύ μαζούτ	9.800/kg	77
Φυσικό αέριο	7.650/m ³	83
Κάρβουνο (κωκ)	7.000/kg	70
Ανθρακίτης	7.800/kg	70
Λιγνίτης	4.800/kg	-
Ξύλο (ξηρό)	3.100 - 4.000/kg	-
Άχυρο	2.500/kg	-
Ελαιοπυρηνόξυλο	3.000 - 4.500/kg	70
Πετρέλαιο	9.800/lit	85
Ηλεκτρισμός	- 853/kWh	100
Ηλιακή ενέργεια συλλέκτη	600 - 800/m ² h	60 - 70
Βιοαέριο	5.000 kcal/Nm ³	75 - 80

2.8 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους για τη θέρμανση των θερμοκηπίων. Τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης των θερμοκηπίων κατατάσσονται σε δύο κατηγορίες:

A. Παθητικά συστήματα θέρμανσης

B. Ενεργητικά συστήματα θέρμανσης.

Τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης μπορούν να καλύψουν σημαντικό μέρος των θερμικών αναγκών των θερμοκηπίων. Όμως είναι συνήθως οικονομικά ασύμφορο να καλύπτονται όλα τα θερμικά φορτία με ηλιακά συστήματα. Έτσι για την πλήρη κάλυψη των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου μπορεί να χρησιμοποιηθεί, εκτός του ηλιακού, ένα συμπληρωματικό σύστημα θέρμανσης. Άλλες φορές πάλι επιδιώκεται όχι η διατήρηση της θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου σε επιθυμητά επίπεδα, αλλά η ανύψωση της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο λίγους βαθμούς πάνω από την ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία για λόγους αποφυγής πιθανής καταστροφής των καλλιεργούμενων φυτών λόγω χαμηλών θερμοκρασιών.

Στις περιπτώσεις αυτές ενδείκνυται η χρησιμοποίηση ηλιακών ενεργητικών ή παθητικών συστημάτων θέρμανσης.

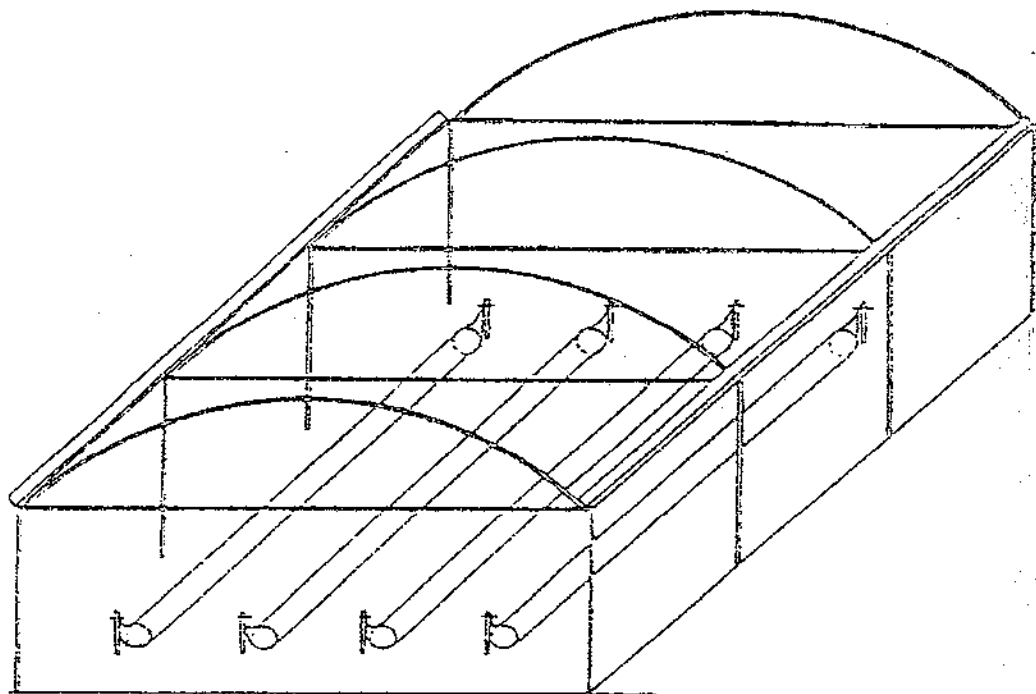
2.8.A ΗΛΙΑΚΑ ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Παθητικά ηλιακά θερμοκήπια ονομάζουμε τα θερμοκήπια εκείνα στα οποία το σύστημα συλλογής θερμότητας είναι ενσωματωμένο στην κατασκευή του θερμοκηπίου. Η ηλιακή ενέργεια αφού συλλεχθεί πρέπει να αποθηκευτεί και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συστήματος αποθήκευσης της θερμότητας, τα θερμοκήπια κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες όπως:

1. Σύστημα αποθήκευσης της θερμότητας σε νερό
2. Αποθήκευση θερμότητας στο υπέδαφος
3. Αποθήκευση θερμότητας σε χαλίκι
4. Αποθήκευση θερμότητας σε υλικά με υψηλή λανθάνουσα θερμότητα
5. Άλλα συστήματα αποθήκευσης θερμότητας.

2.8.A.1 Παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας σε νερό εντός του θερμοκηπίου

Ένα ηλιακό παθητικό σύστημα για τη θέρμανση θερμοκηπίων με αποθήκευση της θερμότητας σε νερό αποτελείται από πλαστικές σακούλες με νερό, που τοποθετούνται στο έδαφος ανάμεσα στα φυτά του θερμοκηπίου.



σχήμα 2.7

παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης θερμοκηπίου με σωλήνες πολυαιθυλενίου που περιέχουν νερό

Κάτω από τις σακούλες τοποθετείται ένα μαύρο φύλλο πολυαιθυλενίου που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς και ένα μονωτικό πλαστικό που μειώνει τις απώλειες θερμότητας από το νερό στα έδαφος.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας θερμότητα απορροφάται και αποθηκεύεται στο νερό που βρίσκεται μέσα στις σακούλες. Κατά τη διάρκεια της νύκτας, όταν η θερμοκρασία εντός του χώρου του θερμοκηπίου είναι χαμηλή, θερμότητα μεταφέρεται από τις σακούλες με το νερό εντός του χώρου του θερμοκηπίου.

Οι σακούλες με το νερό πρέπει να καλύπτουν το 35 - 40% του εδάφους του θερμοκηπίου και να περιέχουν 80 - 100 m³ νερού για κάθε στρέμμα θερμοκηπίου.

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος αυτού είναι:

1. Η απλότητα στην κατασκευή του και το χαμηλό κόστος του. Μπορεί να κατασκευαστεί από τον καλλιεργητή.
2. Έχει μηδενικό κόστος λειτουργίας και συνεπώς εξοικονομείται καύσιμο, που διαφορετικά θα απαιτείτο για τη θέρμανση του θερμοκηπίου.

Τα μειονεκτήματα του συστήματος είναι:

1. Δεν μπορεί να επιτύχει τη ρύθμιση της θερμοκρασίας εντός του χώρου του θερμοκηπίου αλλά μόνο την ανύψωση της θερμοκρασίας λίγους βαθμούς Κελσίου.
2. Οι σακούλες καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση εντός του χώρου του θερμοκηπίου και συνεπώς εμποδίζουν τη μετακίνηση του καλλιεργητή.
3. Οι πλαστικές σακούλες μετά από 3 - 4 χρειάζονται αντικατάσταση.
4. Η ανάπτυξη των φυτών πρέπει να είναι μικρή κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, ώστε να μη σκιάζονται οι σακούλες. Έτσι π.χ. το σύστημα είναι αποτελεσματικό για καλλιέργεια ντομάτας που ξεκινά τον Ιανουάριο αλλά όχι για καλλιέργεια που άρχισε τον Σεπτέμβριο, γιατί κατά την ψυχρή περίοδο (Δεκέμβριο - Φεβρουάριο) τα φυτά έχουν αναπτυχθεί πολύ και σκιάζουν το σύστημα.

Η συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια με το σύστημα των πλαστικών σακουλών ανέρχεται σε 15 - 20% της προσπιπτόμενης ηλιακής ενέργειας στο θερμοκήπιο.

Σε πειραματική εγκατάσταση έχει δοκιμασθεί η χρησιμοποίηση χημικών ουσιών που προστίθενται στο νερό που βρίσκεται μέσα στις πλαστικές σακούλες όπως CaCl_2 , CuCl_2 και CuSO_4 .

Σύμφωνα με τα πειραματικά αποτελέσματα, παρατηρείται αύξηση της αποθηκευόμενης θερμότητας κατά 1,4 - 9,6 % σε σύγκριση με θερμοκήπια που θερμαίνονται με πλαστικές σακούλες που περιέχουν μόνο νερό.

2.8.A.2 Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας στο υπέδαφος και με υπόγειο εναλλάκτη θερμότητας

Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή, σε βάθος 2 μέτρων μέσα στο έδαφος εγκαθίσταται ένας εναλλάκτης θερμότητας εδάφους – αέρα, που αποτελείται από 20 αλουμινοσωλήνες μήκους 15 m και διαμέτρου 20 cm.

Η θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου ρυθμίζεται με την κυκλοφορία του αέρα στον εναλλάκτη και στο χώρο του θερμοκηπίου. Η κυκλοφορία του αέρα γίνεται με την λειτουργία ενός ανεμιστήρα οποτεδήποτε η θερμοκρασία του χώρου πέφτει κάτω από 12 °C ή ανεβαίνει πάνω από 28 °C.

Η λειτουργία του συστήματος αυτού για διάστημα τριών ετών είχε σαν αποτέλεσμα η θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου να μην πέσει κάτω από 7 °C, έστω και αν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα έπεφτε στους -3 °C.

Η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώθηκε από τον ανεμιστήρα του εναλλάκτη κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι περίπου το 20% της αποθηκευμένης στο υπέδαφος θερμικής ενέργειας που προσφέρεται για τη θέρμανση του θερμοκηπίου από τον εναλλάκτη. Το πειραματικό αυτό θερμοκήπιο βρισκόταν στην Αττική και αναμένονται καλύτερα αποτελέσματα με τη μέθοδο αυτή για θερμοκήπια στη Νότια Ελλάδα.

Μειονέκτημα της μεθόδου αυτής αποτελεί το γεγονός ότι σε ένα υπάρχον θερμοκήπιο δεν μπορεί να γίνει εκσκαφή και τοποθέτηση των σωληνώσεων κάτω από το έδαφος του θερμοκηπίου.

Η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει 2 - 3 °C υψηλότερη το χειμώνα από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος σε βάθος μόνο λίγων μέτρων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

Το έδαφος επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν αποθήκη θερμότητας. Με την χρησιμοποίηση πλαστικών σωλήνων ή σωλήνων αλουμινίου το χειμώνα, θερμότητα μεταφέρεται κατά τη διάρκεια της ημέρας και αποθηκεύεται στο υπέδαφος, και τη νύκτα μεταφέρεται από το υπέδαφος στο θερμοκήπιο.

Οι σωληνώσεις αυτές συνήθως τοποθετούνται σε βάθος 0,5 έως 2 μέτρων από την επιφάνεια σε 2 σειρές.

2.8.A.3 Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας σε χαλίκι

Ένα απλό και αποτελεσματικό μέσο αποθήκευσης θερμότητας είναι το χαλίκι, που αποτελείται από πέτρες διαμέτρου 20 - 100 mm. Το χαλίκι τοποθετείται στο χώρο κάτω του θερμοκηπίου σε βάθος 40 - 50 cm και σε ένα χώρο που περιβάλλεται από μπετόν, το οποίο έχει μονωθεί. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου είναι υψηλή και ο αέρας με έναν ανεμιστήρα διοχετεύεται στο χώρο που είναι το χαλίκι προσδίδοντάς του θερμότητα. τη νύκτα, οπότε η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου είναι χαμηλή, πάλι με τη βοήθεια του ανεμιστήρα κυκλοφορεί ο αέρας αντίστροφα και μεταφέρει θερμότητα από το χαλίκι στο χώρο του θερμοκηπίου.

Υπολογίζεται ότι ο όγκος του χαλικιού πρέπει να είναι $0,3 \text{ m}^3 / \text{min.m}^2$ θερμοκηπίου, δηλαδή για ένα θερμοκήπιο 1000 m^2 αντιστοιχούν 300 m^3 χαλικιού. Η παροχή του ανεμιστήρα υπολογίζεται σε $5 \text{ m}^3 / \text{min.m}^2$. Η κατασκευή ενός τέτοιου παθητικού συστήματος θέρμανσης θα πρέπει να γίνει πριν την κατασκευή του θερμοκηπίου. Οπότε ανασκάπτεται ο χώρος κάτω από το καλλιεργούμενο έδαφος.

2.8.A.4 Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας σε υλικά με υψηλή λανθάνουσα θερμότητα

Υλικά με υψηλή λανθάνουσα θερμότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση θερμότητας. Ένα τέτοιο υλικό είναι ο χλιαρόλιθος με χημική σύσταση $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, με σημείο τήξεως 25°C και λανθάνουσα θερμότητα 154.000 KJ/m^3 . Το υλικό συνήθως τοποθετείται κάτω από το έδαφος σε χώρο καλά μονωμένο ή σε ένα τοίχο στο βόρειο μέρος του θερμοκηπίου. Θερμός αέρας μέσα από το θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της ημέρας κυκλοφορεί δια μέσω του υλικού αποθήκευσης.

Θερμότητα απορροφάται από το υλικό και αποθηκεύεται ενώ το υλικό αλλάζει φάση. Τη νύχτα κρύος αέρας από το χώρο εντός του θερμοκηπίου κυκλοφορεί δια μέσω του υλικού αποθήκευσης θερμότητας και αφού θερμανθεί επιστρέφει στο χώρο του θερμοκηπίου. Το υλικό αποθήκευσης αλλάζει και πάλι φάση.

Αντικατάσταση του υλικού αποθήκευσης πρέπει να γίνεται κάθε 1-2 χρόνια, κάτι που πολλές φορές είναι δύσκολο. Υπολογίζεται ότι για μία επιτυχημένη εφαρμογή του συστήματος αυτού πρέπει να χρησιμοποιηθούν 9 tn χλιαρόλιθου ανά 1.000 m^2 θερμοκηπίου.

2.8.A.5 Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας σε κατάλληλο τοίχο

Ένα απλό παθητικό σύστημα θέρμανσης περιλαμβάνει την κατασκευή ενός τοίχου στη βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου. Ο τοίχος πάχους 60 cm μπορεί να κατασκευαστεί από πέτρες ή μπετόν ή και τσιμεντόπλιθους και εξωτερικά να είναι καλά μονωμένος ενώ εσωτερικά βαμμένος μαύρος.

Ο τοίχος αυτός χρησιμεύει σαν αποθήκη θερμότητας. Κατά τη διάρκεια της ημέρας η θερμοκρασία του αέρα εντός του θερμοκηπίου είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του τοίχου αλλά και ο τοίχος δέχεται κατ' ευθείαν τις ακτίνες του ηλίου, με αποτέλεσμα θερμότητα να αποθηκεύεται στον τοίχο. Κατά την διάρκεια της νύχτας η θερμοκρασία του αέρα εντός του θερμοκηπίου είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία του τοίχου και τότε η θερμότητα μεταφέρεται από τον τοίχο στο χώρο εντός του θερμοκηπίου.

Αυτά τα συστήματα είναι φθηνά στην κατασκευή τους και μπορούν να καλύψουν ένα μέρος των ετήσιων αναγκών θέρμανσης των θερμοκηπίων.

Δεν έχουν κόστος λειτουργίας, όμως για την πλήρη κάλυψη των θερμικών αναγκών θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και ένα συμπληρωματικό σύστημα θέρμανσης. Σε μια εναλλακτική κατασκευή ο τοίχος στη βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου μπορεί να είναι κατασκευασμένος από πέτρες.

2.8.B ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων περιλαμβάνουν ένα σύστημα συλλογής της ηλιακής ενέργειας, η οποία κατάλληλα αποθηκευόμενη μπορεί να καλύψει σε σημαντικό βαθμό τις θερμικές ανάγκες του θερμοκηπίου. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα χαρακτηρίζονται και διαφοροποιούνται ανάλογα με:

- α) Τον τύπο των ηλιακών συλλεκτών
- β) Το υλικό μεταφοράς θερμότητας που κυκλοφορεί εντός του συλλέκτη
- γ) Το υλικό αποθήκευσης της θερμότητας
- δ) Την τοποθέτηση των ηλιακών συλλεκτών.

Διάφοροι τύποι συλλεκτών έχουν χρησιμοποιηθεί όπως γυάλινοι ή πλαστικοί συλλέκτες επιπέδου επιφανείας, καθώς και με μεταλλική επιφάνεια απορρόφησης. Συγκεντρωτικοί συλλέκτες ή ηλιακές λίμνες έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί.

Σαν υλικό μεταφοράς θερμότητας εντός των συλλεκτών έχει χρησιμοποιηθεί αέρας, νερό και άλμη. Η αποθήκευση της θερμότητας μπορεί να επιτευχθεί σε νερό, βράχο, χαλίκι, τούβλα ή και στο έδαφος. Διάφοροι τύποι εναλλακτών θερμότητας έχουν χρησιμοποιηθεί. Η τοποθέτηση των ηλιακών συλλεκτών εκτός του θερμοκηπίου σημαίνει οικονομική επιβάρυνση λόγω του κόστους απόκτησης της γης. Εναλλακτικά τα συστήματα συλλογής της ηλιακής ενέργειας μπορούν να τοποθετηθούν στην οροφή του θερμοκηπίου, παρουσιάζονται όμως τότε άλλα προβλήματα σχετιζόμενα με τη διείδυση της ηλιακής ακτινοβολίας εντός του θερμοκηπίου.

2.8.B.1 Μεταλλικοί συλλέκτες ηλιακής ενέργειας

Μεταλλικοί συλλέκτες νερού καλυπτόμενοι από γυαλί μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την θέρμανση θερμοκηπίων σε συνδυασμό με δεξαμενές αποθήκευσης νερού. Το νερό θερμαίνεται στους συλλέκτες και είτε κυκλοφορεί αμέσως εντός του θερμοκηπίου με κατάλληλες σωληνώσεις ή αποθηκεύεται κάπου για να χρησιμοποιηθεί όταν χρειασθεί.

Διάφορα τέτοια πειραματικά θερμοκήπια έχουν κατασκευαστεί. Ο λόγος της επιφάνειας των συλλεκτών προς την επιφάνεια του θερμοκηπίου ποικίλει από 0,05 σε 0,32 m²/m², ενώ ο λόγος του όγκου της δεξαμενής αποθήκευσης νερού προς την επιφάνεια του θερμοκηπίου ποικίλει από 0,02 σε 0,08 m³/m².

Η κάλυψη των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου ποικίλει από 30 έως 60% με τα συστήματα αυτά.

Στην περίπτωση χρησιμοποίησης συλλεκτών θέρμανσης αέρα και αποθήκευσης της θερμότητας σε κλίνη από πέτρες, που συνήθως κατασκευάζονται κάτω από το θερμοκήπιο, η επιφάνεια των συλλεκτών ποικίλει από 0,08 έως 0,46 m² ανά m επιφάνειας του θερμοκηπίου και όγκος της κλίνης από 0,05 έως 0,28 m³ ανά m² επιφάνειας του θερμοκηπίου.

2.8.B.2 Πλαστικοί συλλέκτες ηλιακής ενέργειας

Απλοί και φθηνοί πλαστικοί ηλιακοί συλλέκτες έχουν χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση θερμοκηπίων.

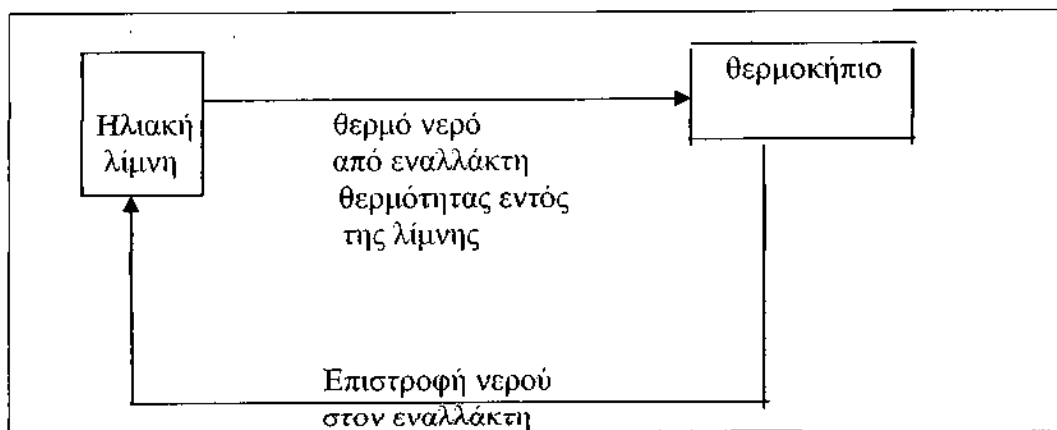
Οι πλαστικοί ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να θερμάνουν αέρα ή νερό, που στη συνέχεια είτε αμέσως ή εμμέσως μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση του θερμοκηπίου.

Το κύριο χαρακτηριστικό των πλαστικών ηλιακών συλλεκτών είναι η απλότητα και το φθινό κόστος κατασκευής τους. Μπορούν να επιτύχουν κάλυψη των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου κατά 30 - 50%. Όμως φθείρονται εύκολα και συνεπώς το κόστος συντήρησής τους είναι υψηλό.

2.8.B.3 Δυνατότητα θέρμανσης με ηλιακές λίμνες

Ηλιακή λίμνη θεωρείται κάθε διάταξη αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας που σχετίζεται με την απορρόφηση και την αποθήκευση της σε μάζες νερού. Σε μια ηλιακή λίμνη μπορούν να επιτευχθούν θερμοκρασίες που πλησιάζουν τους 100 °C, ενώ για την θέρμανση θερμοκηπίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί θερμό νερό θερμοκρασίας 50 – 55 °C ή και χαμηλότερης.

Ο βαθμός απόδοσης της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας στην ηλιακή λίμνη είναι σχετικά χαμηλός και κυμαίνεται μεταξύ 15 – 22 %. Ένας υπόγειος εναλλάκτης θερμότητας τοποθετημένος στον πυθμένα της ηλιακής λίμνης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμού νερού, το οποίο στη συνέχεια με ένα επιδαπέδιο σύστημα σωλήνων μπορεί να θερμάνει το θερμοκήπιο.



Σχήμα 2.8

Εφαρμογή των ηλιακών λιμνών για την θέρμανση θερμοκηπίων δεν έχουν αναφερθεί στην Ευρώπη, υπάρχουν όμως πειραματικές διατάξεις σε διάφορα σημεία του κόσμου. Η ηλιακή λίμνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για την κάλυψη όλων των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου είτε για την κάλυψη των θερμικών αναγκών βάσης.

2.8.Γ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης είναι πιο αποτελεσματικά από τα αντίστοιχα ενεργητικά για τους εξής λόγους :

1. έχουν χαμηλότερο αρχικό κόστος κατασκευής και χαμηλότερο κόστος λειτουργίας
2. τα ενεργητικά συστήματα απαιτούν την ύπαρξη κάποιας έκτασης δίπλα στο θερμοκηπιο για την τοποθέτηση των ηλιακών συλλεκτών
3. για μικρής κλίμακας εφαρμογές τα παθητικά συστήματα υπερτερούν σαφώς των ενεργητικών συστημάτων
4. τα ηλιακά συστήματα δεν αποδίδουν σε περιπτώσεις πολυήμερης συνεχούς νέφωσης

Οποσδήποτε όμως πριν την επιλογή του καταλληλότερου ηλιακού συστήματος θέρμανσης απαιτείται πολύ-κριτηριακή αξιολόγηση όλων των δυνατών εναλλακτικών λύσεων.

Πίνακας 2.4

Ποσοστό κάλυψης των συνολικών αναγκών θέρμανσης θερμοκηπίων με διάφορα παθητικά συστήματα

Σύστημα	Βαθμός κάλυψης θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου	Επιτυγχανόμενες θερμοκρασίες εντός του θερμοκηπίου υπεράνω της ελάχιστης εξωτερικής θερμοκρασίας του αέρα
Σύστημα αποθήκευσης θερμότητας σε δοχεία νερού	20 - 75%	2 - 4 °C
Αποθήκευση σε υλικά με υψηλή λανθάνουσα θερμότητα	20 - 75%	-
Αποθήκευση στο υπέδαφος	30-60%	3 - 10 °C
Αποθήκευση στο υπέδαφος σε χαλίκι	20 - 70%	4 - 20 °C
Άλλοι τρόποι αποθήκευσης θερμότητας	14 - 82%	1 - 20 °C

2.9 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

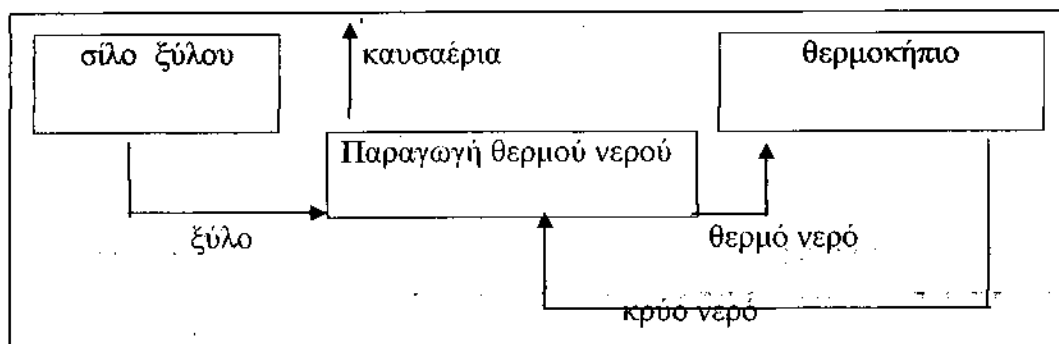
Η θέρμανση θερμοκηπίων με βιομάζα περιλαμβάνει τη θέρμανση :

- με ξύλο
- με ελαιοπυρηνόξυλο
- με βιοαέριο

2.9.A Θέρμανση με ξύλο

Ίσως ο πιο παλιός τρόπος θέρμανσης των θερμοκηπίων είναι με ξύλα. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή σε κατάλληλα σημεία του θερμοκηπίου τοποθετούνται ξυλόσομπες, όπου με την καύση ξύλων παράγεται θερμότητα και επιτυγχάνεται η ανύψωση της θερμοκρασίας εντός του χώρου του θερμοκηπίου.

Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα συστήματα κεντρικής θέρμανσης με καυστήρες που καταναλώνουν ξύλο και το παραγόμενο θερμό νερό με κατάλληλο σύστημα επιδαπέδιας θέρμανσης θερμαίνει τον χώρο του θερμοκηπίου. Ένα τέτοιο σύστημα θέρμανσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.θ Πλεονέκτημα του συστήματος αυτού είναι το χαμηλό κόστος στην περίπτωση που ο καλλιεργητής έχει διαθέσιμες δωρεάν μεγάλες ποσότητες ξύλου, γιατί εφόσον το αγοράζει, η τιμή του δεν είναι χαμηλή. Μειονέκτημα του συστήματος είναι η αδυναμία της αυτόματης τροφοδοσίας της πρώτης ύλης στον καυστήρα.



σχήμα 2.9

παραγωγή θερμού νερού με ξύλο για την θέρμανση θερμοκηπίου

2.9.A.1 Δημιουργία ενεργειακών φυτειών και χρήση του παραγόμενου ξύλου για την θέρμανση θερμοκηπίου

Η δημιουργία ενεργειακών φυτειών και η χρήση του ξύλου για θέρμανση θερμοκηπίων αποτελεί μια ρεαλιστική προοπτική σήμερα.

Σε ένα ερευνητικό πρόγραμμα που εκτελείται στο Μεσογειακό Αγρονομικό Ινστιτούτο Χανίων επεξεργασμένα αστικά Λύματα από μια μονάδα βιολογικής επεξεργασίας Λυμάτων χρησιμοποιούνται για την άρδευση και Λίπανση μι φυτείας που αποτελείται από Λεύκες, ευκάλυπτους και πλατάνους. Μετά ι ανάπτυξη των δένδρων αυτών, κατά τακτικά χρονικά διαστήματα θα συλλέγεται η ξυλώδης βιομάζα, η οποία θα μπορεί να χρησιμοποιείται για ι τροφοδοσία ενός καυστήρα καύσης της βιομάζας που θερμαίνοντας νερό επιτυγχάνει τη θέρμανση θερμοκηπίων.

Σε μια τέτοια περίπτωση επιθυμία είναι να χρησιμοποιούνται είδη δένδρων ταχείας ανάπτυξης για την επίτευξη υψηλής παραγωγικότητας των εδαφών σε βιομάζα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η διάθεση στο έδαφος των επεξεργασμένων λυμάτων αντί της διάθεσής τους σε υδάτινο αποδέκτη και η επαναχρησιμοποίηση του νερού και των θρεπτικών συστατικών.

2.9.A.2 Χρήση υπολειμμάτων ξύλου σαν καύσιμο για την θέρμανση θερμοκηπίων

Σε ένα θερμοκήπιο στην Ολλανδία υπολείμματα ξύλου ανακυκλώνονται και χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου. Έτσι ξύλα απο κτίρια που καταδαφίζονται, υπολείμματα ξυλουργείων, υπολείμματα κήπων αφού πρώτα τεμαχισθούν σε μικρά κομμάτια με ειδική μηχανή, χρησιμοποιούνται σε ένα φούρνο σαν καύσιμο.

Τα αέρια καύσεως που εξέρχονται από τον φούρνό διέρχονται από έναν κυκλώνα που κατακρατεί τα αέρια σωματίδια πριν διοχετευθούν στο περιβάλλον. Τα ξύλα αφού μεταφερθούν στη μονάδα, τεμαχίζονται σε μικρά κομμάτια και τοποθετούνται σε ένα σιλό. Και από εκεί με ένα ατέρμονα κοχλία μεταφέρονται στο φούρνο καύσεως. Ο Λέβητας παράγει θερμό νερό θερμοκρασίας 90 - 110 °C που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του θερμοκηπίου. Τα οικονομικά της μεθόδου αυτής είναι ικανοποιητικά για μεγάλου μεγέθους μονάδες.

2.9.A.3 Αεριοποίηση ξύλου και χρήση του παραγόμενου καυσίμου για θέρμανση θερμοκηπίων

Σε ένα θερμοκήπιο αγγουριών στην Ολλανδία, ξύλο αεριοποιείται και τα παραγόμενα αέρια χρησιμοποιούνται σαν καύσιμο για τη θέρμανση του θερμοκηπίου. Χρησιμοποιούνται υπολείμματα ξύλου ή μικρά τεμάχια ξύλο υπό μορφή σφαιριδίων.

Το σύστημα αποτελείται από:

- α) Μια αποθήκη ξύλου
- β) Ένα σύστημα μεταφοράς του ξύλου με ατέρμονα κοχλία
- γ) Το σύστημα αεριοποίησης του ξύλου
- δ) Το φούρνο καύσεως των αερίων που παράγονται
- ε) Το σύστημα καθαρισμού

Στο σύστημα αεριοποίησης το ξύλο καίγεται σε αναλογία μικρότερη από την στοιχειομετρική και παράγεται CO. Το παραγόμενο αέριο καίγεται σε ένα φούρνο υποκαθιστώντας το φυσικό αέριο. Τα καυσαέρια μετά τον φούρνο διέρχονται δια μέσω κυκλώνα και φίλτρου πριν διατεθούν στην ατμόσφαιρα. Έτσι κατακρατούνται διάφορα στερεά σωματίδια. Η απόδοση του συστήματος καύσης όταν χρησιμοποιείται φυσικό αέριο είναι 85% και όταν χρησιμοποιείται το αέριο από την αεριοποίηση του ξύλου κυμαίνεται μεταξύ 67 - 89% , εξαρτώμενη από το ποσοστό H₂ στο αέριο καύσης. Το σύστημα αυτό θέρμανσης είναι οικονομικά συμφέρον για μεγάλες θερμοκηπιακές μονάδες.

2.9.B ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕ ΕΛΑΙΟΠΥΡΗΝΟΞΥΛΟ

Μια σχετικά νέα μέθοδος θέρμανση με χρήση βιομάζας αποτελεί η θέρμανση με ελαιοπυρηνόξυλο. Το πυρηνόξυλο από κατάλληλα σιλό μεταφέρεται σε ένα καυστήρα / λέβητα, και το θερμό νερό που παράγεται κυκλοφορώντας σε επιδαπέδιο σύστημα σωληνώσεων που βρίσκεται εντός του θερμοκηπίου θερμαίνει το χώρο. Το πυρηνόξυλο μεταφέρεται αυτόματα σε μια κοχλιωτή έλικα του Αρχιμήδη στον καυστήρα, ενώ με ένα ανεμιστήρα διοχετεύεται αέρας στον καυστήρα για να διευκολύνει την καύση. Στην περίπτωση επιδαπέδιου συστήματος πλαστικών σωληνώσεων, η θερμοκρασία του θερμού νερού κυμαίνεται στους 55 °C , και η θερμοκρασία του νερού επιστροφής 5 – 8 °C χαμηλότερα . Σημαντικό πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι ότι αυτοματοποιούνται πλήρως και μπορούν να επιτύχουν πλήρη έλεγχο της θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου.

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν τα θερμοκήπια βρίσκονται κοντά σε ελαιοπαραγωγικές περιοχές , που υπάρχει διαθέσιμο ελαιοπυρηνόξυλο , διαφορετικά η μεταφορά του κοστίζει αρκετά.

Τα συστήματα αυτά βρίσκουν τελευταία πολλές εφαρμογές στην Κρήτη αλλά και αλλού για θέρμανση κτιρίων και θερμοκηπίων, καθώς παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα όπως :

1. χαμηλό κόστος καυσίμου
2. δυνατότητα πλήρους αυτοματοποίησης
3. το πυρηνόξυλο αποτελεί μια εγχώρια ενεργειακή πρώτη ύλη

Έτσι συνηθίζεται ο καλλιεργητής να φροντίζει για την μεταφορά του πυρηνόξυλου από ένα πυρηνελαιουργείο της περιοχής του σε μια αποθήκη δίπλα στο θερμοκήπιο. Η αποθήκη πρέπει να είναι στεγασμένη για να αποφεύγονται τα φαινόμενα ύγρανσης του πυρηνόξυλου με τις βροχοπτώσεις, γιατί τότε είναι δύσκολος ο αποτελεσματικός χειρισμός του. Από την αποθήκη το πυρηνόξυλο μεταφέρεται με μια έλικα του Αρχιμήδη σε κατάλληλο σιλό και από εκεί πάλι με τον ίδιο μηχανισμό στον καυστήρα. Όταν το θερμοκήπιο που χρησιμοποιεί ελαιοπυρηνόξυλο βρίσκεται κοντά σε κατοικημένες περιοχές, μπορούν να παρουσιασθούν προβλήματα με τους κατοίκους της περιοχής για δύο κυρίως λόγους.

Πρώτον, λόγω δυσοσμίας του πυρηνόξυλου που βρίσκεται στην αποθήκη και δεύτερον λόγω του καπνού που εξέρχεται από την καμινάδα του καυστήρα. Ο καλλιεργητής, ενώ στην πρώτη περίπτωση δεν μπορεί να παρέμβει αποτρεπτικά, στην δεύτερη θα πρέπει να εγκαταστήσει ένα σύστημα μείωσης του καπνού και των σωματιδίων που έρχονται από την καπνοδόχο στην ατμόσφαιρα.

Πίνακας 2.5

Παραγωγή ελαιοπυρηνόξυλου σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας

ΠΕΡΙΟΧΕΣ	tn / ΕΤΟΣ
ΑΤΤΙΚΗ	8081
ΥΠ. ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ	46925
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	134908
ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ	37405
ΗΠΕΙΡΟΣ	4331
ΘΕΣΣΑΛΙΑ	16786
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ	7087
ΘΡΑΚΗ	913
ΝΗΣΙΑ ΑΙΓΑΙΟΥ	37280
ΚΡΗΤΗ	109038
ΣΥΝΟΛΟ ΕΛΛΑΔΟΣ	402754

Ο καυστήρας του πυρηνόξυλου θα πρέπει να συντηρείται τακτικά και σωστά. Παρουσιάζεται το φαινόμενο στον εναλλάκτη θέρμανσης του νερού να επικάθονται εξωτερικά στις σωληνώσεις σωματίδια σκόνης, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας. Η σωστή συντήρηση καυστήρα - λέβητα περιλαμβάνει την τακτική απομάκρυνση των επικαθίσεων από τις σωληνώσεις διέλευσης του νερού.

Στον Πίνακα 2.5 παρουσιάζεται η παραγωγή ελαιοπυρηνόξυλου σε διάφορα διαμερίσματα της χώρας. Παρατηρούμε ότι στα βόρεια διαμερίσματα της χώρας, Ηπειρο, Μακεδονία, Θράκη, όπου το κλίμα είναι πιο ψυχρό απαιτείται πιο συστηματική θέρμανση θερμοκηπίων απ' ότι στην Κρήτη, παραγωγή του ελαιοπυρηνόξυλου είναι χαμηλή και συνεπώς η μέθοδος θέρμανσης με το καύσιμο αυτό δεν είναι πρακτικά εφαρμόσιμη.

Θερμοκήπιο στα Χανιά εμβαδού 1.050 m² , έχει εγκατεστημένη ισχύ ηλεκτρικών συσκευών 6,81 kW και η ετήσια καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια υπολογίστηκε σε 8.195 kWh.

Στον πίνακα 2.6 παρουσιάζεται το ενεργειακό ισοζύγιο του θερμοκηπίου, ενώ στον πίνακα 2.7 κατασκευαστικά στοιχεία του τοίχου στη βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου.

Από τις ετήσιες συνολικές ενεργειακές του εισροές το 5.3 % αφορά ηλεκτρική ενέργεια και το 94,7 % ηλιακή ενέργεια και βιομάζα.

Πίνακας 2.6

Ενεργειακό ισοζύγιο θερμοκηπίου θερμαινόμενου με ελαιοπηρυνόξυλο στα Χανιά Κρήτης

Ισχύς καυστήρα πυρηνόξυλου	150.000 kcal / h
Ώρες λειτουργίας ετησίως του καυστήρα	800
Αποδιδόμενη θερμότητα ετησίως από τον καυστήρα	120.000.000 kcal
Ετήσια κατανάλωση πυρηνόξυλου	34 tn
Ισοδύναμη ενέργεια	12
Ενέργεια που αποδίδεται από τον τοίχο στη βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου ετησίως	6.000.000 kcal
Συνολικά καταναλισκόμενη ετησίως θερμότητα για την θέρμανση του θερμοκηπίου	126.000.000 kcal
Ισοδύναμη ηλεκτρική ενέργεια ετησίως	146.510 kWh
Ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία των συσκευών του θερμοκηπίου	8195 kWh
Συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια ετησίως από το θερμοκήπιο	154.705 kWh
Ποσοστό καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ως προς την συνολικά καταναλισκόμενη ενέργεια στο θερμοκήπιο ετησίως	5,3 %

Πίνακας 2.7 Κατασκευαστικά στοιχεία του τοίχου στην βόρεια πλευρά

Μήκος	40 m
Ύψος	2 m
Πλάτος	0,50 m
Όγκος	40 m ³
Πυκνότητα	1800 kg / m ³
Ειδική θερμότητα	0.2 kcal / kg °C
Αποδιδόμενη θερμότητα ετησίως	6.000.000 kcal

Το θερμοκήπιο έχει στην βόρεια πλευρά του τοίχο αποθήκευσης θερμότητας, ο οποίος είναι μονωμένος εξωτερικά και εσωτερικά είναι βαμμένος μαύρος. Η κατασκευή του είναι με πλίνθους και μπετόν και το πάχος είναι 50 cm. Αποτελεί ένα συμπληρωματικό ηλιακό παθητικό σύστημα θέρμανσης του θερμοκηπίου.



σύστημα θέρμανσης θερμοκηπίου με βιομάζα (πυρηνόξυλο). Διακρίνεται ο καυστήρας / λέβητας , η αντλία κυκλοφορίας νερού και στην δεξιά πλευρά ο κοχλίας τροφοδοσίας του καυστήρα με πυρηνόξυλο

2.9.Γ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕ ΒΙΟΑΕΡΙΟ

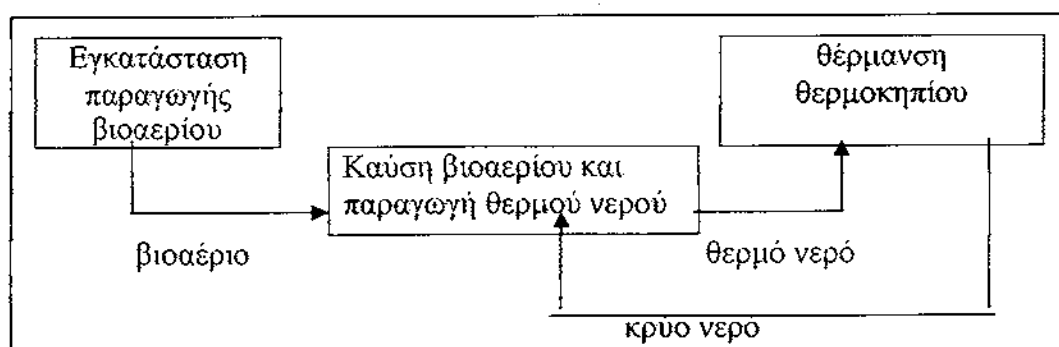
Η θέρμανση θερμοκηπίων μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση βιοαερίου. Το σύστημα θέρμανσης με βιοαέριο είναι ανάλογο με το σύστημα θέρμανσης που χρησιμοποιεί υγραέριο. Το βιοαέριο μπορεί να προέρχεται από :

1. χώρους υγειονομικής ταφής στερεών απορριμάτων
2. εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης ιλύος μονάδων επεξεργασίας αστικών λυμάτων
3. εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης κτηνοτροφικών αποβλήτων
4. εγκαταστάσεις αναερόβιας χώνευσης βιομηχανικών αποβλήτων πλούσιων σε οργανικό φορτίο π.χ. αποβλήτων ελαιουργείων

Στην Ελλάδα σήμερα βιοαέριο παράγεται σε λίγες εγκαταστάσεις με τις μεθόδους 1 και 2.

Το βιοαέριο είναι πλούσιο σε μεθάνιο (CH_4) και συνήθως όταν παράγεται περιέχει προσμίξεις δύσοσμων και διαβρωτικών αερίων.

Τα αέρια αυτά θα πρέπει να απομακρυνθούν πριν την χρήση του, διότι διαφορετικά θα προκαλέσουν διάβρωση του καυστήρα και του λέβητα. Η θερμογόνο δύναμη του βιοαερίου είναι περίπου $5000 \text{ kcal} / \text{m}^3$. Για να είναι συμφέρουσα η χρήση του βιοαερίου θα πρέπει το θερμοκήπιο που θα θερμανθεί να βρίσκεται πλησίον της εγκατάστασης παραγωγής του, για να αποφεύγεται η αποθήκευση και η μεταφορά του.



σχήμα 2.10

θέρμανση θερμοκηπίου με τη χρήση βιοαερίου

2.10 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Πρόκειται για την ενέργεια που παράγεται στο υπέδαφος και μεταφέρεται στην επιφάνεια του εδάφους μέσω διαφόρων ρευστών (κυρίως νερού), τα οποία βρίσκουν φυσική διέξοδο από τα βάθη της γης προς την επιφάνεια ή ανεβαίνουν με ειδικές γεωτρήσεις.

Η γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας ($\Theta < 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$) που εντοπίζεται μακριά από κατοικημένες περιοχές , προσφέρεται αποκλειστικά και για γεωργικές χρήσεις, ενώ η γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας ($\Theta = 150 - 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$) συμφέρει για παραγωγή ηλεκτρισμού.

Το γεωθερμικό ρευστό μπορεί να μεταφερθεί από την πηγή στο χώρο του θερμοκηπίου και να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση είτε άμεσα είτε έμμεσα. Εφ' όσον το γεωθερμικό ρευστό είναι σχετικά καθαρό από χημικές προσμίξεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί απ' ευθείας για θέρμανση με την κυκλοφορία του σε επιδαπέδιους σωλήνες από ειδικό πλαστικό.

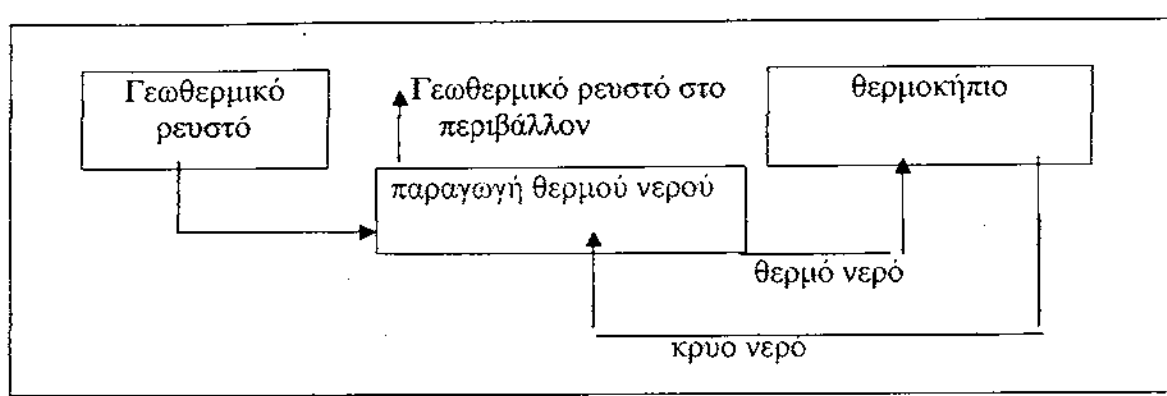
Εάν όμως περιέχει αρκετές ρυπογόνες ουσίες, ενδείκνυται η χρησιμοποίηση εναλλάκτη θερμότητας για θέρμανση νερού και χρήση του θερμού νερού για την θέρμανση του θερμοκηπίου.

Σε ορισμένες περιπτώσεις το γεωθερμικό ρευστό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη των θερμικών αναγκών βάσης του θερμοκηπίου και μια άλλη πηγή θέρμανσης π.χ. Μαζούτ για κάλυψη των αναγκών αιχμής.

Τα αέρια που συνήθως εξέρχονται από μια γεωθερμική πηγή είναι H_2S , CO_2 , CH_4 , NH_3 και συνήθως δημιουργούν προβλήματα αέριας ρύπανσης εφ' όσον δεν αντιμετωπισθούν κατάλληλα.

Είναι επίσης πιθανό το γεωθερμικό ρευστό να περιέχει ανεπιθύμητες προσμίξεις π.χ. άλμη, έτσι που να είναι δύσκολη η διάθεση του στο περιβάλλον, μετά την πρόσδοση της θερμότητας , χωρίς προηγούμενη κατεργασία.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η διαδικασία θέρμανσης θερμοκηπίου με γεωθερμικά ρευστά.

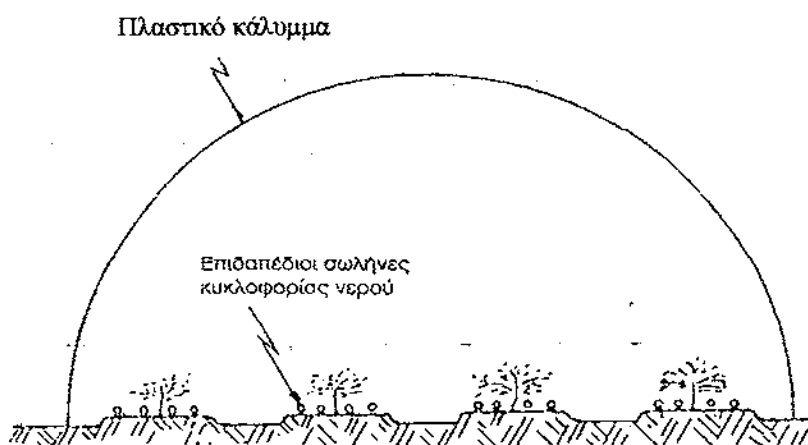


σχήμα 2.11

θέρμανση θερμοκηπίου με γεωθερμικό ρευστό

Τα γεωθερμικά ρευστά μετά την χρησιμοποίησή τους στο θερμοκήπιο πρέπει να διατεθούν στο περιβάλλον. Δεδομένου ότι συνήθως περιέχουν ρυπογόνες ουσίες π.χ. άλμη, διαλυμένα στερεά, μέταλλα εν διαλύσει κ.α. , δημιουργούνται προβλήματα για την διάθεσή τους σε κάποιο υδάτινο αποδέκτη λίμνη, ποτάμι, θάλασσα. Η πιο πρακτική λύση συνίσταται στη δημιουργία μιας νέας γεώτρησης σε κάποια απόσταση από την αρχική και η άντληση του χρησιμοποιημένου γεωθερμικού ρευστού (χαμηλότερης θερμοκρασίας) μέσω της νέας αυτής γεώτρησης στο υπόγειο στρώμα του γεωθερμικού ρευστού.

Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει στο κόστος κατασκευής του γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης να συνεκτιμηθεί το κόστος επαναφοράς του γεωθερμικού ρευστού στο υπόγειο στρώμα.



θέρμανση θερμοκηπίου με γεωθερμικό ρευστό που κυκλοφορεί σε επιδαπέδιους πλαστικούς σωλήνες

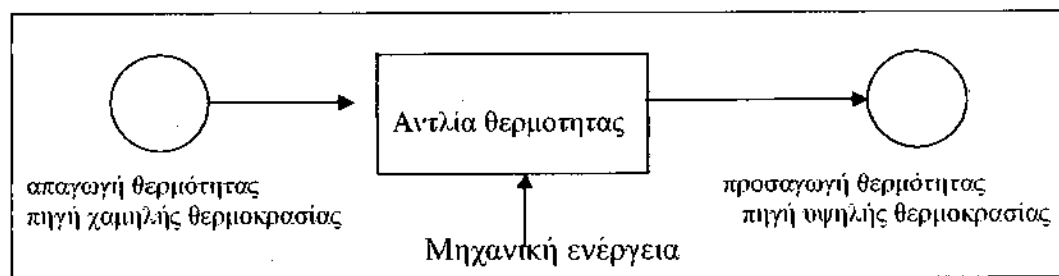
2.11 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η αντλία θερμότητας είναι μια κλιματιστική συσκευή, η οποία μπορεί να θερμάνει και να ψύξει ένα χώρο με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι αντλίες θερμότητας βρίσκουν όλο και περισσότερες εφαρμογές σήμερα στα κτίρια, στη βιομηχανία αλλά και στη γεωργία. Το κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι ο βαθμός απόδοσης τους όπου :

Βαθμός απόδοσης = προσδιδόμενη ενέργεια / καταναλισκόμενη ενέργεια

είναι μεγαλύτερος της μονάδας και συνεπώς πρόκειται για συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας.

Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας φαίνεται στο σχήμα 2.12



Σχήμα 2.12

Αρχή λειτουργίας αντλίας θερμότητας

Αν Q_1 είναι η θερμότητα που απάγεται,

Q_2 είναι η θερμότητα που προσάγεται

και W το μηχανικό έργο που καταναλώνεται,

τότε $Q_2 = Q_1 + W$

και ο βαθμός απόδοσης είναι $\frac{Q_2}{W} = \frac{Q_1 + W}{W} = \frac{Q_1}{W} + 1 > 1$

Οι αντλίες θερμότητας κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με την πηγή απαγωγής θερμότητας και την πηγή προσαγωγής θερμότητας

Έτσι έχουμε αντλίες θερμότητας:

Αέρα - Αέρα

Αέρα - Νερού

Νερού - Νερού

Νερού - Αέρα

Εδάφους - Νερού κλπ.

Ενδεικτικά οι βαθμοί απόδοσής τους είναι:

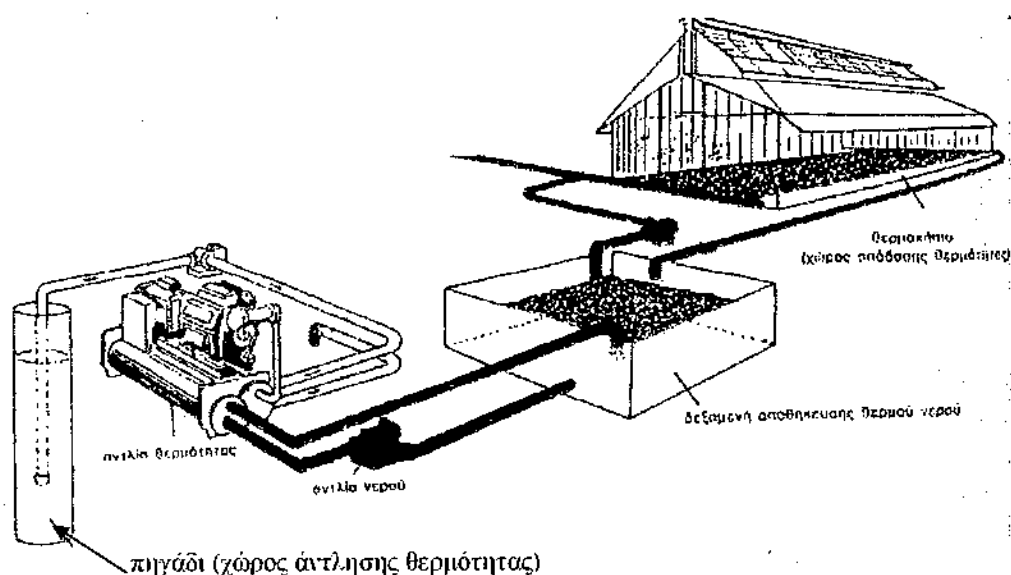
Αέρα - Αέρα : 2,5 – 3,5

Αέρα - Νερού : 3,0 – 3,5

Νερού - Νερού : 3,0 – 4,5

Νερού - Αέρα : 3,0 – 4,0

Εδάφους - Νερού : 3,0 – 4,0



θέρμανση θερμοκηπίου με αντλία θερμότητας νερού - νερού

Οι αντλίες θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση θερμοκηπίων είτε με τη θέρμανση αέρα και την κυκλοφορία του εντός του θερμοκηπίου είτε με τη θέρμανση νερού και την κυκλοφορία του με επιδαπέδιο σύστημα θέρμανσης εντός του θερμοκηπίου.

Τα πλεονεκτήματα της θέρμανσης θερμοκηπίων με αντλίες θερμότητας είναι τα εξής :

1. επιτυγχάνεται ακριβής έλεγχος της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου και το σύστημα αυτοματοποιείτε πλήρως.
2. επειδή ο βαθμός απόδοσης είναι μεγαλύτερος του 1, το κόστος λειτουργίας του συστήματος δεν είναι τόσο υψηλό όσο όταν χρησιμοποιούνται ηλεκτρικές σόμπες για την θέρμανση του θερμοκηπίου

Τα μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών είναι :

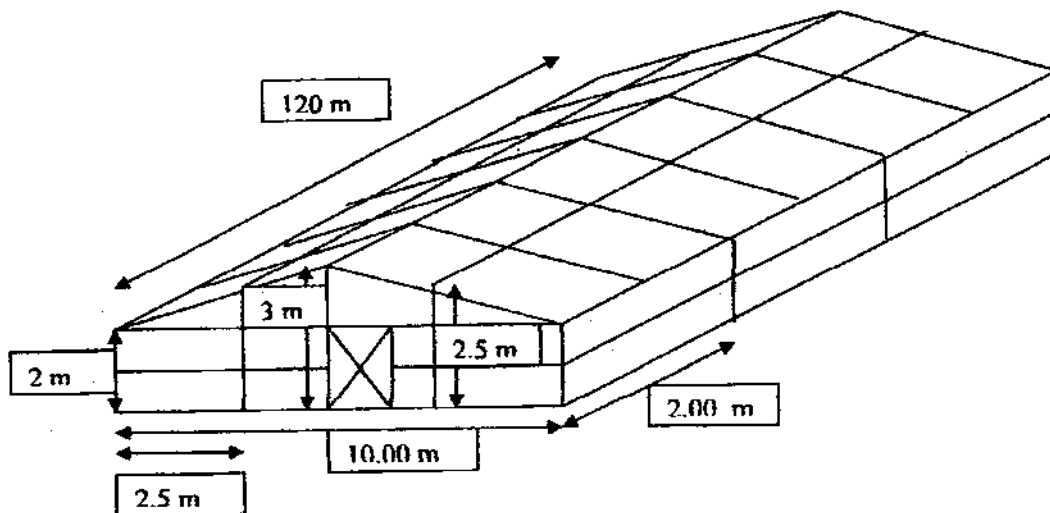
1. το υψηλό κόστος εγκατάστασης.
2. το σύστημα είναι σύνθετο και στην περίπτωση βλάβης απαιτείται ειδικό συνεργείο αποκατάστασης. Δεν είναι εύκολο για τον καλλιεργητή να επέμβει.
3. για αντλίες νερού – νερού ή νερού – αέρα απαιτείται η ύπαρξη πηγής νερού π.χ. γεώτρηση, λίμνη ή ποτάμι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το θερμοκήπιο στο οποίο θα γίνει ο κατάλληλος υπολογισμός απωλειών είναι τύπου “αμφίρρικτο απλό” .

Η στέγη του θερμοκηπίου του τύπου αυτού στηρίζεται σε 5 σειρές πασσάλων, δύο ακραίων, ύψους 2m, δύο ενδιάμεσων ύψους 2.5m, και μιας σειράς μεσαίων ύψους 3m. Η απόσταση μεταξύ των γραμμών των πασσάλων είναι 2.5m και οι πάσσαλοι πάνω στην γραμμή απέχουν 2m. Τα θερμοκήπια κατασκευάζονται σε πλάτος 10m και στο δε μήκος τους σε 120m.



Σχήμα 3.1 Διαστασιολογικό σκαρίφημα θερμοκηπίου

Τα θερμοκήπια αυτά παρουσιάζουν ικανοποιητική αντοχή στους ανέμους, έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής, μπορούν να κατασκευαστούν από ανειδίκευτους εργάτες, αλλά παρουσιάζουν μερικά μειονεκτήματα, από τα οποία το σοβαρότερο είναι ο μεγάλος αριθμός πασσάλων στήριξης της στέγης, που εμποδίζει τις καλλιεργητικές εργασίες. Εξάλλου η μικρή κλίση της στέγης δημιουργεί πολλά προβλήματα στις καλλιέργειες και στην ρύθμιση των κλιματικών συνθηκών.

▪ **στοιχεία θερμοκηπίου:**

Πλάτος	10 m
Μήκος	120 m
ύψος κορυφής	3.0 m
ύψος πλευρών	2.0 m
ύψος ενδιάμεσων	2.5 m
απόσταση στηρίξεων	2.5 m
απόσταση πασσάλων	2.0 m
συνολική επιφάνεια	1200 m ²

▪ **Κάλυψη :**

Η κάλυψη του θερμοκηπίου θα γίνει με **ondex** για τις κάθετες επιφάνειες και με **διπλό πλαστικό** για την οροφή οι λόγοι για την επιλογή αυτών των υλικών αναλύονται παρακάτω.

1. Τα φύλλα **ondex** είναι υλικό εξαιρετικής μηχανικής αντοχής και μεγάλη διάρκεια ζωής. Έχουν πολύ μεγάλη φωτεινή διαπερατότητα 90%; που διαρκεί για χρόνια. Παρέχεται εγγύηση 10 χρόνια για την φωτεινή διαπερατότητα μεγαλύτερη από 80%.

Τα φύλλα **ondex** επιτρέπουν τη διάχυση του φωτός χωρίς να δημιουργούν σκιές και επιτρέπει την είσοδο της υπέρυθρης ακτινοβολίας ενώ εμποδίζει την υπερϊώδη ακτινοβολία και τις μακριές υπέρυθρες ακτίνες που ακτινοβολούνται από το

έδαφος κατά την διάρκεια της νύχτας. Έτσι δημιουργεί το "φαινόμενο του θερμοκηπίου", συγκρατεί την θερμότητα του θερμοκηπίου, μειώνει τις απώλειες θερμότητας και μειώνει την κατανάλωση καυσίμων. Επίσης έχουν εξαιρετική διαπερατότητα στις ορατές ακτινοβολίες που δημιουργούν την φωτοσύνθεση για αυτό συντελούν στην άριστη και αποδοτική ανάπτυξη των φυτών.

Τα φύλλα ondex είναι ανθεκτικά στα χημικά, οξέα, αλκαλικά, λάδια, απορρυπαντικά, αλλά και στο αλάτι, τον θαλασσινό αέρα και την μόλυνση.

Επίσης αντέχουν στο πολύ κρύο (-40. °C). Τα φύλλα ondex δεν είναι εύφλεκτα, αντέχουν στο χιόνι και σε άνεμο 190 Km/h. Αντέχουν στην κρούση με χαλάζι διαμέτρου 20 mm με ταχύτητα 80 Km/h.

Επίσης έχουν ασφαλή και ανθεκτική συμπεριφορά στο χιόνι (90 Kg/m²) και στον άνεμο (ταχύτητα ανέμου 193Km/h).

2. Το κάλυμμα από φύλλο πολυαιθυλενίου είναι πολύ ελαστικότερο από οποιοδήποτε άλλο υλικό κάλυψης με αποτέλεσμα η όλη κατασκευή μικρότερη να μπορεί να αντέξει σε μεγάλες καταπονήσεις.

Το στρώμα αέρος που δημιουργείται με την βοήθεια αεραντλιών ανάμεσα στα δύο φύλλα του πολυαιθυλενίου αυξάνει την θερμομονωτικότητα του θερμοκηπίου και εξαφανίζει το πρόβλημα της έντονης συμπύκνωσης των υδρατμών, με την παρεμβολή του στρώματος του αέρος ανάμεσα στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου και στο περιβάλλον.

Στο θερμοκήπιο το οποίο θα μελετήσουμε, καλλιεργούμε τομάτα, οπότε από τον πίνακα 6.2 για την θερμοκρασία καλλιέργειας εντός του θερμοκηπίου θα δεχόμαστε την άριστη τιμή για την μέρα 21 έως 16 °C, εμείς λαμβάνουμε 22°C, και για την εξωτερική θερμοκρασία παίρνουμε -7 °C.

Η θερμοκρασία -5,5 °C είναι η ελάχιστη θερμοκρασία που έχει σημειωθεί στην περιοχή της Αθήνας και την δεχόμαστε από τον πίνακα 6.1.

Επομένως για τους υπολογισμούς μας θα δεχόμαστε :

$$t_{es} = 22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{ex} = -5,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Πίνακας 3.1 Μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες ανά περιοχή

	ελαχ. θερμ. °C	μεγ. θερμ. °C
Θεσσαλονίκη	-7.0	+41.8
Αθήνα	-5.5	+43.0
Πάτρα	-5.0	+41.7
Χανιά	-1.0	+41.5
Ηράκλειο	-0.5	+45.7
Καλαμάτα	-3.4	+45.0

α/α	Είδος καλλιέργειας	Θερμοκρασία αέρα °c										Θερμοκρασία εδάφους στο θερμοκήπιο
		Φύτρωμα σπόρου		Ανάπτυξη φυτών στο σπορείο		Ανάπτυξη φυτών στο θερμοκήπιο						
		Ελάχιστη	Αριστη	Ελάχιστη βιολογική	Αριστη	Ημέρα			Νύχτα			
						Ελάχιστη βιολογική	Μέγιστη	Αριστη	Ελάχιστη βιολογική	Ελάχιστη θανατηφ.	Αριστη	
1	Τομάτα	9-10	29	8-10	10-16	13	32	21-26	8-10	0-1	14-17	15-17
2	Μελιτζάνα	12-14	29	8-10	16-18	10-12	30	22-25	8-10	0-1	16-17	15-17
3	Πιπεριά	12-15	29	10	16-18	10-12	30	20-29	8-10	0-1	16-18	15-17
4	Αγγούρι	13-15	32	8-10	25	10-14	30	20-25	10-13	2-4	18	20
5	Πεπόνι	14-16	30-34	8-10	25	12-14	28	20-22	8-10	2-4	18-20	20-22
6	Κολοκυθάκι	13-14	20-25	11-13	20-25	8-10	30-32	25-27	10	0-2	15-17	15-17
7	Φασολάκι	14-15	20-30	-	-	12-14	30	25-28	10	2-5	15-18	15-20
8	Μαρούλι	5-6	24	3-5	15	4-6	20-22	10-21	5-6	-3	7-10	10-12
9	Φράουλα	-	-	-	-	3-6	28	18-20	2-4	-1	12-14	10-15
10	Τριαντάφυλο	-	-	-	-	10-12	30	21-24	7-10	0-1	16-17	13-15
11	Γαρίφαλο	-	-	-	-	8-10	25	10-18	6-8	0-1	10-12	10-13
12	Χρυσάνθεμο	-	-	-	-	10-12	25	17-21	6-8	0-1	16-17	14

3.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΧΩΡΟΥ

3.2.1 Απώλειες επιφανειών θερμοκηπίου

- Δυτικός τοίχος :

$$Q_{\Delta} = S_{\Delta} * K_{\Delta}$$

$$S_{\Delta, \Delta} \longrightarrow \text{επιφάνεια δυτικού - ανατολικού τοίχου, } S = 10 * 2 + \frac{1}{2} * 10 * 1 \Rightarrow \\ \Rightarrow S = 25 \text{ m}^2$$

$$\text{Οπότε } Q_{\Delta} = 25 [\text{m}^2] * 4 [\text{w}/(\text{m}^2 * \text{ } ^\circ\text{C})] \Rightarrow Q_{\Delta} = 100 [\text{w}/^\circ\text{C}]$$

- Ανατολικός τοίχος :

$$Q_A = S_A * K_A \Rightarrow Q_A = 25 [\text{m}^2] * 4 [\text{w}/(\text{m}^2 * \text{ } ^\circ\text{C})] \Rightarrow Q_A = 100 [\text{w}/^\circ\text{C}]$$

- Βόρειος τοίχος :

$$Q_B = S_B * K_B$$

$$S_{B,N} \longrightarrow \text{επιφάνεια βόρειου - νότιου τοίχου, } S = 120 * 2 \Rightarrow S = 240 \text{ m}^2$$

$$\text{Οπότε } Q_B = 120 [\text{m}^2] * 4 [\text{w}/(\text{m}^2 * \text{ } ^\circ\text{C})] \Rightarrow Q_B = 480 [\text{w}/^\circ\text{C}]$$

Όμως λόγω βόρειου προσανατολισμού έχουμε και μια προσαύξηση της τάξης 5%

$$\text{Και τελικά θα έχουμε : } Q_B = 480 [\text{w}/^\circ\text{C}] * 0.05 + 480 [\text{w}/^\circ\text{C}] \Rightarrow \\ \Rightarrow Q_B = 504 [\text{w}/^\circ\text{C}]$$

- Νότιος τοίχος :

$$Q_N = S_N * K_N \Rightarrow 120 [\text{m}^2] * 4 [\text{w}/(\text{m}^2 * \text{ } ^\circ\text{C})] \Rightarrow Q_N = 480 [\text{w}/^\circ\text{C}]$$

- Σκεπή :

$$Q_{\Sigma\text{K}} = S_{\Sigma\text{K}} * K_{\Sigma\text{K}}$$

Το $S_{\Sigma\text{K}}$ θα ισούται με το συνολικό εμβαδόν του θερμοκηπίου.

$$S_{\Sigma\text{K}} = 1200 [\text{m}^2]$$

$$\text{Οπότε } Q_{\Sigma\text{K}} = 1200 [\text{m}^2] * 3 [\text{w}/(\text{m}^2 * \text{ } ^\circ\text{C})] \Rightarrow Q_{\Sigma\text{K}} = 3600 [\text{w}/^\circ\text{C}]$$

- Έδαφος :

$$Q_{\text{ΕΔ}} = S_{\text{ΕΔ}} * K_{\text{ΕΔ}} \Rightarrow Q_{\text{ΕΔ}} = 1200 [\text{m}^2] * 2.5 [\text{w}/(\text{m}^2 * \text{ } ^\circ\text{C})] \Rightarrow Q_{\text{ΕΔ}} = 3000 [\text{w}/^\circ\text{C}]$$

3.2.2 Απώλειες λόγω διαφυγών του αέρα από το θερμοκήπιο

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο αυτές οι απώλειες προέρχονται λόγω των κατασκευαστικών απωλειών του θερμοκηπίου και διαφυγών του αέρα από μικρέ οπές. Προέρχονται επίσης από την αλλαγή του αέρα από τα παράθυρα λόγω εξαερισμού. Οι απώλειες αυτές δίνονται από τον εξής τύπο:

$$Q_1 = 0.31 * n * V * \Delta t$$

V – η διερχόμενη από τις χαραμάδες παροχή αέρα [m³/h]

n – ο αριθμός των ανταλλαγών του αέρα

$$\Delta t = t_{εσ} - t_{εξ}$$

- Το μέγεθος V το παίρνουμε από τον πίνακα 6.3, δεχόμενοι για θύρα απλή μεταλλική και λαμβάνουμε την τιμή ίση με V = 1.5 [m³/mh]

Πίνακας 3.3 Ποσότητα αέρα W[m³/mh] ανά μονάδα χαραμάδας

Είδος Ανοίγματος (κατασκευή άριστη)	Από ξύλο ή συνθετικό	Από μέταλλα
Παράθυρα		
α) Χωρίς εξώφυλλα απλά	3.0	1.5
β) Με εξώφυλλα απλά	2.5	1.5
γ) Με διπλό τζάμι ή απλό αλλά αεροστεγές	2.0	1.2
Θύρες		
α) Θύρα απλή	3.0	1.5
β) Θύρα αεροστεγής	2.0	1.2
Εσωτερικές θύρες κοινές	40	
Εσωτερικές θύρες με στεγανότητα	20	

- Το μέγεθος n το δεχόμαστε από τον πίνακα 6.4 με δεδομένο ότι έχουμε νέα κατασκευή και διπλό πλαστικό, επομένως έχουμε την τιμή $n = 0.6$

Πίνακας 3.4 Αριθμός ανταλλαγών αέρα

n	
0.8-1	Για νέα κατασκευή – γυαλί
0.8-2.5	Για νέα κατασκευή – απλό πλαστικό
0.6-1.2	Για νέα κατασκευή – διπλό πλαστικό
1.5	Για παλιά κατασκευή – γυαλί (καλή συντήρηση)
2.5	Για παλιά κατασκευή – γυαλί (κακή συντήρηση)
50	Για ανοικτό θερμοκήπιο

Επομένως θα έχουμε : $Q_1 = 0.31 * n * V * (t_{εσ} - t_{εξ}) =>$

$$\Rightarrow Q_1 = 0.31 * 0.6 * 1.5 * (22 - (-5.5)) =>$$

$$\Rightarrow Q_1 = 7,672 \text{ Kcal/mh} =>$$

$$\Rightarrow Q_1 = 7672 \text{ [Kcal/h]}$$

3.2.3 Απώλειες λόγω εναλλαγής αέρα για την αναπνοή των φυτών

Στην περίπτωση αυτή λαμβάνουμε ότι πραγματοποιούνται 3 ανανεώσεις την ημέρα και 1.5 την νύχτα. Επίσης είναι γνωστό ότι η ειδική θερμότητα του αέρα είναι $q_a = 0,34$

Ο όγκος του θερμοκηπίου είναι :

$$V = 10 \text{ [m]} * 120 \text{ [m]} * 2 \text{ [m]} + \frac{1}{2} * 10 \text{ [m]} * 1 \text{ [m]} * 120 \text{ [m]} =>$$

$$\Rightarrow V = 2400 \text{ [m}^3\text{]} + 600 \text{ [m}^3\text{]} => V = 3000 \text{ [m}^3\text{]}$$

επομένως παίρνουμε τα εξής φορτία για μέρα και νύχτα αντιστοίχως :

$$Q_{\text{ημέρας}} = V * q_a * \text{εναλλαγές} = 3000 * 0,34 * 3 => Q_{\text{ημέρας}} = 3060 \text{ [W}^\circ\text{C]}$$

$$Q_{\text{νόχτας}} = V * q_a * \text{εναλλαγές} = 3000 * 0,34 * 1,5 \Rightarrow Q_{\text{νόχτας}} = 1530 \text{ [W/}^\circ\text{C]}$$

3.24 Συνολικές απώλειες ημέρας

$$\begin{aligned} Q_{\text{ολ.}(ημέρας)} &= Q_N + Q_B + Q_{\Delta} + Q_A + Q_{\Sigma K} + Q_{E\Delta} + Q_1 + Q_{\text{ημέρας}} \Rightarrow \\ \Rightarrow Q_{\text{ολ.}(ημέρας)} &= 480 + 504 + 100 + 100 + 3600 + 3000 + 7672 + 3060 \Rightarrow \\ \Rightarrow Q_{\text{ολ.}(ημέρας)} &= 18516 \text{ [W/}^\circ\text{C]} \end{aligned}$$

3.2.5 Συνολικές απώλειες νόχτας

$$\begin{aligned} Q_{\text{ολ.}(νόχτας)} &= Q_N + Q_B + Q_{\Delta} + Q_A + Q_{\Sigma K} + Q_{E\Delta} + Q_1 + Q_{\text{νόχτας}} \Rightarrow \\ \Rightarrow Q_{\text{ολ.}(νόχτας)} &= 480 + 504 + 100 + 100 + 3600 + 3000 + 7672 + 1530 \Rightarrow \\ \Rightarrow Q_{\text{ολ.}(νόχτας)} &= 16986 \text{ [W/}^\circ\text{C]} \end{aligned}$$

Οπότε οι συνολικές απώλειες του χώρου για ολόκληρο το εικοσιτετράωρο είναι

$$Q_{\text{συνολικό}} = Q_{\text{ολ.}(ημέρας)} + Q_{\text{ολ.}(νόχτας)} = 18516 + 16986 \Rightarrow Q_{\text{συνολικό}} = 35502 \text{ [W/}^\circ\text{C]}$$

3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ f

Η θέρμανση θα γίνει με συλλεκτες συστήματος θερμού αέρα, οπότε θα γίνει ο υπολογισμός της επιφάνειας των συλλεκτών A_c σύμφωνα με τη μέθοδο f

Για την εφαρμογή της μεθόδου f είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των φορτίων θέρμανσης χώρου L (GJ/mo) με βάση τις βαθμοημέρες κάθε μήνα.

Το μηνιαίο φορτίο L είναι ανάλογο του αριθμού των βαθμοημερών στη διάρκεια του μήνα

$$L = 24 \cdot (UA)_b \cdot D \cdot f_e \quad (3.1)$$

Όπου

D ο αριθμός βαθμοημερών του μήνα

$(UA)_b$ το γινόμενο του μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας και της περιβάλλουσας επιφάνειας του κτιρίου

f_e ο συντελεστής εξεικονόμησης ενέργειας, που ανάλογα με τη φύση του κτιρίου και για θέρμανση ολοκληρω το εικοσιτετράωρο λαμβάνεται ίσο με 1

Μια επιπλέον παράμετρος που θα επισέλθει στους υπολογισμούς μας είναι ότι η απαιτούμενη θερμοκρασιακή βάση είναι 22°C , οπότε οι βαθμοημέρες D θα προσδιοριστούν από τον τύπο

$$D = \{N \cdot \Delta T_b + (0.744 + 0.00387 \cdot D_a - 0.5 \cdot 10^{-6} \cdot D_a^2) \cdot N \cdot \exp[(\Delta T_b + 11.11) / 9.02]^2\}^+ \quad (3.2)$$

Όπου

D_a βαθμοημέρες με βάση 18°C

ΔT_b η διαφορά μεταξύ της νέας θερμοκρασιακής βάσης μείον τη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος το μήνα

N ο αριθμός ημερών του μήνα

Το σημείο + δείχνει ότι μόνο θετικές τιμές γίνονται δεκτές

Πίνακας 3.5 Μέση θερμοκρασία αέρα 24ώρου (°C)

ΖΩΝΗ	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	0	N	Δ	Μ.Ο.
1	13	13	5	17	21	26	28	28	25	22	18	15	20
2	11	12	3	16	20	25	27	27	24	20	16	13	19
3	11	12	3	16	20	25	27	27	24	20	16	13	19
4	8	9	1	16	20	25	27	27	23	18	14	9	17
5	5	7	0	14	20	24	27	27	23	17	12	7	16
6	4	6	9	15	20	24	27	24	22	16	11	6	15

Πίνακας 3.6 Βαθμομέρες θέρμανσης με βάση 18° C

ΖΩΝΗ	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	0	N	Δ	ΣΥΝΟΛΑ
1	127	147	131	78	-	-	-	-	-	10	52	130	720
2	264	224	196	85	10	-	-	-	-	29	96	206	1110
3	281	225	205	121	14	-	-	-	-	46	129	246	1267
4	310	263	251	128	25	-	-	-	-	65	166	277	1485
5	396	313	268	130	23	-	-	-	-	70	187	388	1725
6	405	349	300	189	69	-	-	-	-	73	276	404	2065

Τα αποτελέσματα για το φορτίο θέρμανσης του χώρου του θερμοκηπίου δείχνονται στον πίνακα 3.7

Πίνακας 3.7 Φορτίο για θέρμανση χώρου

	1	2	3	4	5	6	7
μήνες	Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος C (πιν 3.5, ζώνη 3)	Αριθμός ημερών N	ΔT_b 22 C - (1)	Αριθμός βαθμομερών με βάση 18C (πιν. 3.6, ζώνη 3)	Αριθμός βαθμομερών με βάση 22C (εξ 3.2)	(UA) ^b W/oC	Φορτίο Θέρμανσης Χώρου L (GJ/mo) εξ 3.1
I	11	31	11	1267	341,0566874	35502	1,0461E+12
Φ	12	28	10	1267	280,0870937	35502	8,5913E+11
M	13	31	9	1267	279,1600366	35502	8,5629E+11
A	16	30	6	1267	180,6109559	35502	5,54E+11
M	20	31	2	1267	64,78931043	35502	1,9873E+11
O	20	31	2	1267	64,78931043	35502	1,9873E+11
N	16	30	6	1267	180,6109559	35502	5,54E+11
Δ	13	31	9	1267	279,1600366	35502	8,5629E+11

Στη συνέχεια δεχόμαστε συλλεκτες τύπου II με 1 τζάμι και κλίση 45°, τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οποίου τα επιλέγουμε απο τον παρακάτω πίνακα 3.8, δηλαδή $F_R(\tau_a)_n = 0.75$, $F_R U_L = 5 (W/m^2 \cdot ^\circ C)$

Πίνακας 3.8 Χαρακτηριστικά μεγέθη διαφόρων συλλεκτών

Τύπος	Περιγραφή	$F_R(\tau_a)_n$	$F_R U_L (W/m^2 \text{ } ^\circ C)$
I	Μαύρο χρώμα 1 τζάμι	0,82	7,5
II	Μαύρο χρώμα 2 τζάμια ή επιλεκτική επιφάνεια 1 τζάμι	0,75	5,0'
III	Σωλήνες κενού	0,45	1,25
IV	Πλαστικός συλλέκτης χωρίς τζάμι και μόνωση (ταχύτητα ανέμου 2,2 m/s)	0,86	21,5

Επιπλέον τον συντελεστή $(\overline{\tau_a}) / (\tau_a)_n$ για ένα τζάμι και κλίση 45° το πέρνουμε από τον πίνακα 3.9

Πίνακας 3.9 Μέσες τιμές $(\tau_a)/(\tau_a)_n$ για 1 τζάμι

ΚΛΙΣΗ	0°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	80°	90°
I	0.79	0.85	0.88	0.91	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.94	0.93
Φ	0.84	0.88	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.91
M	0.88	0.91	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.91	0.89	0.86
A	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	0.90	0.88	0.84	0.78
M	0.93	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.88	0.84	0.78	0.71
I	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91	0.89	0.86	0.81	0.81	0.75	0.67
I	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.87	0.82	0.76	0.68
A	0.93	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.92	0.89	0.86	0.81	0.74
Σ	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.90	0.88	0.83
0	0.86	0.89	0.92	0.93	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.89
N	0.80	0.85	0.89	0.92	0.94	0.94	0.94	0.95	0.95	0.94	0.93
Δ	0.77	0.83	0.88	0.91	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.95	0.94

Κατά την μέθοδο των καμπύλων f , το ποσοστό f του μηνιαίου θερμικού φορτίου καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια εκφράζεται εμπειρικά με τη βοήθεια δυο αδειάζστατων συντελεστών X και Y

$$X = F_R U_L * (F'_R / F_R) * (T_{\text{αναφ}} - \bar{T}_a) * \Delta t * (A_c / L) * K_2 * K_3 \quad (3.3)$$

$$Y = F_R (\tau_a)_n * (F'_R / F_R) * (\bar{\tau}_a) / (\tau_a)_n * \bar{R} * \bar{H} * (A_c / L) * K_4 \quad (3.4)$$

A_c - επιφάνεια συλλεκτών (m^2)

F'_R / F_R - διορθωτικός συντελεστής συλλέκτη - εναλλάκτη

$F_R U_L$ και $F_R (\tau_a)_n$ - χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη από την καμπύλη απόδοσης

T_a - μέση μηνιαία θερμοκρασία ημέρας

$T_{\text{αναφ}}$ - θερμοκρασία αναφοράς ($100^\circ C$)

Δt - χρονική περίοδος κάθε μήνα σε sec

L - Μέσο μηνιαίο φορτίο σε J

H_T - μέση μηνιαία ακτινοβολία που προσπίπτει στο επίπεδο του συλλέκτη

$(\tau_a) / (\tau_a)_n$ - διορθωτικός συντελεστής

K_2 - συντελεστής χωρητικότητας δεξαμενής

K_3 - συντελεστής ζεστού νερού

K_4 - συντελεστής εναλλάκτη φορτίου

Τους συντελεστές K_2, K_3, K_4 , τους δεχόμαστε ίσους με 1

Το ποσοστό κάλυψης f το δεχόμαστε από τη σχέση 3.5

$$F = 1,040Y - 0,065X - 0,159Y^2 + 0,00187X^2 - 0,0095Y^3 \quad (3.5)$$

Για $0 < X < 18, 0 < Y < 3$

Το ποσοστό του μηνιαίου θερμικού φορτίου f που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια είναι συνάρτηση των δυο αδιάστατων παραγόντων X, Y που υπολογίζεται από τις εξισώσεις 3.3, 3.4, υπολογίζοντας όμως πρώτα τους λόγους $X/A_c, Y/A_c$. Στον παρακάτω πίνακα 3.10 φαίνονται οι αντίστοιχοι υπολογισμοί με τα εξής δεδομένα :

$$F_R'/F_R = 0,95$$

$$F_R U_L = 5 \text{ W / m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

$$F_R (\tau_a)_n = 0,75$$

$$K_2, K_3, K_4 = 1$$

Πίνακας 3.10 μέθοδος καμπύλων f

L [J/mο] *10 ⁹	Δt (sec) *10 ⁶	R	H*10 ⁶ J/m ²	Tα (°C)	(τα)/ (τα) n	Y/Ac [1/m ²]	X/Ac [1/m ²]	Y	X	f	f*1 *10 ⁹
104,6	2,68	1,655	220	12	0,94	0,0002 3	0,00107 0	1,04 8	4,81 8	0,37	38,7
85,9	2,42	1,38	259	13	0,94	0,0002 8	0,00116 4	1,25 3	5,23 8	0,45	38,7
85,6	2,68	1,16	400	14	0,93	0,0003 6	0,00127 8	1,61 5	5,75 3	0,61	52,2
55,4	2,59	0,965	493	18	0,93	0,0005 7	0,00182 0	2,56 0	8,19 4	0,87	48,1
19,8	2,68	0,84	684	21	0,91	0,0018 8	0,00506 0	8,43 5	22,7 7	0,95	18,8
19,8	2,68	1,355	367	21	0,94	0,0016 8	0,00506 0	7,54 1	22,7 7	0,97	19,2
55,4	2,59	1,61	241	17	0,94	0,0004 7	0,00184 3	2,11 0	8,29 4	0,72	39,8
85,6	2,68	1,7	187	14	0,94	0,0002 5	0,00127 8	1,11 8	5,75 3	0,35	29,9

Το συνολικό φορτίο για τη θέρμανση χώρου είναι $\Sigma L = 407,5 \text{ GJ}$, το συνολικό γινόμενο f^*I είναι $\Sigma f^*I = 2,85 \cdot 10^{11}$, οπότε η μέση ετήσια κάλυψη θα είναι

$$\text{μέση ετήσια κάλυψη} = \Sigma f^*I / \Sigma L = 0,70 \text{ ή } 70\%$$

Παρατηρούμε ότι η κάλυψη είναι ικανοποιητική και δεδομένου ότι οι υπολογισμοί των παραμέτρων X, Y έγιναν με επιφάνεια συλλεκτών $A_C = 450\text{m}^2$ δεχόμαστε την τιμή της επιφάνειας. Δηλαδή θα χρησιμοποιήσουμε επιφάνεια συλλεκτών $A_C = 450\text{m}^2$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ

Η εξοικονόμηση ενέργειας στα θερμοκήπια είναι πολύ σημαντική για οικονομικούς και περιβαλλοντικούς λόγους. Αφ' ενός για οικονομικούς, καθώς οι επιπλέον δαπάνες που θα γίνουν από τον καλλιεργητή στα συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας θα αποσβεστούν πιθανότατα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα και αφ' ετέρου για περιβαλλοντικούς, καθώς η μικρότερη κατανάλωση ενέργειας στο θερμοκήπιο σημαίνει και μικρότερη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Ένα από τα βασικότερα στοιχεία που λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό των σύγχρονων θερμοκηπίων είναι η μεγιστοποίηση της διαπερατότητας, του ποσοστού δηλαδή της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο. Η μεγάλη διαπερατότητα οδηγεί σε ταυτόχρονη αύξηση α) του δυναμικού παραγωγής μέσα από την αύξηση της φωτοσύνθεσης και β) των απωλειών θερμότητας των θερμοκηπίων λόγω μείωσης της θερμικής αντίστασης των υλικών κάλυψης.

Οι κυριότερες μέθοδοι εξοικονόμησης ενέργειας στα θερμοκήπια είναι:

1. Η χρήση θερμοκουρτινών
2. Το διπλό κάλυμμα πλαστικού
3. Η ελαχιστοποίηση των διαρροών του αέρα από το θερμοκήπιο
4. Η μόνωση της βορεινής πλευράς του θερμοκηπίου
5. Η μείωση της ταχύτητας του ανέμου εξωτερικά του θερμοκηπίου με κατασκευή ανεμοθραυστών.

Ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δίδεται επίσης στη σωστή συντήρηση και λειτουργία του συστήματος θέρμανσης. Έτσι, οι καυστήρες πρέπει να ελέγχονται και να ρυθμίζονται τακτικά για να επιτυγχάνονται οι βέλτιστοι βαθμοί απόδοσης.

Δεν είναι υπερβολή να λεχθεί ότι, όπως πριν την κατασκευή των κτηρίων εκπονούνται μελέτες θερμομόνωσης, θα πρέπει και πριν την κατασκευή θερμοκηπίων να γίνεται διερεύνηση όλων των δυνατοτήτων εξοικονόμησης ενέργειας. Έτσι, ο καλλιεργητής θα μπορέσει να επιλέξει την βέλτιστη τεχνικά και οικονομικά λύση για την κατασκευή και την μετέπειτα λειτουργία του θερμοκηπίου του.

4.1 Χρήση θερμοκουρτίνων

Μια πρακτική που ακολουθείται για τη μείωση των απωλειών θερμότητας και κατά συνέπεια των ενεργειακών αναγκών των θερμοκηπίων, χωρίς ταυτόχρονη μείωση της διαπερατότητάς τους, είναι η χρήση μετακινούμενων κουρτινών μόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας, κατά το διάστημα δηλαδή με τις μεγαλύτερες ανάγκες σε θέρμανση. Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης της χρήσης της θερμοκουρτίνας για εξοικονόμηση ενέργειας στο θερμοκήπιο, τόσο στο μικροκλίμα και τις απώλειες ενέργειας του θερμοκηπίου όσο και στην καλλιέργεια. Για το λόγο αυτό έγιναν μετρήσεις σε γυάλινο θερμοκήπιο του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Αγρόκτημα του Βελεστίνου, με υδροπονική καλλιέργεια τριανταφυλλιάς, κατά την περίοδο του χειμώνα του 1999-2000 (i) χωρίς τη χρήση της θερμοκουρτίνας και (ii) με χρήση της θερμοκουρτίνας. Καταγραφόταν: η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα σε τρία διαφορετικά σημεία σε κατακόρυφο επίπεδο (0.3 m, 0.8 m και 1.8 m από το έδαφος), η καθαρή ακτινοβολία πάνω από την καλλιέργεια, η θερμοκρασία των μεταλλικών σωλήνων θέρμανσης του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία των φύλλων και η διαπνοή της καλλιέργειας. Παράλληλα γινόταν μετρήσεις θερμοκρασίας, υγρασίας και ταχύτητας ανέμου έξω από το θερμοκήπιο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η χρήση της θερμοκουρτίνας οδήγησε σε μείωση των απωλειών θερμότητας του θερμοκηπίου κατά 20% περίπου. Εκτός όμως από την εξοικονόμηση ενέργειας, η χρήση της θερμοκουρτίνας οδήγησε σε ευνοϊκότερες μικροκλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα, αυξήθηκε η θερμοκρασία του αέρα 2.5°C περίπου, στο επίπεδο του αέρα 0.3 m από το έδαφος, επίπεδο που αποτελεί και την κύρια περιοχή ανάπτυξης της καλλιέργειας, ενώ η αύξηση ήταν μικρότερη για τα επίπεδα του αέρα σε ύψος 0.8 m και 1.8 m από το έδαφος, δημιουργώντας έτσι περισσότερο ομοιογενείς σε κατακόρυφο επίπεδο συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας στο θερμοκήπιο. Όσον αφορά την επίδραση της θερμοκουρτίνας στην καλλιέργεια, η χρήση της κατά τη διάρκεια της νύχτας αύξησε τη θερμοκρασία των φύλλων κατά 3°C περίπου, αποτρέποντας έτσι την υπερβολική πτώση της θερμοκρασίας των φύλλων, γεγονός στο οποίο οφείλεται και η εμφάνιση μαυρίσματος των πετάλων στα τριαντάφυλλα, ενώ δεν μείωσε τις πιθανότητες υγροποίησης στα φύλλα. Τέλος, η χρήση της θερμοκουρτίνας δεν

προκάλεσε διαφορές στη διαπνοή και τη στοματική αγωγιμότητα της καλλιέργειας κατά τη διάρκεια της νύχτας αλλά επηρέασε την τιμή της αεροδυναμικής αγωγιμότητας και τις ανταλλαγές αισθητής ενέργειας της καλλιέργειας με τον αέρα

Η πιο συνηθισμένη τεχνική εξοικονόμησης ενέργειας στο θερμοκήπιο είναι η χρήση θερμοκουρτίνας. Ουσιαστικά πρόκειται για μια κουρτίνα που απλώνεται κατά τη διάρκεια της νύχτας εσωτερικά του θερμοκηπίου στη μεριά της οροφής και των πλευρών του. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται κατά τη διάρκεια της νύχτας οι θερμικές απώλειες με ακτινοβολία και επαγωγή. Κατά _ διάρκεια της ημέρας πρέπει η θερμοκουρτίνα να μαζεύεται, γιατί η ύπαρξή της μειώνει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στα φυτά. Σήμερα υπάρχουν συστήματα θερμοκουρτινών πλήρως αυτοματοποιημένα.

4.2 Το διπλό κάλυμμα πλαστικού

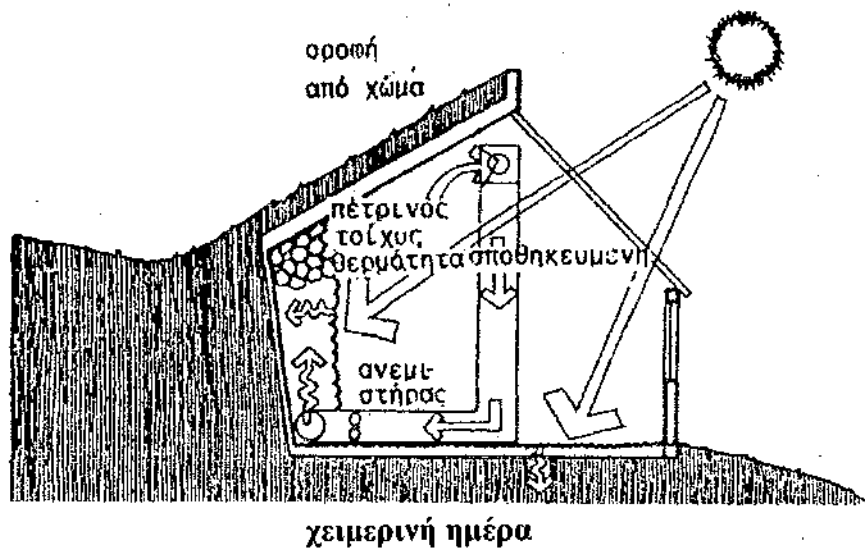
Εφ' όσον το κάλυμμα του θερμοκηπίου είναι διπλό πλαστικό, μειώνονται οι θερμικές απώλειες του θερμοκηπίου καθώς μειώνεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας. Βέβαια, στην περίπτωση αυτή όπως και στην περίπτωση της θερμοκουρτίνας μειώνεται η ηλιακή ενέργεια που φθάνει στα φυτά .

4.3 Η ελαχιστοποίηση των διαρροών του αέρα από το θερμοκήπιο

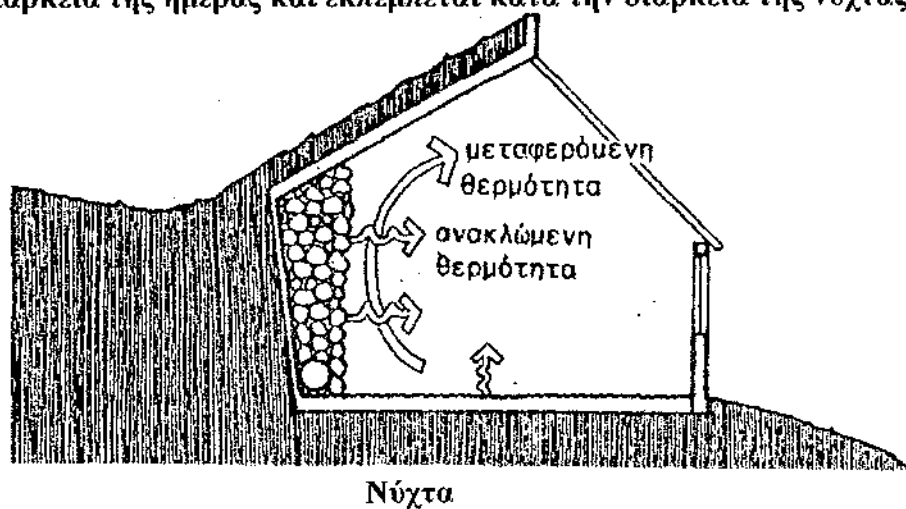
Συνήθως στα περισσότερα θερμοκήπια παρατηρείται διαφυγή του αέρα από σημεία διαρροών, που ένας απρόσεκτος καλλιεργητής δεν έχει δώσει ιδιαίτερη σημασία. Η διαφυγή θερμού αέρα και η αντικατάστασή του με ψυχρό σημαίνει απώλειες θερμότητας, και επομένως, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στα πιθανά σημεία διαρροών του αέρα από το θερμοκήπιο.

4.4 Η μόνωση της βορεινής πλευράς του θερμοκηπίου

Η μόνωση της βορεινής πλευράς του θερμοκηπίου που είναι εκτεθειμένη σε βορεινούς ανέμους, μειώνει τις θερμικές απώλειές του, χωρίς να μειώνεται σημαντικά η ηλιακή ενέργεια που φθάνει στα φυτά μέσα στο θερμοκήπιο. Μια καλή πρακτική είναι το κτίσιμο ενός τοίχου (τούβλα, πλίνθοι, πέτρες ή μπετόν) στη βορεινή πλευρά και η μόνωσή του εσωτερικά με ένα μονωτικό υλικό π.χ. υαλοβάμβακα κ.ά. Με τον τρόπο αυτό αφ' ενός μειώνονται οι θερμικές απώλειες, αφ' ετέρου ο τοίχος δρα σαν αποθήκη θερμότητας (συσσώρευση θερμότητας την ημέρα, εκπομπή τη νύκτα).



θερμοκήπιο με τοιχώματα αποθήκευσης θερμότητας η οποία αποθηκεύεται κατά την διάρκεια της ημέρας και εκπέμπεται κατά την διάρκεια της νύχτας



4.5 Η μείωση της ταχύτητας του ανέμου εξωτερικά του θερμοκηπίου

Αυξημένοι άνεμοι έξω από το θερμοκήπιο αυξάνουν τις απώλειες θερμότητας. Ένας αποτελεσματικός ανεμοθραύστης στη βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου μειώνει την ταχύτητα των βόρειων ψυχρών ανέμων και συνεπώς τις απώλειες θερμότητας, χωρίς να μειώνει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο θερμοκήπιο.

Τελευταία χρησιμοποιούνται τεχνητοί ανεμοθραύστες από πλαστικό ή κι άλλο υλικό. Ο ανεμοθραύστης πρέπει να έχει περατότητα, διαφορετικά δημιουργούνται στρόβιλοι του ανέμου και μπορούν να προκληθούν ζημιές. Συνήθως χρησιμοποιούνται ανεμοθραύστες με περατότητα 70% ή 50% αν υπάρχουν χιονοπτώσεις στην περιοχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΕΡΑΓΩΓΟΙ ΕΔΑΦΟΥΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι δυνατότητες εκμετάλλευσης του εδάφους ως πηγής και καταβόθρας θερμότητας για την θέρμανση και δροσισμό θερμοκηπίων. Μελετώντας το κεφάλαιο αυτό, ο αναγνώστης είναι σε θέση:

- να κατανοήσει τις φυσικές εκείνες ιδιότητες του εδάφους, οι οποίες του προσδίδουν την ιδιότητα να αποτελεί πηγή και καταβόθρα θερμότητας,
- να γνωρίζει τις βασικές τεχνικές αξιοποίησης των ιδιοτήτων αυτών του εδάφους
- να γνωρίζει τον τρόπο διαστασιολόγησης και εγκατάστασης των αεραγωγών εδάφους,
- να διαστασιολογήσει συστήματα αεραγωγών εδάφους για συγκεκριμένες εφαρμογές.

5.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Δύο θερμοδυναμικά συστήματα είναι σε κατάσταση ισορροπίας όταν έχουν την ίδια θερμοκρασία. Αν η θερμοκρασία τους είναι διαφορετική, τότε φέρνοντας τα σε επαφή η θερμοκρασία τους τείνει να εξισωθεί. Η εξίσωση αυτή επιτυγχάνεται από την ροή θερμότητας η οποία προκαλείται, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας. Η ροή αυτή γίνεται πάντα από το σύστημα υψηλότερης θερμοκρασίας προς εκείνο με χαμηλότερη θερμοκρασία.

Τρεις είναι οι μηχανισμοί αυτής της ροής, ή όπως αλλιώς ονομάζονται, οι μηχανισμοί μεταδόσεως της θερμότητας:

- η αγωγή,
- η συναγωγή,
- η ακτινοβολία.

Στις παραγράφους που ακολουθούν, περιγράφονται τα γενικά χαρακτηριστικά και ενός από τους μηχανισμούς αυτούς.

5.2.1 Αγωγή

Η αγωγή είναι ο μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας στα στερεά και στα ρευστά, αγωγή λαμβάνει χώρα σε μικροσκοπικό επίπεδο. Η μαθηματική της περιγραφή γίνεται από τον νόμο του Fourier. Η απλούστερη μορφή του νόμου αυτού ισχύει για περιπτώσεις όπως αυτή μίας πλάκας, της οποίας οι δύο πλευρές έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες ΔT :

$$q = k\Delta T/d \quad (5.1)$$

όπου q ($W.m^{-2}$) είναι η ροή θερμότητας, k ($W.m^{-1}.K^{-1}$) ένας συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από το υλικό και την θερμοκρασία και d είναι η απόσταση μεταξύ των δύο πλευρών της πλάκας.

Ο συντελεστής k ονομάζεται ειδική θερμική αγωγιμότητα και για ένα δεδομένο υλικό είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας. Επειδή όμως στην περίπτωση του εδάφους, η εξάρτηση αυτή δεν είναι σημαντική, δεν θα την λάβουμε υπ' όψιν μας. Η φυσική σημασία του k είναι ότι εκφράζει την ευκολία ή την δυσκολία με την οποία μπορεί η θερμότητα να περάσει μέσα από κάποιο υλικό. Σώματα με μικρό k , είναι τα θερμομονωτικά, όπως ο υαλοβάμβακας ή η πολυστερίνη (φελιζόλ), τα οποία χρησιμοποιούνται για να περιορίσουν τις απώλειες θερμότητας στα κτίρια, αλλά και σε άλλες εφαρμογές. Στον Πίνακα 5.1 δίνονται τιμές της ειδικής θερμικής αγωγιμότητας διαφόρων υλικών. Από τα δεδομένα του πίνακα Παρατηρούμε ότι τα μέταλλα έχουν την μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα από τα υπόλοιπα σώματα.

Υλικό	$K(W.m^{-1}.K^{-1})$
Αλουμίνιο	160,00
Χαλκός	200,00
Χάλυβας	50,00
Σκυρόδεμα βαρύ	1,40
Σκυρόδεμα ελαφρύ	0,38
Γύψος	0,36
Ξύλο	0,15
Υαλοβάμβακας	0,04
Πολυστερένιο	0,03

Πίνακας 5.1. Ειδική θερμική αγωγιμότητα διαφόρων υλικών.

5.2.2 Συναγωγή

Ο μηχανισμός της συναγωγής είναι υπεύθυνος για την μετάδοση θερμότητας στα ρευστά, σε μακροσκοπικό επίπεδο. Η βασική διαφορά του από την αγωγή είναι ότι ενώ κατά την αγωγή η ύλη μακροσκοπικά παραμένει ακίνητη, κατά την συναγωγή η ύλη κινείται και η κίνηση ενισχύει την μετάδοση θερμότητας. Δύο είναι τα αίτια τα οποία προκαλούν την κίνηση αυτή.

Το πρώτο οφείλεται στις δυνάμεις ανώσεως οι οποίες αναπτύσσονται λόγω των διαφορετικών πυκνοτήτων των διαφόρων τμημάτων του ρευστού. Η πυκνότητα ενός ρευστού επηρεάζεται πολύ από την θερμοκρασία. Για τον λόγο αυτό όταν σε ένα ρευστό υπάρχουν διαφορές θερμοκρασίας οι οποίες, θερμοδυναμικά προκαλούν ροή θερμότητας, εμφανίζονται ταυτόχρονα και διαφορές πυκνότητας. Έτσι τα ελαφρύτερα μέρη του ρευστού τείνουν να καταλάβουν υψηλότερες θέσεις στον όγκο του ρευστού και να αφήσουν την θέση τους στα βαρύτερα. Αυτό το αίτιο θέτει το ρευστό σε κίνηση. Στην περίπτωση αυτή η συναγωγή ονομάζεται φυσική.

Το δεύτερο αίτιο για τον οποίο τίθεται το ρευστό σε κίνηση είναι κάποιο εξωτερικό αίτιο όπως κάποιος ανεμιστήρας ή κυκλοφορητής κ.λ.π. Στην περίπτωση αυτή η συναγωγή ονομάζεται εξαναγκασμένη.

Κάθε κατηγορία συναγωγής, φυσική και εξαναγκασμένη, χωρίζεται με την σειρά της σε δύο υποκατηγορίες: την στρωτή συναγωγή και την τυρβώδη συναγωγή. Το αν η συναγωγή θα χαρακτηριστεί στρωτή ή τυρβώδης εξαρτάται από το αν η ροή, η οποία αναπτύσσεται εξ αιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας είναι στρωτή ή τυρβώδης. Η συναγωγή εκφράζεται μαθηματικά από τον νόμο του Newton:

$$q = h \cdot \Delta T \quad (5.2)$$

όπου και πάλι q είναι η θερμική ροή ($W \cdot m^{-2}$), h ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$) ο συντελεστής συναγωγής και η διαφορά θερμοκρασίας. Ενώ κατά την αγωγή, η ειδική θερμική αγωγιμότητα δίνεται από πίνακες, ο συντελεστής συναγωγής h δεν δίνεται από μία συγκεκριμένη τιμή ούτε από ενιαία σχέση. Υπάρχει μία πληθώρα σχέσεων υπολογισμού του και οποία χρησιμοποιηθεί εξαρτάται από το είδος της συναγωγής (φυσική εξαναγκασμένη, στρωτή ή τυρβώδης) καθώς και από την γεωμετρία του προβλήματος, τις θερμοκρασίες κ.λ.π.

5.2.3 Ακτινοβολία

Στις προηγούμενες παραγράφους αναφέραμε ότι η μεν αγωγή είναι ο μηχανισμός μετάδοσης της θερμότητας δια μέσου των σωμάτων σε μικροσκοπικό επίπεδο, η δε συναγωγή, δια μέσου των ρευστών σε μακροσκοπικό επίπεδο. Από την περιγραφή των μηχανισμών, η οποία προηγήθηκε, προκύπτει ότι για να μεταδοθεί η θερμότητα με τους δύο αυτούς μηχανισμούς, πρέπει τα θερμοδυναμικά συστήματα διαφορετικής θερμοκρασίας να είναι, μεταξύ τους, σε φυσική επαφή. Ο μηχανισμός της ακτινοβολίας, επιτρέπει την μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο θερμοδυναμικών συστημάτων τα οποία δεν βρίσκονται σε φυσική επαφή, ακόμη και όταν δεν υπάρχει ύλη μεταξύ τους. Η μετάδοση μπορεί να γίνει ακόμη και κάτω από συνθήκες κενού. Τα αίτια της ιδιαίτερης συμπεριφοράς αυτού του μηχανισμού αναλύονται στην συνέχεια.

Κάθε σώμα το οποίο βρίσκεται σε θερμοκρασία T μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν (0°K ή $-273,15^{\circ}\text{C}$), εκπέμπει ενέργεια υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, εκπεμπόμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας δίνεται, στην γενικότερη περίπτωση, απ τον νόμο των Stefan - Boltzmann:

$$q = \varepsilon \sigma T^4 \quad (5.3)$$

όπου T η απόλυτη θερμοκρασία του σώματος (K), σ ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$) συντελεστής του νόμου Stefan - Boltzmann και ε ένας αδιάστατος συντελεστής ονομαζόμενος συντελεστής εκπομπής, ο οποίος λαμβάνει τιμές μεταξύ 0 και 1 και εξαρτάται από το υλικό και την υφή της επιφάνειας καθώς και από την θερμοκρασία της. Στην ειδική περίπτωση (η οποία προσεγγίζεται ασυμπτωτικά) όπου το ε ισούται με την μονάδα, τότε το σώμα αυτό λέγεται μέλαν σώμα και έχει την ιδιότητα να εκπέμπει πλήρως την ακτινοβολία καθώς επίσης να απορροφά πλήρως οποιαδήποτε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ανεξαρτήτως μήκους κύματος, πέσει σε αυτό.

Ποια είναι όμως η προέλευση της θερμικής αυτής ακτινοβολίας; Είναι γνωστό ότι όταν ένα σώμα βρίσκεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη του απόλυτου μηδενός, τότε οι δομικοί λίθοι οι οποίοι το αποτελούν εκτελούν θερμικές ταλαντώσεις. Δεδομένου ότι οι δομικοί λίθοι της ύλης είναι ηλεκτρικά φορτισμένοι (διότι αποτελούνται από πρωτόνια και ηλεκτρόνια), η ταλάντωση αυτή των ηλεκτρικών φορτίων προκαλεί την εκπομπή ακτινοβολίας. Αυτή είναι η θερμική ακτινοβολία. Όσο αυξάνεται η

θερμοκρασία, τόσο αυξάνεται το πλάτος των ταλαντώσεων και ως εκ τούτου η εκπεμπόμενη ισχύς ακτινοβολίας. Το γεγονός αυτό εκφράζεται ποσοτικά από τον νόμο Stefan - Boltzman (σχέση (5.2))

Θεωρώντας τώρα δύο σώματα απόλυτης θερμοκρασίας T_1 και T_2 , και υποθέτοντας ότι η θερμοκρασία T_1 είναι μεγαλύτερη της T_2 , τότε η ενέργεια η οποία μεταδίδεται μεταξύ τους είναι:

$$q_{1-2} = \varepsilon F_{1,2} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (5.3)$$

Παρατηρούμε ότι η σχέση (5.3) περιλαμβάνει μία επί πλέον παράμετρο, σε σχέση με την (5.2). Η παράμετρος αυτή, $F_{1,2}$, ονομάζεται παράγων μορφής και εξαρτάται από το σχήμα και την σχετική θέση των δύο σωμάτων στον χώρο. Είναι δηλαδή ένας καθαρός γεωμετρικός παράγοντας, μη εξαρτώμενος από την θερμοκρασία ούτε απ άλλη φυσική παράμετρο.

5.2.4 Ειδική Θερμότητα - Θερμική Διάχυση

Από τους μηχανισμούς μετάδοσης θερμότητας οι οποίοι ήδη παρουσιάστηκαν σε συντομία, μεγαλύτερο ενδιαφέρον για το αντικείμενο το οποίο εξετάζεται σε αυτό το κεφάλαιο έχει ο μηχανισμός της αγωγής. Αυτό γιατί το έδαφος αποτελείται κυρίως από στερεά συστατικά (αγνοούμε εδώ την υγρασία καθώς και τους θύλακες αέρα οι οποίοι ενδεχομένως να περιέχονται σε αυτό) και, όπως ήδη αναφέραμε, η αγωγή αποτελείται από τον μηχανισμό μετάδοσης θερμότητας στα στερεά. Έτσι, ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους, καθορίζει το πόσο εύκολα ή δύσκολα μεταδίδεται η θερμότητα δια μέσου του εδάφους.

Για να περιγράψουμε όμως την θερμική συμπεριφορά ενός σώματος, δεν αρκεί να ξέρουμε μόνο την θερμική του αγωγιμότητα, αλλά και την δυνατότητα του να συγκρατήσει την θερμότητα στο εσωτερικό του, το κατά πόσο δηλαδή μπορεί να αποθηκεύσει θερμότητα. Για να χαρακτηρίσουμε την αποθηκευτική ικανότητα ενός σώματος, πρέπει να εισάγουμε την έννοια της ειδικής θερμότητας. Ένας ορισμός της ειδικής θερμότητας ενός σώματος όχι αυστηρός από φυσικής σκοπιάς, αλλά ο οποίος επιτρέπει την κατανόηση της ουσίας του θέματος είναι ο ακόλουθος:

Ειδική θερμότητα είναι η ενέργεια η οποία απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία της μονάδας μάζης ενός σώματος κατά 1 K, χωρίς όμως να μεταβληθεί

η φάση του.

Η ειδική θερμότητα συμβολίζεται με c και μετράται σε $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$. Ο Πίνακας 5.2 δίνει ειδικές θερμότητες ορισμένων σωμάτων.

Υλικό	$C_p (J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1})$
Αλουμίνιο	896
Χαλκός	418
Χάλυβας	502
Σκυρόδεμα βαρύ	653
Σκυρόδεμα ελαφρύ	653
Γύψος	1.000
Εύλο	2.000
Υαλοβάμβακας	840
Πολυστυρένιο	1.000

Πίνακας 5.2 Ειδική θερμότητα διαφόρων υλικών.

Η ενέργεια η οποία απαιτείται ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία κατά $1 K$, όχι πια της μονάδος μάζας αλλά του συνόλου της μάζας ενός σώματος ή ενός συστήματος, αυτό ονομάζεται θερμοχωρητικότητα του σώματος ή του συστήματος.

Ποια είναι όμως η πρακτική σημασία της ειδικής θερμότητας και της θερμοχωρητικότητας; Έστω ότι η θερμότητα μεταδίδεται μέσω ενός σώματος μέσω θερμικής αγωγιμότητας. Αν το σώμα αυτό έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα, τότε η μεταβολή στην θερμοκρασία του θα είναι μικρή. Αν όμως έχει μικρή θερμοχωρητικότητα, τότε η θερμοκρασία του θα αυξηθεί, με ενδεχόμενο να αλλάξει η φάση του ή να υποστεί άλλες αλλοιώσεις.

Αν τώρα το σώμα έχει μικρή θερμική αγωγιμότητα και μικρή θερμοχωρητικότητα, τότε η θερμοκρασία της περιοχής του σώματος στην οποία εισέρχεται σε αυτό η ενέργεια θα αυξηθεί σημαντικά ενώ η θερμοκρασία του υπολοίπου τμήματος του θα παραμείνει πρακτικά αμετάβλητη. Ανάλογα συμπεράσματα μπορούμε να εξάγουμε και για όλοι, τους υπόλοιπους συνδυασμούς των δύο παραμέτρων.

Το αν ένα σώμα ή θερμικό σύστημα είναι καλύτερο να έχει μεγάλη ή μικρή θερμική αγωγιμότητα και μεγάλη ή μικρή ειδική θερμότητα εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής, από το αν δηλαδή θα χρησιμοποιηθεί ως αγωγός ή ως αποθήκη θερμότητας καθώς επίσης και από την θερμική ισχύ η οποία θα πρέπει να μεταδοθεί

να αποθηκευθεί.

Η συνδυασμένη επίδραση αυτών των δύο παραμέτρων εκφράζεται μέσω το συντελεστή θερμικής διάχυσης α ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), ο οποίος ορίζεται ως εξής:

$$\alpha = \kappa / \rho c \quad (5.4)$$

Όπου κ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας, ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) η πυκνότητα του και c ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) η ειδική θερμότητα του σώματος.

Γενικά μεγάλη τιμή του συντελεστή θερμικής διάχυσης σημαίνει ότι η θερμότητα μεταδίδεται μέσω του σώματος θερμαίνοντας το κατά τρόπο σχετικά ομοιόμορφο. Ο Πίνακας 5.3 δίνει τιμές του συντελεστή α για διάφορα υλικά.

Υλικό	$\alpha(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$
Αλουμίνιο	$6,38 \cdot 10^{-5}$
Χαλκός	$5,38 \cdot 10^{-5}$
Χάλυβας	$1,28 \cdot 10^{-5}$
Σκυρόδεμα βαρύ	$1,02 \cdot 10^{-6}$
Σκυρόδεμα ελαφρύ	$4,85 \cdot 10^{-7}$
Γύψος	$2,40 \cdot 10^{-7}$
Ξύλο	$1,07 \cdot 10^{-7}$
Υαλοβάμβακας	$1,90 \cdot 10^{-7}$
Πολυστυρένιο	$1,20 \cdot 10^{-6}$

Πίνακας 5.3. Συντελεστής θερμικής διάχυσης διαφόρων υλικών

5.3 ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

Το έδαφος είναι ένα μέσο στο οποίο μπορούν να αποθηκευθούν μεγάλα ποσά θερμότητας. Αυτό οφείλεται στον χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας το οποίο έχει, ο οποίος περιορίζει τις θερμικές απώλειες, σε συνδυασμό με την μεγάλη του θερμοχωρητικότητα.

Η τεχνική της αποθήκευσης θερμότητας στο έδαφος είναι αρκετά παλιά. Στην Ελλάδα αλλά και σε χώρες της Μέσης Ανατολής και της Βορείου Αφρικής, οι άνθρωποι εκμεταλλεύοντουσαν την αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους για το ψήσιμο το κρέατος, βάζοντας το σε λάκκους, μέσα στους οποίους είχε κάψει φωτιά για μεγάλο χρονικό διάστημα.

5.3.1 Θερμοφυσικές Ιδιότητες

Το έδαφος έχει ορισμένες συγκεκριμένες ιδιότητες, οι οποίες επιτρέπουν τη χρησιμοποίησή του ως πηγή θερμότητας τον χειμώνα και ως καταβόθρα θερμότητα το καλοκαίρι. Αυτές οι ιδιότητες παρουσιάζονται στην συνέχεια:

- Η ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους είναι πολύ μικρότερη από την ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα. Στην πράξη, ημερήσια διακύμανση του εδάφους είναι τόσο μικρή, ώστε η μέτρηση της να απαιτεί ευαίσθητα θερμομέτρα. Αντίστοιχη συμπεριφορά εμφανίζουν οι ετήσιες διακυμάνσεις των δύο θερμοκρασιών.
- Το πλάτος της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας του εδάφους ελαττώνεται γρήγορα συναρτήσει του βάθους.
- Η μέση ετήσια θερμοκρασία του εδάφους σε βάθος 3 μέτρων, είναι περίπου ίση με την μέση ετήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος στον ίδιο τόπο.
- Η διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους καθυστερεί ως προς τη διακύμανση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Η χρονική αυτή υστέρηση είναι συνάρτηση του βάθους. Αυτή είναι η σημαντικότερη ιδιότητα του εδάφους, η οποία το καθιστά κατάλληλο για τις εφαρμογές οι οποίες εξετάζονται σ' αυτό το κεφάλαιο. Το μέγιστο της ετήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας του εδάφους εμφανίζει μία υστέρηση τριών μηνών ως προς την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αν υποθεθεί λοιπόν ότι με κάποιο τρόπο μπορεί να αντληθεί θερμότητα από το έδαφος, τότε το μέγιστο της θερμικής απολαβής θα σημειώνεται τους πρώτους χειμερινούς μήνες, οπότε και οι ανάγκες για θέρμανση των χώρων αυξάνονται.

Όπως αναφέραμε, το έδαφος, όπως και όλα τα σώματα χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή θερμικής διάχυσης του, δηλαδή από τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, την ειδική θερμότητα και την πυκνότητά του.

Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους είναι συνάρτηση της υγρασίας του, της υφής του (δηλαδή του πόσο πορώδες είναι και του μεγέθους των πόρων), της θερμοκρασίας του και τέλος του βάθους.

Η ειδική θερμότητα του εδάφους εξαρτάται σημαντικά από την υγρασία του, για δεδομένη τιμή της πυκνότητας του.

Ο συντελεστής θερμικής διάχυσης διαφόρων εδαφών δίνεται στον Πίνακα 5.4. Συγκρίνοντας την τιμή της θερμικής διάχυσης του εδάφους με αυτή άλλων υλικών, παρατηρούμε ότι αυτή είναι αρκετά χαμηλή. Αυτό δηλαδή σημαίνει ότι το έδαφος

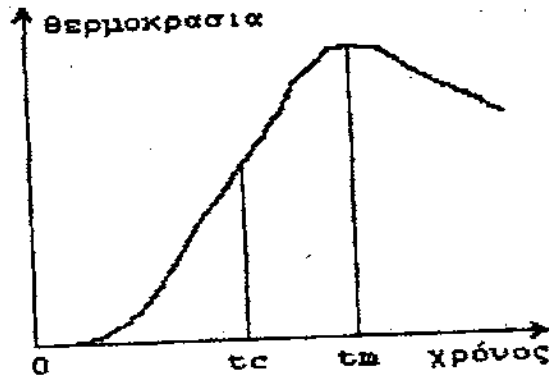
έχει μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ενώ ταυτόχρονα έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα. Για τον λόγο αυτό εμφανίζει τις ιδιότητες τις οποίες προαναφέραμε.

Τύπος Εδάφους	α ($\cdot 10^{-6} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
Γραφίτης	0,49 - 0,70
Ασβεστόλιθος	0,80 - 1,83
Μάρμαρο	1,39
Ψαμμίτης	1,06-1,26
Άργιλος	0,139

Πίνακας 5.4. Συντελεστής θερμικής διάχυσης εδαφών

Παρατηρώντας τις τιμές του Πίνακα 5.4 διαπιστώνουμε ότι όλες είναι της τάξης των $10^{-6} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Για τον λόγο αυτό, αν σε κάποια πρακτική εφαρμογή στην οποία χρειαζόμαστε την τιμή του συντελεστή θερμικής διάχυσης του εδάφους, δεν γνωρίζουμε την ακριβή σύνθεση του, ώστε να την προσδιορίσουμε από πίνακες, τότε είτε μπορούμε να την θεωρήσουμε ίση με $10^{-6} \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, είτε να την προσδιορίσουμε πειραματικά. Ο πειραματικός προσδιορισμός μπορεί να γίνει με την μέθοδο των Foures et al (1981). Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται ως εξής:

Στο εσωτερικό ενός δοχείου τοποθετείται μία γραμμική ηλεκτρική αντίσταση και σε απόσταση r από αυτήν ένας αισθητήρας θερμοκρασίας. Το δοχείο γεμίζεται στη συνέχεια με το υπό εξέταση έδαφος. Την χρονική στιγμή 0 η αντίσταση τροφοδοτείται με ρεύμα και αρχίζει η θέρμανση του εδάφους. Παρατηρώντας μέσω του αισθητήρα την αύξηση της θερμοκρασίας (Σχήμα 5.1), όταν αυτή ανέβει αισθητά, διακόπτεται η τροφοδοσία της αντίστασης. Έστω ότι η διακοπή γίνεται κατά την χρονική στιγμή t_c .



Σχήμα 5. 1. Προσδιορισμός του συντελεστή θερμικής διάχυσης εδάφους.

Παρά την διακοπή της τροφοδοσίας της αντίστασης, η θερμοκρασία στο σημείο του αισθητήρα θα εξακολουθήσει να ανέρχεται, για ένα ορισμένο χρονικό διάστημα μετά την διακοπή και κατόπιν θα αρχίσει να μειώνεται. Αυτό οφείλεται στην καθυστέρηση με την οποία τα θερμικά κύματα φθάνουν στο σημείο του αισθητήρα. Έστω t_m , η χρονική στιγμή κατά την οποία ο αισθητήρας καταγράφει την μέγιστη θερμοκρασία. Αποδεικνύεται ότι ο συντελεστής θερμικής διάχυσης α , δίνεται από την σχέση:

$$\alpha = r^2 / 4 * t_c / [(t_m - t_c) * t_m * \ln((t_m - t_c) / t_m)] \quad (5.5)$$

5.3.2 Εις βάθος μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους

Η καθοριστική παράμετρος για την αξιοποίηση των θερμικών ιδιοτήτων του εδάφους είναι η θερμοκρασία του σε διάφορα βάθη. Στην ιδανική περίπτωση, αυτή παράμετρος θα πρέπει να μετράται. Στην πράξη όμως, πολύ λίγοι μετεωρολογικοί σταθμοί μετρούν την θερμοκρασία της επιφανείας του εδάφους, ενώ ακόμη λιγότεροι εκτελούν εις βάθος μετρήσεις. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την χρήση μαθηματικών σχέσεων, όπως αυτή του Labs (1989):

$$T(z,t) = T_m - A_s \exp \left[-z \left(\frac{\pi}{365\alpha} \right)^{1/2} \right] \cos \left[\left(\frac{2\pi}{365} \right) \left(t - t_0 - \frac{z}{2} \left(\frac{365}{\pi\alpha} \right)^{1/2} \right) \right] \quad (5.6)$$

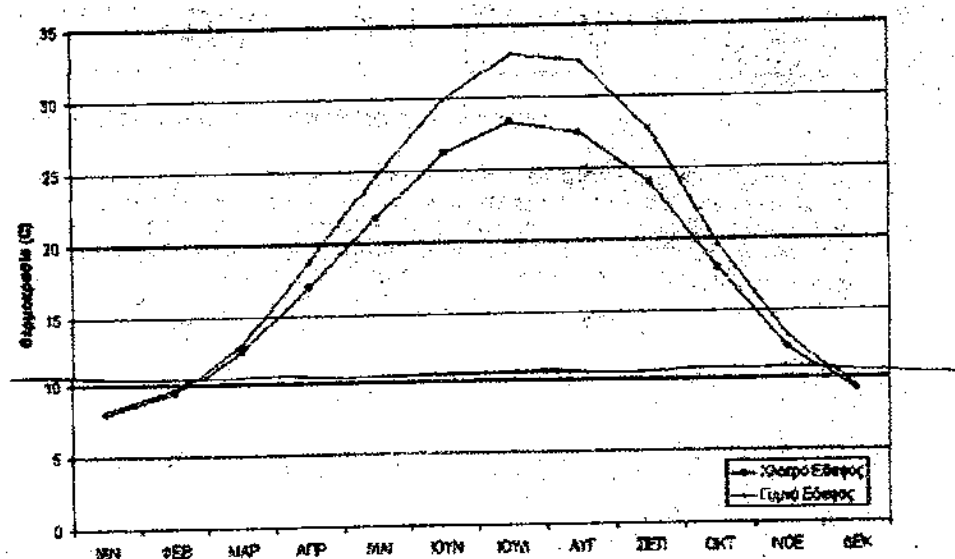
όπου $T(z,t)$ ($^{\circ}\text{C}$) είναι η θερμοκρασία του εδάφους σε βάθος z (m) την χρονική στιγμή (αριθμός της ημέρας του έτους (1 - 365)), A_s ($^{\circ}\text{C}$) είναι το πλάτος της ετήσιας

διακύμανσης της θερμοκρασίας της επιφανείας του εδάφους, a ($m^2 \cdot \eta\mu\epsilon\rho\alpha^{-1}$) συντελεστής θερμικής διάχυσης του εδάφους, t_0 (ημέρες) η ημέρα του έτους με τη χαμηλότερη θερμοκρασία της επιφανείας του εδάφους (αν αυτή η παράμετρος δε είναι γνωστή, μπορεί να ληφθεί ίση με 30, γιατί κατά μέσο όρο, στο Βόρειο ημισφαίριο η χαμηλότερη θερμοκρασία της επιφανείας του εδάφους συναντάται την 30^η Ιανουαρίου).

Σημειώνεται ότι η σχέση (5.6) ισχύει για ομογενές έδαφος, με σταθερό συντελεστή θερμικής διάχυσης.

5.3.3 Επίδραση της θερμοκρασίας επιφανείας

Από την σχέση (5.6) προκύπτει ότι η θερμοκρασία του εδάφους εις βάθος, εξαρτάται από την θερμοκρασία της επιφανείας του. Άρα είναι προφανές ότι το είδος της κάλυψης της επιφανείας του εδάφους επιδρά και στην θερμοκρασία εις βάθος. Αν το έδαφος είναι γυμνό, χωρίς βλάστηση, ή καλυμμένο με άσφαλτο, τότε η επιφάνεια το βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία από αυτήν την οποία θα είχε αν ήταν καλυμμένη με γρασίδι. Αυτό φαίνεται καθαρά από τις μετρήσεις του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, όπως αυτές απεικονίζονται στο Σχήμα 3.2



Σχήμα 3.2. Μεταβολή της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας της επιφανείας του εδάφους, για γυμνό και χλοερό έδαφος

5.4 ΑΕΡΑΓΩΓΟΙ ΕΔΑΦΟΥΣ - ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

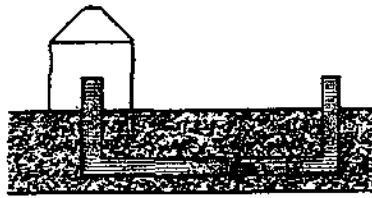
Οι άνθρωποι δεν άργησαν να εκμεταλλευθούν τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους. Όλοι ξέρουμε ότι στους υπόγειους χώρους των κτιρίων επικρατούν σχεδόν σταθερές κι άνετες θερμικά συνθήκες θερμοκρασίας όλο τον χρόνο. Σε αρκετές περιοχές το κόσμου συναντώνται από την αρχαιότητα κτίρια, υπόγεια ή ημιυπόγεια, με σκοπό να εκμεταλλευθούν το γεγονός αυτό.

Για να μπορούν τα συνήθη κτίρια να εκμεταλλευθούν την θερμική συμπεριφορά του εδάφους αναπτύχθηκε η τεχνολογία των αεραγωγών εδάφους. Στην περίπτωση αυτή ο αέρας θερμαίνεται ή ψύχεται, αναλόγως της εποχής, κυκλοφορώντας στο εσωτερικό το εδάφους μέσα από υπόγειους κυλινδρικούς σωλήνες, τους αεραγωγούς εδάφους. Πρόκειται για εναλλάκτες αέρος - εδάφους, τοποθετημένους σε οριζόντια θέση σε συγκεκριμένα βάθη. Ο αέρας κυκλοφορεί στο εσωτερικό τους με την βοήθεια ανεμιστήρων.

Η τεχνική αυτή, παρ' όλων του ότι άρχισε να εφαρμόζεται κατά την τελευταία εικοσαετία, έχει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Κατασκευές υπόγειων αγωγών από πηλό οι οποίοι σκοπό είχαν να διοχετεύουν αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων έχουν ανακαλυφθεί σε ανασκαφές στην Ελλάδα και την Περσία..

Η αρχή λειτουργίας μίας τέτοιας σύγχρονης κατασκευής φαίνεται στο Σχήμα 5.2. Ο αέρας αναρροφάται από το εξωτερικό στόμιο, με την βοήθεια ενός ανεμιστήρα και εισάγεται στο κτίριο, ρέοντας κατά μήκος του εσωτερικού του αεραγωγού. Κατά τη διαδρομή του αυτή έχει ανταλλάξει ποσά θερμότητας με το έδαφος. Δύο δυνατότητες υπάρχουν:

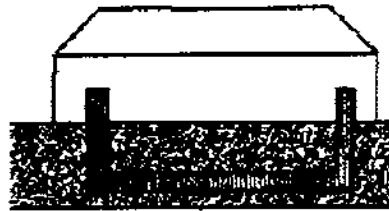
- Αν η εξωτερική θερμοκρασία είναι μικρότερη από αυτήν του εδάφους, τότε αέρας εξέρχεται θερμότερος. Η περίπτωση αυτή συνεισφέρει στη εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση.
- Αν η εξωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από αυτήν του εδάφους, τότε αέρας εξέρχεται ψυχρότερος. Η περίπτωση αυτή συνεισφέρει στη εξοικονόμηση ενέργειας για δροσισμό.



Σχήμα 5.2. Αρχή ανοικτού κυκλώματος συστήματος εναλλακτών αέρος-εδάφους.

Οι αεραγωγοί μπορούν να συνδεθούν με το κτίριο με τους εξής τρόπους:

- Ο πρώτος είναι αυτός του ανοικτού κυκλώματος, αυτός δηλαδή του Σχήματος 5.2. Το στόμιο εισόδου βρίσκεται στο εξωτερικό περιβάλλον, ενώ το στόμιο εισόδου βρίσκεται στο εσωτερικό του κτιρίου.
- Ο δεύτερος είναι αυτός του κλειστού κυκλώματος. Στην περίπτωση αυτή και τα δύο στόμια βρίσκονται στο εσωτερικό του κτιρίου. Η περίπτωση αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 5.3.



Σχήμα 5.3. Αρχή κλειστού κυκλώματος συστήματος εναλλακτών αέρος-εδάφους

5.5 ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΕΡΑΓΩΓΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο ενός αεραγωγού εδάφους, εξαρτάται από τις εξής παραμέτρους:

- την θερμοκρασία εισόδου του αέρα
- την θερμοκρασία του εδάφους στο βάθος του εναλλάκτη
- τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του υλικού του εναλλάκτη
- τον συντελεστή θερμικής διάχυσης του εδάφους
- την ταχύτητα ροής του αέρα στον αεραγωγό
- το μήκος του αεραγωγού
- την διάμετρο του αεραγωγού

Λόγω της φυσικής της λειτουργίας των αεραγωγών εδάφους, ο συντελεστής

θερμική αγωγιμότητας του υλικού από το οποίο αποτελούνται έχει την μικρότερη επίδραση απ τις προαναφερθείσες παραμέτρους. Οι αεραγωγοί μπορεί να είναι από

- P.V.C,
- Τσιμεντένιοι
- Μεταλλικοί

Δηλαδή από όλα εκείνα τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για κατασκευή υπόγειας, δικτύων. Σε ότι αφορά την αντοχή τους, ενδιαφέρον έχει να μπορούν να αντέξουν το βάρος του υπερκείμενου εδάφους, δεδομένου ότι στο εσωτερικό τους δε αναπτύσσονται πιέσεις.

Καθοριστικότερη παράμετρος, από αυτήν του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας είναι το κόστος του αεραγωγού. Το κόστος εδώ δεν εξαρτάται μόνο από το κόστος αγοράς των σωλήνων, αλλά και από το κόστος τοποθέτησης. Για τον λόγο αυτό μεταξύ των τριών προαναφερθέντων υλικών, προτιμώνται οι σωλήνες από P.V.C διότι και οικονομικοί είναι, αλλά και τοποθετούνται και συναρμολογούνται ευκολότερα και ταχύτερα, σε σχέση με τους τσιμεντένιους ή τους μεταλλικούς, η τοποθέτηση των οποίων μπορεί να απαιτήσει και την χρήση γερανού.

Η βέλτιστη λειτουργία ενός συστήματος αεραγωγών εδάφους για μία δεδομένη εφαρμογή, προαπαιτεί, όπως εξ άλλου όλες οι μηχανολογικές εφαρμογές, συστηματική μελέτη. Στην συνέχεια δίνονται και εξηγούνται, όπου αυτό είναι δυνατόν, μερικοί πρακτικοί κανόνες εφαρμογής, οι οποίοι μπορούν να αποτελέσουν την αφετηρία για λεπτομερέστερη μελέτη.

Μία γρήγορη εκτίμηση για το αν μία περιοχή είναι κατάλληλη για εφαρμογή αεραγωγών εδάφους, μπορεί να βασισθεί στον ακόλουθο κανόνα:

Η διαφορά θερμοκρασίας εδάφους στο βάθος του αεραγωγού και περιβάλλοντος για την περίοδο της συγκεκριμένης εφαρμογής, πρέπει να είναι τουλάχιστον 5 έως 6 Κ.

Όπως ήδη προαναφέραμε μετά τα 2-3 μέτρα βάθους η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει πρακτικά αμετάβλητη. Για λόγους πρακτικούς όμως, οι οποίοι σχετίζονται κυρίως με τον περιορισμό του κόστους εκσκαφής, συνήθης πρακτική είναι:

Η τοποθέτηση γίνεται σε βάθος μεταξύ 1.5 έως 3 μέτρων περίπου.

Το συνολικό μήκος των αεραγωγών, η διάμετρος καθώς και η ταχύτητα κυκλοφορία του αέρα αποτελούν αντικείμενο ιδιαίτερης βελτιστοποίησης.

Όσο αυξάνεται το μήκος, τόσο η διαφορά θερμοκρασίας εισόδου - εξόδου είναι μεγαλύτερη. Άρα εφαρμογές οι οποίες απαιτούν μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας

οδηγούν στην τοποθέτηση σωλήνων μεγάλου μήκους. Το μήκος αυτό μπορεί να εξασφαλισθεί όχι μόνο με ένα αεραγωγό. Μπορεί να τοποθετηθεί και συστοιχία αεραγωγών.

Γενικά οι πρακτικές εφαρμογές απαιτούν μήκη αεραγωγών τουλάχιστον μεταξύ 10 έως 30 μέτρων.

Η διάμετρος των σωλήνων επιδρά κυρίως στην παροχή του συστήματος. Η συνήθης διάμετρος είναι ίση με 20 εκατοστά.

Μία σημαντική παράμετρος την απόδοση του αεραγωγού, είναι η ταχύτητα της ροής του αέρα. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα, τόσο μικρότερη μεταβολή θερμοκρασίας επιτυγχάνεται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο αέρας παραμένει σε επαφή με το έδαφος για μικρότερο χρονικό διάστημα. Άρα για να επιτευχθεί σημαντική μεταβολή θερμοκρασίας, θα πρέπει και η ταχύτητα του αέρα να είναι χαμηλή. Χαμηλή ταχύτητα όμως σημαίνει μικρή παροχή, οπότε αν το κτίριο έχει αυξημένες απαιτήσεις σε παροχή, τότε υπάρχει πρόβλημα. Αυτό αντιμετωπίζεται ως εξής:

Η ταχύτητα ροής ρυθμίζεται μεταξύ 3 έως 4 ms⁻¹. Απαιτήσεις για μεγαλύτερες παροχές, καλύπτονται αυξάνοντας τον αριθμό των αεραγωγών.

Όπως ήδη αναφέραμε, οι πιο πάνω κανόνες αποτελούν γενικές οδηγίες για τη διαστασιολόγηση των αεραγωγών εδάφους, μία ολοκληρωμένη μελέτη απαιτεί όμως την χρήση υπολογιστικών εργαλείων. Η ανάπτυξη των εργαλείων αυτών βασίζεται σε αλγορίθμους οι οποίοι επιλύουν τις εξισώσεις μεταδόσεως θερμότητας στη περίπτωση αυτή.

Η θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο ενός αεραγωγού, δίνεται απ την σχέση:

$$T_{\text{εξόδου}} = T_{\text{εδ}} + (T_{\text{εισόδου}} - T_{\text{εδ}}) * e^{-\frac{4hL}{\rho_a c_a u D}} \quad (5.7)$$

- $T_{\text{εξόδου}}$ (°C) θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του αεραγωγού,
- $T_{\text{εδ}}$ (°C) η θερμοκρασία του εδάφους στο βάθος του αεραγωγού,
- $T_{\text{εισόδου}}$ (°C) θερμοκρασία του αέρα στην είσοδο του αεραγωγού,
- h (W.m⁻².K⁻¹), ο συντελεστής συναγωγής στο εσωτερικό του αεραγωγού,
- L (m), το μήκος του αεραγωγού,
- ρ_a (kg.m⁻³), η πυκνότητα του αέρα, ($\rho_a = 1,177$ kg.m⁻³)

- c_a ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$), η ειδική θερμότητα του αέρα υπό σταθερά πίεση, ($c_a = 1006 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
- u (m.s^{-1}), η ταχύτητα της ροής στο εσωτερικό του αεραγωγού
- D (m), η διάμετρος του αεραγωγού.

Σημειώνεται ότι η ανωτέρω σχέση βασίζεται στην υπόθεση ότι τα τοιχώματα του αεραγωγού βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία με αυτήν του εδάφους στο βάθος του αεραγωγού.

Οι διάφορες παράμετροι της Σχέσεως (5.7) αποτελούν δεδομένα του προβλήματος, με εξαίρεση τον συντελεστή συναγωγής h . Δεδομένου ότι στις πρακτικές εφαρμογές, η ροή του αέρα στο εσωτερικό του αεραγωγού είναι τυρβώδης, δηλαδή ο αριθμός το Reynolds είναι μεγαλύτερος του 2000, ο h μπορεί να υπολογισθεί με την βοήθεια της σχέσης (Pitts & Sissom, 1977):

$$h = Nu * K_a / d \quad (5.8)$$

Όπου Nu (-) ο αριθμός του Nusselt, K_a ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) η ειδική θερμική αγωγιμότητα του αέρα ($K_a = 0,0262 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$) και d η διάμετρος των αεραγωγών.

Ο αριθμός του Nusselt υπολογίζεται με την σειρά του από την σχέση:

$$Nu = 0,023 Re_d^{0.8} Pr^{0.3} \quad (5.9)$$

Όπου Re_d (-) ο αριθμός του Reynolds και Pr (-), ο αριθμός του Prandtl. Ο αριθμός το Reynolds δίνεται από την σχέση:

$$Re_d = ud / \nu_a \quad (5.10)$$

όπου ν_a το κινηματικό ιξώδες του αέρα ($\nu_a = 1,57 * 10^{-5} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$), ενώ ο αριθμός το Prandtl ισούται με:

$$Pr = c_a \mu_a / K_a \quad (5.11)$$

όπου μ_a το δυναμικό ιξώδες του αέρα ($\mu_a = 1,85 * 10^{-5} \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$).

Οι θερμοφυσικές ιδιότητες του αέρα είναι συναρτήσεις της θερμοκρασίας. Οι τιμές αντιστοιχούν στους $20 \text{ }^\circ\text{C}$ περίπου.

5.6 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΕΡΑΓΩΓΩΝ

Η εγκατάσταση αεραγωγών περιλαμβάνει τρία βασικά σκέλη:

1. Το πρώτο σκέλος αφορά τις απαραίτητες χωματουργικές εργασίες.
2. Το δεύτερο σκέλος αφορά την κατασκευή - συναρμολόγηση και εγκατάσταση του αεραγωγού.
3. Το τρίτο αφορά την εγκατάσταση των λοιπών απαιτούμενα ηλεκτρομηχανολογικών εξαρτημάτων.

Κατά τις χωματουργικές εργασίες πρέπει να ληφθεί μέριμνα ώστε η τάφρος η οποία θα ανοιχθεί για την τοποθέτηση του ή των αεραγωγών, να έχει μία κλίση της τάξης του 1 %. Η κλίση αυτή απαιτείται ώστε η κλίση αυτή να μεταφέρεται στον αεραγωγό. Τοποθετώντας τον αγωγό με αυτή την κλίση, τυχόν συμπυκνώματα υδρατμών στο εσωτερικό του συγκεντρώνονται στην χαμηλότερη πλευρά, όπου και εκκενώνονται στο υπέδαφος, με την βοήθεια μίας μικρής οπής, διαμέτρου όχι μεγαλύτερης των 6 - 7 mm την οποία ανοίγουμε κατά την τοποθέτηση.

Η κατασκευή - συναρμολόγηση του αεραγωγού εξαρτάται από το είδος του υλικού. Αν πρόκειται για σωλήνες από PVC (Σχήμα 5.4), τότε η συναρμολόγηση γίνεται εύκολα από δύο άτομα, είτε έξω από την τάφρο, είτε απ' ευθείας στο εσωτερικό της. Αν πρόκειται όμως για τσιμεντοσωλήνες ή μεταλλικούς αγωγούς, τότε η όλη διαδικασία συνήθως απαιτεί και την βοήθεια γερανού. Αφού ολοκληρωθεί η συναρμολόγηση, στη πλευρά του αεραγωγού η οποία θα τοποθετηθεί στο χαμηλότερο σημείο της κεκλιμένης τάφρου, ανοίγεται η οπή για την απαγωγή τυχόν συμπυκνωμάτων. Η απαγωγή γίνεται απ' ευθείας από το έδαφος, λόγω τριχοειδούς φαινομένου, χωρίς να απαιτείται άλλη, πολύπλοκη διάταξη.



Σχήμα 5.4. Σωλήνες PVC πριν την συναρμολόγηση του αεραγωγού εδάφους

Πριν την τοποθέτηση του αεραγωγού στο εσωτερικό της τάφρου, στρώνεται άμμος, με πάχος τουλάχιστον 5 cm (Σχήμα 5.5).



Σχήμα 5.5. Υπόστρωμα άμμου κατά την τοποθέτηση του αεραγωγού

Εν συνεχεία τοποθετείται ο αεραγωγός ο οποίος καλύπτεται και αυτός με άμμο, τόσο ώστε όλο το οριζόντιο τμήμα του εναλλάκτη να περιβάλλεται από στρώμα 5 cm (Σχήμα 5.6).



Σχήμα 5.6. Δεύτερο στρώμα άμμου μετά την τοποθέτηση του αεραγωγού.

Η άμμος είναι αναγκαία για δύο λόγους:

1. Προστατεύει τον αεραγωγό από μηχανικές καταπονήσεις.
2. Καλύπτει όλα τα κενά τα οποία θα υπήρχαν αν ο αεραγωγός σκεπαζόταν απ' ευθείας με το χώμα της ανασκαφής, με αποτέλεσμα την καλύτερη θερμική επαφή

μεταξύ αεραγωγού και εδάφους. Η καλύτερη θερμική επαφή οφείλεται αφ' ενός στο γεγονός ότι η άμμος έχει καλή θερμική αγωγιμότητα και αφ' έτερου στο ότι οι θύλακες αέρα οι οποίοι θα εδημιουργούνται μεταξύ αεραγωγού κι εδάφους, θα δρούσαν θερμομονωτικά.

Μετά την κάλυψη του αεραγωγού με το στρώμα άμμου, γεμίζει η τάφρος με το χώμα της ανασκαφής και ο εναλλάκτης είναι έτοιμος να λειτουργήσει.

Προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε τα κατακόρυφα τμήματα του αεραγωγού να έχουν ικανοποιητικό μήκος και να εξέχουν αρκετά από την επιφάνεια του εδάφους (Σχήμα 5.6) ακόμη και μετά την πλήρη ταφή του αεραγωγού ώστε:

- να μην εισχωρήσουν χώματα στο εσωτερικό του αεραγωγού κατά την ταφή του γεγονός το οποίο θα συνεπαγόταν την απόφραξη του,
- να διευκολυνθεί η σύνδεση του με τον λοιπό μηχανολογικό εξοπλισμό (ανεμιστήρες, κ.λ.π.).

Η τρίτη φάση περιλαμβάνει τον λοιπό μηχανολογικό εξοπλισμό του συστήματος κυριότερο συστατικό του οποίου είναι η επιλογή του ανεμιστήρα. Οι δυνατές επιλογές είναι δύο: είτε κάθε αεραγωγός να είναι εφοδιασμένος με τον δικό του ανεμιστήρα, είτε ένας ανεμιστήρας να ελέγχει μία συστοιχία αγωγών. Ο έλεγχος της παροχής του αέρα στην πρώτη περίπτωση γίνεται τροφοδοτώντας τον αναγκαίο κατά περίπτωση αριθμού ανεμιστήρων και ρυθμίζοντας κατάλληλα τις στροφές τους. Στην δεύτερη περίπτωση παροχή ρυθμίζεται με διαφράγματα ρύθμισης παροχής αέρα (dumpers), τα οποία τοποθετούνται σε κάθε εναλλάκτη. Δεν υπάρχει κανόνας για την τελική επιλογή. Αυτό γίνεται κατά περίπτωση.

Αν χρησιμοποιείται ανεξάρτητος ανεμιστήρας σε κάθε αεραγωγό, τότε αυτός μπορεί να είναι και ακτινικός. Αν όμως πρόκειται για μεγάλου μήκους αεραγωγό, ή συστοιχία στην οποία η πτώση πίεσης είναι μεγάλη, τότε καλύτερη λύση είναι ο φυγοκεντρικός ανεμιστήρας. Η διαστασιολόγηση του ανεμιστήρα γίνεται λαμβάνοντας υπ' όψιν τη συνολική πτώση πίεσεως καθώς και την επιθυμητή παροχή ή την ταχύτητα ροής.

Τέλος τοποθετούνται και αισθητήρες μέτρησης της θερμοκρασίας του αέρα στη είσοδο και την έξοδο του αεραγωγού ώστε να συλλέγονται οι απαραίτητες εκείνες πληροφορίες οι οποίες θα επιτρέψουν τον αυτόματο έλεγχο του συστήματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Π.ΧΑΡΩΝΗ “Ήλιακά παθητικά θερμοκήπια”, εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα 1998.
2. Μ.ΓΡΑΦΙΑΔΕΛΛΗ “Σύγχρονα θερμοκήπια”, εκδ. Γαρταγάνης, Θεσσαλονίκη 1990
3. Θ.ΕΥΣΤΑΘΙΑΔΗ “Θερμοκήπια”, εκδ. Αγροτεχνική, Αθήνα 1987.
4. Π.ΧΑΡΩΝΗ “Μηχανολογικές εγκαταστάσεις”, τόμος 2
5. Ν.ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ “Θερμοκηπιακές κατασκευές”, εκδ. ΑΤΕ 1987
6. Γ.ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ “Θερμοκήπια”, εκδόσεις Σταμούλης, Πειραιάς 1990.
7. Ν.ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ “Ο άνεμος σαν παράγοντας καταπόνησης των θερμοκηπίων”, εκδ. ΑΤΕ 1987
8. Ν.ΝΑΝΟΥΣΗΣ “Ρευστομηχανική Ι”, Πάτρα 1993
9. Γ.Ν.ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ “Εξοικονόμηση ενέργειας και χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο θερμοκήπιο”. Γεωργική τεχνολογία, Farm consulting – No2, 1997.
10. Ε.ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ, Σ.ΚΥΡΙΤΣΗ, Χ.ΣΟΥΤΕΡ “Θέρμανση θερμοκηπίων – Αντλίες θερμότητας”, εκδόσεις ΕΛΚΕΠΑ, Αθήνα 1987
11. Γ.ΒΟΥΡΔΟΥΜΠΙΑ “Κριτήρια αξιολόγησης διαφόρων μη συμβατικών μεθόδων θέρμανσης θερμοκηπίων”, Γεωργία και κτηνοτροφία, τεύχος 3, Απρίλιος 1995

12. Γ.ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ “Ανταλλαγές ενέργειας του θερμοκηπίου με το περιβάλλον” , 1^ο Εθνικό Συνέδριο Η.Μ.Ε. Θεσσαλονίκη 20-22/10/82
13. Γ.ΜΑΥΡΟΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ, Σ.ΚΥΡΙΤΣΗΣ “Δυνατότητα θέρμανσης του θερμοκηπίου με την χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας και υπόγειο εναλλάκτη θερμότητας εδάφους αέρα” , 2^ο Εθνικό Συνέδριο Η.Μ.Ε. Θεσσαλονίκη 6-8/11/85
14. Μ.ΓΡΑΦΙΑΔΕΛΛΗΣ “Ανάπτυξη ενός παθητικού ηλιακού συστήματος για θέρμανση θερμοκηπίων” , 2^ο Εθνικό Συνέδριο Η.Μ.Ε. Θεσσαλονίκη , 6-8/11/85
15. ΠΑΞΑΟΠΟΥΛΟΣ, Σ.ΚΥΡΙΤΣΗ “Επιδόσεις ηλιακών συστημάτων θέρμανσης θερμοκηπίων με αντλία θερμότητας” , 3^ο Εθνικό Συνέδριο Η.Μ.Ε. Θεσσαλονίκη , 9-11/11/88
16. Ι.ΓΑΡΟΦΑΛΑΚΗΣ, Α.ΦΡΑΓΚΟΥΔΑΚΗΣ, Κ.ΚΑΛΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ, Σ.ΚΥΡΙΤΣΗΣ “Αποθήκευση θερμότητας στο έδαφος θερμοκηπίου”, 4^ο Εθνικό Συνέδριο Η.Μ.Ε. Ξάνθη , 6-8/10/92
17. Γ.ΒΟΥΡΔΟΥΜΠΙΑ “ Ήπιες μορφές ενέργειας για θέρμανση θερμοκηπίων” , Γεωργική τεχνολογία , Οκτώβριος 1991
18. Ε.Η.ΒΑΖΑΙΟΣ “Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας” , 3^η έκδοση , Αθήνα 1987
19. Μ.ΣΑΝΤΑΜΟΥΡΙΣ “ Active solar Agricultural greenhouses. The state of the art” , Int. J. Solar Energy, 1993
20. Μ.ΣΑΝΤΑΜΟΥΡΙΣ, C.A.BALARAS, E.DASKALAKI, M.BALLINDRAS “Passive solar agricultural greenhouse : A world wide classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes” , SOLAR ENERGY

Π Α Ρ Α Ρ Τ Η Μ Α

Μ Ο Ν Α Δ Ω Ν

Πίνακας 1 : Συστήματα μονάδων

Συστήματα μονάδων	Θεμελιώδεις μονάδες	Παράγωγες μονάδες	Σταθερά αναλογίας g_c
Απόλυτο μετρικό σύστημα	Μάζα , gr Μήκος , cm Χρόνος , sec Θερμοκρασία , °K	Δύναμη: gr. cm dyne = gr. cm / sec ²	1 gr.cm /dyne-sec ²
Απόλυτο Αγγλικό σύστημα	Μάζα , lb Μήκος , ft Χρόνος , sec Θερμοκρασία , °R	Δύναμη: poundal= Lbm-ft/ sec ²	1 lhrn-ft / poundal-sec ²
Τεχνικό σύστημα Αγγλίας	Δύναμη , lbf Μήκος , ft Χρόνος , sec Θερμοκρασία , °R	Μάζα: slug=lbf-sec ² / ft	1 slug-ft / 1lbf-sec ²
Μηχανικό σύστημα Αγγλίας	Δύναμη , Lbf Μάζα , Lbm Μήκος , ft Χρόνος , Sec Θερμοκρασία , °R		32,17 lbm-ft / lbf-sec ²
Διεθνές σύστημα	Μάζα , Kg Μήκος , m Χρόνος , sec Θερμοκρασία , °C	Δύναμη: N Kg-m / sec ²	1 Kg-m / N-sec ²

Από	σε	πολλαπλασίασε με
Πίεση (συνέχεια)		
in Hg	N/m ²	3.3864 * 10 ³
in water	N/m ²	249,09
ft water	N/m ²	2.989 * 10 ³
Pascal	N/m ²	1,00
Ταχύτητα		
ft/sec	m/sec	0,3048
Km/h	m/sec	0,277777778
Knot (international)	m/sec	0,51444444
mile/h (U.S. statute)	m/sec	0,44704
Θερμική Αγωγιμότητα		
Btu. in. /ft ² -sec- °F	J/m-sec- °K	518,87315
Btu/ft-h- °F	J/m-sec- °K	1,7295771
Ιξώδες		
centipoise	N. sec/ m ²	1.00 * 10 ⁻³
centistoke	m ² /sec	1.00 * 10 ⁻⁶
ft ² /sec	m ² /sec	0,09290304
lb-ft-sec	N. sec/ m ²	1,4881639
lb-f. sec/f t ²	N. sec/ m ²	47,880258
Poise	N. sec/ m ²	0,10
lb/ft . sec (poundal . sec/f t ²)	N. sec/ m ²	1,4881639
slug/ft . sec	N. sec/ m ²	47,880258
stoke	m ² /sec	1,00 * 10 ⁻⁴
Όγκος		
ft ³	m ³	0,0283168465
in ³	m ³	16,387 * 10 ⁻⁶
gallon (British)	m ³	4,546087 * 10 ⁻³
gallon (U.S. dry)	m ³	4,40488377 * 10 ⁻³
gallon (U.S. liquid)	m ³	3,78541178 * 10 ⁻³
liter (H ₂ O σε 4 °C)	m ³	1,000028 * 10 ⁻³
liter (S.I)	m ³	1,00 * 10 ⁻³

Από	σε	πολλαπλασίασε με
Όγκος (συνέχεια)		
Pint (U.S. liquid)	m ³	4,73 176473 * 10 ⁻⁴
quart (U.S. liquid)	m ³	9,4635295 * 10 ⁻⁴
yard ³	m ³	0,764554857
Ορμή		
lb-ft/sec	Kgr.m/sec	0,1383

Πίνακας 2. Μετατροπές μονάδων

Από	σε	πολλαπλασίασε με
Ενέργεια		
Btu	Joule	1054,35026448
calorie	Joule	4,184
ft lb-f	Joule	1,3558179
ft poundal	Joule	0,042140110
Kwh	Joule	$3,60 * 10^6$
Wh	Joule	3600
hph	Joule	$2,6845 * 10^6$
Δύναμη		
dyne	Newton	$1,00 \times 10^{-5}$
1 Kg-[Newton	9,80665
1lb-f	Newton	4,44822161526
1 poundal	Newton	0,1382549543
1 ton-[Newton	$9,9640 * 10^{-6}$
Μήκος		
Angstrom	Μέτρα	$1,00 * 10^{-5}$
ft	Μέτρα	0,3048
in	Μέτρα	0,0254
micron	Μέτρα	$1,00 * 10^{-6}$
mil	Μέτρα	$2,54 * 10^{-5}$
mile (v.S. statute)	Μέτρα	1609.344
vard	Μέτρα	0.9144
Μάζα		
gram	Kgr	$1,00 * 10^{-3}$
lb	Kgr	0,45359237
Oz (ounce mass)	Kgr	0,028349523
cwt	Kgr	50,802
ton (metric)	Kgr	1000
ton (U.K.)	Kgr	1016,0469

Από	σε	πολλαπλασιασε με
Θερμοκρασία		
Celsius	Kelvin	$K = C + 273,15$
Fahrenheit	Celsius	$C = 5/9 * (F - 32)$
Fahrenheit	Kelvin	$K = 5/9 * (F + 459,67)$
Kelvin	Celsius	$C = K - 273,15$
Rankine	Kelvin	$K = 5/9 * R$
Επιτάχυνση		
Ft / sec ²	m / sec ²	0,3048
In / sec ²	m / sec ²	0,0254
Πυκνότητα		
gr / c m ³	Kg / m ³	1000
lb/ft ³	Kg / m ³	16,018463
lb / U.K. gal	Kg / m ³	99,776
lb / U.S. gal	Kg / m ³	119,83
slug/ft ³	Kg / m ³	515,379
Ισχύς		
Btu / sec	Watt	1054,3502644
cal / sec	Watt	4,184
ft lb-f / sec	Watt	1,3558179
hp (British)	Watt	745,69987
hp (metric)	Watt	735,499
Πίεση		
at(1Kgr-f/cm ²)	N/m ²	$0,980665 * 10^5$
at(standard)	N/m ²	$1,01325 * 10^5$
bar	N/m ²	$1,00 * 10^5$
psi(lib-f/in ²)	N/m ²	$6,8948 * 10^3$
psf(lib-f/in ²)	N/m ²	47,880
ton-f/in ²	N/m ²	$15,444 * 10^6$
torr(1mmHg)	N/m ²	133,322

