

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Ενεργειακή Μελέτη και Εγκατάσταση Θερμοκηπίου
καλλιέργειας οπωροκηπευτικών.**



**ΤΣΕΚΟΥΡΑΣ ΑΓΓΕΛΟΣ
ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΒΟΥΡΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ (Α.Υ)

ΠΑΤΡΑ 2017



ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1.1 Γενική περιγραφή θερμοκηπίου.	9
1.2 Ιστορική Αναδρομή – Σημερινή κατάσταση.....	10
2 ΦΩΤΙΣΜΟΣ – ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	15
2.1 Φωτισμός.	15
2.2 Ηλιακή Ακτινοβολία.....	17
2.3 Τρόποι Μεταφοράς Θερμότητας σε θερμοκήπιο.	21
2.4 Ταξινόμηση υλικών κάλυψης.	22
3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΛΙΕΡΓΕΙΑΣ. (Phaseolus vulgaris humilis)	25
3.1 Κλιματικές συνθήκες.	26
3.2 Σπορά.	27
3.3 Λίπανση - Άρδευση.	27
3.4 Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο.	27
3.4.1 Φύτευση.....	28
3.4.2 Άρδευση.	28
3.4.3 Λίπανση.....	28
3.4.4 Συγκομιδή.....	29
4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	31
4.1 Θερμοκήπια χωρικού τύπου.	31
4.1.1 Τύπος Μακεδονίας.....	32
4.1.2 Τύπος Ιεράπετρας.....	33
4.1.3 Τύπος Τυμπακίου.	34
4.1.4 Τύπος Φιλιατρών.	34
4.1.5 Τύπος Πρέβεζας.	35
4.2 Τυποποιημένα θερμοκήπια.	35
4.2.1 Αμφικλινές θερμοκήπιο.	36
4.2.2 Τοξωτό θερμοκήπιο.	37
4.3 Υλικά κάλυψης θερμοκηπίου.	38
4.3.1 Κάλυψη με υαλοπίνακες.....	41
4.3.2 Κάλυψη με εύκαμπτα πλαστικά φύλλα.	42
4.3.3 Κάλυψη με πολυαιθυλένιο (PE).....	43
4.3.4 Κάλυψη με πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC).....	46
4.3.5 Κάλυψη με πολυεστερικά φύλλα.	48
4.4 Επιφάνειες σκληρού πλαστικού.	48
4.4.1 Ενισχυμένος πολυεστέρας (fiberglass).....	48
4.4.2 Πολυκαρβονικές επιφάνειες	50
4.4.3 Ακρυλικές επιφάνειες.	50
4.4.4 Σκληρό πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)	51
4.4.5 Υλικά κάλυψης επιλεκτικής περατότητας στο φως.....	51
4.5 Οικονομική θεώρηση των υλικών κάλυψης.....	52
5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ	53
5.1 Μέθοδος Ενεργειακού Ισοζυγίου.	53
5.1.1 Υπολογισμός της R_N	55
5.1.2 Υπολογισμός της Q_{CC}	56
5.1.3 Υπολογισμός της Q_v	56
5.2 Υπολογισμός θερμικών απωλειών κατά την οικοδομική.	57
5.2.1 Απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα.	57
5.2.2 Υπολογισμός θερμικής αντίστασης εσωτερικής επιφάνειας (R_i).	58
5.2.3 Υπολογισμός θερμικής αντίστασης του υλικού (R_k).	58



5.2.4	Υπολογισμός θερμικής αντίστασης εξωτερικής επιφάνειας (R_{out})	59
5.2.5	Υπολογισμός θερμικών απωλειών από διαφυγές του αέρα (q_v)	59
5.2.6	Υπολογισμός των συνολικών θερμικών απωλειών (q)	60
6	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	61
6.1	Κεντρικό Σύστημα Θέρμανσης με νερό ή ατμό	61
6.2	Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου	62
6.2.1	Σωληνώσεις νερού	63
6.2.2	Σωληνώσεις ατμού	63
6.3	Θέση σωληνώσεων θέρμανσης	64
6.4	Σωλήνες θερμού αέρα	64
6.4.1	Πλαστικοί διάτρητοι σωλήνες στο επίπεδο του εδάφους	64
6.4.2	Πλαστικοί διάτρητοι σωλήνες στην οροφή	65
7	ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	67
7.1	Φυσικός αερισμός	68
7.2	Δυναμικός αερισμός	70
7.3	Κρίσιμοι παράμετροι αερισμού	72
7.4	Μηχανισμοί των ανοιγμάτων	75
7.5	Κατανομή και έκταση των ανοιγμάτων	76
8	ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ	79
8.1	Υπολογισμός παραμέτρων	79
8.1.1	Υπολογισμός μετεωρολογικών παραμέτρων	79
8.1.2	Υπολογισμός γεωμετρικών και κλιματολογικών παραμέτρων	80
8.2	Εφαρμογή Μεθόδου Ενεργειακού Ισοζυγίου	83
8.2.1	Υπολογισμός R_N	84
8.2.2	Υπολογισμός Q_{cc}	84
8.2.3	Υπολογισμός Q_v	85
8.2.4	Υπολογισμός Q_H και Q_{HM}	86
8.3	Υπολογισμός σωληνώσεων	86
8.4	Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου	89
8.5	Επιλογή λέβητα	91
9	Συμπεράσματα – Ανασκόπηση	93
10	Αναφορές	97
11	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	99
	Πίνακας 8.1 Τυπικές ελάχιστες ανεκτές νυκτερινές θερμοκρασίες για τις κυριότερες θερμοκηπιακές καλλιέργειες στην Ελλάδα	100
	Πίνακας 8.2 Γεωγραφικό πλάτος ϕ πόλεων της Ελλάδας	101
	Πίνακας 8.3 Αντιπροσωπευτικές ημέρες κάθε μήνα για την ηλιακή ακτινοβολία στην Ελλάδα	101
	Πίνακας 8.4 Τιμές συντελεστών A_i , B_i και F_i για την εύρεση των θερμοκρασιών T_{min} , T_{max}	101
	Πίνακας 8.5 Μέση ταχύτητα ανέμου (m/s)	103
	Πίνακας 8.6 Μέση πραγματική μηνιαία και ετήσια ηλιοφάνεια σε ώρες	104
	Πίνακας 8.7 Μέση σχετική υγρασία RH_{mean} (%) περιοχών της Ελλάδας	105
	Πίνακας 8.8 Αντιστάσεις εσωτερικών συνθηκών της επιφάνειας του καλύμματος (von Zabeltitz 1986)	106
	Πίνακας 8.9 Θερμική αντίσταση υλικών κάλυψης θερμοκηπίων R (von Zabeltitz 1986)	106
	Πίνακας 8.10 Θερμική αγωγιμότητα (λ) των υλικών τοιχοποιίας	106
	Πίνακας 8.11 Θερμική αντίσταση των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας καλύμματος του θερμοκηπίου	107
	Πίνακας 8.12 Μέση διάρκεια της ημέρα DL κατά μήνα και γεωγραφικό πλάτος	107
	Πίνακας 8.13 Αποδιδόμενη ενέργεια ατμού ανά μέτρο μήκους σωλήνα	108
	Πίνακας 8.14 Θερμογόνος δύναμη και πυκνότητα στερεών καυσίμων	108



Πίνακας 8.15 Θερμογόνος δύναμη και πυκνότητα υγρών καυσίμων. 108

<i>Εικόνα 1: Μεταλλική κατασκευή πρότυπου θερμοκηπίου.....</i>	<i>14</i>
<i>Εικόνα 2: Τμήμα του Ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ως προς τις σημαντικές αλληλεπιδράσεις με τα φυτά.....</i>	<i>17</i>
<i>Εικόνα 3: Ηλιακή ακτινοβολία ημέρας με καθαρό ουρανό, σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια του εδάφους σε βόρεια γεωγραφικά πλάτη.....</i>	<i>18</i>
<i>Εικόνα 4: Ουράνια ηλιακή τροχιά κατά το χειμώνα και το καλοκαίρι.....</i>	<i>19</i>
<i>Εικόνα 5: Άποψη της υπό μελέτης περίπτωσης.....</i>	<i>79</i>



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στην ενεργειακή μελέτη θέρμανσης και εγκατάσταση θερμοκηπίου καλλιέργειας οπωροκηπευτικών και ειδικότερα στην καλλιέργεια φασολιού.

Αφορμή για την παρούσα πτυχιακή εργασία αποτέλεσε η πρόθεσή μας να ασχοληθούμε με την κάλυψη των θερμικών ενεργειακών αναγκών ενός θερμοκηπίου για καλλιέργεια τους χειμερινούς μήνες. Στο παρόν τεύχος της πτυχιακής εργασίας μας αναφέρεται η μεθοδολογία υπολογισμού των απωλειών θερμότητας και η κάλυψη αυτών με λέβητα πυρήνα (πυρηνόξυλου).

Από τη θέση αυτή θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα Παν/κό Υπότροφο κ.Βούρο Α., υπεύθυνο καθηγητή μας, για τις πολύτιμες συμβουλές του και την αμέριστη συμπαράστασή του κατά την διεξαγωγή της παρούσας εργασίας. Τον ευχαριστούμε για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε για την πραγματοποίηση της εργασίας.

Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας για την υπομονή και στήριξη που μας παρείχαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας αλλά και συνολικά κατά τη διάρκεια των σπουδών μας.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

(Ονοματεπώνυμο)

Ο σπουδαστής

(Ονοματεπώνυμο)

.....
Υπογραφή

.....
Υπογραφή



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και ο υπολογισμός των θερμικών αναγκών ενός θερμοκηπίου και η κάλυψη αυτών με την οικονομικότερη λύση. Πιο αναλυτικά η δομή της εργασίας υποδιαιρείται σε κεφάλαια ως ακολούθως:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια γενική περιγραφή του θερμοκηπίου και μια ιστορική αναδρομή στην κατασκευή μέχρι τις μέρες μας. Δίνονται στοιχεία σε σχέση με την όλο και αυξανόμενη κάλυψη εδάφους με θερμοκηπιακές καλλιέργειες οι οποίες μπορεί να είναι συμφέρουσες σε εποχές που η παραγωγή ενός συγκεκριμένου καρπού είναι «εκτός εποχής».

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στο φωτισμό και την ηλιακή ακτινοβολία που είναι ο κυρίαρχος μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας σε μια θερμοκηπιακή καλλιέργεια. Δίνονται τα βασικά στοιχεία σχετικά με τον κύριο μηχανισμό που είναι η ηλιακή ακτινοβολία ενώ γίνεται και μια πρώτη ταξινόμηση των υλικών κάλυψης όπως προς τη διαπερατότητά τους στο φως.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνονται τα βασικότερα στοιχεία της καλλιέργειας που πρόκειται να εφαρμοστεί στο υπό μελέτη θερμοκήπιο που είναι το φασόλι. Γίνεται αναφορά στις κλιματικές συνθήκες στις οποίες θα πρέπει να αναπτύσσεται το φυτό ενώ συζητούνται θέματα ανάπτυξης του φυτού όπως η σπορά, η λίπανση και η άρδευση. Ειδικότερα περιγράφονται στοιχεία της θερμοκηπιακής καλλιέργειας όπως φύτευση, λίπανση, άρδευση και συγκομιδή.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται τα κατασκευαστικά στοιχεία του θερμοκηπίου. Ειδικότερα γίνεται αναλυτική περιγραφή των διαφόρων χωρικών τύπων θερμοκηπίου που έχουν επικρατήσει στον ελλαδικό χώρο ενώ επίσης δίνονται και κατασκευαστικά στοιχεία για τα τυποποιημένα θερμοκήπια (αμφικλινή ή τοξωτά). Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται επίσης εκτενής αναφορά στα υλικά κάλυψης στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών για κάθε χρήση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται οι μέθοδοι υπολογισμού των θερμικών αναγκών. Ειδικότερα αναλύεται η μέθοδος ενεργειακού ισοζυγίου καθώς και η οικοδομική μέθοδος. Δίνονται αναλυτικά οι παράμετροι υπολογισμού όπως μετεωρολογικά – κλιματολογικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών καθώς και οι μαθηματικές εκφράσεις για τα επιμέρους ποσά θερμότητας που πρέπει να καλυφθούν για μια θερμοκηπιακή καλλιέργεια. Οι μέθοδοι αυτοί υπολογισμού των θερμικών αναγκών και ειδικότερα η μέθοδος ενεργειακού ισοζυγίου εφαρμόζεται αργότερα στο έβδομο κεφάλαιο της εργασίας στο οποίο γίνεται ο αναλυτικός υπολογισμός για η μελέτη περίπτωσης του θερμοκηπίου προς εγκατάσταση που έχει επιλεγεί να μελετηθεί.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται η περιγραφή του σχεδιασμού συστήματος θέρμανσης του θερμοκηπίου και ειδικότερα δίνονται στοιχεία για τη θέρμανση θερμοκηπίου με νερό ή ατμό. Δίνεται ο τρόπος υπολογισμού της ποσότητας του καυσίμου καθώς και στοιχεία για τον υπολογισμό των σωληνώσεων.

Στο έβδομο κεφάλαιο δίνονται κάποια βασικά στοιχεία για τον αερισμό ενός θερμοκηπίου ο οποίος όμως θα πρέπει να σημειωθεί ότι είναι απαιτητος κυρίως κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Ειδικότερα περιγράφονται λύσεις για το φυσικό αερισμό του θερμοκηπίου ο οποίος είναι και η πιο συνήθης περίπτωση αερισμού κατά τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες. Επισημαίνονται τα είδη φυσικού αερισμού (πλευρικός, οροφής) και δίνονται γεωμετρικά χαρακτηριστικά των επιδιωκόμενων ανοιγμάτων σε συμφωνία με τις απαιτούμενες εναλλαγές αέρα. Σημειώνεται ότι για την αποφυγή της ψύξης των χαμηλότερων τμημάτων των φυτών και επομένως τον κίνδυνο υπανάπτυξης αυτών είναι ευνοϊκότερο ο αερισμός οροφής παρά ο πλευρικός που φαίνεται πιο εύκολη και οικονομικότερη λύση.

Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται η εφαρμογή του υπολογισμού των θερμικών αναγκών για το υπό μελέτη θερμοκήπιο με τη μέθοδο του ενεργειακού ισοζυγίου που κρίθηκε ορθότερη της οικοδομικής. Πιο αναλυτικά στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αφού υπολογιστούν οι θερμικές



ανάγκες του υπό μελέτη θερμοκηπίου στη συνέχεια επιλέγεται ο κατάλληλος λέβητας που θα τις ικανοποιεί. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή επιπλέον η μελέτη σκοπιμότητας του συγκεκριμένου έργου κατά την οποία κρίνεται η απόδοση της συγκεκριμένης θερμοκηπιακής καλλιέργειας και γίνεται σύγκριση μεταξύ υγρών (πετρέλαιο) και στερεών καυσίμων (πυρήνα – πηρυνόξυλο).

Στο ένατο κεφάλαιο γίνεται μια ανασκόπηση των σημαντικότερων σημείων της εργασίας και δίνονται τα πιο σημαντικά συμπεράσματα.

Τέλος δίνονται σε παράρτημα οι πίνακες από τους οποίους αντλήθηκαν στοιχεία για τον υπολογισμό της μελέτης των θερμικών αναγκών του υπό μελέτη θερμοκηπίου.



1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενική περιγραφή θερμοκηπίου.

Τα θερμοκήπια είναι σχεδιαστικά ιδιαίτερες κατασκευές που στόχο έχουν την προστασία των καλλιεργειών έναντι των δυσμενών καιρικών συνθηκών και την αποκατάσταση ικανοποιητικών συνθηκών για την ανάπτυξη και παραγωγή προϊόντων σε όλη την διάρκεια του χρόνου.

Οι παράγοντες ανάπτυξης των φυτών όπως κυρίως φως, θερμοκρασία, υγρασία και CO₂, μπορούν να παρέχονται εντός του θερμοκηπίου και να διατηρούνται σε βέλτιστα επίπεδα. Ένα σωστά σχεδιασμένο θερμοκήπιο πρέπει να εξασφαλίζει και να διατηρεί τους παραπάνω σημαντικούς κλιματολογικούς παράγοντες, όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις προκαθορισμένες βέλτιστες. Συνεπώς απαιτείται κατά το σχεδιασμό του θερμοκηπίου ένα υψηλό ποσοστό διερχόμενης ακτινοβολίας, χαμηλή κατανάλωση θερμότητας, ικανοποιητική αποδοτικότητα αερισμού, επαρκής κατασκευαστική αντοχή και καλή μηχανική συμπεριφορά, χαμηλό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος (Von Elsner et al, 2000a, 2000b).

Οι πιο σπουδαίοι κλιματικοί παράγοντες που έχουν επίδραση στην κατασκευαστική δομή και στην διαμόρφωση του εσωτερικού μικροκλίματος είναι η θερμοκρασία, η συνολική ηλιακή ακτινοβολία, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνήσματα και η ένταση του ανέμου. Κατά αυτή την έννοια οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες επιδρούν σημαντικά στην κατασκευή και στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου και για το λόγο αυτό απαιτείται ο σχεδιασμός σύμφωνα με τους κανόνες σύμφωνα με το τοπικό κλίμα.

Καθώς η χρήση των θερμοκηπίων σχεδόν εκτείνεται σε ολόκληρη την Ευρώπη, ο σχεδιασμός, τα υλικά κάλυψης και ο εξοπλισμός πρέπει να ακολουθούν τις προϋποθέσεις που τίθενται από τις επιμέρους κλιματολογικές συνθήκες (Triguí et al, 2001). Καθένας από τους κλιματολογικούς παράγοντες παράγει έναν συνδυασμό επιδράσεων ο οποίος έχει είτε ευνοϊκή είτε δυσμενή επίδραση στην λειτουργικότητα και του θερμοκηπίου εξαρτώμενες από τις ιδιαίτερες τοπικές περιστάσεις.

Με αναφορά το κλίμα, η Ευρώπη μπορεί να χωριστεί σε δυο ζώνες. Στην βόρεια και κεντρική Ευρώπη το κλίμα χαρακτηρίζεται από ψυχρούς χειμώνες και ήπια καλοκαίρια (εύκρατο κλίμα). Στην νοτιότερη Ευρώπη οι χειμώνες είναι ήπιου και τα καλοκαίρια θερμά (Μεσογειακό κλίμα). Η ηλιακή ακτινοβολία στις Μεσογειακές χώρες έχει δυο έως τρεις φορές μεγαλύτερη ένταση σε σχέση με τις βορειότερες περιοχές. Για αυτόν τον λόγο τα θερμοκήπια στην Ευρώπη διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- ⊘ θερμοκήπια που είναι σχεδιασμένα για εύκρατο κλίμα και
- ⊘ θερμοκήπια που είναι σχεδιασμένα για Μεσογειακό κλίμα.

Δεδομένου ότι η Ελλάδα βρίσκεται στην περιοχή της Μεσογείου το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στα δεύτερα, με τα κύρια προβλήματα των θερμοκηπίων της Μεσογειακής λεκάνης (Von Elsner et al, 2000a) να είναι:

- ⊘ θερμοκρασίες κάτω από το βιολογικό βέλτιστο τις χειμωνιάτικες νύχτες που καθιστούν την θέρμανση απαραίτητη από 3 έως 6 μήνες και υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας,
- ⊘ υψηλή σχετική υγρασία τη νύκτα,
- ⊘ χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα, σημαντικά φορτία ανέμου και μερικές φορές φορτία χιονιού και χαλάζι,



Επομένως τα θερμοκήπια στη Μεσογειακή λεκάνη πρέπει να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Ύ Ύψηλή διαπερατότητα ακτινοβολίας,

Ύ Καλή θερμική μόνωση και σύστημα θέρμανσης για αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύκτας (κατά τη χειμερινή περίοδο).

1.2 Ιστορική Αναδρομή – Σημερινή κατάσταση.

Προσπάθειες να προσαρμοστεί το περιβάλλον στις ανάγκες της φυτικής παραγωγής μέσω προστατευτικών κατασκευών, παρατηρήθηκαν στην αρχαιότητα στην Κίνα, στην Αίγυπτο καθώς και μεταγενέστερα στην Ελλάδα και στη Ρώμη. Με το τέλος της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας οποιαδήποτε τεχνική για προστατευόμενη παραγωγή εξαφανίστηκε. Κατά το μεσαίωνα παρατηρούνται ελάχιστες εξελίξεις στην προστασία των φυτών.

Τα θερμοκήπια εμφανίστηκαν ξανά στο τέλος του 15ου έως και τον 18ο αιώνα στην Αγγλία, Γαλλία και Κάτω χώρες. Την περίοδο αυτή χρησιμοποιούνταν σχεδόν τελείως κλειστά δωμάτια για την προστασία των φυτών καθώς και υπόστεγα που είχαν κτιστό τοίχο προς βορρά, ενώ προς το νότο υπήρχαν ανοίγματα για αερισμό που έκλειναν με ξύλινα παραπετάσματα. Αργότερα τα ανοίγματα αντικαταστάθηκαν από τοίχους με γυάλινα παράθυρα.

Τον 18ο αιώνα εμφανίστηκε η καινοτομία της διάφανης αμφικλινούς στέγης, με τον βόρειο τοίχο να παραμένει κτιστός. Αυτές οι κατασκευές συνέχισαν να βελτιώνονται με την αύξηση των συνεχόμενων επιφανειών γυαλιού, με την χρήση νέων υλικών σκελετού όπως ο σίδηρος, την προσθήκη διαφόρων μηχανισμών όπως αυτών για το άνοιγμα των παραθύρων καθώς και διαφόρων εξελιγμένων συστημάτων θέρμανσης. Τον 19ο αιώνα συστηματοποιήθηκε η χρήση θερμοκηπίου για εμπορική παραγωγή και ο ενδιαφέρων νεωτερισμός κατασκευής πολλαπλών θερμοκηπίων. Στην προσπάθεια για περισσότερο φως αντικαταστάθηκε και ο βόρειος τοίχος από γυαλί. Ο εξαερισμός εκτός από τα παράθυρα γίνεται και με μηχανικούς εξαεριστές. Το 1816 χρησιμοποιήθηκε ο πρώτος αυτόματος μηχανικός θερμοστάτης για τον εξαερισμό θερμοκηπίου.

Τον 20ο αιώνα η καλλιέργεια σε θερμοκήπια γίνεται σχεδόν επαγγελματική υπόθεση με ραγδαία αύξηση μετά το 1945. Το γεγονός αυτό αύξησε την απαίτηση για μεγαλύτερο έλεγχο του περιβάλλοντος και καλύτερες κατασκευές με σκοπό την αύξηση της παραγωγής και τη μείωση του κόστους. Τα θερμοκήπια έγιναν ακόμα πιο φωτεινά με τη χρήση μεγαλύτερων επιφανειών γυαλιού αλλά και λεπτότερων στοιχείων του σκελετού. Από τη δεκαετία του '50 και μετά η ευρεία χρήση του πλαστικού έκανε τα θερμοκήπια σημαντικά φτηνότερα φέρνοντας επανάσταση στην εξάπλωση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Τα υλικά κατασκευής του σκελετού είναι πλέον το ξύλο, ο γαλβανισμένος σίδηρος, το αλουμίνιο αλλά και το πλαστικό. Τα αμφικλινή πολλαπλά θερμοκήπια ήταν τα πιο διαδεδομένα στην αρχή του αιώνα όμως με την εξέλιξη της τεχνολογίας νέοι τύποι άρχισαν να εμφανίζονται έτσι που στην εποχή μας ο αριθμός τους να είναι πολύ μεγάλος. Από τη δεκαετία του 70 άρχισε να εφαρμόζεται ευρεία ρύθμιση του περιβάλλοντος. Το 1977 μπορούσαν ήδη να ελεγχθούν και να ρυθμιστούν αυτόματα η υγρασία του αέρα, η διαχείριση του νερού, η τεχνητή νέφωση, η θερμοκρασία, ο έλεγχος ηλιακής ακτινοβολίας, ο φωτισμός, το επίπεδο του CO₂ και πολλοί άλλοι παράγοντες.

Σε παγκόσμιο επίπεδο λειτουργούν σήμερα πάνω από 1.700.000 στρέμματα με θερμοκήπια και από αυτά το 75 % είναι με κάλυψη από πλαστικά υλικά ενώ το 25 % από υαλοπίνακες. Η χώρα με τη μεγαλύτερη έκταση θερμοκηπίων στον κόσμο είναι η Ιαπωνία που προηγείται με περίπου 700.000 στρέμματα, ακολουθούν η Ιταλία με 260.000 στρέμματα, οι Η.Π.Α. με 250.000



στρέμματα, η Ισπανία με 130.000 στρέμματα η Ολλανδία με 70.000 στρέμματα και οι χώρες της πρώην Σοβιετικής Ένωσης με 50.000 στρέμματα. Ακολουθούν επίσης το Βέλγιο με 45.000 στρέμματα, η Γαλλία με 40.000 στρέμματα, η Ουγγαρία με 30.000 στρέμματα, η Γερμανία με 22.000 στρέμματα, η Τουρκία με 20.000 στρέμματα, η Ρουμανία, Πολωνία, Βουλγαρία και Μεγάλη Βρετανία με 15.000 στρέμματα και το Ισραήλ με περίπου 4.000 στρέμματα. Σε σχέση με τα υλικά κατασκευής, σε χώρες όπως η Ολλανδία, το Βέλγιο, η Γερμανία, η Αγγλία και η Ουγγαρία προτιμώνται κυρίως τα γυάλινα θερμοκήπια σε ποσοστό 85%, σε αντίθεση με τις άλλες χώρες, όπου το ποσοστό των γυάλινων θερμοκηπίων κυμαίνεται μεταξύ 10 % και 20% (Θεοχάρης 2015).

Υψηλές συγκεντρώσεις θερμοκηπίων παρατηρούνται σε ειδικές περιοχές με ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες. Για παράδειγμα τα περισσότερα από τα θερμοκήπια στην Γαλλία βρίσκονται κατά μήκος της Μεσογειακής ζώνης ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό των θερμοκηπίων της Ισπανίας βρίσκονται στην περιοχή της Αλμερίας (Briassoulis et al, 1997).

Ειδικότερα για την Ελλάδα η θερμοκηπιακή καλλιέργεια άρχισε να επεκτείνονται μετά το 1955, στις περιοχές Αθήνας και Σκάλας Λακωνίας. Τα πρώτα ήταν γυάλινα και προορίζονταν 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 επέκταση. Η εξέλιξη των θερμοκηπίων στη χώρα μας φαίνεται στον **πίνακα 1**. Τα πιο αξιόλογα κέντρα όπου αναπτύχθηκαν τα θερμοκήπια, είναι ορισμένες περιοχές της Κρήτης, της νοτιοδυτικής Πελοποννήσου, της Πρέβεζας και της Κ. Μακεδονίας.

Η Ελλάδα κατέχει την έβδομη θέση στην Ευρωπαϊκή Ένωση σε θερμοκηπιακή εδαφική κάλυψη με το 45% να βρίσκεται στην Κρήτη και έχει πολλά περιθώρια για επιπλέον στρεμματική ανάπτυξη αν θεωρηθεί ότι η Ισπανία έχει επτά φορές μεγαλύτερη στρεμματική κάλυψη και η Ιταλία πέντε. Τα θερμοκήπια στην Ελλάδα είναι σε μεγάλο ποσοστό με πλαστικό κάλυμμα και αυτό έχει ως συνέπεια μια υστέρηση στην διαμόρφωση των ελεγχόμενων συνθηκών για ποιοτική και ποσοτική παραγωγή σε σχέση με τις ανταγωνίστριες χώρες (Μαυρογιαννόπουλος 2001). Έτσι παρά τις γενικά ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες της χώρας μας μια σειρά από αιτίες δεν έχουν επιτρέψει να πρωταγωνιστήσει η χώρα μας στην παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων θερμοκηπιακών προϊόντων.

Πίνακας 8.1 Η εξέλιξη των θερμοκηπίων στη χώρα μας.

Καλλιεργητική περίοδος	Θερμοκήπια (στρέμματα)	Καλλιεργητική περίοδος	Θερμοκήπια (στρέμματα)
1955-56	2	1974-75	17.942
1956-57	40	1975-76	19.068
1957-58	75	1976-77	20.621
1958-59	100	1977-78	23.276
1959-60	120	1978-79	26.171
1960-61	150	1979-80	27.600
1961-66	Λείπουν στοιχεία	1980-81	29.400
1966-67	2.690	1981-82	30.200
1967-68	4.551	1982-83	31.457
1968-69	8.258	1983-84	31.606
1969-70	12.414	1984-85	34.797
1970-71	12.346	1985-86	35.689
1971-72	15.328	1986-87	37.404
1972-73	17.950	1987-88	39.504
1973-74	18.005	1994-95	48.589

Στοιχεία του τμήματος Κηπευτικών και Ανθοκομίας της Δ/σης Δενδροκηπευτικής, του Υπουργείου Γεωργίας.



Με την εφαρμογή μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας επιτρέπεται η παραγωγή αγροτικών προϊόντων ακόμα και εκτός εποχής. Για παράδειγμα τα πρώιμα και εκτός εποχής κηπευτικά παράγονται σε κάποιες περιοχές της Κρήτης όπως στην Ιεράπετρα, στο Τυμπάκι και στα Χανιά. Στις περιοχές της Κρήτης, ποικιλίες διαφόρων κηπευτικών (αγγουράκια Κνωσσού, ντομάτες, μελιτζάνες, πιπεριές κ.ά) παράγονται χωρίς θέρμανση όλους τους χειμερινούς μήνες. Οι μεταφυτεύσεις των κηπευτικών στα θερμοκήπια αρχίζουν από τα μέσα του Φθινοπώρου.

Επόμενες καλλιέργειες ύστερα από την ντομάτα ή το αγγουράκι στα θερμοκήπια της Κρήτης είναι το πεπόνι, τα φασολάκια και τα καρπούζια. Από τα είδη που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια, μόνο τα αγγουράκια εξάγονται σε ποσότητες 30-35.000 τόνους το χρόνο σε αγορές της Δυτικής Ευρώπης, ενώ τα άλλα είδη προορίζονται για την εσωτερική αγορά. Από τα ανθοκομικά είδη καλλιεργείται σε μεγάλη έκταση το γαρύφαλλο και σε μικρότερη το τριαντάφυλλο. Η εκτός εποχής παραγωγή κηπευτικών της Κρήτης συναντά ανταγωνιστές στις εξαγωγές τις περιοχές των Κανάριων νησιών και του βόρειου Μαρόκου, όπου παράγονται παρόμοια προϊόντα.

Μια δεύτερη αξιόλογη πρώιμη περιοχή είναι η νοτιοδυτική Πελοπόννησος, όπου η παραγωγή στα θερμοκήπια γίνεται όλο σχεδόν το χειμώνα και λίγο οψιμότερα από αυτήν της Κρήτης, αλλά μερικές καλλιέργειες, όπως του αγγουριού, της πιπεριάς κ.ά., υποφέρουν από τις χαμηλές θερμοκρασίες, που πέφτουν κάτω από τα ανεκτά όρια. Γι αυτό οι παραγωγοί άρχισαν να χρησιμοποιούν αντιπαγοτικές θερμάστρες πετρελαίου και αερίου με πολύ 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 όπου διαδόθηκαν τα θερμοκήπια, είναι η περιοχή της Πρέβεζας. Στα θερμοκήπια της περιοχής αυτής καλλιεργείται κυρίως ντομάτα και λιγότερο τα άλλα είδη των κηπευτικών από το Φεβρουάριο ως τον Ιούλιο. Η τέταρτη περιοχή παραγωγής είναι αυτή της Κεντρικής Μακεδονίας όπου τα θερμοκήπια εκτείνονται σε ακτίνα 80 km γύρω από τη Θεσσαλονίκη, δηλαδή τα χωριά Ορμύλια Χαλκιδικής, Βασιλικά, Αγγελοχώρι, Ν. Μαγνησία και Λαγκαδά Θεσσαλονίκης, Άσπρο και Σταυροδρόμι Πέλλας και ο Άγιος Γεώργιος Ημαθίας. Οι μεταφυτεύσεις στα θερμοκήπια της ντομάτας 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 ντομάτα και την πιπεριά ως το πρώτο δεκαπενθήμερο του Ιουλίου και για το αγγουράκι ως το Φθινόπωρο. Στις περιοχές αυτές, μετά την ντομάτα συνηθίζεται όψιμη καλλιέργεια αγγουριού χλωρών φασολιών, καθώς και χειμερινή καλλιέργεια μαρουλιού (Θεοχάρης 2015).

Εκτός από τις τέσσερις παραπάνω ευρείες περιοχές, τα θερμοκήπια αναπτύχθηκαν και σε πολλές άλλες καλύπτοντας τοπικές ανάγκες. Η αλματώδης αύξηση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών στη χώρα μας, σχετίζεται με τη διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση κηπευτικών υψηλής διατροφικής αξίας και ποιότητας ακόμα και σε περιόδους «εκτός εποχής», για τα οποία ο καταναλωτής είναι διατεθειμένος να πληρώσει υψηλότερη τιμή. Επίσης τα τελευταία χρόνια υπάρχουν κοινοτικά κονδύλια – ενισχύσεις – επιδοτήσεις που οδηγούν τους αγρότες προς την κατεύθυνση της θερμοκηπιακής καλλιέργειας λόγω ακριβώς και των υψηλών στρεμματικών αποδόσεων.

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 αποσκοπούν στη δημιουργία βελτιωμένων τύπων κατασκευών θερμοκηπίων και χαμηλών σκεπαστρών, στη μελέτη των ιδιοτήτων των πλαστικών, στη ρύθμιση των κλιματικών συνθηκών στα



θερμοκήπια (θέρμανση, αερισμός, σκίαση κ.ά.) και στη μελέτη της συμπεριφοράς των καλλιεργειών στα μέσα κλιματισμού. Πέρα από τα κρατικά ιδρύματα με τις κατασκευές των σκελετών των θερμοκηπίων, με τα πλαστικά και με τα συστήματα άρδευσης των καλλιεργειών, ασχολούνται αρκετές βιομηχανίες. Μεταξύ των προβλημάτων που έχουν λυθεί είναι και η χρήση διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), ο συνδυασμός άρδευσης - θρέψης, οι απολυμάνσεις εδαφών, και η παραγωγή κατάλληλων ποικιλιών για θερμοκήπια.

Σήμερα στη χώρα μας επιδιώκεται η επέκταση των θερμοκηπίων για μια σειρά από λόγους όπως:

- ∅ Οι καλλιέργειες κηπευτικών και ανθοκομικών ειδών διατηρούν ταπό τις υψηλότερες στρεμματικές αποδόσεις επομένως και υψηλότερο γεωργικό εισόδημα,
- ∅ Η παραγωγή και η ποιότητα των «εκτός εποχής» κηπευτικών και ανθοκομικών ειδών (χρωματισμός, γεύση, εμφάνιση) ευνοείται από τις κλιματολογικές συνθήκες της χώρας μας.
- ∅ 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.
- ∅ Διαγράφονται ευνοϊκές προοπτικές για την αύξηση των εξαγωγών των εκτός εποχής κηπευτικών, σε χώρες όπου, είτε οι κλιματολογικές συνθήκες είναι πιο δυσμενείς, είτε η εγχώρια παραγωγή δεν επαρκεί να καλύψει τις αυξημένες ανάγκες της κατανάλωσης.

Από την άλλη πλευρά υπάρχουν και κάποιοι αρνητικοί παράγοντες που συναντώνται συχνά στην επέκταση των προστατευόμενων με θερμοκήπια καλλιεργειών όπως:

- ∅ Όσο ευνοϊκές και αν είναι οι κλιματολογικές συνθήκες των πιο προνομιούχων περιοχών, απέχουν αρκετά από τα άριστα επίπεδα. Συνήθως οι καλλιέργειες στα άπλα θερμοκήπια που δεν αερίζονται ικανοποιητικά και που δεν διαθέτουν μέσα θέρμανσης επιτυγχάνουν χαμηλές αποδόσεις και μέτριες ποιότητες προϊόντων.
- ∅ Τα περισσότερα θερμοκήπια λόγω κατασκευής, παρουσιάζουν πολλές ατέλειες, όπως μικρή διάρκεια ζωής, χαμηλό ύψος κ.ά., με αρνητικές συνέπειες όπως την επιβάρυνση του κόστους των προϊόντων.
- ∅ Η παραγωγή είναι συνήθως περιορισμένη και εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες της κάθε χρονιάς, κάτι που δυσχεραίνει τον προγραμματισμό των εξαγωγών.
- ∅ Η μεταφορά ειδικά των ευπαθών προϊόντων των θερμοκηπίων σε μεγάλες αποστάσεις - μακρινές αγορές είναι αρκετά δαπανηρή. Προς τη λύση του προβλήματος η συγκομιδή αυτών των προϊόντων γίνεται αρκετά νωρίτερα ώστε αυτά να διατηρούνται κατά τη μεταφορά τους μισοώριμα κάτι που οδηγεί σε χαμηλότερες ποιότητες.
- ∅ Το ειδικευμένο επιστημονικό προσωπικό σε θέματα θερμοκηπίων είναι ακόμα και σήμερα λιγοστό και δεν καλύπτει ούτε τις στοιχειώδεις ανάγκες των υπηρεσιών. Επίσης η τεχνική κατάρτιση των παραγωγών σε θέματα κατασκευών, κλιματισμού και καλλιεργειών στα θερμοκήπια είναι πολύ χαμηλή.
- ∅ 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 και η κακή οργάνωση της εμπορίας.



Σήμερα η έρευνα γύρω από τα θερμοκήπια συνεχίζεται επιδιώκοντας τη λύση προβλημάτων που αφορούν την κατασκευή και τον εξοπλισμό, την αύξηση της ποσότητας και της ποιότητας της παραγωγής, τη μικρότερη επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος και την προστασία της ανθρώπινης υγείας από την παραγωγική διαδικασία στο θερμοκήπιο.

Σε σχέση με τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στα θερμοκήπια, ως εναλλακτικοί τρόποι για την εξοικονόμηση συμβατικών ενεργειακών πηγών, έχουν χρησιμοποιηθεί με καλά αποτελέσματα η ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμία και η βιομάζα. Η αιολική ενέργεια λόγω υψηλού κόστους εγκατάστασης και συντήρησης των μεγάλης ισχύος συστημάτων έχει χρησιμοποιηθεί λιγότερο για κάλυψη ενεργειακών αναγκών, ή έχει χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά σε συνδυασμό με κάποια από τις παραπάνω πηγές.

Η καύση βιομάζας, η χρήση διαφόρων τεχνικών συλλογής και αποθήκευσης θερμότητας την ημέρα για υποβοήθηση των θερμικών αναγκών την νύχτα, οι θερμοκουρτίνες οροφής και η γεωθερμία – όπου αυτή είναι διαθέσιμη – είναι ορισμένοι εναλλακτικοί τρόποι για την εξοικονόμηση συμβατικών ενεργειακών πηγών την περίοδο του χειμώνα. Για την θερινή περίοδο, οι υψηλές τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και οι αυξημένες θερμοκρασίες αέρα αντιμετωπίζονται συνήθως με τεχνητή αποφυγή περίσσειας φωτισμού, περιορίζοντας την διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος, με πλήρη αερισμό του θερμοκηπίου και με διάφορους τρόπους δροσίσιμου. Κυρίως όμως η κατάλληλη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την αποδοτική ανάπτυξη των καλλιεργειών σε ελεγχόμενες συνθήκες εντάσσεται στην κατεύθυνση της χρήσης εναλλακτικών ενεργειακών πηγών σε υποκατάσταση των συμβατικών πηγών για εξοικονόμηση ενέργειας και προστασία του περιβάλλοντος (Bakker et al, 1995).

Αναφορικά με την παρεχόμενη ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή που θα χρησιμοποιείται, ένα ολοκληρωμένο θερμοκηπιακό ενεργειακό σύστημα θα λαμβάνει πλήρως υπόψιν τις κλιματολογικές συνθήκες και τα πρότυπα καλλιέργειας. Αναφορικά με την απαίτηση, η προσαρμοστικότητα και ευελιξία του συστήματος λειτουργίας θα το έκανε δυνατόν να ικανοποιεί μια ποικιλία πρότυπων ενεργειακών απαιτήσεων σε χαμηλό κόστος (Rozakis et al, 1997).



Εικόνα 1: Μεταλλική κατασκευή πρότυπου θερμοκηπίου.



2 ΦΩΤΙΣΜΟΣ – ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

2.1 Φωτισμός.

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί την πρωταρχική ενεργειακή πηγή για τη φωτοσύνθεση των φυτών. Επιπλέον συνιστά και τη βασική φυσική πηγή θέρμανσης ενός θερμοκηπίου. Σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2) αυτή περιγράφεται ως η ποσότητα της φωτεινής ενέργειας που δέχεται το φυτό στη μονάδα του χρόνου και στη μονάδα επιφανείας. Συνήθως τα κυριότερα είδη και ποικιλίες που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια είναι απαιτητικά σε ένταση φωτός και θέρμανση ενώ σε σχέση με τις μεταβολές θερμοκρασίας που συμβαίνουν, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που παρουσιάζει το θερμοκήπιο είναι:

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

Λόγω ακριβώς των παραπάνω ιδιαίτερων στοιχείων ενός θερμοκηπίου, η θερμοκρασία του ανέρχεται σε πολύ υψηλά επίπεδα και τις ψυχρές νύχτες η θερμοκρασία πέφτει σε πολύ χαμηλά επίπεδα δεδομένου ότι η θερμοκρασία και ο φωτισμός είναι παράγοντες του θερμοκηπίου ισχυρά αλληλένδετοι μεταξύ τους. Πρωταρχικός στόχος μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας όπου δεν τίθενται περιορισμοί από την αντοχή του φυτού, είναι η προσφορά της βέλτιστης ηλιακής ακτινοβολίας για άριστες αποδόσεις. Η διάρκεια και η ποιότητα του φωτισμού επηρεάζουν πολύ σημαντικά στην ποσότητα και ποιότητα των προϊόντων. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια του φωτισμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη ενέργεια για φωτοσύνθεση. Για την κάλυψη των αναγκών σε φωτεινή ενέργεια για την φωτοσύνθεση των περισσότερων κηπευτικών καλλιεργειών και δρεπτών ανθέων εντός του θερμοκηπίου, πρέπει να υπάρχει ένταση στην μικρού μήκους ηλιακή ακτινοβολία (200-3000 nm) τουλάχιστον $235 W/m^2$ και $450 \mu mol/m^2 sec$ στην φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία (PAR 400-700 nm). Κατά τη διάρκεια του χειμώνα η ένταση και η διάρκεια του φωτός είναι ανεπαρκείς για να υπάρξει το μέγιστο της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Η μείωση της ταχύτητας αύξησης των φυτών αυτήν την εποχή, ακόμα και στα πολύ καλά θερμαινόμενα θερμοκήπια, οφείλεται στον μειωμένο φωτισμό. Μια αύξηση του φυσικού φωτισμού το χειμώνα έστω και 1%, αυξάνει το ύψος της παραγωγής κατά 2% περίπου, την περίοδο αυτή, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Έτσι, η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση είναι μειωμένη (Μαυρογιαννόπουλος 2001, Ολύμπιος 1994). Για την αύξηση του φωτισμού κατά τη διάρκεια του χειμώνα στο χώρο του θερμοκηπίου επιδιώκονται επεμβάσεις ως προς τη μείωση όσο των δυνατών των εμποδίων στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας εντός του θερμοκηπίου σε σχέση με το φυσικό φωτισμό, αλλά και με χρήση τεχνητού φωτισμού. Ο φωτισμός του χώρου που καλύπτει το θερμοκήπιο επηρεάζεται σημαντικά από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και τις ιδιότητες του καλύμματος και η ένταση του φωτός επιδρά άμεσα στην εσωτερική θερμοκρασία αέρα.

Οι ανάγκες φωτισμού εντός του θερμοκηπίου εξαρτώνται από την εποχή και το είδος των καλλιεργούμενων φυτών και έτσι οι δύο βασικές διεργασίες των φυτών, δηλαδή η



φωτοσύνθεση και ο φωτοπεριοδισμός, έχουν άμεση σχέση με την ένταση και την διάρκεια του φωτισμού. Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων που προκύπτουν χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές αύξησης της έντασης του φωτός καθώς επίσης και τεχνητού φωτισμού.

Η θερμοκρασία του χώρου εντός του θερμοκηπίου εξαρτάται ισχυρά από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα άλλοτε τη δημιουργία συνθηκών υπερθέρμανσης και άλλοτε την ανάγκη πρόσθετης θέρμανσης. Επίσης ο συνδυασμός των ως άνω παραγόντων επηρεάζει άμεσα και την υγρασία του θερμοκηπίου. Η γεωμετρία του διαφανούς κελύφους του θερμοκηπίου, ως προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και οι κλιματολογικές συνθήκες της τοποθεσίας είναι δύο καθοριστικοί παράμετροι για την προσλαμβανόμενη φωτοσυνθετική και θερμική ενέργεια, με συνέπεια να απαιτείται συνήθως ρύθμιση των εσωτερικών συνθηκών λειτουργίας του θερμοκηπίου ως προς τις ανάγκες των καλλιεργούμενων φυτών, ανάλογα με την προσπίπτουσα σ' αυτά ηλιακή ακτινοβολία, την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος αέρα και την ταχύτητα του πνέοντος ανέμου (Κουτεπάς και Ταμβάκης, 2000).

Ο **φυσικός φωτισμός** δηλ. η φωτεινότητα ενός θερμοκηπίου εξαρτάται από τους μετεωρολογικούς παράγοντες και από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής. Παράγοντες που ευνοούν το φωτισμό στο θερμοκήπιο είναι οι εξής:

- **Ο απλός σκελετός.** Όσο απλούστερος είναι, τόσο περισσότερο φως περνάει στο θερμοκήπιο. Σκελετοί με μεγάλες διατομές ή με πολλά στοιχεία μειώνουν κατά 4-12% το φωτισμό, ενώ τα δευτερεύοντα στοιχεία κατά 2-5%.
- **Το υλικό κάλυψης.** Ο καθαρός υαλοπίνακας μειώνει κατά 10% το φωτισμό που περνάει εντός, ενώ ο ακάθατος μέχρι και 70%. Η μείωση του φωτισμού στα πλαστικά φύλλα και στα σκληρά πλαστικά είναι μεγαλύτερη από του υαλοπίνακα και αυξάνει με την πάροδο του χρόνου.
- **Οι εναέριες εγκαταστάσεις.** Αυτού του είδους οι εγκαταστάσεις μειώνουν σημαντικά το φωτισμό στο χώρο του θερμοκηπίου και αν δυνατόν θα πρέπει να αποφεύγονται.
- **Το πλήθος των θερμοκηπίων.** Τα απλά θερμοκήπια είναι πιο φωτεινά από τα πολλαπλά, γιατί δέχονται περισσότερο διάχυτο φωτισμό από τα πλευρικά τοιχώματα, όμως παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας και μικρότερη εκμετάλλευση εδάφους.
- **Η πυκνότητα των φυτών στο χώρο του θερμοκηπίου.** Η πυκνότητα θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε το φως που φθάνει στα φυτά να καλύπτει τις απαιτήσεις τους ως προς την της φωτοσυνθετική λειτουργία.

Ο **τεχνητός φωτισμός** καλύπτει διαφορετικά τις απαιτήσεις των φυτών. Σε σχέση με αυτού του είδους φωτισμό, τα θερμοκηπιακά είδη έχουν διαφορετικές απαιτήσεις φωτισμού και ανάλογα, αντιδρούν θετικά όταν η διάρκεια της νύχτας είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη (φαινόμενο φωτοπεριοδισμού). Συνεπώς, όταν δεν επαρκεί ο φυσικός φωτισμός, όπως συμβαίνει τον χειμώνα που η διάρκεια της ημέρας είναι μικρότερη, χρησιμοποιείται συχνά συμπληρωματικός φωτισμός με λαμπτήρες. Ο τεχνητός φωτισμός για την αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας θεωρείται οικονομικά μάλλον ασύμφορος (κόστος εγκατάστασης, καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια), για αυτό χρησιμοποιείται μόνο, σε περιπτώσεις που οικονομικά αποδίδει, όπως π.χ. σε ανθοκομικές καλλιέργειες που απολαμβάνουν υψηλές τιμές το χειμώνα. Γίνεται όμως για πειραματικούς σκοπούς και χρησιμοποιούνται θάλαμοι, οι οποίοι διαθέτουν μόνο τεχνητό φωτισμό (80% λαμπτήρες φθορισμού και 20% λαμπτήρες πυρακτώσεως). Οι λαμπτήρες προγραμματίζονται να ανάβουν μετά τη δύση του ηλίου και είναι αποδοτικότεροι όταν λειτουργούν αργά τη νύχτα. (Μαυρογιαννόπουλος 2001).

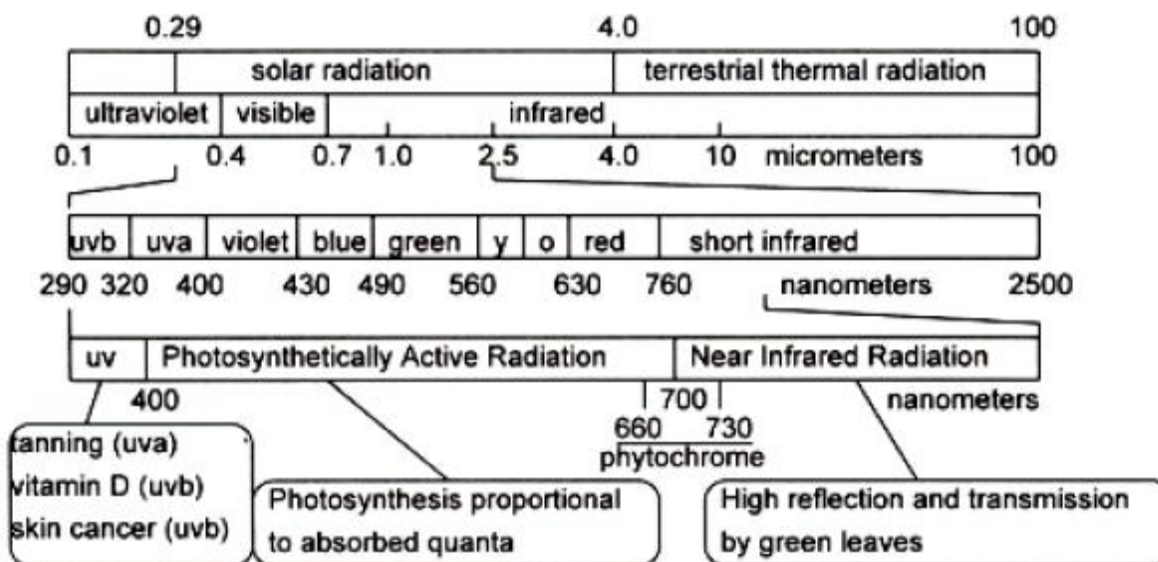


Ο τεχνητός φωτισμός για την αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας μπορεί να είναι συνεχής ή κυκλικός με μετακινούμενες σειρές λαμπτήρων που η κάθε σειρά περιλαμβάνει 4, 6, 8 ή 10 λαμπτήρες που κρέμονται από τους σωλήνες θέρμανσης. Η ταχύτητα μετακίνησης είναι συνήθως 1m/min. Με τον τρόπο αυτόν επιτυγχάνεται μικρότερο κόστος εγκατάστασης, περίπου το 40% αυτής με συνεχή φωτισμό.

2.2 Ηλιακή Ακτινοβολία.

Ο ήλιος παράγει ενέργεια από μετατροπή της ύλης με ρυθμό εκατομμυρίων τόνων ανά δευτερόλεπτο. Κάθε χρόνο η ηλιακή ακτινοβολία που περνά την ατμόσφαιρα της γης είναι περίπου 2520.1012 GJ. Αυτό είναι 30000 φορές η χρησιμοποιούμενη παγκοσμίως ενέργεια, αλλά υπολογίζεται ότι αντιπροσωπεύει το μισό του χιλιοεκατομμυριοστού της συνολικά εκπεμπόμενης ενέργειας από τον ήλιο.

Η μέση ένταση της ηλιακής ενέργειας μετρημένη σε επίπεδο κάθετο στην ακτινοβολία, ανά μονάδα χρόνου και σε ύψους 165 Km από την επιφάνεια της γης είναι περίπου 1.35 kW/m², γνωστή ως ηλιακή σταθερά. Στο υπεριώδες (300-380 nm) αντιστοιχεί το 7% της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει έξω από την ατμόσφαιρα (η ακτινοβολία με λ<300nm απορροφάται εξ'ολοκλήρου από το O₃ των ανωτέρων στρωμάτων της ατμόσφαιρας), στο ορατό (380-780nm) το 47% και στο υπέρυθρο (780-3000nm) το 46% (Εικόνα 2). Η ηλιακή σταθερά μεταβάλλεται κατά ±3% λόγω μεταβολής της απόστασης Γης-ήλιου κατά την διάρκεια του χρόνου. Η μέγιστη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της Γης είναι περίπου 1.2 kW/m², με συνολικά λαμβανομένη ενέργεια 21-29 MJ/m² την ημέρα και συμβαίνει μόνο κοντά στον Ισημερινό τις καθαρές ημερες. Σε αστικές περιοχές είναι περίπου 0.8 kW/m² και στην ύπαιθρο φτάνει 1 kW/m² υπό κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες και στο επίπεδο της θάλασσας (Mayers and Mackson, 1982).



Εικόνα 2: Τμήμα του Ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ως προς τις σημαντικές αλληλεπιδράσεις με τα φυτά.

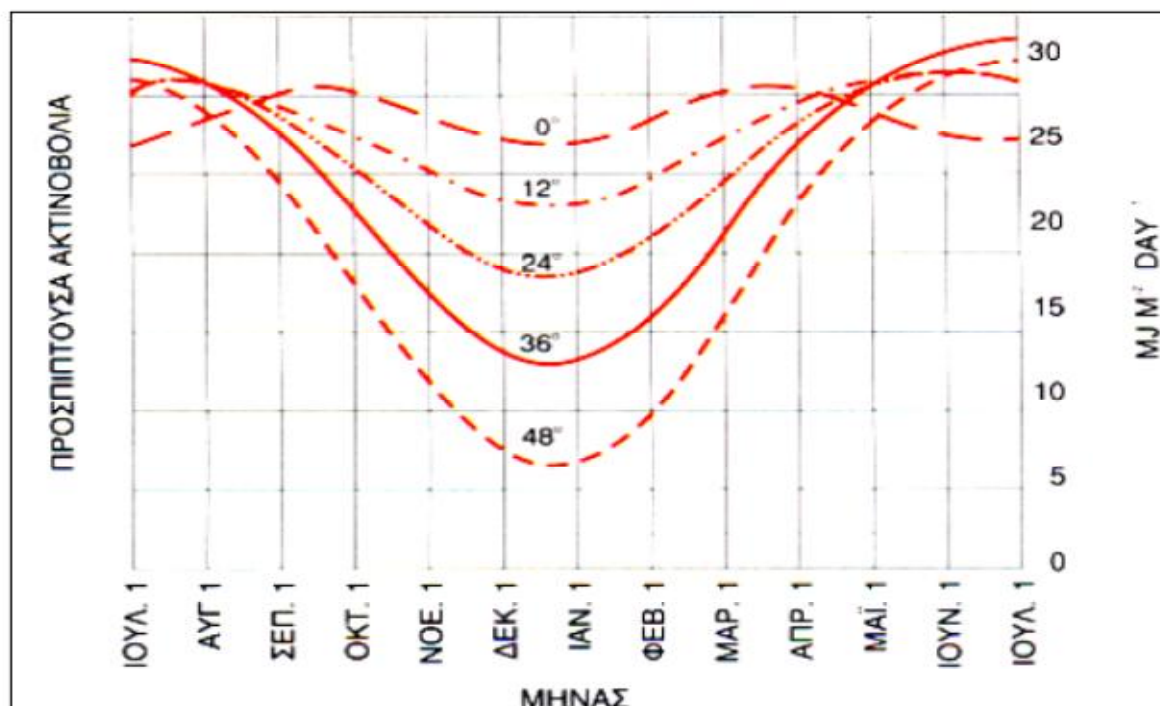
Η ακτινοβολία που φτάνει σε μια επιφάνεια αποτελείται από την άμεση και την διαχεόμενη ακτινοβολία ακτινοβολία, καθώς και από την ακτινοβολία που ανακλάται στο έδαφος. Η άμεση ακτινοβολία είναι αυτή που φτάνει σε μια επιφάνεια σε κατευθείαν γραμμή



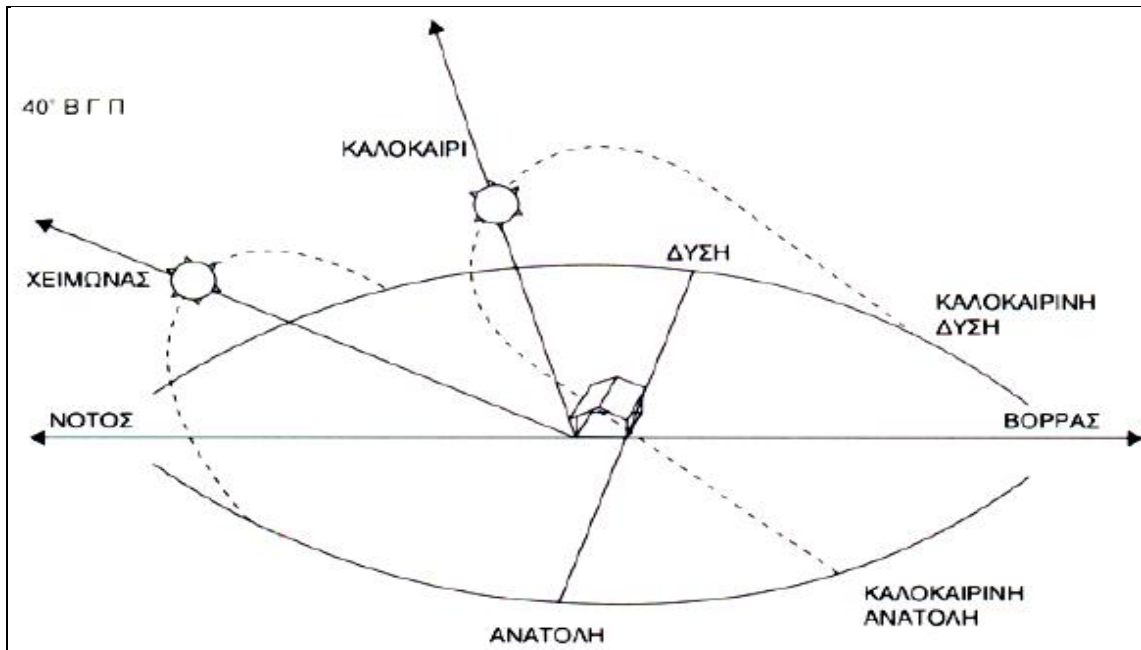
από τον ήλιο και μπορεί να εστιαστεί από επιπέδους η κυρτούς φακούς και κοίλα κάτοπτρα. Η διαχεόμενη είναι αυτή που έχει διαχυθεί κατά την δίοδο της μέσα από την ατμόσφαιρα λόγω σκέδασης που οφείλεται στα μόρια του αέρα, στους υδρατμούς, στα σωματίδια της σκόνης και λόγω απορροφήσεως από τα μόρια O_3 , H_2O , και CO_2 , δεν μπορεί να εστιαστεί, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί από επίπεδους αλλά όχι εστιακούς ηλιοσυλλέκτες.

Η κατανομή της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης στο επίπεδο της θάλασσας εξαρτάται από την γωνία που σχηματίζει ο ήλιος με το ζενίθ Θ_Z , δηλαδή από τον συνολικό αριθμό σωματιδίων που συναντά η ακτίνα κατά την διαδρομή της. Η ηλιακή ενέργεια δεν είναι διαθέσιμη συνεχώς λόγω του κύκλου ημέρας/νύχτας. Η ένταση της ποικίλει σε σχέση με την εποχή, το γεωγραφικό πλάτος και την θέση της επιφάνειας (Εικόνα 3). Η περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της έχει αποτέλεσμα τον κύκλο ημέρας/νύχτας και οι εποχές είναι αποτέλεσμα της κλίσης του πολικού άξονα της γης σχετικά με το επίπεδο της τροχιάς και της περιστροφής της Γης γύρω από τον ήλιο (Εικόνα 4). Τέλος η θέση μιας επιφάνειας έχει σημαντική επίδραση στην ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται και μπορεί να συλλεγεί. Ο προσανατολισμός της επιφάνειας και η γωνία που σχηματίζει η επιφάνεια με το έδαφος είναι τα κύρια στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη (Μαυρογιαννόπουλος 2001, Γιανούλης 2001). Αναφορικά με τη χώρα μας σε σχέση με τα γεωγραφικά πλάτη βρίσκεται σε βόρειο 40° περίπου και με κλιματολογικές συνθήκες αυτές του Μεσογειακού κλίματος.

Η μικρού μήκους ηλιακή ακτινοβολία (200-3000nm) περιλαμβάνει την υπεριώδη ακτινοβολία 190-380 nm, με την υψηλότερη ενέργεια που καταστρέφει τους δεσμούς των οργανικών ενώσεων που προσπίπτει, την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (**Photosynthetic Active Radiation - PAR**) 400-700 nm η οποία είναι απαραίτητη για την φωτοσύνθεση που είναι η βασική διαδικασία για την φυτική παραγωγή, και την κοντινή υπέρυθη 700- 3000 nm που επηρεάζει την φυτική διαπνοή διότι συμμετέχει σημαντικά στην θέρμανση των φυτών καθώς και τις μορφοποιητικές διαδικασίες των φυτών.



Εικόνα 3: Ηλιακή ακτινοβολία ημέρας με καθαρό ουρανό, σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια του εδάφους σε βόρεια γεωγραφικά πλάτη.



Εικόνα 4: Ουράνια ηλιακή τροχιά κατά το χειμώνα και το καλοκαίρι.

Αν θεωρηθεί ένα οικοσύστημα θερμοκηπίου, η μικρού μήκους ηλιακή ακτινοβολία διαδραματίζει έναν προσθετικό ρόλο στο συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο του συστήματος του θερμοκηπίου, δηλ. στο ενεργειακό ισοζύγιο της κατασκευής (δομικά στοιχεία και κάλυμμα) και επίσης στα ενεργειακά ισοζύγια του καλυμμένου εδάφους και της καλλιέργειας. Το επίπεδο της ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο συναρτάται κυρίως με τη διαπερατότητα του υλικού κάλυψης, αλλά επίσης και με τον τύπο και τον προσανατολισμό της κατασκευής του θερμοκηπίου. Τα χαρακτηριστικά της διαπερατότητας του υλικού κάλυψης είναι σημαντική όταν εκτιμώνται τα δυνατά πλεονεκτήματα των διαφόρων υλικών κάλυψης, διότι είναι γνωστό ότι μικρές διαφορές στην ηλιακή μεταβιβαστικότητα μπορούν να έχουν σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη της καλλιέργειας (Papadakis et al, 2000).

Η ηλιακή ακτινοβολία όχι μόνο παρέχει ενέργεια στο σύστημα του θερμοκηπίου κατά την διάρκεια της ημέρας (ένα τμήμα αυτής επίσης αποθηκεύεται στο σύστημα και απελευθερώνεται κατά την διάρκεια της νύχτας), αλλά προάγει την φωτοσύνθεση. Είναι προφανές ότι τα υλικά κάλυψης του θερμοκηπίου θα πρέπει να επιτρέπουν στην PAR να φτάνει στην καλλιέργεια, ενώ η ηλιακή ακτινοβολία έξω από το εύρος της PAR δεν είναι πάντα επιθυμητή εντός του θερμοκηπίου ειδικά κατά την διάρκεια θερμής περιόδου. Ο Cockshull et al (1992) έδειξαν ότι μια αύξηση 1% της PAR αύξησε τις αποδόσεις ντομάτας μακράς περιόδου (χειμερινή καλλιέργεια) κατά προσέγγιση 1% δηλ. μια αναλογικότητα μεταξύ της απόδοσης και της ηλιακής ακτινοβολίας, αποδεικνυόμενη κυρίως στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη. Η ποιότητα της ακτινοβολίας που το υλικό κάλυψης επιτρέπει να εισέλθει στο θερμοκήπιο είναι σημαντική για εκτίμηση της επίδρασης της στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Συγκεκριμένα η PAR στα 400-700nm ζώνης κύματος, τυγχάνει μεγαλύτερης προσοχής απ'ότι τα άλλα μήκη κύματος εξαιτίας του θεμελιώδους ρόλου της στην φωτοσύνθεση. Οι μετρήσεις αυτής της ακτινοβολίας γίνονται με τον μετρητή PAR που μετρά σχετικά με την ευαισθησία της χλωροφύλλης και υπολογίζεται ότι αντιστοιχούν στο 45% της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας που μετρά το πυρανόμετρο (Kittas et al 1999, Μαυρογιαννόπουλος 2001, Γιαννούλης 2001).



Η ανύψωση της θερμοκρασίας του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο εξαρτάται από την εισερχόμενη ακτινοβολία (κύρια την ηλιακή κατά τη διάρκεια της ημέρας και από τη θερμότητα που παρέχεται από το σύστημα θέρμανσης στα τεχνητά θερμαινόμενα θερμοκήπια), καθώς και από τις απώλειες διαμέσου του καλύμματος (θερμική ακτινοβολία, απώλειες αισθητής και λανθάνουσας θερμότητας).

Προφανώς το κάλυμμα παίζει σημαντικό ρόλο σε όλους τους μηχανισμούς της μεταφοράς θερμότητας. Εκτός από οποιαδήποτε τεχνητή παρέμβαση (ανοίγματα εξαερισμού, δομική κατασκευή, προσανατολισμός), οι παράμετροι που σχετίζονται με το εξωτερικό κλίμα και τις ραδιομετρικές και θερμικές ιδιότητες του καλύμματος είναι σχεδόν αποκλειστικά υπεύθυνοι για τον καθορισμό του μικροκλίματος μέσα στο θερμοκήπιο. Οποιοσδήποτε υπαρκτός μηχανισμός ελέγχου του μικροκλίματος όπως συστήματα θέρμανσης ή δροσισμού, λειτουργεί κατά τρόπο ώστε να φέρει το εσωτερικό μικροκλίμα πλησιέστερα στις επιθυμητές συνθήκες καλλιέργειας (Briassoulis et al. 1997).

Στο παρελθόν το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» θεωρήθηκε η κύρια αιτία για την εξέλιξη του μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Με αυτήν την έννοια θεωρείται ότι η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στο θερμοκήπιο μέσω του διαφανούς καλύμματος, απορροφάται εντός του θερμοκηπίου και δεν μπορεί να διαφύγει με τη μορφή θερμικής ακτινοβολίας διότι το κάλυμμα δεν είναι διαπερατό στην θερμική ακτινοβολία. Είναι γνωστό πια ότι αυτό το φαινόμενο έχει μια μικρή επιρροή στην ανάπτυξη του μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Τα κανονικά λεπτά φύλλα PE που χρησιμοποιούνται συνήθως ως υλικά κάλυψης έχουν υψηλή διαπερατότητα στη θερμική ακτινοβολία όταν ειδικά δεν υπάρχει συμπύκνωση υδρατμών (Pollet and Pieters 1999, 2000, 2001). Αυτό το γεγονός συνεπάγεται ότι το μικροκλίμα διαφέρει τελείως σε ένα θερμοκήπιο με κάλυψη πολυαιθυλενίου (PE) και σε ένα υαλόφρακτο θερμοκήπιο.

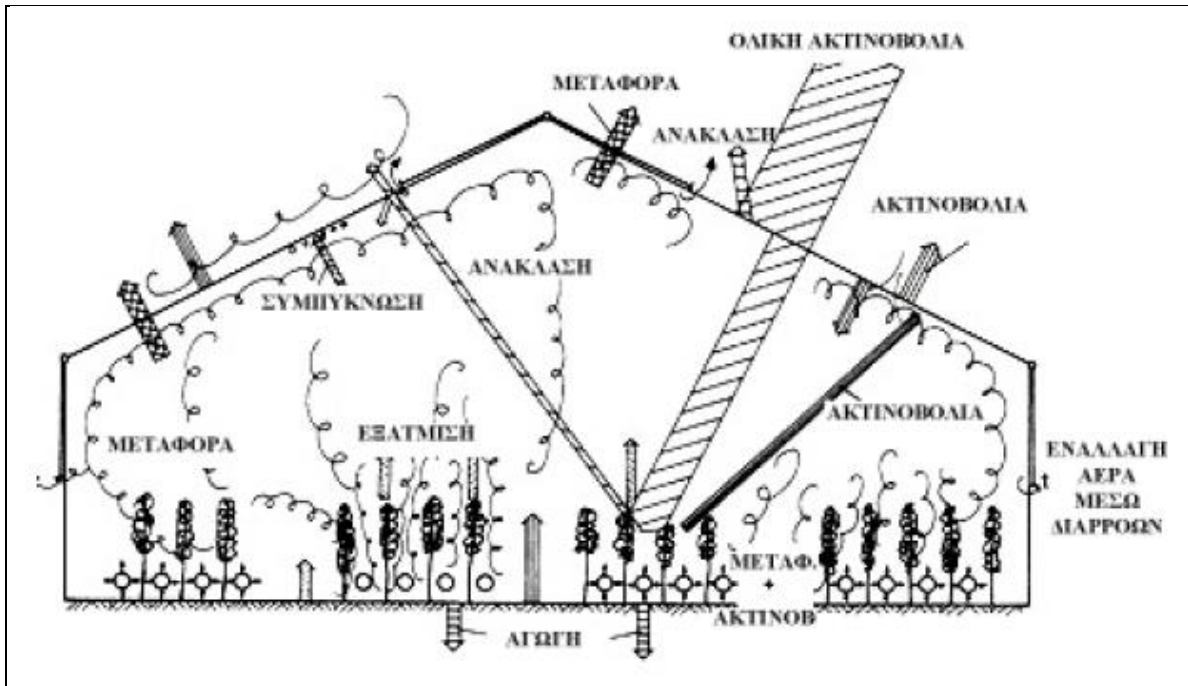
Κατά την διάρκεια της ημέρας, το κάλυμμα, ο σκελετός και η επιφάνεια του απορροφούν ένα ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και αυξάνει η θερμοκρασία τους. ο εσωτερικός αέρας έρχεται σε επαφή με αυτές τις επιφάνειες, απορροφά θερμότητα και η θερμοκρασία του αυξάνει επίσης με έναν ρυθμό που εξαρτάται από την διαφορά θερμοκρασίας, τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και τον ρυθμό εναλλαγής αέρα (Paradakis et al, 2000). Έτσι η χρήση του όρου «φαινόμενο θερμοκηπίου» θα πρέπει να αναφέρεται στην διαδικασία ακτινοβολίας και μεταφοράς διαφορετικά μπορεί να είναι παραπλανητικό. Επίσης και τα φυτά απορροφούν ηλιακή ακτινοβολία αλλά η θερμοκρασία τους παραμένει συνήθως χαμηλότερη από αυτήν του αέρα του θερμοκηπίου, γιατί τα φυτά αποβάλλουν την πλεονάζουσα ενέργεια με τη διαπνοή Paradakis et al, 1994.

Κατά την διάρκεια της νύχτας το κάλυμμα εκπέμπει θερμική ακτινοβολία στο περιβάλλον και επίσης ανταλλάσει ενέργεια με τον εσωτερικό και εξωτερικό αέρα. Στα θερμαινόμενα θερμοκήπια, η θερμοκρασία καλύμματος είναι μεταξύ της θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού αέρα. Στα καλυμμένα με PE και χωρίς θέρμανση θερμοκήπια κατά την διάρκεια ψυχρών, υπήνεμων και ζάστερων νυχτών, οι καθαρές απώλειες ακτινοβολίας του ίδιου του καλύμματος είναι τόσο έντονες μετά το ηλιοβασίλεμα ώστε το θερμοκρασιακό ισοζύγιο του καλύμματος γίνεται αρκετούς βαθμούς χαμηλότερο από ότι ο εξωτερικός αέρας και επίσης χαμηλότερο από ότι ο αέρας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Αυτό καταλήγει σε θερμοκρασία αέρα θερμοκηπίου χαμηλότερη σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία διότι ο αέρας του θερμοκηπίου χάνει θερμότητα λόγω μεταφοράς προς το ψυχρότερο κάλυμμα. Η θερμοκρασία του καλύμματος παραμένει χαμηλότερη από εκείνη του αέρα του θερμοκηπίου διότι ο ρυθμός απωλειών θερμικής ακτινοβολίας είναι υψηλότερος σε σχέση με τον ρυθμό μεταφερομένης θερμότητας που αποκτά από τον αέρα (Silva et al 1991, Spanomitsios 2001). Τα υλικά κάλυψης του θερμοκηπίου αποτελούν το φραγμό ανάμεσα στην καλλιέργεια και το εξωτερικό περιβάλλον.



2.3 Τρόποι Μεταφοράς Θερμότητας σε θερμοκήπιο.

Η ηλιακή ακτινοβολία κατά την εισαγωγή στο θερμοκήπιο, απορροφάται από τμήματα της καλλιέργειας όπως τα φυτά και το έδαφος καθώς επίσης και από κατασκευαστικά στοιχεία του θερμοκηπίου – εγκατάστασης. Σε επόμενο βήμα η ηλιακή ακτινοβολία μεταδίδεται στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα τη θέρμανση του αέρα εντός του θερμοκηπίου. Στο σχήμα που ακολουθεί δίνονται σχηματικά οι μηχανισμοί μετάδοσης θερμότητας σε μια θερμοκηπιακή μονάδα.



Σχηματική περιγραφή των μηχανισμών μετάδοσης θερμότητας εντός του θερμοκηπίου. (Κυριακόπουλος 2017)

Σε μια προσπάθεια ανάλυσης των μηχανισμών μετάδοσης θερμότητας που συμβαίνουν εντός του θερμοκηπίου με σκοπό τη θέρμανση της εσωτερικής ατμόσφαιρας αναφέρονται τα ακόλουθα στοιχεία:

- ∅ Η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά το υλικό κάλυψης, φθάνει στο έδαφος το οποίο και θερμαίνεται. Με ανάκλαση κάποιου ποσοστού θερμαίνεται στη συνέχεια και η εσωτερική ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου.
- ∅ Ο αέρας της ατμόσφαιρας του θερμοκηπίου ανταλλάσσει θερμότητα με το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου με μεταφορά – συναγωγή. Το υλικό κάλυψης παγιδεύει τμήμα της ανακλώμενης ακτινοβολίας με αποτέλεσμα τη θέρμανση του ατμοσφαιρικού αέρα εντός του θερμοκηπίου.
- ∅ Το θερμοκήπιο ανταλλάσσει θερμότητα με ακτινοβολία και συναγωγή ενώ το έδαφος θερμαίνεται στα διαφορετικά υποστρώματα με αγωγή. Τμήμα της θερμότητας της ατμόσφαιρας του θερμοκηπίου καταναλώνεται ως λανθάνουσα θερμότητα κατά την εξάτμιση.



- Ø Η φυτική μάζα και το έδαφος ανταλλάσσει επίσης θερμότητα με τα υπόλοιπα τμήματα της μονάδας καθώς και με το υλικό κάλυψης. Κατά την ανταλλαγή αυτή συμμετέχει και η διαδικασία της διαπνοής, όπως και η διαδικασία της εξάτμισης της περιεχόμενης υγρασίας εντός του θερμοκηπίου.
- Ø Η άρδευση συμβάλλει στη μεταφορά θερμότητας λόγω της μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας του εδάφους καθώς και της μεταβολής της σχετικής υγρασίας του αέρα εντός του θερμοκηπίου.

Το ενεργειακό ισοζύγιο ενός θερμοκηπίου περιγράφεται από τη σχέση (Hellickson & Walker 1983, Νικήτα – Μαρτζόπουλου 2009α).

$$Q_I + Q_e + Q_f + Q_r = \pm(Q_{cd} + Q_g) + Q_v + Q_i + Q_t + Q_p \quad (2.1)$$

όπου:

- Q_I η θερμότητα από την εισερχόμενη ακτινοβολία,
- Q_e η θερμότητα από εξοπλισμό (συνεχής όταν ο εξοπλισμός σε λειτουργία),
- Q_f η θερμότητα από το σύστημα θέρμανσης (όταν υπάρχει),
- Q_r η θερμότητα κατά τη διάρκεια της αναπνοής των φυτών (εκτιμάται πολύ μικρή),
- Q_{cd} η απώλεια ή το κέρδος θερμότητας με αγωγή,
- Q_g η απώλεια ή το κέρδος θερμότητας προς ή από το έδαφος (αμελητέα),
- Q_v η απώλεια θερμότητας λόγω αερισμού,
- Q_i η απώλεια θερμότητας λόγω διαφυγής του αέρα,
- Q_p η απώλεια θερμότητας κατά τη φωτοσύνθεση των φυτών (μικρή).

2.4 Ταξινόμηση υλικών κάλυψης.

Το κάλυμμα όχι μόνο θα πρέπει να παρέχει ένα καταφύγιο κατά την διάρκεια δυσμενών καιρικών συνθηκών αλλά θα πρέπει επίσης να προάγει την μετατροπή του μικροκλίματος για διασφάλιση βέλτιστης ανάπτυξης της καλλιέργειας. Είναι πιθυμητό ένα υλικό κάλυψης να έχει καλά μονωτικά(θερμικά) χαρακτηριστικά, αλλά επειδή τα καλύμματα είναι γενικά λεπτά – μικρού πάχους έχουν μικρή θερμοχωρητικότητα και δείχνουν φτωχή μονωτική συμπεριφορά. Το τέλειο κάλυμμα εκτός από καλά μονωτικά χαρακτηριστικά, θα πρέπει να επιτρέπει το 100% της PAR διαπερατότητας και να εμποδίζει την ηλιακή ακτινοβολία έξω από την PAR ανάλογα με τις απαιτούμενες εσωτερικές κλιματικές συνθήκες και τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες. Τέτοια χαρακτηριστικά τείνουν όμως να εξουδετερώνουν το ένα το άλλο και κανένα υλικό δεν έχει κατασκευαστεί έως τώρα που να επιδεικνύει τέτοιες ιδιότητες.

Τα υλικά κάλυψης είναι συνήθως διάφοροι τύποι πλαστικών και υαλοπίνακες που κυρίως όμως συναντώνται σε χώρες της Κεντρικής Ευρώπης (Ολλανδία, Βέλγιο). Στον ελλαδικό χώρο κυρίαρχα τα υλικά κάλυψης αναζητώνται τους διάφορους τύπους πλαστικών για τα οποία στη συνέχεια δίνονται κάποια χαρακτηριστικά ως προς τη συμπεριφορά τους.



- Ø **Θερμοπλαστικά υλικά:** χάνουν το σχήμα τους όταν θερμανθούν και μπορούν να ανασχηματισθούν όταν αφεθούν να κρυώσουν χωρίς να χάσουν σημαντικά χαρακτηριστικά από τις ιδιότητες τους. Στην ιδιότητα αυτή βασίζεται η θερμοσυγκόλιση (PE, PVC, PC, PMMA).
- Ø **Θερμοσκληρά υλικά:** υφίστανται μια χημική μεταβολή κατά τη διάρκεια του σχηματισμού τους από τη ρευστή στη στερεή κατάσταση, που τα καθιστά αμετάβλητα στο σχήμα, χωρίς να είναι δυνατόν να μαλακώσουν με τη θερμοκρασία ή να ρευστοποιηθούν πάλι (Βακελίτης, ενισχυμένος πολυεστέρας).
- Ø **Ελαστομερή:** διακρίνονται από την πολύ υψηλή ελαστικότητα που έχουν. Αυτά χαρακτηρίζονται θεωρητικά ως θερμοσκληρά υλικά, αλλά παρουσιάζουν κάποια μικρή δυνατότητα επαναφοράς τους μετά από τη θέρμανση.

Οι βασικές ιδιότητες των διαφόρων τύπων πλαστικών είναι οι ακόλουθες:

- Ø Επιδεικνύουν ανθεκτικότητα στην ατμοσφαιρική διάβρωση και στη διάβρωση πολλών χημικών αντιδραστηρίων,
- Ø Έχουν αρκετά χαμηλή σχετική πυκνότητα, μερικά μόλις επιπλέουν στο νερό. Τα περισσότερα είναι λίγο πυκνότερα,
- Ø Μεγάλος αριθμός πλαστικών παρουσιάζει πολύ καλή αντοχή στην έλξη σε σχέση με το βάρος τους (αντοχή/βάρος). Η αντοχή των θερμοπλαστικών μειώνεται γρήγορα με την άνοδο της θερμοκρασίας τους.
- Ø Η πλειοψηφία των πλαστικών μαλακώνουν σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες και ελάχιστα μπορούν να φανούν χρήσιμα για θερμοκρασίες υψηλότερες των 100 °C.
- Ø Ένας μεγάλος αριθμός πλαστικών μπορούν να χρησιμοποιηθούν την παραγωγή διαφανών επιφανειών ή φύλλων, χωρίς κανένα χρωματισμό, ενώ τα περισσότερα έχουν ευχάριστη εμφάνιση και μπορούν να χρωματιστούν.

Ως σοβαρά μειονεκτήματα των πλαστικών υλικών κάλυψης αναφέρονται στη βιβλιογραφία (Dilara and Briassoulis, 2000)

- Ø η μειωμένη περατότητα στο φως ιδίως μετά την πάροδο κάποιων χρονών (περίπου 3 έτη στα θερμοπλαστικά υλικά),
- Ø ο μεγάλος συντελεστής θερμοπερατότητας,
- Ø η διαπερατότητα στην θερμική ακτινοβολία,
- Ø η ευαισθησία στη γήρανση,
- Ø η μικρή αντίσταση στα χτυπήματα από χαλάζι, και στο σκίσιμο,
- Ø η ευαισθησία στη συγκράτηση σκόνης,
- Ø ο τρόπος συμπύκνωσης υγρασίας (με σταγόνες και όχι σε μεμβράνη όπως συμβαίνει στους υαλοπίνακες),
- Ø η διαπερατότητα στη υπεριώδη ακτινοβολία,
- Ø η ευαισθησία στις διάφορες χημικές ουσίες.





3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ. (*Phaseolus vulgaris humilis*)

Η καλλιέργεια των φασολιών είναι εξαιρετικά ενδιαφέρουσα, αφού τα όσπρια αυτά καταλαμβάνουν σπουδαίο μέρος στην καθημερινή διατροφή του ανθρώπου και αποτελούν ένα είδος, κατ' εξοχήν θρεπτικό και υγιεινό. Τα φασόλια χρησιμοποιούνται σε χλωρή κατάσταση ως λαχανικά ή εντελώς ξερά, ως όσπρια. Στη πρώτη περίπτωση, η καλλιέργεια αυτών γίνεται σε μικρές εκτάσεις και με ιδιαίτερες περιποιήσεις, στη δεύτερη, σε πολύ μεγαλύτερες εκτάσεις αλλά με λιγότερες φροντίδες. Πάντως όμως οι απαιτήσεις μένουν περίπου οι ίδιες, όσες μάλιστα αφορούν το έδαφος και το κλίμα.

Αναφορικά με το κλίμα και την εποχή φύτευσης γενικότερα τα φασόλια είναι πολύ ευαίσθητα και φοβούνται εξαιρετικά το κρύο. Ακόμα και συνθήκη της μικρότερης παγωνιάς μπορεί να εμποδίσει τη βλάστηση και την ανάπτυξη. Κατά αυτή την έννοια η σπορά πρέπει να γίνεται πολύ αργά την άνοιξη και εφόσον έχει παρέλθει ο κίνδυνος από τις παγωνιές και τις πάχνες της άνοιξης. Στα πιο ζεστά κλίματα, η σπορά μπορεί να ξεκινάει κατά τους μήνες Μάρτιο – Απρίλιο ενώ στις ορεινές και ψυχρότερες περιοχές η σπορά θα πρέπει να ξεκινάει αρχές Ιουνίου. Ακόμα περισσότερο για τις όψιμες καλλιέργειες η σπορά μπορεί να εξακολουθεί μέχρι και τον Αύγουστο.

Ως προς το πότισμα αυτό πρέπει να γίνεται τακτικά και άφθονα από τις πρώτες μέρες της βλάστησης μέχρι και το τέλος της συγκομιδής. Στα αρχικά στάδια το πότισμα πρέπει να γίνεται συχνότερα μέχρι της άνθισης, οπότε στη συνέχεια πρέπει να διακόπτεται ή τουλάχιστον να περιορίζεται για να μην προκαλείται το πέσιμο των λουλουδιών. Για την περίοδο αυτή είναι προτιμότερο η υγρασία να συγκρατείται καλύτερα με το σκάλισμα ή το σκέπασμα – κάλυψη με λίγη αχυροκοπριά. Μετά το δέσιμο των καρπών, το πότισμα πρέπει να εξακολουθεί τακτικά και συχνά κάθε 3-4 μέρες, σύμφωνα με την κατάσταση και του εδάφους, της εποχής αλλά ακόμα και της καλλιεργούμενης ποικιλίας. Ειδικότερα για τα αναριχώμενα φασόλια είναι ανάγκη να τοποθετούνται από νωρίς στηρίγματα, κλαδιά ή καλάμια τα οποία τοποθετούνται δίπλα στις ρίζες ώστε να συναντώνται στις κορυφές και να δένονται ανά 3 -4 σε σχήμα πυραμίδας.

Σε σχέση με τη συγκομιδή, για τα χλωρά φασόλια αυτή πρέπει να πραγματοποιείται μετά από 2-3 μήνες από τη σπορά, ανάλογα πάντα με το τοπικό κλίμα και την πρωιμότητα των καλλιεργούμενων ποικιλιών. Κατά τη συλλογή πρέπει οι λοβοί να είναι ακόμα τρυφεροί και να μαζεύονται κάθε 2 – 3 μέρες, για να εξακολουθεί η άνθηση και επομένως η δημιουργία νέων καρπών για πολύ μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αντίθετα όταν οι νέοι καρποί παραμείνουν και αρχίσουν σε μορφή σπυριού να χοντραίνουν και να σκληραίνουν τότε η βλάστηση καθώς και η καρποφορία σταματούν. Η παραγωγή μπορεί να παρατείνεται και να υπάρχουν πάντα χλωρά φασόλια όταν η σπορά επαναλαμβάνεται σε όλη την καλοκαιρινή περίοδο μέχρι και τον Σεπτέμβρη οπότε η συγκομιδή μπορεί να εξακολουθεί ως τις πρώτες παγωνιές του φθινοπώρου.

Κατά γενικό κανόνα για την πρώτη παραγωγή της άνοιξης πρέπει να πρωτιμούνται οι χαμηλές ποικιλίες ενώ για την καλοκαιρινή περίοδο οι αναριχώμενες επειδή αντέχουν περισσότερο στην ξηρασία και για την όψιμη, δηλ. την φθινοπωρινή πάλι πρέπει να επιλέγονται οι χαμηλές ποικιλίες.

Για την παραγωγή ξηρών φασολιών οι λοβοί πρέπει να αφήνονται στις μάνες τους, να ωριμάζουν εντελώς. Όταν αρχίσουν να κιτρινίζουν και να ξεραίνονται μαζεύονται και αφού αποξηρανθούν στον ήλιο κοπανίζονται ή αλωνίζονται και λιχνίζονται για να χωριστούν οι καρποί σε μορφή σπυριού από τις φλούδες.



Η φασολιά είναι ετήσιο φυτό που φτάνει σε ύψος τα 40 εκ με 3,00 μ. ανάλογα με την ποικιλία. Ανήκει στην οικογένεια Fabaceae. Ο καρπός της, το φασόλι καταναλώνεται είτε φρέσκος είτε απόξηραμένος. Η φασολιά αγαπά τη ζέστη και το φως. Ευδοκίμει σε καλά στραγγιζόμενα εδάφη με pH μεταξύ 6-6,8. Σπέρνεται απευθείας στο έδαφος μετά τον τελευταίο παγετό της άνοιξης. Προτείνονται στις περισσότερες περιπτώσεις 8-12 κιλά σπόρου ανά στρέμμα σε βάθος σποράς 2-3 cm. Αφήνεται μια απόσταση (30-60) cm. μεταξύ των γραμμών και (5-20) cm. μεταξύ των φυτών για καθιστά φασόλια.

Για αναρριχώμενα φασόλια, οι αποστάσεις φύτευσης που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως (80-100) cm μεταξύ των γραμμών και (20-30) cm ή και περισσότερο μεταξύ των φυτών. Σε όλη τη διάρκεια της φύτευσης το έδαφος χρειάζεται να παραμένει υγρό. Μετά ποτίζεται τακτικά μια και η φασολιά δεν αντέχει την ξηρασία. Η συγκομιδή διαρκεί (8-10) εβδομάδες από τη σπορά ανάλογα την ποικιλία.

3.1 Κλιματικές συνθήκες.

Η φασολιά είναι γενικά φυτό θερμής εποχής, ευπαθές στο ψύχος και καταστρέφεται όταν η θερμοκρασία είναι κάτω από τους -1°C έως 2°C . Επίσης, οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες δεν είναι ευνοϊκές, όπως και η ξηρασία που προκαλούν ανθόρροια την περίοδο της καρποφορίας. Σε σχέση με την αντίδραση στο φωτοπεριοδισμό, οι περισσότερες ποικιλίες που καλλιεργούνται στις εύκρατες περιοχές, έχουν επιλεγεί ώστε να είναι ουδέτερες στο μήκος της ημέρας. Μερικές είναι οι βραχείας φωτοπεριόδου (φως <14 ώρες) ιδίως νάνες ποικιλίες, γεγονός που επιβεβαιώνει την καταγωγή του γένους *phaseolus* από τις τροπικές περιοχές. Τέλος υπάρχουν ποικιλίες που αντιδρούν στη μακρά φωτοπερίοδο και ανήκουν κυρίως στους αναρριχώμενους τύπους.

Η άριστη θερμοκρασία για τη βλάστηση του σπόρου κυμαίνεται μεταξύ $20 - 30^{\circ}\text{C}$ και σε καμία περίπτωση η θερμοκρασία του εδάφους δεν πρέπει να είναι κάτω από $14 - 15^{\circ}\text{C}$. Σπορά σε ψυχρό έδαφος έχει σαν αποτέλεσμα την καθυστερημένη βλάστηση των σπόρων και τη φτωχή ανάπτυξη των φυτών.

Η άριστη βλάστηση των φασολιών παρατηρείται όταν η θερμοκρασία του εδάφους κυμαίνεται μεταξύ $18 - 29^{\circ}\text{C}$. Έχει βρεθεί ότι αν η θερμοκρασία εδάφους είναι 15°C χρειάζονται 16 ημέρες για να βλαστήσει ο σπόρος, ενώ στους 20°C , 25°C και 31°C οι ημέρες που απαιτούνται για τη βλάστηση είναι 11, 8 και 6 αντίστοιχα. Παρατεταμένη διάρκεια βλάστησης έχει σαν αποτέλεσμα τη μειωμένη βλαστικότητα και μειωμένη ζωτικότητα των φυτών. Ο σπόρος διατηρεί τη ζωτικότητά του για 3 περίπου χρόνια.

Μετά τη βλάστηση, η θερμοκρασία αέρα που πρέπει να επικρατεί στο θερμοκήπιο την ημέρα είναι $(25-30)^{\circ}\text{C}$ και τη νύχτα από $(10-18)^{\circ}\text{C}$. Σε θερμαινόμενο θερμοκήπιο για μια ελάχιστη θερμοκρασία νύχτας $(12-14)^{\circ}\text{C}$ και με θερμοκρασία ημέρας γύρω στους 28°C , πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι η παραγωγή ήταν κατά 58% πιο υψηλή σε σύγκριση με μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο. Για πρώιμη παραγωγή, θέρμανση στα θερμοκήπια εφαρμόζεται και σε άλλες μεσογειακές χώρες, όπως η Ισπανία. Επιπλέον έρευνες έχουν δείξει ότι η ανάπτυξη των φυτών και ο αριθμός των άνθεων και λοβών ήταν μεγαλύτερα όταν η θερμοκρασία εδάφους ήταν μεταξύ $(24-29)^{\circ}\text{C}$. Η πιο κατάλληλη υγρασία αέρος, θεωρείται το επίπεδο του 70% Σχετική Υγρασία (Σ.Υ). Πιο υψηλά επίπεδα είναι ανεπιθύμητα, γιατί ο κίνδυνος ασθeneιών είναι μεγάλος αλλά και υπερβολική ξηρασία κατά την άνθηση προκαλεί ανθόρροια.



3.2 Σπορά.

Το κοινό φασόλι δεν αντέχει στους παγετούς. Η σπορά του γίνεται την άνοιξη, στη βόρεια Ελλάδα μέσα – με τέλη Απριλίου, ενώ στη νότια λίγο νωρίτερα. Αυτό που πρέπει να προσέξει κανείς, είναι οι όψιμοι παγετοί, γιατί μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα στην καλλιέργεια ή ακόμη και να την καταστρέψουν ολοσχερώς. Η σπορά πρέπει να γίνεται όταν η θερμοκρασία του εδάφους είναι 12-15 °C γιατί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες δεν επιτυγχάνεται το φύτρωμα. Η θερμοκρασία εδάφους είναι ένας παράγοντας που καθορίζει τις ημέρες που θα χρειαστούν για να φυτρώσουν οι σπόροι, όσο υψηλότερες είναι οι θερμοκρασίες, τόσο λιγότερες μέρες απαιτούνται για το φύτρωμα. Οι ιδανικές θερμοκρασίες για την ανάπτυξη των φυτών είναι (21-26) °C. Κάτι άλλο που πρέπει κανείς να προσέξει είναι η ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου, ο οποίος θα πρέπει να ολοκληρωθεί όσο οι θερμοκρασίες είναι μικρότερες από 32°C, γιατί σε μεγαλύτερες δεν επιτυγχάνεται καρπώδωση. Οι αποστάσεις και η ποσότητα σπόρων εξαρτάται από την ποικιλία που καλλιεργείται:

Ποικιλίες	Αποστάσεις μεταξύ των γραμμών	Ποσότητα σπόρου
Νάνες	60 cm	7-15 kg/στρ.
Αναρριχώμενες	80-90 cm	5-8 kg/στρ.

3.3 Λίπανση - Άρδευση.

Το κοινό φασόλι με την αζωτοδέσμευση δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του σε N, για το λόγο αυτό γίνεται προσθήκη αζώτου ανάλογα με τη γονιμότητα του εδάφους. Συνήθως γίνεται προσθήκη 2,25-10 kg N. Λίπανση με φωσφόρο γίνεται σε ποσότητα 15-20 kg P₂O₅. Η λίπανση γίνεται πριν ή κατά τη σπορά χωρίς να έρθει σε επαφή με το σπόρο το λίπασμα. Το κοινό φασόλι μπορεί να αναπτυχτεί σε ποικιλία εδαφών, από αμμώδη έως αργιλώδη.

Τα εδάφη θα πρέπει να έχουν καλή στράγγιση και καλό αερισμό. Επίσης, κατάλληλα είναι και αυτά τα οποία θερμαίνονται νωρίς την άνοιξη. Καταλληλότερα όμως είναι τα αμμώδη και τα αργιλοπηλώδη. Τα φυτά αναπτύσσονται χωρίς προβλήματα σε εδάφη των οποίων το pH είναι 5.2-6.8.

Σε όλη την καλλιεργητική περίοδο τα φυτά θα πρέπει να έχουν επάρκεια σε υγρασία ώστε να επιτευχθεί στο μέγιστο η απόδοση και η ποιότητα των σπόρων. Η έλλειψη υγρασίας στην άνθιση και στην καρπώδωση προκαλεί ανθόρροια και καρπόρροια, αντίστοιχα. Η άρδευση γίνεται είτε με τεχνική βροχή είτε σε αυλάκια. (Δε συνιστάτε η κατάκλιση).

3.4 Καλλιέργεια σε θερμοκήπιο.

Η σπορά της φασολιάς γίνεται συνήθως απευθείας στο έδαφος του θερμοκηπίου. Η προετοιμασία φυτών σε σπορείο και η εν συνεχεία μεταφύτευση βρίσκει περιορισμένη πρακτική εφαρμογή, γιατί η προετοιμασία μεγάλου αριθμού φυτών που απαιτούνται στην περίπτωση της φασολιάς είναι κοπιαστική και το κόστος είναι υψηλό. Όμως υπάρχουν



περιπτώσεις, όπως το ενδιαφέρον για πρώιμη παραγωγή, η απασχόληση του θερμοκηπίου με άλλη καλλιέργεια σε συνδυασμό με την εποχή κατά την οποία προγραμματίζεται η συγκομιδή κλπ, καταστάσεις δηλαδή που συνηγορούν υπέρ της μεταφύτευσης. Αντίθετα η απευθείας σπορά διευκολύνει κατά πολύ και δεν παρουσιάζει απαγορευτικά μειονεκτήματα, γιατί η βλάστηση, ανάπτυξη και καρποφορία γίνονται σε σύντομα χρονικά διαστήματα, υπό την προϋπόθεση ότι η θερμοκρασία εδάφους και ατμόσφαιρας, κατά και μετά την απευθείας σπορά, είναι σε κατάλληλα επίπεδα.

3.4.1 Φύτευση.

Η φασολιά σε κατακόρυφη ανάπτυξη καταλαμβάνει πολύ μικρό χώρο, γιατί αναπτύσσεται σχεδόν μονοστέλεχο με πολύ μικρό αριθμό και μικρού μήκους πλάγιους βλαστούς. Οι λίγοι πλάγιοι βρίσκονται κυρίως στα πρώτα 50cm από τη βάση του φυτού. Ακριβώς επειδή το φυτό δεν καταλαμβάνει μεγάλο χώρο, θα πρέπει να φυτεύεται μεγάλος αριθμός φυτών για να γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου και για να εξασφαλίζονται μεγαλύτερες αποδόσεις. Οι αποστάσεις φύτευσης στο υψηλό θερμοκήπιο και για τις αναρριχώμενες ποικιλίες καθορίζονται και από το σύστημα ποτίσματος που είναι ήδη εγκατεστημένο.

Στη συνέχεια δίνονται οι αποστάσεις φύτευσης για τα δύο πιο κοινά συστήματα που χρησιμοποιούνται στο θερμοκήπιο:

- Ø Στην περίπτωση που οι σωλήνες ποτίσματος απέχουν ίσες αποστάσεις (π.χ 1 γραμμή κάθε 100 - 200cm και οι σταλακτήρες πάνω στο σωλήνα 50cm μεταξύ τους, σε κάθε σταλακτήρα σπέρνονται σπόροι σε 4 θέσεις, δύο σε κάθε πλευρά.
- Ø Στην περίπτωση που οι σωλήνες ποτίσματος είναι εγκατεστημένοι ανά ζεύγη, δηλ. 2 γραμμές σε απόσταση 50cm και οι διπλές γραμμές απέχουν μεταξύ τους 100 - 120cm ακολουθείται η ίδια τακτική, δηλ. σε κάθε γραμμή ποτίσματος, σπορά δύο σειρών ανά μία σε κάθε πλευρά. Στη δεύτερη περίπτωση ο αριθμός των θέσεων φύτευσης/στρέμμα που προκύπτει είναι μεγαλύτερος, σε σύγκριση με την παραπάνω περίπτωση.

Σε κάθε θέση φύτευσης σπέρνονται περισσότεροι σπόροι από όσα τελικά φυτά θα μείνουν.

3.4.2 Άρδευση.

Η άρδευση φασολιάς θερμοκηπίου γίνεται συνήθως με τη μέθοδο μικροεκτοξευτήρων. Μετά τη βλάστηση τα ποτίσματα γίνονται συχνά και με αρκετό νερό για να μεγαλώσουν τα φυτά γρήγορα και να εμφανιστούν τα άνθη. Στη συνέχεια τα ποτίσματα περιορίζονται γιατί η υπερβολική ξηρασία, προκαλούν ανθόρροια. Οι ανάγκες σε νερό 1 στρέμματος φασολιάς που καλλιεργείται σε υψηλό θερμοκήπιο ανέρχονται σε 446m³/στρέμμα.

3.4.3 Λίπανση.

Η λίπανση χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες, στη βασική και στην επιφανειακή λίπανση. Κατά τη βασική λίπανση και πιο συγκεκριμένα κατά την προετοιμασία του εδάφους πριν από τη σπορά ή τη φύτευση, προτείνονται 3 – 4 τόνοι ανά στρέμμα καλά χωνεμένης κοπριάς, 30 – 50 κιλά ανά στρέμμα λίπασμα 0-48-0 και 30 – 50 κιλά ανά στρέμμα λίπασμα



0-0-48. Κατά την επιφανειακή λίπανση συνίσταται η χορήγηση του λιπάσματος μαζί με το νερό ποτίσματος. Δίνονται τα δύο κύρια στοιχεία δηλ. άζωτο και κάλιο σε αναλογία 1:1. Τα στοιχεία αυτά χορηγούνται με τη διάλυση νιτρικού καλίου και νιτρικής αμμωνίας στις πιο κάτω αναλογίες:

Ø 120gr/l νερού KHNO_3

Ø 110gr/l νερού $\text{NH}_4\text{NO}_3^{\text{I}}$

3.4.4 Συγκομιδή.

Η συγκομιδή αρχίζει συνήθως δύο μήνες μετά τη σπορά. Ο χρόνος που μεσολαβεί από τη σπορά μέχρι την έναρξη της συγκομιδής είναι αποτέλεσμα της εποχής φύτευσης και της περιοχής που γίνεται η καλλιέργεια. Σε θερμαινόμενο θερμοκήπιο (ελάχιστη θερμοκρασία νύχτας 12 - 14°C) όσο και σε μη θερμαινόμενο. Σε 66 ημέρες μετά τη σπορά σε θερμαινόμενο θερμοκήπιο και σε 83 ημέρες μετά τη σπορά στο μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο.

Σε θερμαινόμενο θερμοκήπιο η παραγωγή υπολογίζεται σε 5.81 τόνοι/στρέμμα, ενώ σε μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο 3.72 τόνοι/στρέμμα. Η συγκομιδή επαναλαμβάνεται κάθε 2 - 5 ημέρες, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι όσο πιο συχνά γίνεται η συγκομιδή τόσο πιο ομοιόμορφα είναι κατανομημένη η παραγωγή κατά τη περίοδο της συγκομιδής.

Είναι όμως, γεγονός ότι η άνθηση και καρποφορία της φασολιάς γίνεται κατά κύματα και για να αμβλυνθεί η κατά κύματα συγκομιδή θα πρέπει ο καρπός να συγκομίζεται όσο το δυνατόν πιο συχνά. Η συγκομιδή πρέπει να γίνεται με μικρό μέρος του μίσχου και σε καμία περίπτωση δεν πρέπει ο λοβός να κόβεται από το σαρκώδες μέρος του, γιατί στην τελευταία περίπτωση από το σημείο της τομής εύκολα χάνεται υγρασία και εισέρχονται παθογόνα που αλλοιώνουν τον λοβό. Το κόστος της συγκομιδής αποτελεί ένα από τα πιο υψηλά στοιχεία που συνθέτουν το κόστος παραγωγής του χλωρού φασολιού στο θερμοκήπιο, γιατί χρειάζεται αρκετός χρόνος να συγκομιστεί κάθε λοβός χωριστά. Υπολογίζεται ότι σε μία κανονική εργάσιμη ημέρα, ένας εργάτης μαζεύει κατά μέσο όρο γύρω στα 40kg.





4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.

Θερμοκήπιο είναι μία κατασκευή η οποία επιδιώκεται να καλύπτεται με όσο το δυνατόν διάφανο υλικό, κατά τρόπο που να εισέρχεται όσο το δυνατόν περισσότερος φυσικός φωτισμός ο οποίος είναι απαραίτητος για την ανάπτυξη των φυτών και κατά συνέπεια για μια αποδοτική καλλιέργεια.

Η χρήση ενός θερμοκηπίου κατά την παραγωγή αγροτικών προϊόντων αποσκοπεί στη ρύθμιση – τροποποίηση των συνθηκών του περιβάλλοντος που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών. Ρυθμίζοντας τις περιβαλλοντικές συνθήκες επιδιώκεται η αύξηση της παραγωγής, ο χρονικός προγραμματισμός και η καλύτερη ποιότητα της παραγωγής.

Ειδικότερα με τη θερμοκηπιακή καλλιέργεια η επίδραση των επικίνδυνων καιρικών φαινομένων (ισχυρή ανεμόπτωση βροχή, χιόνι, χαλάζι) μειώνεται στο ελάχιστο ενώ επιτρέπεται αρκετά ακριβής ρύθμιση περιβαλλοντικών παραγόντων που διαδραματίζουν κυρίαρχο ρόλο στην ανάπτυξη μιας καλλιέργειας, όπως θερμοκρασία, υγρασία ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα, στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου. Επιτρέπεται επίσης η ρύθμιση του περιβάλλοντος της ρίζας (υγρασία, ποσότητα οξυγόνου, θερμοκρασία, θρεπτικά στοιχεία) ενώ μειώνονται σημαντικά προβλήματα από ασθένειες και έντομα.

Η ρύθμιση του περιβάλλοντος όσο και της ρίζας των φυτών ξεκινά από τη σωστή κατασκευή, τον κατάλληλο εξοπλισμό που θα δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης των συνθηκών αλλά και από τη σωστή διαχείριση των διαφόρων αγροτικών εφοδίων που σχετίζεται με τη σωστή εκπαίδευση και ικανότητα του καλλιεργητή (Θεοχάρης 2000).

Τα θερμοκήπια ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες.

- Ø Θερμοκήπια χωρικού τύπου.
- Ø Τυποποιημένα θερμοκήπια.

Χωρικού τύπου ονομάζονται τα θερμοκήπια που κατασκευάζονται από τον ίδιο τον παραγωγό. Τα περισσότερα από αυτά τα θερμοκήπια έχουν ξύλινο σκελετό και κάλυμμα μαλακό πλαστικό. Τα θερμοκήπια αυτού του είδους σχεδιάζονται εμπειρικά και δεν στηρίζονται σε ερευνητικά δεδομένα. Αποτέλεσμα είναι να παρουσιάζονται πολλά μειονεκτήματα και ατέλειες, όπως δυσκολία στην εκτέλεση των καλλιεργητικών εργασιών, μικρή διάρκεια ζωής του σκελετού, ανεπαρκής αερισμός κ.ά. Με την πάροδο του χρόνου έγιναν ορισμένες τροποποιήσεις και βελτιώσεις σ' όλους τους τύπους και σε μερικές περιπτώσεις αρχικοί τύποι εξαφανίστηκαν και αντικαταστάθηκαν από άλλους παρόμοιους τους. Τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν διάφορες βιομηχανίες κατασκευής προκατασκευασμένων τύπων θερμοκηπίων από μεταλλικό, ή ξύλινο σκελετό και οι οποίες έχουν εισάγει πολλές βελτιώσεις βασισμένες σε υψηλότερη τεχνολογία.

Τυποποιημένα ονομάζονται τα θερμοκήπια που κατασκευάζονται από βιομηχανίες και βιοτεχνίες σε μαζική παραγωγή. Η εγκατάσταση στον αγρό γίνεται με ευθύνη του κατασκευαστή. Στα θερμοκήπια της κατηγορίας αυτής, ο σκελετός είναι από εμποτισμένη ξυλεία ή γαλβανισμένο εν θερμώ χάλυβα και το κάλυμμα από μαλακό πλαστικό, σκληρό πλαστικό ή γυαλί.

4.1 Θερμοκήπια χωρικού τύπου.

Ανάμεσα στους διάφορους τύπους κατασκευών που υπάρχουν στη χώρα μας, έχουν επικρατήσει κάποιοι συγκεκριμένοι σε σχέση και με την γεωγραφική περιοχή. Έτσι για παράδειγμα πολύ διαδεδομένες κατασκευές είναι ο τύπος Μακεδονίας, ο τύπος Ιεράπετρας, ο

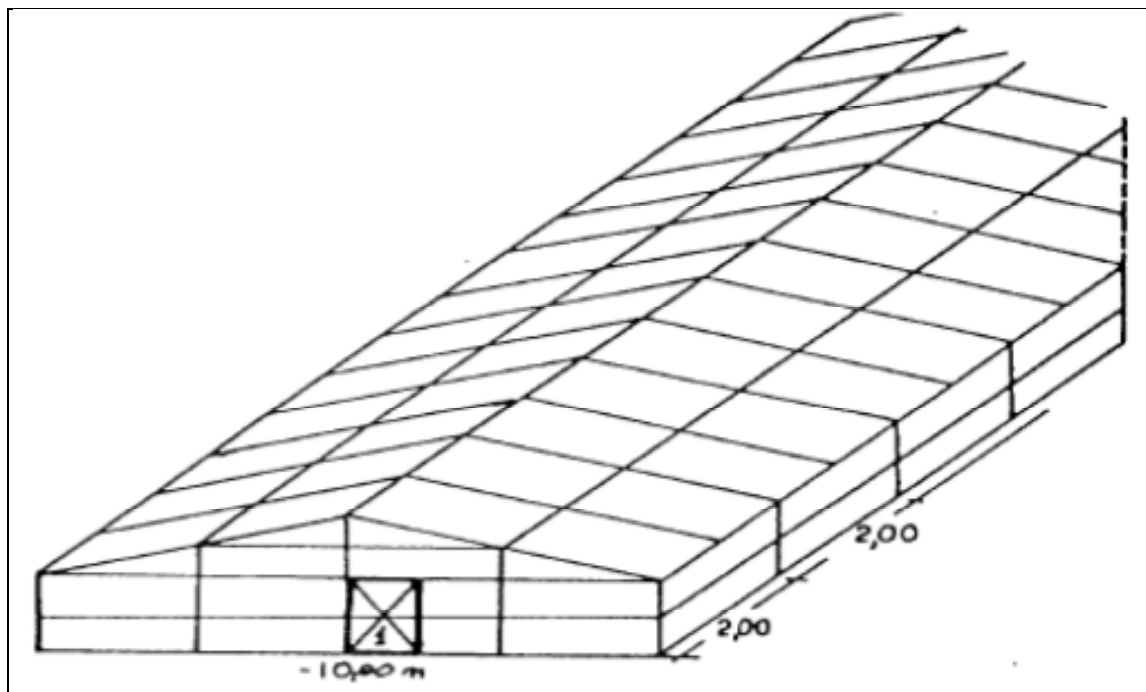


τύπος Τυμπακίου, ο τύπος Φιλιατρών, ο τύπος Πρέβεζας. Πιο αναλυτικά στοιχεία για τον κάθε συγκεκριμένο τύπο δίνονται στις παρακάτω ενότητες.

4.1.1 Τύπος Μακεδονίας.

Ο τύπος Μακεδονίας σχεδιάστηκε από το γεωπόνο Φ. Γκράτσιο και διαδόθηκε στη βόρεια Ελλάδα και στο Τυμπάκι Κρήτης. Για πολλά χρόνια ήταν ένας από τους πιο ενδεδειγμένους Ελληνικούς τύπους θερμοκηπίων. Η στέγη του θερμοκηπίου του τύπου αυτού στηρίζεται σε πέντε σειρές πασσάλων, δύο ακραίους, ύψους 1,5 - 2 m, δύο ενδιάμεσους ύψους 2-2,5 m και μία σειρά μεσαίους, ύψους 2,5 - 3 m . Η απόσταση μεταξύ των γραμμών των πασσάλων είναι 2,5 m και οι πάσσαλοι πάνω στη γραμμή απέχουν 2 m. Τα θερμοκήπια κατασκευάζονται σε πλάτος 10 m και σπάνια 12,5 m, το δε μήκος τους κυμαίνεται μεταξύ 50 - 120 m. Το φύλλο του πλαστικού της στέγης στηρίζεται πάνω σε σιδηροσωλήνες ή σε καδρόνια ξύλου ελάτης. Τα θερμοκήπια του τύπου Μακεδονίας παρουσιάζουν ικανοποιητική αντοχή στους ανέμους, έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής, αλλά παρουσιάζουν μερικά μειονεκτήματα, από τα οποία το σοβαρότερο είναι ο μεγάλος αριθμός πασσάλων στήριξης της στέγης, πού εμποδίζει τις καλλιεργητικές εργασίες. Εξάλλου η μικρή κλίση της στέγης δημιουργεί πολλά προβλήματα στις καλλιέργειες και στη ρύθμιση των κλιματικών συνθηκών. Για την κατασκευή θερμοκηπίου ενός στρέμματος χρειάζονται 255 πάσσαλοι καστανιάς, ύψους 2,5 - 3,5 m και 3-3,5 m³ ξυλείας.

Τα τελευταία χρόνια εισήχθησαν ορισμένες βελτιώσεις που άρχισαν να εφαρμόζονται από τους παραγωγούς, όπως αύξηση του ύψους των πλάγιων πλευρών στα 2,00 - 2,20 m, αντικατάσταση των ξύλινων με μεταλλικούς πάσσάλους, αύξηση των πλαϊνών ανοιγμάτων εξαερισμού στο 1 m, χρήση χειροκίνητων μηχανισμών μετακινήσεως των πλευρικών ανοιγμάτων εξαερισμού, βάψιμο των σιδηροσωλήνων με αντισκοριακό και λαδομπογιά, χρήση μονοκόμματος πλαστικού στη στέγη, καθώς και άλλων συντηρητικών στην ξυλεία. Στο Σχήμα 1 δίνεται μια σχηματική αναπαράσταση της μορφής του τύπου Μακεδονίας.



Σχήμα 3.1: Σχηματική αναπαράσταση θερμοκηπίου τύπου Μακεδονίας.



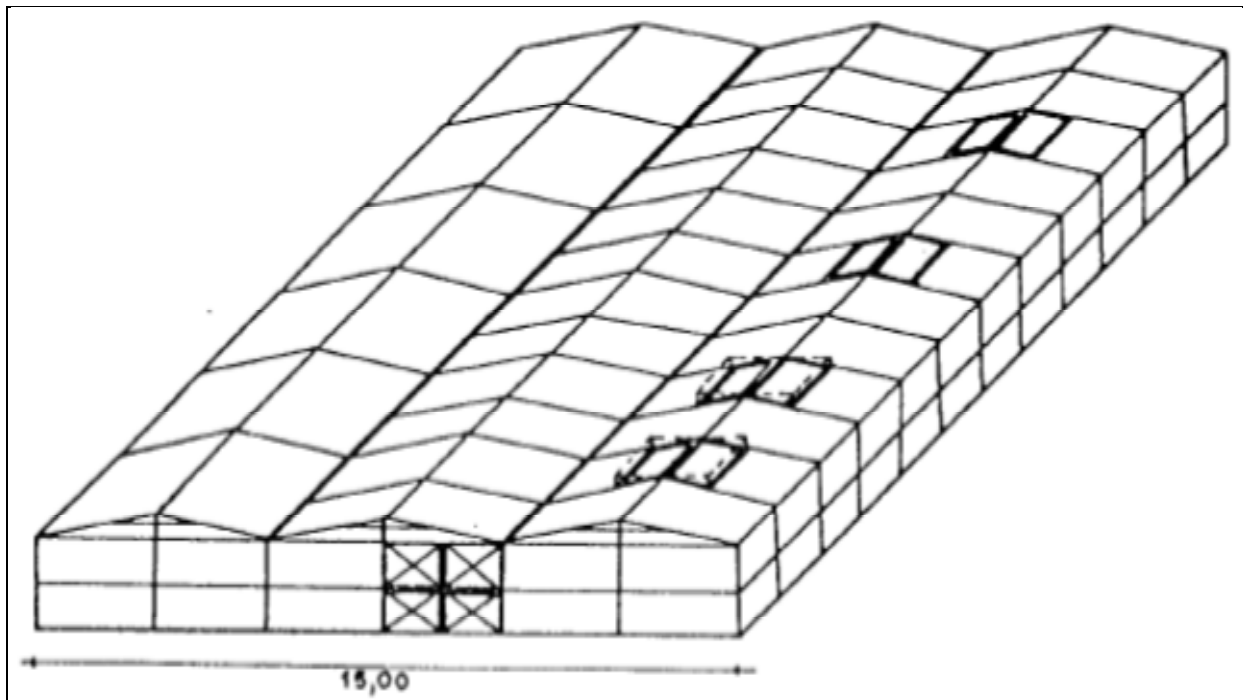
4.1.2 Τύπος Ιεράπετρας.

Είναι αντιγραφή του Ολλανδικού γυάλινου τύπου θερμοκηπίου Venlo, στο οποίο το γυαλί αντικαταστάθηκε με φύλλο πλαστικού. Το πρώτο θερμοκήπιο του τύπου αυτού κατασκευάστηκε το 1966 στην Ιεράπετρα Κρήτης από τον Ολλανδό Παύλο Κούπερς και από εκεί διαδόθηκε σε πολλές περιοχές της νότιας Ελλάδας. Τα θερμοκήπια του τύπου αυτού είναι πολλαπλά και φέρουν ορθοστάτες, σε πολλές σειρές, οι οποίες απέχουν μεταξύ των 2,5 m ενώ οι πάσσαλοι επί της γραμμής απέχουν 2,5 - 3 m.

Τα θερμοκήπια αυτά διαμορφώνονται σε οποιοδήποτε πλάτος, έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής, αντέχουν στον άνεμο, αλλά κινδυνεύουν από το χιόνι και παρουσιάζουν δυσκολίες στον εξαερισμό και στην εκτέλεση των καλλιεργητικών εργασιών.

Για την κατασκευή θερμοκηπίου ενός στρέμματος απαιτούνται 200 περίπου πάσσαλοι, 6 m³ ξυλείας ελάτης, 220 kg πλαστικού πολυαιθυλενίου και 36 ημερομίσθια εργατών. Βελτιώσεις που έχουν εισαχθεί τα τελευταία χρόνια στα θερμοκήπια αυτά, από κατασκευαστές, παραγωγούς και γεωπόνους αφορούν στη χρήση σιδηροσωλήνων γαλβανισμένων 11/4", αντί των πασσάλων καστανιάς, σιδηρογωνιών γαλβανισμένων για την στήριξη καδρονιών, ξυλείας εμποτισμένης με συντηρητικά, αύξηση ύψους θερμοκηπίου, χρήση χειροκίνητων μηχανισμών ανοίγματος, των πλευρικών ανοιγμάτων, χρήση παραθύρων στη στέγη κ.ά.

Εκτός από τις βελτιώσεις που ήδη έχουν εισαχθεί, από τη μέχρι τώρα πείρα συνίσταται η αύξηση των ανοιγμάτων εξαερισμού και στις τέσσερες πλευρές, από 0,6 m σε 1,2 m, ο προσανατολισμός στη διεύθυνση ανατολή προς δύση, η χρήση ξυλείας και συντηρητικών ιδίως στο υπόγειο τμήμα των πασσάλων.



Σχήμα 3.2 Σχηματική αναπαράσταση θερμοκηπίου τύπου Ιεράπετρας.



4.1.3 Τύπος Τυμπακίου.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω ο συγκεκριμένος τύπος είναι παραλλαγή του τύπου Μακεδονίας. Έχει πολλαπλή αμφικλινή στέγη πού στηρίζεται σε πολλές σειρές πασσάλων καστανιάς. Διαδόθηκε στην περιοχή Τυμπακίου. Τα πλεονεκτήματα του τύπου αυτού είναι ή αντοχή στους ισχυρούς ανέμους της περιοχής και η ευκολία κατασκευής. Τα κυριότερα μειονεκτήματα των θερμοκηπίων του τύπου αυτού είναι το μικρό ύψος των πλευρών, ο ανεπαρκής αερισμός και ο μεγάλος αριθμός πασσάλων, πού εμποδίζουν τις καλ λιεργητικές εργασίες (Θεοχάρης 2015).

Κατά τον Θεοχάρη (2015) στον τύπο αυτό μπορούν να επέλθουν βελτιώσεις όπως η αύξηση μήκους των των πλευρών από 1,60 m στα 2,20 m, η διεύθυνση να βρίσκεται από την ανατολή προς τη δύση, η τοποθέτηση σιδηροσωλήνων αφού προηγουμένως έχουν περαστεί με μίνιο και αστάρι μετάλλων, η χρήση συντηρητικών στο υπόγειο μέρος της ξυλείας καστανιάς και τέλος η αύξηση των ανοιγμάτων εξαερισμού.

4.1.4 Τύπος Φιλιατρών.

Ο συγκεκριμένος τύπος έχει διαδοθεί στη νότια και δυτική Πελοπόννησο. Ο σκελετός των θερμοκηπίων αυτών κατασκευάζεται από σιδηροσωλήνες διαμέτρου 1/2 - 3/4 ιντσών οι οποίες λυγίζουν και σχηματίζουν ημικυκλικά τόξα ανοίγματος 5 περίπου μέτρων. Τα μεταλλικά τόξα σταθεροποιούνται με σύρματα γαλβανισμένα ή με σειρές καλαμιών πού τοποθετούνται κατά μήκος των θερμοκηπίων. Η κάλυψη στον τύπο αυτό γίνεται με τεμάχια φύλλων πλαστικού που τοποθετούνται κατά πλάτος και βυθίζονται στο έδαφος στις άκρες. Ο αερισμός γίνεται από τις μικρές πλευρές του θερμοκηπίου και από πλευρικά ανοίγματα πού σχηματίζονται στις ενώσεις των φύλλων του πλαστικού.

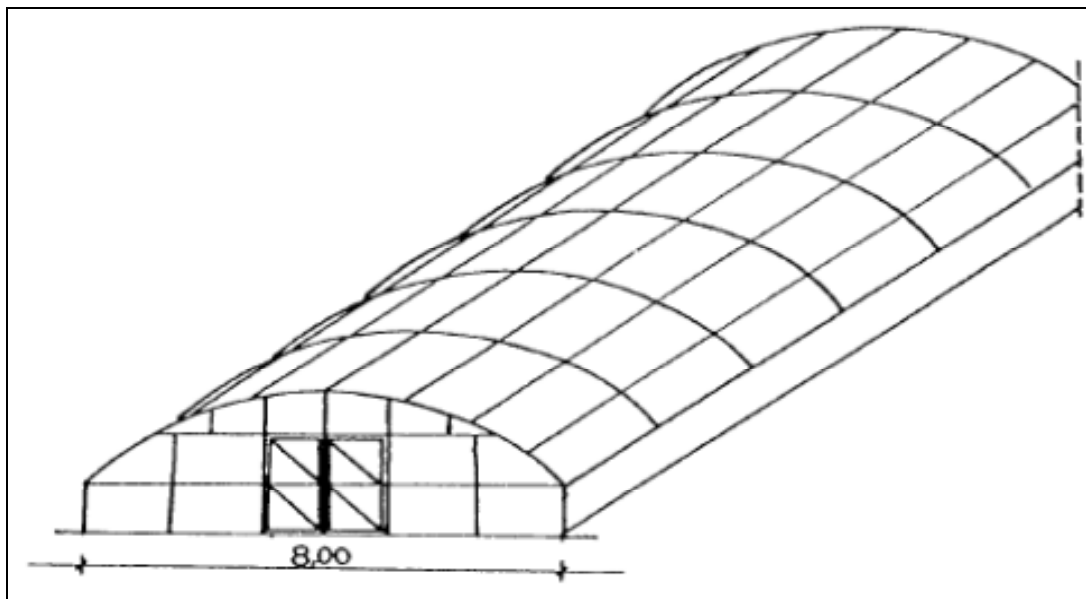
Ο τύπος αυτός παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα, όπως χαμηλό κόστος και ευκολία κατασκευής και μεγάλη διαπερατότητα στο φως, αλλά έχει και μερικά πολύ σοβαρά μειονεκτήματα, όπως χαμηλό ύψος, ιδίως προς τις πλευρές, περιορισμένο χώρο για ανάπτυξη των καλλιεργειών, δυσκολίες στον εξαερισμό, συγκέντρωση σταγόνων, δυσκολία στην ανάρτηση φυτών από τη στέγη και μικρό μήκος.

Τα τελευταία χρόνια στα θερμοκήπια αυτά έχουν εισαχθεί ορισμένες πολύ ενδιαφέρουσες βελτιώσεις, μία από τις οποίες είναι η αύξηση του ανοίγματος των τόξων από 5 m σε 8 m, με παράλληλη αύξηση της διαμέτρου των σιδηροσωλήνων σε 1 1/4 '' και του ύψους του θερμοκηπίου σε 3 περίπου μέτρα. Στην περίπτωση αυτή, για να γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση του χώρου του θερμοκηπίου τα τόξα κάμπτονται σχεδόν κάθετα στις πλευρές. Τα θερμοκήπια αυτά στοιχίζουν λίγο περισσότερο αλλά είναι πιο ευρύχωρα.

Μία άλλη βελτίωση πού άρχισε να διαδίδεται, είναι η κατασκευή πολλαπλών τύπων θερμοκηπίων Φιλιατρών, όπου τα μεταλλικά τόξα στηρίζονται πάνω σε μεταλλικούς ορθοστάτες ύψους (1.2 -1.5)m. Ο αερισμός γίνεται από πλευρικά ανοίγματα. Τα θερμοκήπια αυτά κατασκευάζονται σε πολύ μεγαλύτερο πλάτος και μήκος, είναι πιο ευρύχωρα και πιο ψηλά από τα ίδια του αρχικού τύπου Φιλιατρών.

Σφάλματα κατασκευαστικά γίνονται στον προσανατολισμό των θερμοκηπίων, στο ότι δεν λαμβάνονται μέτρα προστασίας του πλαστικού στα σημεία επαφής με το σίδηρο, στις διατομές των σιδηροσωλήνων, που συνήθως είναι μικρότερες και στο ότι δε βάζονται οι σιδηροσωλήνες. Οι βελτιώσεις πού πρέπει να εισαχθούν στα θερμοκήπια του τύπου Φιλιατρών είναι: α) Προσανατολισμός των θερμοκηπίων από την ανατολή προς τη δύση.

β) Βαφή του φύλλου του πλαστικού πού ακουμπά στους σιδηροσωλήνες με άσπρο πλαστικό χρώμα και διάδοση των βελτιωμένων παραλλαγών που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Σχήμα 3.3 Σχηματική αναπαράσταση θερμοκηπίου τύπου Φιλιατρών.

4.1.5 Τύπος Πρέβεζας.

Ο σκελετός των θερμοκηπίων αυτών κατασκευάζεται από καλάμια που εισέρχονται στο έδαφος σε αποστάσεις 0,6 - 0,9 m σε δύο παράλληλες γραμμές που απέχουν μεταξύ τους 4 - 4,5 m. Στη συνέχεια τα καλάμια λυγίζονται, δένονται στη κορυφή και σχηματίζουν καμάρα. Για την αύξηση της αντοχής του σκελετού τα καλάμια δένονται μεταξύ τους με σύρμα. Ακολουθεί η κάλυψη του θερμοκηπίου με φύλλο πλαστικού πολυαιθυλενίου. Τα θερμοκήπια του τύπου αυτού έχουν πολύ μικρό κόστος κατασκευής.

Τα μειονεκτήματα των θερμοκηπίων αυτών είναι η μικρή αντοχή στους ανέμους, η μικρή διάρκεια ζωής του σκελετού, ο ανεπαρκής εξαερισμός και ο μικρός όγκος αέρα που εμποδίζει την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Ο τύπος αυτός των θερμοκηπίων εξακολουθεί να χρησιμοποιείται στη Ζάκυνθο, ενώ στην περιοχή της Πρέβεζας τα καλάμια έχουν αντικατασταθεί σχεδόν στο σύνολό τους από νεροσωλήνα διαμέτρου 1/2 - 3/4 ". Έτσι όμως ο τύπος αυτός εξομοιώθηκε με τον τύπο Φιλιατρών.

4.2 Τυποποιημένα θερμοκήπια.

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. Βασική κατασκευαστική μονάδα ενός θερμοκηπίου είναι το μικρότερο πλήρες τμήμα του, το οποίο επαναλαμβάνόμενο κατά μήκος και κατά πλάτος σχηματίζει το σύνολο. Ανάλογα με το σχήμα των θερμοκηπίων αυτά διακρίνονται σε αμφικλινή τοξωτά,

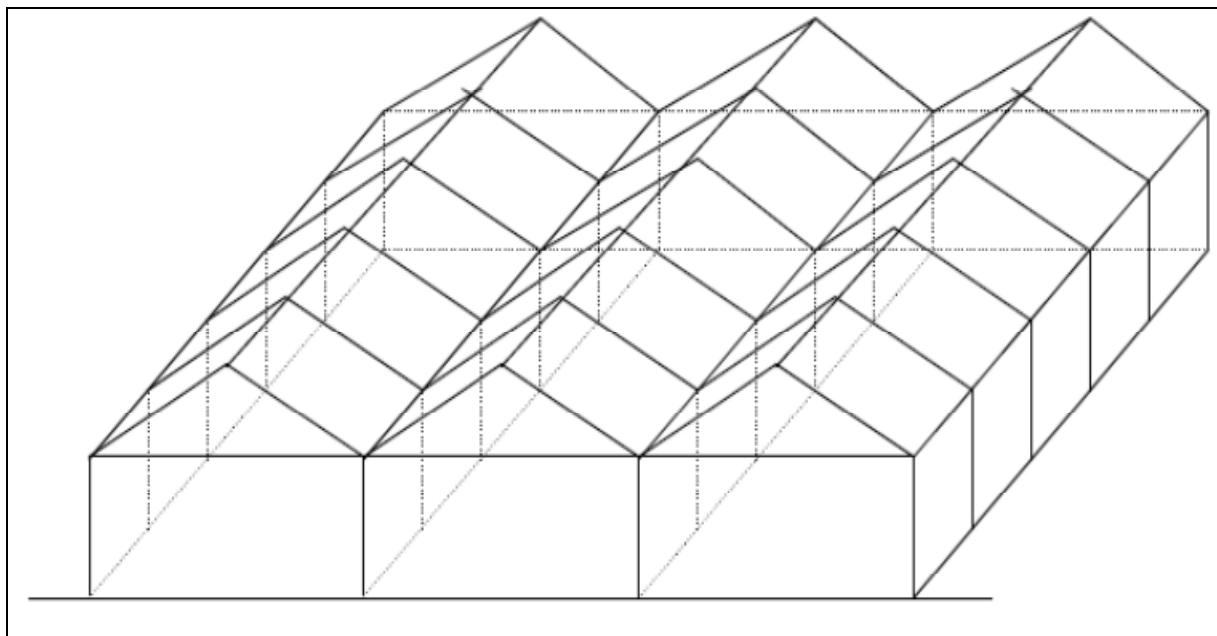
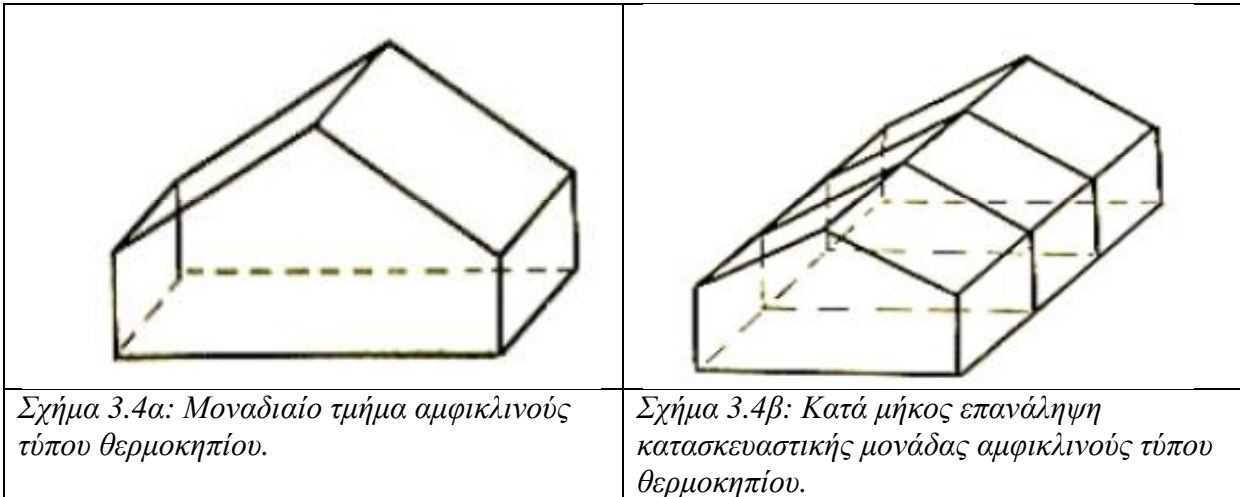
Στα επόμενα δίνονται τα βασικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των θερμοκηπίων χωρικού τύπου.



4.2.1 Αμφικλινές θερμοκήπιο.

Ο τύπος αυτός θερμοκηπίου έχει τη μορφή του σχήματος 3.4α. Με καταμήκος επανάληψη του μοναδιαίου αμφικλινούς τμήματος (κατασκευαστική μονάδα) γίνεται η προσαρμογή στην επιλεγμένη περιοχή καλύψης από τον παραγωγό (Σχήμα 3.4β).

Επίσης το θερμοκήπιο που σχηματίζεται με κατά μήκος και πλάτος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας λέγεται αμφικλινές πολλαπλό. Μια σχηματική αναπαράσταση ενός τέτοιου τύπου θερμοκηπίου δίνεται στο Σχήμα 3.5.



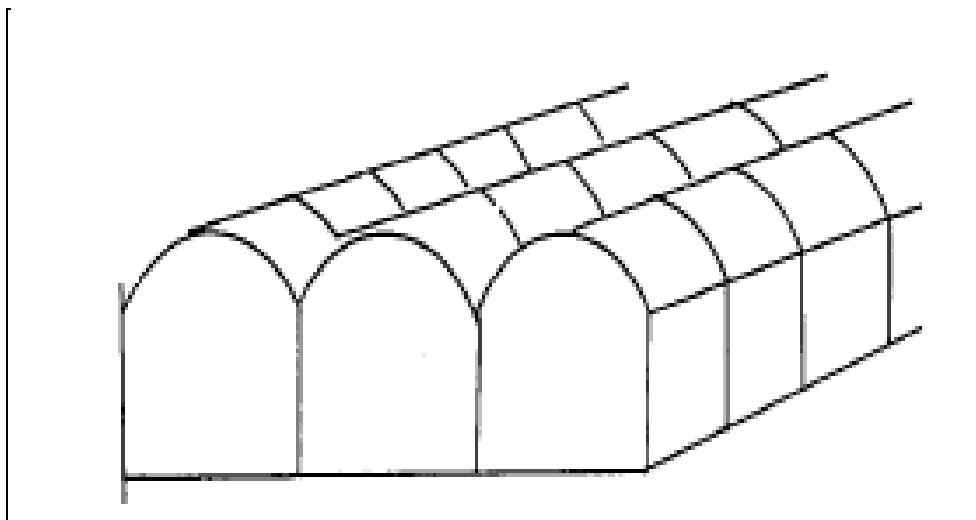
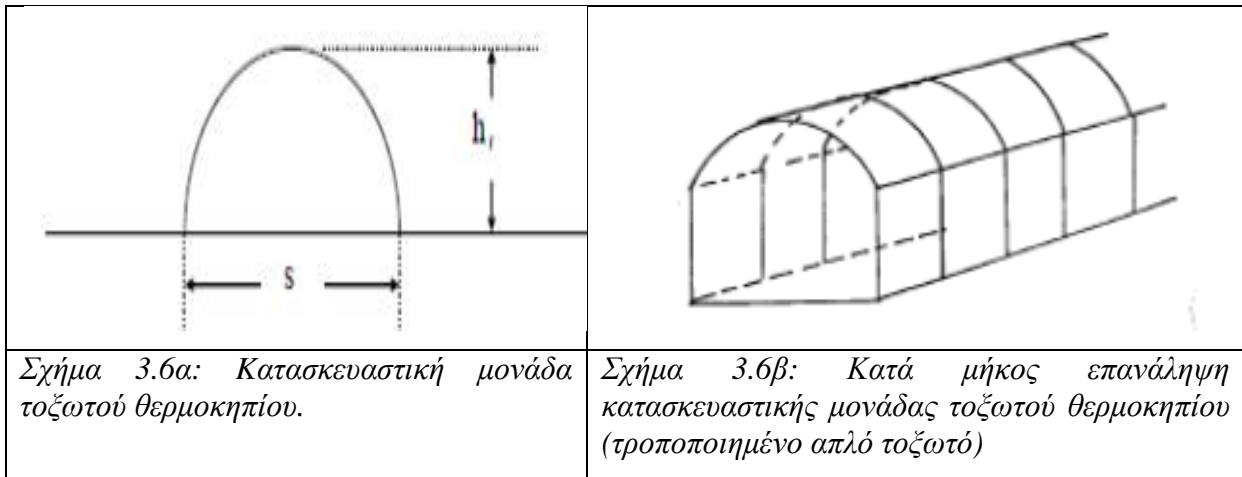
Σχήμα 3.5 Σχηματική αναπαράσταση αμφικλινούς πολλαπλού θερμοκηπίου.



4.2.2 Τοξωτό θερμοκήπιο.

Τοξωτό λέγεται ο τύπος θερμοκηπίου που η πρόσθια όψη του έχει τη μορφή τόξου όπως φαίνεται στο σχήμα 3.6α. Με την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας δημιουργείται το λεγόμενο τροποποιημένο απλό τοξωτό θερμοκήπιο.

Πολλαπλό τοξωτό θερμοκήπιο είναι αυτό που σχηματίζεται με την κατά μήκος και πλάτος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας. Επίσης υπάρχει και το τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο το οποίο αποτελεί παραλλαγή της απλής μορφής με την κατασκευαστική μονάδα να διαθέτει ορθοστάτες και τοξωτή στέγη.



Σχήμα 3.7 Σχηματική αναπαράσταση τροποποιημένου πολλαπλού τοξωτού θερμοκηπίου.

Αναφορικά με τις διαστάσεις του κατασκευαστικού στοιχείου θερμοκηπίων συνήθως προτείνονται οι παρακάτω διαστάσεις:

- ∅ Ύψος: Ελάχιστο ύψος χαμηλής πλευράς (ορθοστατών) στα απλά και της υδρορροής στα πολλαπλά:
 - Θερμοκήπια χωρικού τύπου : 2.20 m.
 - Τυποποιημένα θερμοκήπια : 2.60 m.
- ∅ Πλάτος: Ελάχιστο πλάτος κατασκευαστικής μονάδας:
 - Θερμοκήπια χωρικού τύπου : 5 m.
 - Τυποποιημένα θερμοκήπια : 5 m.



Στις παραπάνω διαστάσεις θα πρέπει να επισημανθεί ότι είναι δυνατή και στους δυο τύπους, η τοποθέτηση ενδιάμεσων στύλων για στήριξη της οροφής, με ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους 2.5 m.

- ∅ Απόσταση στύλων (ορθοστατών). Ελάχιστο μήκος κατασκευαστικής μονάδας (απόσταση στύλων επί της γραμμής)
Θερμοκήπια χωρικού τύπου : 2,00 m.
Τυποποιημένα θερμοκήπια : 2,50 m.
- ∅ Κλίση οροφής: Η κλίση οροφής θα κυμαίνεται στα:
Θερμοκήπια χωρικού τύπου : 20° - 30°
Τυποποιημένα θερμοκήπια : 20° - 30°

Ειδικότερα για τοξωτά απλά ή πολλαπλά προτείνονται τα ακόλουθα:

- ∅ Ύψος. Ελάχιστο ύψος στην κορυφή 3m και ελάχιστο ύψος σε απόσταση μισό μέτρο από το ση-μείο στήριξης στο έδαφος 1.50 m.
- ∅ Πλάτος: Ελάχιστο ελεύθερο πλάτος 7 m.
- ∅ Ελάχιστο Ύψος υδροροής:
Θερμοκήπια χωρικού τύπου : 2,20 m.
Τυποποιημένα θερμοκήπια : 2,60 m.
- ∅ Ελάχιστο ύψος στην κορυφή
Θερμοκήπια χωρικού τύπου : 3,10 m.
Τυποποιημένα θερμοκήπια : 3,50 m.
- ∅ Ελάχιστο ελεύθερο πλάτος στο έδαφος 5 m.

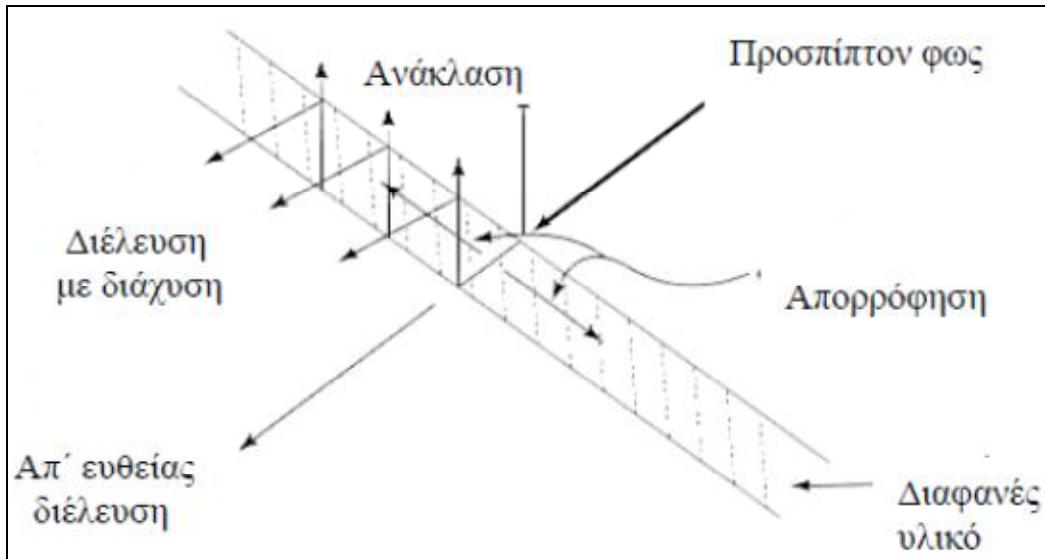
Σε σχέση με την απόσταση στύλων (ορθοστατών)

- ∅ Ελάχιστο μήκος κατασκευαστικής μονάδας (απόσταση στύλων ή τόξων επί της γραμμής) Θερμοκήπια χωρικού τύπου : 2 m.
Τυποποιημένα θερμοκήπια : 2 m.

4.3 Υλικά κάλυψης θερμοκηπίου.

Η ποσότητα και η ποιότητα του φωτός που περνάει στο χώρο των φυτών επηρεάζεται πολύ από τις ιδιότητες του διαφανούς υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου. Ένα καλής ποιότητας υλικό κάλυψης πρέπει να επιτρέπει τη διέλευση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ποσότητας από τον προσπίπτοντα σε αυτό φωτισμό και να ευνοεί τη διάχυσή του στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, ώστε να υπάρχει ομοιογένεια φωτισμού σε όλο τον καλυπτόμενο χώρο. Επί πλέον το υλικό κάλυψης θα πρέπει να επιτρέπει από το φυσικό φως να διέρχονται όλα τα μήκη κύματος που είναι αναγκαία για την ανάπτυξη των φυτών. Όπως είναι γνωστό, το φως αφού πέσει πάνω στο διαφανές υλικό κάλυψης είναι δυνατό :

- α. Να ανακλαστεί πάνω στο υλικό,
- β. Να απορροφηθεί από το υλικό,
- γ. Να διέλθει μέσα από το υλικό.



Σχήμα χχ: Περαιτότητα του διαφανούς υλικού στο προσπίπτον φως.

Όλα τα μήκη κύματος του φωτός ανακλώνται, απορροφώνται ή διέρχονται μέσω των διαφόρων υλικών κατά διαφορετικό τρόπο. Το γεγονός αυτό επιδρά στην ποιότητα του φωτισμού που εισέρχεται μέσα στο θερμοκήπιο. Γενικά θα πρέπει όλα τα μήκη κύματος του φωτός, που είναι αναγκαία για την ανάπτυξη των φυτών, να διέρχονται μέσω του καλύμματος στο χώρο του θερμοκηπίου στο μέγιστο βαθμό και όχι να ανακλώνται ή να απορροφώνται, από το υλικό του καλύμματος.

Διέλευση της ακτινοβολίας ορίζεται ως ο λόγος της διερχόμενης προς την προσβάλλουσα την επιφάνεια ακτινοβολία. Η διέλευση του φωτός μέσω ενός υλικού μπορεί να γίνει απευθείας ή με διάχυση.

Όταν το φως διέρχεται απευθείας, έχει σχεδόν την ίδια διεύθυνση με εκείνη του προσβάλλοντος φωτισμού. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι σκιές από τα αντικείμενα που εμποδίζουν την πορεία του (σκελετικά στοιχεία) θα είναι πολύ έντονες.

Αντίθετα, όταν με τη διέλευση του φωτός στο θερμοκήπιο γίνεται και διάχυσή του, τότε κατευθύνεται σε ποικίλες κατευθύνσεις με αποτέλεσμα την έλλειψη έντονων σκιάσεων. Ο υαλοπίνακας με κυματοειδή ή φολιδωτή την εσωτερική του επιφάνεια ή οι ενισχυμένες με ίνες υάλου πολυεστερικές επιφάνειες, μειώνουν το απευθείας διερχόμενο φως μετατρέποντάς το σε διάχυτο.

Η περαιτότητα ή μη στη θερμική ακτινοβολία είναι η άλλη σημαντική ιδιότητα των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων. Η θερμική ακτινοβολία (μεγάλου μήκους κύματος), όπως είναι γνωστό εκπέμπεται από όλα τα σώματα που έχουν συνήθεις θερμοκρασίες. Ορισμένα υλικά κάλυψης είναι περατά στη θερμική ακτινοβολία, ενώ άλλα είναι λιγότερο ή καθόλου περατά. Τα υλικά κάλυψης που δεν είναι περατά στη θερμική ακτινοβολία εκδηλώνουν το καλούμενο « φαινόμενου του θερμοκηπίου ». Δηλαδή, ενώ επιτρέπουν την είσοδο της μικρού μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα στο θερμοκήπιο, δεν επιτρέπουν την έξοδο της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα φυτά και το έδαφος κι έτσι δημιουργείται μια παγίδα θερμότητας, στην οποία οφείλεται κατά 30% περίπου η αύξηση της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου. Το υπόλοιπο ποσοστό οφείλεται στο φαινόμενο του κλειστού χώρου.

Στον Πίνακα 3.1 φαίνεται ότι το ποσοστό διέλευσης της θερμικής ακτινοβολίας μέσω του πολυαιθυλενίου είναι σαφώς μεγαλύτερο από εκείνο μέσω του γυαλιού ή άλλων υλικών.



Πίνακας 3.1 Περατότητα στη μικρού και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας ορισμένων υλικών κάλυψης θερμοκηπίων.

Υλικό		Ποσοστό διέλευσης ακτινοβολίας %				
		Φωτεινής				Θερμικής
		Απλή κάλυψη		Διπλή κάλυψη		Απλή κάλυψη
		Απ' ευθείας φως	Ολικό φως	Απ' ευθείας φως	Ολικό φως	
1.	Πολυαιθυλένιο διαφανές καθαρό χωρίς προσμίξεις	93	93	88	-	88
2.	Πολυαιθυλένιο διαφανές κοινό εμπορίου	76	89	-	80	71
3.	Πολυαιθυλένιο U.V.	74	88	-	-	64
4.	Γυαλί	86	90	75	-	1
5.	P.V.C. διαφανές	86	91	-	84	12
6.	P.V.C. «Haze»	-	89	-	82	12
7.	Mylar (πολυεστέρας φύλλο)	86	90	80	-	16
8.	Πολυεστέρας ενισχυμένος με ίνες γυαλιού	68	78	-	64	1
9.	Ακρυλικό διπλού επιπέδου	-	63-83	-	-	-
10.	Polycarbonate διπλού επιπέδου	-	73-77	-	-	-

Το γεγονός αυτό είναι η αιτία που τα θερμοκήπια τα καλυμμένα με πολυαιθυλένιο ψύχονται πιο γρήγορα τις βραδινές και νυχτερινές ώρες. Παρά το υψηλό ποσοστό περατότητας, αυτό πρακτικά περιορίζεται πολύ, λόγω της υγρασίας η οποία επικάθεται στην εσωτερική πλευρά του πολυαιθυλενίου. Με τη συμπύκνωση των υδρατμών πάνω στο πολυαιθυλένιο, παρατηρείται μείωση της περατότητας στη θερμική ακτινοβολία (του συνόλου του θερμοκηπίου) της τάξης του 50%, που είναι πολύ σημαντικό.

Το κοινό μειονέκτημα των περισσότερων υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων είναι η μικρή αντοχή στο χρόνο. Πολλά από τα υλικά αυτά, όπως τα πλαστικά, δείχνουν μικρή αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία (αποπολυμερισμός), άλλα όπως το γυαλί, δείχνουν μικρή αντοχή στο χαλάζι, και άλλα μικρή αντοχή στον άνεμο. Η αντοχή στο χρόνο βέβαια είναι πολύπλοκο θέμα και έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά για κάθε υλικό, γιατί διαφέρουν οι παράγοντες που επιδρούν στην ταχύτητα καταστροφής τους.

Στα πλαστικά η αντοχή στο χρόνο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Η υπεριώδης ακτινοβολία (U-V) είναι ο σημαντικότερος, γιατί προκαλεί φωτοχημικά φαινόμενα εντός του σώματος του διαφανούς πλαστικού, με αποτέλεσμα μείωση της φωτεινής περατότητάς του, της μηχανικής αντοχής του και τελικά την καταστροφή του. Οι ακτινοβολίες στο εύρος (0.30-0.35) μ είναι οι πλέον δραστικές για τα περισσότερα πολυμερή πλαστικά. Το συγκεκριμένο μήκος κύματος (0.30 – 0.35 μ) δεν αποτελεί παρά μόνο το 5% του ολικού ηλιακού φωτός, που είναι διαθέσιμο στην επιφάνεια της γης (το ίδιο μήκος κύματος προκαλεί το μαύρισμα και τα εγκαύματα στο ανθρώπινο δέρμα). Το πλαστικό φύλλο όμως που αποτελεί το κάλυμμα του θερμοκηπίου, είναι εκτεθειμένο για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα στην ακτινοβολία αυτή.



Άλλοι παράγοντες που επιδρούν στην καταστροφή πολλών τύπων πλαστικών είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία και το οξυγόνο. Η επίδραση όλων των βλαπτικών παραγόντων τελικά οδηγεί στην αλλαγή χρώματος και στη μείωση της μηχανικής αντιστάσεως των πολυ-μερών υλικών. Η ταχύτητα και η ένταση των μεταβολών αυτών εξαρτώνται κυρίως από το πάχος του υλικού και από τον τύπο του πολυμερούς.

Η επιλογή των διαφόρων υλικών κάλυψης πρέπει να βασίζεται στις παρακάτω ιδιότητες:

- Ø Περαιτότητα στο φως,
- Ø Μηχανική αντοχή,
- Ø Θερμοπερατότητα,
- Ø Περαιτότητα στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία,
- Ø Αντίσταση στα χτυπήματα από χαλάζι,
- Ø Μέγεθος της διαφανούς επιφάνειας που μπορεί να κατασκευασθεί,
- Ø Ευαισθησία στη γήρανση,
- Ø Αντίσταση στο σκίσιμο,
- Ø Ευαισθησία στη συγκράτηση σκόνης,
- Ø Τρόπος συμπύκνωσης υγρασίας (σε σταγόνες ή σε μεμβράνη),
- Ø Περαιτότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία (U.V. μέχρι 0,4 μ),
- Ø Ευαισθησία στις διάφορες χημικές ουσίες.

4.3.1 Κάλυψη με υαλοπίνακες.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του γυαλιού, ως υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων, είναι η διατήρηση των ιδιοτήτων του με το πέρασμα του χρόνου. Έτσι, ένας υαλοπίνακας θερμοκηπίου έχει πρακτικά την ίδια περαιτότητα στο φως μετά 43 χρόνια με ένα καινούργιο (Nelson P.,1981), χαρακτηριστικό που δεν συμβαίνει με κανένα άλλο υλικό κάλυψης. Η πιθανή μείωση της φωτεινότητας του γυαλιού οφείλεται σε ακαθαρσίες, που όμως είναι δυνατό να απομακρυνθούν. Το γυαλί είναι αδιαπέρατο στα αέρια και τους υδρατμούς. Τα προβλήματα στεγανότητας που μπορεί να εμφανισθούν στα υαλόφρακτα θερμοκήπια, προέρχονται από την κακή επαφή που παρουσιάζεται σταδιακά στα σημεία στήριξης του υαλοπίνακα με το σκελετό καθώς και από το σπάσιμο των υαλοπινάκων, που προέρχεται από χαλάζι ή απροσεξία λόγω του εύθραυστου χαρακτήρα του γυαλιού. Επίσης κάποιες ποιότητες γυαλιού μπορεί να γίνονται πιο εύθραυστες με την πάροδο του χρόνου.

Ο υαλοπίνακας μπορεί να είναι διαφανής, με τις δυο του επιφάνειες επίπεδες και λείες, ή διαφώτιστος, με τη μια επιφάνεια κυματοειδή ή φολιδωτή, ώστε να διευκολύνει τη διάχυση του φωτός. Συνήθως στην οροφή του θερμοκηπίου τοποθετούνται υαλοπίνακες με κυματοειδή ή φολιδωτή τη μια πλευρά για καλύτερη διάχυση του φωτός, ενώ στις πλευρές τοποθετούνται υαλοπίνακες με τις δυο τους επιφάνειες επίπεδες, διότι το φως που εισέρχεται από πλάγια είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος διάχυτο, προερχόμενο κυρίως από ανακλάσεις στο έδαφος ή άλλα αντικείμενα. Η μη επίπεδη πλευρά του υαλοπίνακα της οροφής τοποθετείται προς το εσωτερικό του θερμοκηπίου, για να μην συγκρατείται η σκόνη.

Το ειδικό βάρος του γυαλιού είναι 25 KN/m³. Το υαλόφρακτο θερμοκήπιο απαιτεί φέρουσα κατασκευή ιδιαίτερης αντοχής και χωρίς να υφίσταται σημαντικές παραμορφώσεις από το βάρος των διαφόρων φορτίων. Επίσης τα λεπτά στοιχεία του σκελετού θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα και τοποθετημένα έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται καλή στεγανότητα στο νερό και τον αέρα. Το ποσοστό διέλευσης της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας στους συνήθους πάχους υαλοπίνακες, είναι συγκριτικά από τα μεγαλύτερα, περίπου 90% και επειδή η περαιτότητα αυτή είναι σχεδόν σταθερή στο χρόνο, ο υαλοπίνακας αποτελεί το μέτρο



σύγκρισης όλων των άλλων διαφανών υλικών. Σε ένα καινούριο θερμοκήπιο το μεγαλύτερο ποσοστό φωτός, το οποίο αφήνει να διέλθει ο υαλοπίνακας σε σχέση με άλλα διαφανή υλικά, δεν σημαίνει απαραίτητα και σημαντικά μεγαλύτερη φωτεινότητα στο θερμοκήπιο, γιατί ο σκελετός στήριξης των μεγάλου βάρους και μικρού μεγέθους υαλοπινάκων παρουσιάζει μεγαλύτερο ποσοστό σκιάς (γι' αυτό το λόγο συνιστώνται όσο είναι δυνατόν, μεγαλύτερων διαστάσεων υαλοπίνακες). Με την πάροδο του χρόνου όμως στα άλλα υλικά μειώνεται η περατότητα του φωτός ενώ στους υαλοπίνακες παραμένει η ίδια και το θερμοκήπιο καθίσταται τελικά σημαντικά φωτεινότερο.

Η θερμική διαστολή του υαλοπίνακα εξαρτάται από την ποιότητα του γυαλιού και κυμαίνεται από $5,6 \times 10^{-7}$ έως $140 \times 10^{-7} \text{ cm/cm}^{\circ}\text{C}$. Γενικά, για όλες τις επιφάνειες που πρέπει να καλυφθούν με συνήθων διαστάσεων υαλοπίνακες, αυτοί θα πρέπει να έχουν ένα ελάχιστο πάχος 4 mm. Όταν χρησιμοποιούνται υαλοπίνακες με κυματοειδή τη μια επιφάνεια (Μαρτελιέ), το ελάχιστο μέσο πάχος θα πρέπει να είναι 5mm. Στις λωρίδες με αυξημένο κίνδυνο που είναι στις περιφερειακές ακμές, συνιστάται να μην τοποθετείται υαλοπίνακας με πλάτος μεγαλύτερο από 0.63 m. Τελευταία, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας, κυκλοφορεί στο εμπόριο ο διπλός υαλοπίνακας με κενό χώρο μεταξύ των δυο επιφανειών του ή γεμάτος με διοξείδιο του άνθρακα.

Ο διπλός υαλοπίνακας μειώνει το συντελεστή θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα περίπου στο μισό, επειδή όμως συμμετέχει και ο σκελετός στην περατότητα του θερμοκηπίου, τελικά ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας μειώνεται περίπου κατά 40%. Το απλό γυαλί καλυμμένο με μεταλλικό οξείδιο από την έξω πλευρά (Horti-plus) έχει μειωμένη εκπομπή στην ακτινοβολία και επομένως η ακτινοβολούμενη ενέργεια είναι λιγότερη. Τέτοιου είδους υαλοπίνακες εξοικονομούν σημαντική ενέργεια τις κρύες, ξάστερες νύχτες. Η αποκάλυψη αυτή του γυαλιού διαρκεί πολύ, εφόσον έχει γίνει όταν ακόμα είναι θερμό κατά την κατασκευή του. Μειονέκτημα είναι η μειωμένη περατότητά του στο ορατό φως. Το μέγιστο μέγεθος υαλοπίνακα που χρησιμοποιείται για την οροφή είναι $1.00 \times 1.65 \text{ m}$.

4.3.2 Κάλυψη με εύκαμπτα πλαστικά φύλλα.

Στα εύκαμπτα φύλλα πλαστικού περιλαμβάνονται το φύλλο πολυαιθυλενίου (PE), το φύλλο πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) και το φύλλο πολυεστέρα. Το πρώτο είναι το περισσότερο χρησιμοποιούμενο σήμερα. Γενικά τα πλαστικά μπορεί να ταξινομηθούν σε θερμοπλαστικά και θερμοσκληρά.

Τα θερμοπλαστικά με τη θερμοκρασία χάνουν το σχήμα τους, αλλά όταν αφεθούν να κρυσώσουν εξακολουθούν να έχουν τις ιδιότητες που είχαν και πριν (στην ιδιότητα αυτή βασίζεται η θερμοσυγκόλληση).

Τα θερμοσκληρά δεν χάνουν το σχήμα τους με την υψηλή θερμοκρασία, η οποία όμως όταν υπερβεί ορισμένα όρια τα καταστρέφει, χωρίς να είναι δυνατόν να επανεμφανίσουν τις ιδιότητές τους μετά την πτώση της θερμοκρασίας. Θερμοπλαστικά είναι το πολυαιθυλένιο και το πολυβινυλοχλωρίδιο, ενώ θερμοσκληρό είναι ο πολυεστέρας.

Τα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα πλεονεκτούν των άλλων υλικών κάλυψης λόγω του μικρού βάρους τους, της χαμηλής τιμής τους, της ευκολίας προσαρμογής σε διάφορα σχήματα του σκελετού, της δυνατότητας που δίνουν για κατασκευές ελαφρότερου και φθηνότερου σκελετού και κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους της αρχικής επένδυσης που επιτυγχάνεται στο σύνολο του θερμοκηπίου.

Κατά τη στερέωση του πλαστικού φύλλου στον σκελετό δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω:



- Ø Η στερέωση να είναι ικανή να αντισταθεί στα θετικά και αρνητικά φορτία που δημιουργεί ο άνεμος και το χιόνι και ταυτόχρονα να είναι όσο το δυνατόν απλούστερη η διαδικασία αντικατάστασης του πλαστικού,
- Ø Το πλαστικό να είναι τεντωμένο στην κατασκευή, χωρίς ρικνώσεις ή σακουλιάσματα,
- Ø Η άμεση επαφή με οξείες πλευρές του σκελετού να αποφεύγεται με παρεμβολή ειδικής πλαστικής λωρίδας, ώστε να μην σκίζεται, ιδιαίτερα όταν ο σκελετός υπερθερμανθεί από την ακτινοβολία,
- Ø Η τοποθέτηση του φύλλου να γίνεται σε μεγάλα πλάτη, ώστε να επιτυγχάνεται στεγανότητα,
- Ø Όταν η τοποθέτηση γίνεται σε ξύλινο ή μικτό σκελετό με κάρφωμα, το πλαστικό φύλλο να συγκρατείται στη θέση του από τον πήχη στερέωσης που το συμπιέζει στο σκελετό και όχι από αυτό τούτο το καρφί. Το καρφί προορίζεται να συγκρατεί σφιχτά τον πήχη με το σκελετό και όχι να συγκρατεί άμεσα το πλαστικό, γιατί αλλιώς το πλαστικό σχίζεται.

4.3.3 Κάλυψη με πολυαιθυλένιο (PE).

Το φύλλο πολυαιθυλενίου αναπτύχθηκε αρχικά στην Αγγλία στα τέλη του 1930 και χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλη κλίμακα για κάλυψη θερμοκηπίων από το 1950. Η χρήση του στα θερμοκήπια είναι πολύ εκτεταμένη στις χώρες της Μεσογειακής λεκάνης, την Ιαπωνία και σχετικά λιγότερο στην Αμερική (όπου όμως σήμερα καλύπτεται με πολυαιθυλένιο το μεγαλύτερο μέρος των νέων θερμοκηπίων). Στη Β. Ευρώπη αντίθετα, η χρήση του είναι πολύ περιορισμένη και το γυαλί εξακολουθεί να παραμένει το πιο διαδεδομένο υλικό. Στο προοριζόμενο για τα θερμοκήπια πολυαιθυλένιο προστίθενται περίπου:

- Ø 0.18% αντιοξειδωτικό,
- Ø (2-3)% άνθρακας (ή διάφορες ενώσεις) για την απορρόφηση των υπεριώδων ακτίνων,
- Ø μέχρι 10% ελαστικό βουτύλιο, για να καταστεί το πλαστικό εύκαμπτο.

Το πολυαιθυλένιο στη συνήθη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας διατηρεί τις φυσικές του ιδιότητες. Σε ακραίες όμως θερμοκρασίες -40°C (απώλεια ελαστικότητας), ή άνω των 65°C (ρευστοποιείται), καθώς επίσης και σε έντονη ακτινοβολία, χάνει πολλές από τις ιδιότητές του ή και καταστρέφεται. Όπως σημειώνει ο Θεοχάρης (2015) είναι απαράδεκτο σήμερα να χρησιμοποιείται στο θερμοκήπιο φύλλο πολυαιθυλενίου που στο υλικό κατασκευής του δεν έχει προστεθεί παράγοντας που το καθιστά ανθεκτικό στην υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου. Η υπεριώδης ακτινοβολία καταστρέφει βαθμιαία το πλαστικό, το κάνει πιο σκούρο, εύθραυστο και τελικά το καταστρέφει εντελώς.

Η διάρκεια ζωής που μπορεί να αναμένεται από το πολυαιθυλένιο όταν εγκαθίσταται στο θερμοκήπιο τον Οκτώβριο, είναι όπως στον Πίνακα 3.2:

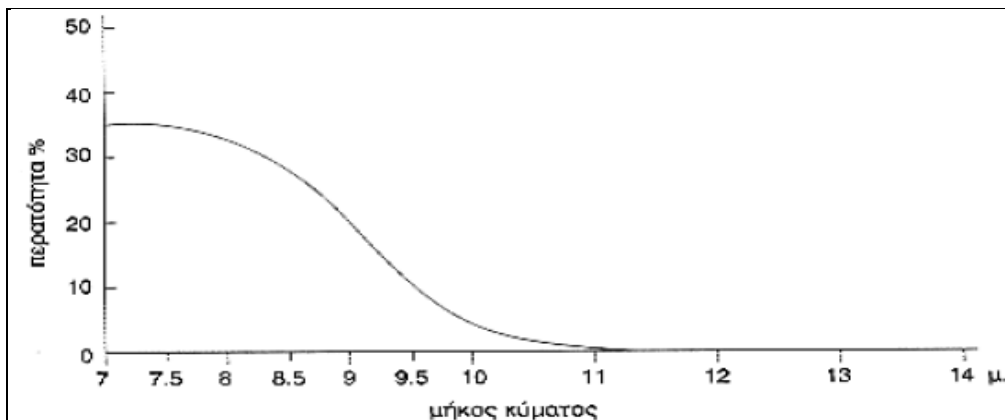
Πίνακας 3.2 Διάρκεια ζωής φύλλου πολυαιθυλενίου (Dubois P. 1978)

Πάχος φύλλου	Μέση διάρκεια ζωής πολυαιθυλενίου	
	Κανονικό πολυαιθυλένιο	Πολυαιθυλένιο με πρόσθετα ανθεκτικό στην U.V.
100 μ	6 - 9 μήνες	12 - 22 μήνες
150 μ	10 -11 μήνες	18 - 22 μήνες



Το φύλλο πολυαιθυλενίου γενικά παρουσιάζει τις παρακάτω ιδιότητες:

- ∅ Είναι αδιαπέραστο στο νερό και τους υδρατμούς,
- ∅ Είναι σχετικά περατό στα αέρια, ιδιαίτερα στο CO₂ και στο O₂,
- ∅ Έχει καλή μηχανική αντοχή, η οποία βέβαια είναι συνάρτηση του πάχους. Φύλλο πάχους 0.10 – 0.15 mm έχει 1-2 φορές μεγαλύτερη αντοχή από αυτήν του γυαλιού, πάχους 3 mm,
- ∅ Έχει καλή περατότητα στο φως, φύλλο πάχους 0,15 mm αφήνει να διέλθει το 87% του ορατού φωτισμού,
- ∅ Φέρεται στο εμπόριο σε φύλλα μεγάλου πλάτους, με αποτέλεσμα την δυνατότητα κατασκευής στεγανών θερμοκηπίων, χωρίς μεγάλες διαρροές αέρα. Συνήθως κατασκευάζεται φύλλο πάχους από (20 – 200) μm, σε διάφορα πλάτη μέχρι 11m. Η χρηματική του αξία υπολογίζεται με το βάρος.
- ∅ Έχει υδρόφοβη επιφάνεια, με αποτέλεσμα η συμπύκνωση των υδρατμών πάνω σ'αυτό να γίνεται υπό μορφή σταγόνων, οι οποίες με την παραμικρή δόνηση πέφτουν επάνω στα φυτά,
- ∅ Η λύση της συνέχειάς του από το κάρφωμα, αποτελεί το αδύνατο σημείο του πολυαιθυλενίου, που το κάνει να σχίζεται εύκολα από τον άνεμο. Για αυτό το λόγο απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην προσαρμογή του φύλλου στο σκελετό και τη στερέωση του. Επίσης σχίζεται εύκολα στα σημεία όπου υπάρχει τσάκισμα,
- ∅ Η συγκόλληση φύλλων πολυαιθυλενίου επιτυγχάνεται μόνο με θέρμανση και ταυτόχρονη συμπίεση, έτσι συγκολλάται μόνο με ειδικούς θερμοσυρραπτικούς μηχανισμούς,
- ∅ Είναι περατό σχεδόν σε όλα τα μήκη της μεγάλου μήκους κύματος θερμικής ακτινοβολίας. PE πάχους 0.075 mm έχει 76% περατότητα. Το γεγονός αυτό έχει συνέπεια τη γρήγορη ψύξη του θερμοκηπίου κατά τη νύχτα. Η συμπύκνωση όμως της υγρασίας επάνω του, περιορίζει τις απώλειες με ακτινοβολία,
- ∅ Έχει μικρή διάρκεια ζωής, που αποτελεί και το κυριότερο μειονέκτημά του, γιατί η έντονη ακτινοβολία και η υψηλή θερμοκρασία το καταστρέφουν.



Σχήμα 44: Η επίδραση της μεμβράνης νερού στην περατότητα του υλικού κάλυψης στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία.



Η σχετικά χαμηλή τιμή του υλικού και η ευκολία προσαρμογής του σε φθηνές κατασκευές, επιτρέπει τη δημιουργία θερμοκηπίων μικρού κόστους και εποχιακής χρήσης. Διατίθεται και φύλλο πολυαιθυλενίου ενισχυμένο με ίνες πολυαμιδίου ή άλλες συνθετικές ίνες, όμως είναι μεγάλου κόστους (4-5 φορές του κανονικού) και δεν χρησιμοποιείται παρά μόνον ελάχιστα για κάλυψη θερμοκηπίου. Ο χρόνος που απαιτείται για να καλυφθεί ένα θερμοκήπιο διαστάσεων (10 x 30)m με μεγά λου πλάτους φύλλο πολυαιθυλενίου, είναι περίπου 8 εργατοώρες. Η εργασία αυτή είναι πολύ δύσκολη και έχει μεγαλύτερο κόστος από μια συνηθισμένη εργασία. Επειδή το πολυαιθυλένιο παρουσιάζει μια συστολή - διαστολή με τη μεταβολή της θερμοκρασίας (για μεταβολή της θερμοκρασίας μεταξύ -10°C και $+40^{\circ}\text{C}$ μεταβάλλεται κατά 3-4% το μήκος του), καλό είναι η τοποθέτηση του φύλλου να γίνεται σε μια μέση θερμοκρασία 25°C , ώστε να μην προξενούνται σκισίματα στα σημεία στήριξης.

Για τη μείωση της περατότητας του ΡΕ στην μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία δημιουργήθηκαν ειδικά προϊόντα πολυαιθυλενίου όπως τα Ethylene Vinyl Acetate (EVA), του οποίου η περατότητα σε μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε vinyl acetate (κυμαίνεται μεταξύ 4-13%) και θερμοφιλο (PE-IR) που είναι φύλλο πολυαιθυλενίου με προσμίξεις διαφόρων αλάτων ή άλλων ενώσεων. Το θερμοφιλο, πρέπει να αναφέρουμε ότι σε μερικές περιπτώσεις, ιδιαιτέρως ο τύπος που κατασκευάζονταν παλαιότερα, παρουσίαζε κάπως περιορισμένη περατότητα και στη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία, καθώς και κάπως μικρότερη μηχανική αντοχή. Προσπάθειες γίνονται και για την κατασκευή φύλλου ΡΕ με εσωτερική επιφάνεια υδρόφιλη, ώστε να μην συμπυκνώνονται υδρατμοί υπό μορφή σταγόνας, αλλά υπό μορφή μεμβράνης και το νερό να ρέει προς την περιφέρεια χωρίς να πέφτει πάνω στα φυτά. Εν μέρει αυτό έχει επιτευχθεί, αλλά υπάρχουν με-γάλα περιθώρια βελτίωσης ακόμα.

Το φύλλο πολυαιθυλενίου σήμερα διαμορφώνεται με τη μέθοδο της συνεξώθησης (coextruded), δηλαδή το πλαστικό φύλλο αποτελείται από δυο ή τρία επίπεδα ενωμένα, με δυνατότητα να έχει διαφορετικό μίγμα πολυαιθυλενίου το κάθε ένα. Έτσι το κάθε επίπεδο μπορεί να έχει διαφορετικές ιδιότητες ώστε το συνολικό αποτέλεσμα να είναι αθροιστικό ή το αποτέλεσμα του συνδυασμού.

Το ΡΕ μετά 3 χρόνια χρήσης παρουσιάζει μείωση στην περατότητα του φωτός κατά 5-10 %. Όταν τοποθετείται διπλό φύλλο ΡΕ στο θερμοκήπιο, με απόσταση μεταξύ των φύλλων 100mm, η περατότητα των δύο φύλλων είναι 62% στη διάχυτη ακτινοβολία και 77% στην άμεση. Η περατότητα συνολικά του θερμοκηπίου λαμβανομένου υπόψη και του σκελετού, είναι οπωσδήποτε πολύ μικρότερη από αυτές τις τιμές.

Πίνακας Φυσικές ιδιότητες των πλαστικών φύλλων ΡΕ και ΡVС πριν και δύο μήνες μετά τη χρήση.

Φυσικές ιδιότητες στους 25°	Πριν τη χρήση		Μετά τη χρήση	
	ΡΕ	P.V.C.	ΡΕ	P.V.C.
Απαιτούμενη τάση για παραμόρφωση 50 % (MPa)	8,40 - 8,80	6,10 - 7,20	8,90 - 9,30	6,30 - 7,40
Απαιτούμενη τάση για παραμόρφωση 100 % (MPa)	8,70 - 9,40	9,50 -11,40	9,00 - 9,90	9,10 -11,70
Πίεση εντατότητας (MPa)	15,20 - 16,10	14,20 - 23,00	13,50 - 15,50	18,20 - 2,80
Επιμήκυνση στη θραύση (%)	493 - 550	250 - 290	446 - 518	238 - 290
Δύναμη σχισίματος (N)	3,10 - 6,00	8,00 - 8,60	2,70 - 5,40	7,00 - 8,70
Φορτίο πρόσκρουσης (kN/cm)	69,00	142,5	64,70	141,30

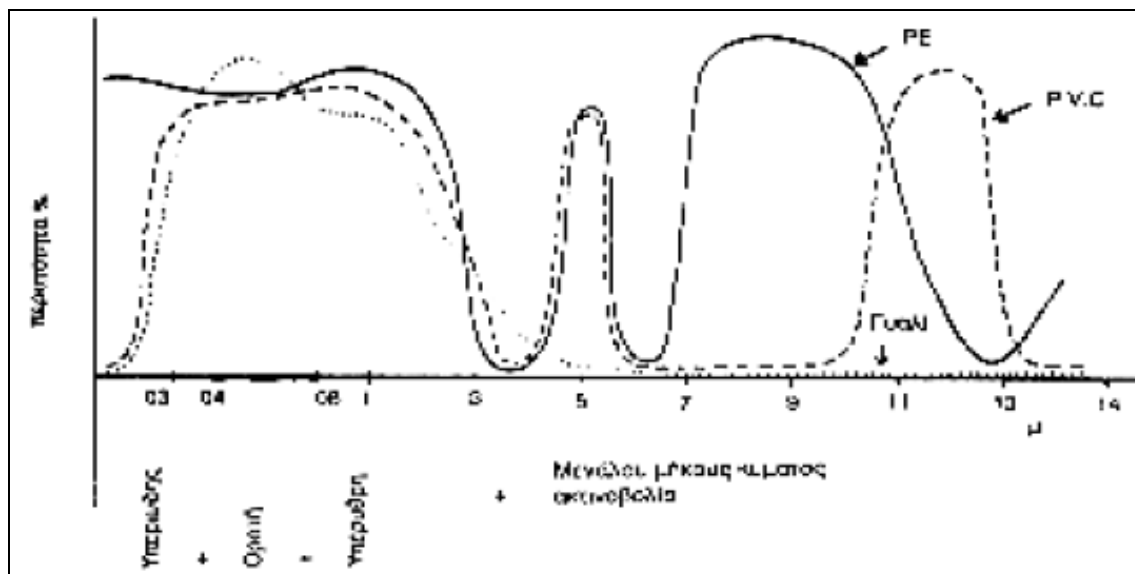


Όταν τα δύο φύλλα συγκρατούνται σε απόσταση μεταξύ τους με φούσκωμα, τότε ο αέρας που αντλείται θα πρέπει να προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον, ώστε να μην υπάρχει μεγάλη συμπύκνωση υδρατμών στο εσωτερικό των δύο φύλων.

4.3.4 Κάλυψη με πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC).

Σε θερμοκρασίες άνω των 50°C αλλοιώνεται, ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες, γύρω στους -10°C, το PVC γίνεται εύθραυστο, στο προοριζόμενο όμως για γεωργικούς σκοπούς PVC προστίθενται ουσίες, οι οποίες διευρύνουν τη ζώνη σταθερότητας του PVC από +60°C ως -20°C. Στο PVC που χρησιμοποιείται για την κάλυψη θερμοκηπίων μπαίνουν επίσης πρόσθετα που του προσδίδουν μεγαλύτερη αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία. Το φύλλο PVC έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- ∅ Είναι αδιαπέρατο στο νερό και κατά κάποιο τρόπο περισσότερο περατό στους υδρατμούς από το πολυαιθυλένιο, ενώ παρουσιάζει μικρότερη περατότητα στο O₂ και το CO₂.
- ∅ Η θερμική αγωγιμότητα του PVC έχει τιμή μικρότερη από εκείνη του πολυαιθυλενίου, $\lambda = 0,17 \text{ Watt/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, με άμεσο αποτέλεσμα την καλύτερη θερμομόνωση του θερμοκηπίου.
- ∅ Είναι λιγότερο περατό στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία από το πολυαιθυλένιο. Η περατότητα είναι περίπου 12 %.
- ∅ Διαρκεί περισσότερο από το πολυαιθυλένιο. Δίδεται εγγύηση 4 και 5 χρόνων για επιφάνει-ες πάχους 0,2 mm και 0,3 mm αντίστοιχα, όταν έχουν σύνθεση ανθεκτική στις υπεριώδεις ακτινοβολίες.
- ∅ Το κόστος του είναι περίπου 3 - 4 φορές μεγαλύτερο από του πολυαιθυλενίου πάχους 0.15 mm.
- ∅ Παράγεται σε φύλλα πλάτους 1,25 m ως 2,5 m και πολύ μεγάλο μήκος. Το μικρό πλάτος αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα γιατί απαιτεί περισσότερη εργασία στην τοποθέτηση και γιατί το θερμοκήπιο παρουσιάζει μικρότερη στεγανότητα. Το πλάτος μπορεί να αυξηθεί με κόλλημα, αλλά επιβαρύνεται με επιπλέον κόστος.
- ∅ Κρατά ηλεκτροστατικά φορτία με αποτέλεσμα να έλκει και να συγκρατεί τη σκόνη. Αυτό με την πάροδο του χρόνου μειώνει σημαντικά την περατότητα στο φως. Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα απαιτείται συχνό πλύσιμο ή ψεκασμός με αντιστατικό υγρό.
- ∅ Όταν είναι καινούργιο έχει πολύ καλή περατότητα στο φως, περίπου 90%.
- ∅ Όταν ενισχυθεί με πλαστικές ίνες πολυαμιδίου, αποκτά μεγαλύτερη αντοχή. Η προσθήκη των ινών προσδίδει επίσης μεγαλύτερη μονωτική ικανότητα, αλλά το καθιστά ακριβότερο και αφαιρεί από την περατότητα στο φως.
- ∅ Οι φυσικές ιδιότητες του PVC. Δίνονται στον **πίνακα 10.3.** και τα οπτικά του χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον **πίνακα 10.4.**



Σχήμα 10.3 Συγκριτική περατότητα του πολυαιλενίου PVC και του γυαλιού.

Πίνακας 10.4. Μέση περατότητα στο άμεσο φως (μ.κ. 0,4-0,7 μ) και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας (μ.κ. 5-14 μ), διαφόρων συνθετικών υλικών, στην κάθετη προς την επιφάνειά τους ακτινοβολία.

Υλικό	Πάχος	Περατότητα στο φως	Περατότητα στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία
P. E.	0,075		76
P. E.	0,100		72
PE, No-Drop	0,150		64
PE	0,200	92-93	55
PE, UV-stabilized	0,200	89-92	56
PE, 5% IR	0,050	89-92	64
PE, 10% IR	0,050		53
PE, IR	0,200	86-92	33
EVA	0,050	93-94	57
EVA, 13% VA	0,100		42
EVA, 8% VA	0,100		53
EVA, 4% VA	0,120		51
EVA	0,180	91	22
PVC διαφανές	0,075		30
PVC διαφανές	0,100		25
PVC ground	0,100		21
PVC διαφανές	0,200	87-91	17
Tedlar PVF	0,030		55
Tedlar PVF	0,050		45
Tedlar PVF	0,200	93-94	33
Polyester (Melinex)	0,050		19
Polyester	0,125	89-90	5
Teflon FEP	0,050	96	57
Hostafion (ETFE)	0,100		22



4.3.5 Κάλυψη με πολυεστερικά φύλλα.

Οι πολυεστέρες είναι προϊόντα πολυμερισμού της αιθυλικής αλκοόλης, της προπυλικής γλυκόζης και των μαλεϊκού και φουμαρικού οξέως. Τα πολυεστερικά φύλλα όπως αυτά με το εμπορικό όνομα Mylar και melynex. έχουν το πλεονέκτημα της μεγάλης διάρκειας ζωής. Για οροφή χρησιμοποιείται φύλλο πάχους 0,127 mm που έχει διάρκεια ζωής τουλάχιστον 4 χρόνια, ενώ για τα κάθετα τοιχώματα, φύλλα 0,076 mm με διάρκεια ζωής 7 χρόνια. Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι επίσης η περατό-τητά του στο φως, που πλησιάζει εκείνη του γυαλιού, καθώς και η έλλειψη στατικού ηλεκτρι-σμού, που έχει αποτέλεσμα να μην συγκρατεί μεγάλη ποσότητα σκόνης στην επιφάνειά του όπως το PVC.

Άλλες ιδιότητες των πολυεστερικών φύλλων είναι:

- Ø Διατηρούν τη μεγάλη μηχανική αντοχή τους στο χρόνο και τις πολύ καλές θερμικές ιδιό-τητές του, χωρίς να επηρεάζονται από την υψηλή και χαμηλή θερμοκρασία.
- Ø Έχουν σχετικά χαμηλό συντελεστή συστολής διαστολής.
- Ø Το λεπτό φύλλο πολυεστέρα όταν είναι καινούριο έχει περατότητα στο φως περίπου 91%.
- Ø Ο πολυεστέρας πάχους 0,05 mm έχει περατότητα στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία 19%.
- Ø Σημαντικό μειονέκτημα μπορεί να θεωρηθεί το ότι τα πολυεστερικά φύλλα παράγονται σε μικρό πλάτος και έχουν υψηλό κόστος. Παλαιότερα, το υψηλό αυτό κόστος αντισταθμιζόταν από τη μεγάλη διάρκεια της ζωής τους, όμως σήμερα η πολύ υψηλή τιμή τους καθιστά σχεδόν ασύμφορη τη χρησιμοποίησή τους στο θερμοκήπιο.

4.4 Επιφάνειες σκληρού πλαστικού.

Πολλές φορές για την κάλυψη του θερμοκηπίου χρησιμοποιούνται και επιφάνειες σκληρού πλαστικού. Οι πιο συνηθισμένες είναι ο ενισχυμένος πολυεστέρας,

4.4.1 Ενισχυμένος πολυεστέρας (fiberglass).

Ο ενισχυμένος πολυεστέρας προέρχεται από πολυεστέρα στον οποίο έχουν προστεθεί (20-34)% ίνες γυαλιού με αποτέλεσμα αυξημένη μηχανική αντοχή και καλύτερη διάχυση του φωτός στο θερμοκήπιο. Στο εμπόριο τα προϊόντα αυτά είναι περισσότερο γνωστά με το όνομα «fiberglass». Η προσθήκη 15% ακρυλικού στον πολυεστέρα προσδίδει στις επιφάνειες μεγαλύτερη αντοχή. Είναι επίσης δυνατή η προσθήκη ινών πολυαμιδίου (nylon), αντί ινών υάλου.

Το ειδικό βάρος του ενισχυμένου πολυεστέρα είναι (1.3-1.6) g/cm³. Είναι σημαντικά ελαφρύτερο του τζαμιού. Για μεγαλύτερη αντοχή και αποφυγή κυρτώσεων, στην κάλυψη της οροφής του θερμοκηπίου χρησιμοποιούνται αυλακωτές επιφάνειες ενισχυμένου πολυεστέρα, στα πλευρικά όμως τοιχώματα του θερμοκηπίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίπεδες επιφάνειες. Στο εμπόριο κυκλοφορούν επιφάνειες πλάτους 1.25 m και μήκους μέχρι 8 m, αρκετά εύκαμπτες, ώστε να προσαρμόζονται εύκολα σε κάθε σχήμα και σκελετό θερμοκηπίου. Μπορούν να καλυφθούν θερμοκήπια με πολύ ελαφρύ σκελετό στα οποία συνήθως χρησιμοποιείται κάλυψη πολυαιθυλενίου, αλλά και με βαρύ σκελετό που συνήθως



προορίζονται να καλυφθούν με υαλοπίνακες. Στην πρώτη περίπτωση το κόστος του καλυμμένου θερμοκηπίου διαμορφώνεται μεταξύ αυτού που καλύπτεται με πλαστικό φύλλο και αυτού που καλύπτεται με τζάμι. Στη δεύτερη, το κόστος είναι περίπου ίδιο ή μεγαλύτερο με αυτό που καλύπτεται με τζάμι.

Ο ενισχυμένος πολυεστέρας είναι ανθεκτικός στις χαλαζοπτώσεις. Σημαντικό μειονέκτημά του είναι η διάβρωση που μπορεί να υποστεί με την πάροδο του χρόνου στην εξωτερική του επιφάνεια, από σωματίδια άμμου που πέφτουν επάνω του (παρασυρμένα από τον αέρα) και τη χημική μόλυνση. Συνέπεια της διάβρωσης είναι η καταστροφή της λείας του εξωτερικής επιφάνειας, με αποτέλεσμα να συγκεντρώνει σκόνη, μειώνοντας έτσι την περατότητά του στο φως. Για να αποφευχθεί το πρόβλημα αυτό, γίνεται συντήρηση με ακρυλική βαφή κάθε δεύτερο χρόνο. Η βαφή γίνεται αφού προηγουμένως τριφτεί και καθαριστεί καλά η επιφάνεια.

Ένας βελτιωμένος τύπος ενισχυμένου πολυεστέρα είναι αυτός που έχει καλυμμένη την εξωτερική του επιφάνεια με λεπτό φύλλο «tedlar». Το «tedlar» είναι υλικό με βάση το πολυβινυλοφθορίδιο και είναι δοκιμασμένο επί 20ετία ως υλικό μεγάλης αντοχής, διάρκειας και χημικής αδράνειας, με σημαντικό μειονέκτημά του το υψηλό κόστος. Συχνά, σε κακής ποιότητας προϊόντα, το «tedlar» ξεκολλάει από την πλάκα του πολυεστέρα και δημιουργεί μεγαλύτερο πρόβλημα. Αντί «tedlar» χρησιμοποιούνται τελευταία και διάφορα άλλα υλικά προστασίας υπό μορφή ζελατίνης.

Όταν ο ενισχυμένος πολυεστέρας περιέχει προστατευτικό για τις υπεριώδεις ακτίνες, μπορεί να έχει διάρκεια ζωής μέχρι και 10 χρόνια με μια λογική μείωση της περατότητάς του σε φως και μέχρι και 25 χρόνια σε μηχανική αντοχή. Χωρίς προστατευτικό παρουσιάζει περίπου 3 χρόνια ικανοποιητική περατότητα και 5 χρόνια μηχανική αντοχή. Η εγγύηση που πρέπει να δίνεται για τον ενισχυμένο πολυεστέρα θερμοκηπίων πρέπει να αφορά τη μείωση της περατότητας του φωτός με την πάροδο του χρόνου και κατά δεύτερο λόγο τη μείωση της μηχανικής αντοχής.

Ο ενισχυμένος πολυεστέρας κυκλοφορεί στο εμπόριο σε διάφορα χρώματα. Ο διαφανής έχει τη μεγαλύτερη περατότητα σε όλο το φάσμα του ορατού φωτός, ενώ ο χρωματιστός έχει σημαντικά μειωμένη. Για την κάλυψη των θερμοκηπίων χρησιμοποιείται ο διαφανής πολυεστέρας. Ο χρωματιστός χρησιμοποιείται συνήθως σε καλλιέργειες καλλωπιστικών φυτών που απαιτούν μικρή ένταση φωτισμού ή σε θερμοκήπια που χρησιμοποιούνται σαν εκθέσεις για πώληση φυτών.

Ο ενισχυμένος πολυεστέρας έχει πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Γενικά η κατανάλωση ενέργειας το χειμώνα στο θερμοκήπιο είναι ίδια ή μικρότερη με αυτήν του θερμοκηπίου που είναι καλυμμένο με υαλοπίνακες. Αντίθετα η απαίτηση για ψύξη το καλοκαίρι είναι μικρότερη στο θερμοκήπιο που είναι καλυμμένο με επιφάνειες ενισχυμένου πολυεστέρα, γιατί έχει μικρότερη περατότητα στην κάθετη ακτινοβολία. Για καλή στεγανότητα του θερμοκηπίου κατά την τοποθέτηση των ενισχυμένων πολυεστερικών επιφανειών, πρέπει να τοποθετείται ειδική πλαστική λωρίδα στα σημεία που αλληλοεπικαλύπτονται, καθώς και στις γωνίες.

Η επιφάνεια του ενισχυμένου πολυεστέρα είναι όπως και του πολυαιθυλενίου υδρόφοβη και συγκεντρώνει μεγάλες σταγόνες νερού που δεν κυλούν εύκολα στις πλευρές και από εκεί στο έδαφος, αλλά τινάζονται στα φυτά, ιδιαίτερα με τη δόνηση που προκαλείται από τον άνεμο. Ένας τρόπος για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα, είναι να ψεκαστεί η επιφάνεια με απορρυπαντικό (που όμως διαρκεί ελάχιστα), ή με ειδικής σύνθεσης υγρά. Με την εξαφάνιση των σταγόνων βελτιώνεται και η περατότητα του φωτός την ημέρα.

Παρά το γεγονός ότι οι ίνες από υαλοβάμβακα είναι άκαυστες, τα άλλα δυο υλικά, πολυεστέρας και ακρυλικό είναι εύφλεκτα. Έτσι τα θερμοκήπια από ενισχυμένο πολυεστέρα κινδυνεύουν περισσότερο από φωτιά, από ότι τα υαλόφρακτα.



4.4.2 Πολυκαρβονικές επιφάνειες

Είναι διαθέσιμες στην αγορά με τα ονόματα Thermoclear, Molanex, Qualex, Lexan, Polygal, Makrolon, Akyver και Casalith. Κυκλοφορούν στο εμπόριο υπό μορφή απλών αυλακωτών επιφανειών και υπό μορφή διπλών τοιχωμάτων. Τα διπλά τοιχώματα χρησιμοποιούνται στην κάλυψη θερμοκηπίων με σκοπό τη μείωση των απωλειών θερμότητας. Οι επιφάνειες αυτές αποτελούνται από δυο επίπεδα που συγκρατούνται από εγκάρσιες λωρίδες. Το κόστος ανά μονάδα επιφάνειας είναι αρκετά υψηλό, αλλά προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στο θερμοκήπιο. Η εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρει είναι ανάλογη του πάχους της επιφάνειας. Στην αγορά κυκλοφορεί σε πάχος από 4-15 mm, πλάτος 1,20 m και μήκος από 2-4 m ή περισσότερο με ειδική παραγγελία. Το βάρος επιφάνειας πάχους 4 mm είναι περίπου 0,98 Kg/m² και 16 mm 3,92 Kg/ m². Όταν αυτό το υλικό είναι καινούργιο, έχει περατότητα 73-77 % (η μικρότερη τιμή αφορά τις παχύτερες επιφάνειες). Κατά τη στερέωση θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη ο μεγάλος συντελεστής συστολής-διαστολής του υλικού.

Μειονέκτημά αυτού του είδους των επιφανειών είναι η μείωση της περατότητάς τους στο φως με την πάροδο του χρόνου. Έχει αποδειχθεί ότι μετά από έκθεση 15 ετών στην υπεριώδη ακτινοβολία, οι πολυκαρβονικές επιφάνειες έχουν μια μείωση πάνω από 10% στην περατότητα του φωτός. Από τα πρώτα ήδη χρόνια παρουσιάζεται ένα κιτρίνισμα στο υλικό. Για να μειωθεί ο ρυθμός υποβάθμισής του, οι επιφάνειες μπορεί να βαφούν με ακρυλικό διαφανές υλικό. Το γεγονός ότι η πολυκαρβονική επιφάνεια έχει μικρότερη τιμή περατότητας από το γυαλί, δεν σημαίνει ότι το θερμοκήπιο που καλύπτεται με πολυκαρβονική επιφάνεια έχει σημαντικά λιγότερο φωτισμό από το υαλόφρακτο θερμοκήπιο τα πρώτα χρόνια, διότι αυτό το υλικό καλύπτει ελαφρότερα θερμοκήπια με λιγότερα σκελετικά στοιχεία. Θεωρείται όμως ότι γίνεται σημαντικά λιγότερος ο φωτισμός με την πάροδο του χρόνου.

4.4.3 Ακρυλικές επιφάνειες.

Προέρχονται από το polymethyl metacrylate (PMMA) και βρίσκονται στο εμπόριο με το όνομα Plexiglas, Perspex, Vedril και Mouch. Έχουν ένα πάρα πολύ καλό συντελεστή περατότητας στο φως. Η καλή περατότητα του υλικού αυτού διαρκεί πολύ. Πειράματα έχουν δείξει ότι σε 15 χρόνια η πτώση της περατότητάς τους στο φως είναι μόλις 2 %, σε αντίθεση με τα άλλα συνθετικά υλικά που είναι πολύ μεγαλύτερη. Μερικά χαρακτηριστικά των ακρυλικών επιφανειών είναι οι ακόλουθες:

- Ø Φέρονται στο εμπόριο σε σκληρές επίπεδες ή κυματοειδείς πλάκες πάχους (2-4) mm καθώς και σε επιφάνειες διπλών τοιχωμάτων.
- Ø Είναι υλικό διαφανές, άχρωμο ή με ποικίλους χρωματισμούς.
- Ø Έχουν ειδικό βάρος 1,18 g / cm³.
- Ø Παρουσιάζουν υψηλή μηχανική αντοχή, πολύ μεγαλύτερη του γυαλιού.
- Ø Δεν μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά τους σε ευρεία κλίμακα θερμοκρασιών -70 και +80°C.
- Ø Έχουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 0,2 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Ø Δεν προσβάλλονται από τα διαλύματα οξέων και αρκετά συμπυκνωμένων βάσεων καθώς και από φυτικά και ορυκτά λάδια.



- Ø Προσβάλλονται από πυκνά οξέα, από αρωματικούς υδρογονάνθρακες, από αλδεΐδες, κετόνες και λοιπούς οργανικούς διαλύτες.

Επιφάνεια διπλών τοιχωμάτων συνολικού πάχους 16 mm παρουσιάζει μια μείωση στην περατότητα της διάχυτης ακτινοβολίας κατά 8-10 % σε σχέση με την απλή. Η αντοχή του στο χαλάζι είναι ίδια με αυτήν του υαλοπίνακα, 4 mm. Υπάρχει τύπος υλικού ο οποίος μεταβιβάζει την U.V. ακτινοβολία και άλλος τύπος ο οποίος την απορροφά.

Η διάρκεια αντοχής στο χρόνο είναι συγκρίσιμη με εκείνη του υαλοπίνακα. Έχει πολύ με-γαλύτερο κόστος από αυτό του υαλοπίνακα. Η ακρυλική επιφάνεια παρουσιάζει κάποια ευκαμψία ώστε να μπορεί να καμφθεί ελαφρά κατά την τοποθέτηση, απαιτεί όμως ειδικό τρόπο για να στερεωθεί στον σκελετό, διότι έχει υψηλό συντελεστή συστολής διαστολής. Η στερέωση γίνεται μέσω ειδικής μαστίχας, ή λαστιχοφλάντζας, η οποία επιτρέπει σχετική κίνηση.

Η συμπύκνωση των υδρατμών στην επιφάνεια του ακρυλικού γίνεται υπό μορφή σταγόνων οι οποίες μειώνουν την περατότητα στο φως κατά την διάρκεια της ημέρας. Πρόσφατα όμως κυκλοφόρησαν στο εμπόριο επιφάνειες, εσωτερικά καλυμμένες με μεμβράνη υδρόφιλη, η οποία επιτρέπει την ροή του συμπυκνώματος στην περιφέρεια. Το βάρος επιφάνειας διπλού τοιχώμα-τος πάχους 16 mm είναι 4,91 Kg/ m².

Είναι ένα πολύ καλό υλικό από πλευράς οπτικών ιδιοτήτων και θερμομόνωσης. Το κόστος του όμως είναι πολύ υψηλό, ώστε να μην μπορεί το υλικό αυτό να βρει γενική χρήση στα θερμοκήπια.

4.4.4 Σκληρό πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν επιφάνειες από σκληρό διαφανές P.V.C. σαν φθινό υλικό για την κάλυψη των θερμοκηπίων, επειδή είχε χαμηλό κόστος (40 % - 60 % του fiberglass). Αργότερα δεν χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλη έκταση, γιατί στην πράξη φάνηκε ότι ήταν πολύ μικρός ο χρόνος διατήρησης των ιδιοτήτων του, ως προς την περατότητα και αντοχή, (μερικές φορές μόνο 2 χρόνια). Κάτι τέτοιο θεωρείται ασύμφορο, αν σκεφθεί κανείς ότι στοιχίζει 5 φορές περισσότερο από το φύλλο πολυαιθυλενίου και ότι η τοποθέτησή του είναι πιο δύσκολη.

Το σκληρό PVC αποδομείται σχετικά γρήγορα από την υπεριώδη ακτινοβολία, με απο-τέλεσμα, αρχικά να σκουραίνει και να μειώνεται η περατότητα του φωτός, ενώ αργότερα να γίνεται πιο εύθραυστο. Στα σημεία που έρχεται σε επαφή με το σκελετό του θερμοκηπίου υποβαθμίζεται γρηγορότερα και η μηχανική αντοχή του.

4.4.5 Υλικά κάλυψης επιλεκτικής περατότητας στο φως.

Τα υλικά αυτά προέρχονται από τα συνήθη πλαστικά φύλλα, με τη διαφορά ότι με διάφορα πρόσθετα γίνεται αλλαγή των οπτικών χαρακτηριστικών τους, λ.χ. μειώνεται η περατότητα σε ορισμένα μήκη κύματος του ορατού φωτός και ενισχύεται η περατότητα σ' ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος. Ανάλογα με τις απαιτήσεις των φυτών, είναι δυνατή η προσαρμογή του θερμοκηπίου ώστε να εισέρχεται περισσότερη ακτινοβολία ενός καθορισμένου μήκους κύματος. Η χρήση τους προϋποθέτει σαφή γνώση των φυσιολογικών απαιτήσεων και αντι-δράσεων των φυτών στα διάφορα μήκη κύματος φωτός.

Με την εφαρμογή συγκεκριμένου χρωματισμού στο φύλλο πολυαιθυλενίου, παρατηρήθηκε η απουσία ορισμένων εντόμων από το χώρο του θερμοκηπίου, η μείωση όμως του φωτοσυνθετικά ενεργού φωτός ήταν σημαντική.



4.5 Οικονομική θεώρηση των υλικών κάλυψης

Οι σπουδαιότεροι οικονομικοί παράγοντες οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή ενός υλικού κάλυψης θερμοκηπίου είναι το αρχικό κόστος αγοράς, η διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του και η απαιτούμενη συντήρηση και επισκευή.

Η διάρκεια ζωής δεν είναι πάντα εύκολο να προσδιορισθεί, αφού εξαρτάται από τις συνθήκες χρήσης των υλικών, αλλά και από την ποιότητα του υλικού. Στην περίπτωση των υλικών μεγάλης διάρκειας ζωής, θα πρέπει να υπολογιστεί και το ετήσιο κόστος συντήρησης.

Για τους υαλοπίνακες το κόστος αυτό αναφέρεται στην αντικατάσταση των θραυσμένων υαλοπινάκων και τον καθαρισμό τους για την απομάκρυνση των βαφών σκιάσεως ενδεχομένως ή άλλων ακαθαρσιών.

Στην περίπτωση των πολυεστέρων το κόστος αυτό περιλαμβάνει την επιθεώρηση και αντικατάσταση ορισμένων στηριγμάτων στερέωσης. Το πλύσιμο και βούρτσισμα για τον καθαρισμό των επιφανειών και την ανανέωση της επιφάνειας των πολυεστέρων (εκτός αυτών που έχουν «tedlar») με ένα ακρυλικό προϊόν περίπου μια φορά ανά 2ετία ή 3ετία.



5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

Οι θερμικές ανάγκες ενός θερμοκηπίου θα πρέπει να αντισταθμίζουν τις θερμικές απώλειες οι οποίες συνιστούν το ποσό θερμότητας που πρέπει να προστεθεί στο χώρο ώστε να διατηρείται η επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό της μονάδας, όταν στο εξωτερικό περιβάλλον επικρατούν οι συνθήκες σχεδιασμού χειμώνα. Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών είναι απαραίτητος ειδικότερα όταν επιχειρείται θερμοκηπιακή καλλιέργεια εκτός εποχής, (χειμώνας) οπότε το σύστημα θέρμανσης είναι απαραίτητο.

Συνήθως οι θερμικές απώλειες που θεωρούνται κατά τη μελέτη είναι οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος, απώλειες λόγω αγωγής, συναγωγής, απώλειες λόγω διαφυγής του αέρα από τα ανοίγματα καθώς και λόγω εξάτμισης που συνολικά οφείλονται σε θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ του αέρα εντός του θερμοκηπίου και του εξωτερικού ψυχρού αέρα (Ντίνας 2007, Παπαδόπουλος 2013).

Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών θερμοκηπίου έχουν απασχολήσει αρκετούς ερευνητές οι οποίοι εφαρμόζουν διαφορετικές τεχνικές με στόχο πάντα τον καλύτερο σχεδιασμό και την μεγαλύτερη ακρίβεια του απαιτούμενου ποσού θερμότητας για τη δημιουργία κατάλληλου περιβάλλοντος για κάθε είδος θερμοκηπιακής καλλιέργειας.

Πιο συγκεκριμένα υπάρχει στη βιβλιογραφία ο λεγόμενος ενιαίος τρόπος σε συνδυασμό με μετεωρολογικούς πίνακες (Αντωνακούδης 2014) τον οποίο και ακολούθησε ο Κυριακόπουλος (2015). Ο τρόπος αυτός συνοψίζει όλα τα είδη απωλειών σε μία σχέση

$$Q = 1,20(KADt + 0,36VnDt) \quad (2.2)$$

Στη σχέση (2.2) εμφανίζεται ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του υλικού κάλυψης (K), η επιφάνεια κάλυψης (A), η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξωτερικού περιβάλλοντος και νυκτερινής θερμοκρασίας που πρέπει να διατηρείται για κάθε συγκεκριμένη καλλιέργεια και ο όγκος του θερμοκηπίου. Επίσης εμφανίζεται το πλήθος εναλλαγών αέρα από διαφυγές (n).

Η σχέση αυτή αν και φαίνεται πολύ περιεκτική κρίνεται πολύ απλοϊκή για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο επιβίωσης από τον αγροτικό πληθυσμό. Για το λόγο αυτό στη συνέχεια του κεφαλαίου γίνεται ο αναλυτικός υπολογισμός των θερμικών αναγκών ενός θερμοκηπίου με δύο άλλες μεθόδους όπως προτείνονται από τον Θεοχάρη. Καταρχήν αναλύεται η μέθοδος του ενεργειακού ισοζυγίου και στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός με τη μέθοδο της οικοδομικής. Σε επόμενο κεφάλαιο (κεφάλαιο 8 Μελέτη Περίπτωσης) από τις δύο τελευταίες μεθόδους επιλέγεται η μέθοδος του ενεργειακού ισοζυγίου για τον ακριβέστερο υπολογισμό των θερμικών απαιτήσεων της εν λόγω θερμοκηπιακής μονάδας.

5.1 Μέθοδος Ενεργειακού Ισοζυγίου.

Ο υπολογισμός γίνεται για τη νυκτερινή περίοδο ενώ κατά τον υπολογισμό γίνονται παραδοχές όπως το ότι τα υλικά κάλυψης θεωρούνται με πολύ μικρό συντελεστή διαπερατότητας στις υπέρυθρες (IR) ακτινοβολίες (π.χ. γυαλί ή πολυεστερικά). Το ενεργειακό ισοζύγιο για ένα θερμοκήπιο δίνεται από τη σχέση:

$$Q_H = R_N + Q_{cc} + Q_v + LE + Q_s \quad (4.1)$$



όπου :

Q_H είναι η απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης σε W/m^2

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

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

Q_v είναι η απώλεια θερμότητας εξ αιτίας της διείσδυσης του αέρα σε W/m^2

LE είναι η λανθάνουσα θερμότητα λόγω εξάτμισης (ή συμπύκνωσης) σε W/m^2

Q_s είναι η μεταφορά θερμότητας στο έδαφος W/m^2

Κατά τη διάρκεια της νύχτας, επειδή δεν συμβαίνει διαπνοή, είναι: $LE = 0$. Επίσης η Q_s είναι περίπου ίση με το 5% του συνόλου και για το λόγο αυτό θεωρείται αμελητέα. Επομένως η (1.1) απλοποιείται στην:

$$Q_H = R_N + Q_{cc} + Q_v \quad (4.2)$$

Η θέρμανση είναι αναγκαία όταν για τη μέση θερμοκρασία νυκτός ισχύει η σχέση : $T_o < T_i$.
όπου:

T_o είναι η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος σε $^{\circ}C$

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

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η θερμοκρασία T_i εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας και οι τιμές της δίνονται από τον Πίνακα 8.1 (Παράρτημα).

Η θερμοκρασία T_o προκύπτει από τη σχέση:

$$T_o = T_{min} + K \cdot (T_{max} - T_{min}) \quad (4.3)$$

όπου:

T_{min} είναι η μέση μηνιαία ελάχιστη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος σε $^{\circ}C$

T_{max} είναι μέση μηνιαία μέγιστη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος σε $^{\circ}C$

K είναι ένας συντελεστής – συνάρτηση της νύχτας και δίνεται από τη σχέση::

$$K = 0.05881 + 0.0235 \cdot NL \quad (4.4)$$

όπου:

NL είναι η διάρκεια της νύχτας σε ώρες, είναι: $NL = 24 - DL$ (4.5)

DL είναι η διάρκεια της ημέρας σε h, όπου

$$DL = \frac{2}{15} \cdot \sin^{-1}(-\epsilon_j \cdot \epsilon_j \cdot d) \quad (4.6)$$

όπου

ϕ είναι το γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες που δίνεται στον Πίνακα 8.2.(Παράρτημα),

δ είναι η απόκλιση της γης σε μοίρες, που υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$d = 23.45^{\circ} \cdot \sin \frac{360}{365} \cdot (284 + I) \quad (4.7)$$

όπου I είναι ο αύξων αριθμός της ημέρας του έτους $1 < I < 365$

Σε σχέση με τον αύξοντα αριθμό της ημέρας του έτους ($1 < I < 365$) για κάθε μήνα έχει βρεθεί μια χαρακτηριστική ημέρα που χρησιμοποιείται – αντί της ολοκλήρωσης για κάθε ξεχωριστή ημέρα κάθε μήνα- για τον ευκολότερο υπολογισμό της μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας (Klein). Οι ημέρες αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.3 (Παράρτημα).



Τα T_{min} και T_{max} προκύπτουν από ημιτονοειδείς συναρτήσεις της μορφής:

$$T_i(j) = A_i + B_i \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot (j - F_i)\right) \quad (4.8)$$

όπου ο δείκτης j δηλώνει τη μέση μέγιστη (mean – max) ή τη μέση ελάχιστη (mean – min) θερμοκρασία ημέρας. Οι ποσότητες A_i , B_i , εκφράζονται σε $^{\circ}\text{C}$ και F_i σε μοίρες είναι σταθερές για κάθε πόλη και δίνονται στον Πίνακα 8.4 (Παράρτημα) (Θεοχάρης 2015).

5.1.1 Υπολογισμός της R_N .

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα (4.1) με τον όρο R_N σημειώνεται η καθαρή ανταλλαγή ενέργειας με ακτινοβολία μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος αυτού σε W/m^2 . Πιο αναλυτική έκφραση για τον όρο δίνεται από τη σχέση:

$$R_N = - \frac{A_c}{A_g} \cdot f_{cg} \cdot s \cdot T_g^4 + f_{cs} \cdot s \cdot T_s^4 - s \cdot T_c^4 \quad (4.9)$$

όπου:

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

A_g είναι η συνολική επιφάνεια του εδάφους σε m^2

T_g, T_s, T_c είναι οι θερμοκρασίες του εξωτερικού εδάφους, του ουρανού και του καλύμματος αντίστοιχα σε $^{\circ}\text{K}$,

f_{cg}, f_{cs} είναι οι συντελεστές μορφής καλύμματος - εδάφους και καλύμματος ουρανού,

σ είναι η σταθερά των Stefan-Boltzman $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{K}^4$,

αυτή την κατεύθυνση γίνεται επίσης η παραδοχή ότι κατά τη διάρκεια της νύκτας για μετάδοση θερμότητας με μηχανισμό την ακτινοβολία θεωρείται ότι $T_g = T_o$. Επίσης η θερμοκρασία του ουρανού T_s υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T_s = (T_o - 15) \cdot i + (T_o - 4) \cdot (1 - i) \quad (4.10)$$

$$\text{όπου } i = \frac{D_s}{D_d} \quad (4.11)$$

όπου επίσης

D_s η μηνιαία διάρκεια ηλιοφάνειας που προκύπτει από τον Πίνακα 8.6 (Παράρτημα) και

D_d η μηνιαία διάρκεια ημέρας που προκύπτει ως $D_d = \text{DL} \times \text{αριθμό ημερών μήνα}$.

Η θερμοκρασία καλύμματος T_c υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T_c = T_o + \frac{\text{DT} + 0.2 \cdot T_s - 3.72}{1.32 + 0.4 \cdot u^{0.8}} = T_o + \frac{(T_i - T_o) + 0.2 \cdot T_s - 3.72}{1.32 + 0.4 \cdot u^{0.8}} \quad (4.12)$$

όπου u είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου σε m/s για την οποία γίνεται η παραδοχή

$$u = 0.85 \times u_{10}, \quad (4.13)$$



όπου με u_{10} σημειώνεται η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και υπολογίζεται με τη βοήθεια του Πίνακα 8.5 (Παράρτημα).

Τέλος αναφορικά με τους συντελεστές μορφής καλύμματος – ουρανού, f_{cs} , και καλύμματος – εδάφους f_{cg} , αυτοί δίνονται από τις σχέσεις:

$$f_{cs} = \frac{1+b}{2} = \frac{1 + \frac{A_g}{A_c}}{2} = \frac{A_c + A_g}{2 \cdot A_c} \quad (4.14)$$

$$f_{cg} = 1 - f_{cs} \quad (4.15)$$

5.1.2 Υπολογισμός της Q_{cc} .

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα (4.1) με τον όρο Q_{cc} δηλώνεται η αισθητή θερμότητα από μεταφορά και αγωγιμότητα μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος του σε W/m^2 . Πιο αναλυτικά η συγκεκριμένη ποσότητα δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{cc} = \frac{A_c}{A_g} \cdot U \cdot (T_i - T_o) \quad (4.16)$$

όπου
$$U = \frac{5.8u + 9.16}{u + 3.2} \quad (W/m^2) \quad (4.17)$$

5.1.3 Υπολογισμός της Q_n .

Η συγκεκριμένη ποσότητα εκφράζει την απώλεια θερμότητας λόγω διείσδυσης του αέρα σε W/m^2 . Πιο αναλυτικά περιγράφεται από τη σχέση:

$$Q_n = R \cdot \frac{V_0}{A_g} \cdot r \cdot (H_i - H_o) \quad (4.18)$$

όπου:

∅ R είναι οι ανανεώσεις του αέρα την ώρα σε 1/h. Το R δίνεται από τη σχέση:

$$R = 0.7 + 0.5u \quad (4.19)$$

∅ V_0 είναι ο όγκος του θερμοκηπίου σε m^3 , ρ είναι η πυκνότητα του αέρα η οποία λαμβάνεται ίση με 1.25 kg/m^3 .

∅ H_i , H_o είναι η ενθαλπίες του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα αντίστοιχα σε J/Kg. Οι ενθαλπίες υπολογίζονται με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη και πιο συγκεκριμένα:

∅ η H_o υπολογίζεται συναρτήσει της T_o και της σχετικής υγρασίας RH_o ενώ

∅ η H_i , υπολογίζεται συναρτήσει της T_i και της σχετικής υγρασίας RH_i .

Η εξωτερική σχετική υγρασία RH_o δίνεται στον Πίνακα 8.7 (Παράρτημα) ενώ η εσωτερική σχετική υγρασία RH_i λαμβάνεται ίση με 90%.



5.2 Υπολογισμός θερμικών απωλειών κατά την οικοδομική.

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

Οι συνολικές απώλειες θερμότητας από το θερμοκήπιο μπορούν να εκφραστούν ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους, από τη σχέση:

$$q = q_c + q_n \quad (\text{W/m}^2) \quad (4.20)$$

όπου:

q_c είναι όλες οι απώλειες ενέργειας (κυρίως με συναγωγή και ακτινοβολία) μέσω του καλύμματος σε W/m^2 ,

q_n είναι οι απώλειες ενέργειας από τις διαφυγές του αέρα σε W/m^2

5.2.1 Απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα.

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

$$q_c = \frac{A_c}{A_g} \cdot K_c \cdot (T_i - T_o) \quad (\text{W/m}^2) \quad (4.21)$$

όπου:

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

A_g είναι η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου σε m^2

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

T_o είναι η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος σε $^{\circ}\text{C}$.

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

Ø Η θερμοκρασία T_i εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας και οι τιμές της δίνονται στον Πίνακα 8.1 (Παράρτημα).

Ø Η θερμοκρασία T_o αναζητείται στο διαδίκτυο. Υπάρχουν διάφορες ιστοσελίδες από τις οποίες προκύπτει η T_o , π.χ.: <http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/> (EMY), ή η ιστοσελίδα: www.meteo.gr/meteo/ClimaticDataGR.xls (meteo).

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

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας των κατασκευαστικών στοιχείων, όπως τοίχοι και οροφές, μπορεί να προσδιορισθεί αν συνδυασθούν οι θερμικές αντιστάσεις των υλικών από τα οποία αποτελείται το κάθε στοιχείο, με την κατάλληλη αντίσταση συνθηκών επιφανείας και δίνεται από τη σχέση:



$$K_c = \frac{1}{R_i + R_k + R_{out}} \quad (\text{W/m}^2) \quad (4.22)$$

όπου:

R_i είναι η θερμική αντίσταση συνθηκών της εσωτερικής επιφάνειας σε $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K/W}$,

R_k είναι η θερμική αντίσταση του υλικού σε $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K/W}$,

R_{out} είναι η θερμική αντίσταση συνθηκών της εξωτερικής επιφάνειας σε $\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K/W}$.

Επομένως προκύπτει ότι για να υπολογιστεί ο όρος K_c θα πρέπει να υπολογισθεί νωρίτερα καθένας από τους όρους R_i , R_k , R_{out} . Στα επόμενα ακολουθούν οι επιμέρους υπολογισμοί των όρων θερμικής αντίστασης για την εσωτερική επιφάνεια, το υλικό και την εξωτερική επιφάνεια του θερμοκηπίου.

5.2.2 Υπολογισμός θερμικής αντίστασης εσωτερικής επιφάνειας (R_i).

Σε μια κατασκευή όπως το θερμοκήπιο, η θερμότητα που μεταφέρεται στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος (με ακτινοβολία, συναγωγή και με τη λανθάνουσα θερμότητα όταν συμβαίνει συμπύκνωση), επηρεάζεται από τον τύπο και τη θέση του συστήματος θέρμανσης και επομένως ο συντελεστής συνθηκών επιφάνειας της εσωτερικής πλευράς του καλύμματος είναι διαφορετικός στην κάθε περίπτωση. Τιμές θερμικών αντιστάσεων συνθηκών του εσωτερικού της επιφάνειας του καλύμματος δίδονται στον Πίνακα 8.8 (Παράρτημα)

5.2.3 Υπολογισμός θερμικής αντίστασης του υλικού (R_k).

Η θερμική αντίσταση του υλικού του καλύμματος του θερμοκηπίου είναι:

$$R_k = 1/k \quad (\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K/W}) \quad (4.23)$$

όπου:

λ είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού. Τιμές του R_k για συνήθη υλικά κάλυψης θερμοκηπίου δίνονται στον Πίνακα 8.9. Εάν το κάλυμμα του θερμοκηπίου αποτελείται από περισσότερες από μία στρώσεις, όπως διπλό ή τριπλό κάλυμμα, η συνολική θερμική αντίσταση είναι το άθροισμα των αντιστάσεων των διαφόρων στρώσεων, δηλαδή:

$$R_k = \sum R_j \quad (\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{K/W}) \quad (4.24)$$

όπου R_j η θερμική αντίσταση μίας στρώσης.

Αν ένα τμήμα του θερμοκηπίου είναι κατασκευασμένο με κτιστό τοίχο, η απώλεια ενέργειας μέσω αυτού υπολογίζεται από τον ίδιο τύπο, αφού ληφθεί υπόψη η θερμική αντίσταση που παρουσιάζει ο τοίχος σύμφωνα με τον Πίνακα 8.10 (Παράρτημα) και η έκταση της επιφάνειας για τον υπολογισμό του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας.

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



μεγαλύτερες. Μερικά μονωμένα θερμοκήπια, όπου χρησιμοποιείται τεχνητός φωτισμός, απαιτούν 80 % λιγότερη θέρμανση σε σχέση με τα διαφανή (Chandra P. and Albright L., 1980).

5.2.4 Υπολογισμός θερμικής αντίστασης εξωτερικής επιφάνειας (R_{out}).

Από την εξωτερική πλευρά του καλύμματος του θερμοκηπίου η θερμότητα μεταφέρεται με εξαναγκασμένη συναγωγή και θερμική ακτινοβολία. Η τιμή της θερμικής αντίστασης των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας, επηρεάζεται επομένως από ένα πλήθος παραγόντων όπως τον άνεμο, τη βροχή και την ακτινοβολία του ουρανού. Τιμές της θερμικής αντίστασης των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας λαμβάνονται από τον Πίνακα 8.11 (Παράρτημα).

5.2.5 Υπολογισμός θερμικών απωλειών από διαφυγές του αέρα (q_v).

Μέχρι εδώ δόθηκε ο τρόπος υπολογισμού των απωλειών θερμότητας μέσω του καλύμματος q_c , (εξ.2.2) ο οποίος περιγράφεται όπως φάνηκε παραπάνω με τη βοήθεια του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας K_c , ο οποίος με τη σειρά του για να προσδιοριστεί απαιτείται η γνώση των θερμικών αντιστάσεων της εσωτερικής επιφάνειας του θερμοκηπίου, του υλικού κάλυψης καθώς και των συνθηκών της εξωτερικής επιφάνειας (εξ.2.3). Πλέον για τον υπολογισμό των συνολικών θερμικών απωλειών του θερμοκηπίου (q) όπως προκύπτει από την εξ. (2.1) αρκεί να υπολογιστούν και οι απώλειες από διαφυγές του αέρα q_v . Σε αυτή την ενότητα περιγράφεται ο αναλυτικός υπολογισμός της q_v .

Αναφορικά λοιπόν με τις θερμικές απώλειες από διαφυγές αυτές αφορούν την ενέργεια που ανταλλάσσεται με την είσοδο και έξοδο του αέρα στο θερμοκήπιο. Ο ρυθμός ανταλλαγής αέρα εξαρτάται από το σχήμα του θερμοκηπίου, το υλικό κάλυψης, τον τρόπο προσαρμογής του υλικού κάλυψης, τη θέση των παραθύρων εξαερισμού και την ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου. Για τον προσδιορισμό της ανταλλασσόμενης ενέργειας από τη διαφυγή του αέρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η επόμενη σχέση:

$$q_n = c_p \cdot r \cdot \frac{V_0}{A_g} \cdot R_c \cdot (T_i - T_0) \quad (\text{W/m}^2) \quad (4.25)$$

όπου:

V_0 είναι ο όγκος του θερμοκηπίου σε m^3 ,

R είναι ο αριθμός των ανανεώσεων του αέρα ανά ώρα, 1/h

c_p είναι η ειδική θερμότητα του αέρα για σταθερή πίεση σε $\text{J/Kg}^\circ\text{K}$,

ρ είναι η πυκνότητα του αέρα σε kg/m^3 ,

Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα ο αριθμός των ανανεώσεων του αέρα υπολογίστηκε από τη σχέση (1.19) και με τη βοήθεια της (1.13). Πιο αναλυτικά είναι:

$$R = 0.7 + 0.5 \times u \cdot \frac{\dot{y}}{\rho} \quad R = 0.7 + 0.425 \times u_{10}$$



Επιπλέον για μέσες συνθήκες αέρα λαμβάνεται ειδική θερμότητα $c_p = 1012 \text{ J /Kg } ^\circ\text{K} = 0.35 \text{ Wh/m}^3\text{K}$ και για την πυκνότητα του αέρα θεωρείται $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$. Τοποθετώντας όλες τις παραπάνω παραδοχές - θεωρήσεις η (2.6) τροποποιείται στη σχέση:

$$q_h = 0.35 \cdot \frac{V_0}{A_g} \cdot R \cdot (T_i - T_0) \quad (4.26)$$

5.2.6 Υπολογισμός των συνολικών θερμικών απωλειών (q).

Οι συνολικές απώλειες θερμότητας από το θερμοκήπιο στη μονάδα χρόνου και ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους, υπολογίζονται από τη σχέση (2.1): $q = q_c + q_h \text{ (W/m}^2\text{)}$.

Οι μηνιαίες απώλειες ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους, υπολογίζονται από τη σχέση:

$$q_M = q \cdot D_N = (q_c + q_h) \cdot D_N \text{ (kWh/m}^2 \text{ μήνα)} \quad (4.27)$$

Οι συνολικές μηνιαίες απώλειες από το θερμοκήπιο υπολογίζονται από τη σχέση:

$$q_{TM} = q_M \cdot A_g \text{ (kWh/ μήνα)} \quad (4.28)$$

Στη σχέση (2.8) D_N είναι η μέση μηνιαία διάρκεια της νύχτας η οποία υπολογίζεται

$$DN = NL \cdot \mu \quad (4.29)$$

όπου :

NL είναι η διάρκεια της νύχτας της αντιπροσωπευτικής ημέρας του μήνα σε ώρες και

μ είναι ο αριθμός ημερών του μήνα.

Η NL υπολογίζεται είτε από τον Πίνακα 8.12 (Παράρτημα), είτε από τη σχέση:

$$NL = 24 - DL \quad (4.30)$$

Όπου DL είναι η διάρκεια της ημέρας σε h , που υπολογίζεται είτε από τον Πίνακα 8.12, είτε

από τη σχέση (4.6) $DL = \frac{2}{15} \cdot \text{sun}^{-1}(-\epsilon_j \cdot \epsilon_j \cdot d)$



6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο 4 δόθηκε η μεθοδολογία υπολογισμού των θερμικών αναγκών ενός θερμοκηπίου κατά δύο τρόπους. Στο παρόν κεφάλαιο δίνονται τα βήματα του σχεδιασμού του συστήματος θέρμανσης του θερμοκηπίου με βάση τις θερμικές ανάγκες. Κατά το σχεδιασμό πρέπει να ληφθεί μέριμνα για τη διανομή της θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου.

6.1 Κεντρικό Σύστημα Θέρμανσης με νερό ή ατμό.

Κεντρική μονάδα στο σύστημα θέρμανσης αποτελεί ο λέβητας στον οποίο παράγεται η απαιτούμενη θερμότητα. Αυτή η θερμότητα θα πρέπει να μεταφερθεί και να κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο χώρο του θερμοκηπίου.

Στο σύστημα θέρμανσης με σωλήνες ζεστού νερού, που διακλαδίζονται μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου, η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με συναγωγή και ακτινοβολία σε ίσο περίπου ποσοστό. Ο θερμός αέρας στο θερμοκήπιο μαζεύεται ψηλά, όπου ψύχεται από την επαφή του με το κάλυμμα όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή, αυξάνει το ειδικό του βάρος και κατέρχεται χαμηλά στο χώρο των φυτών.

Το νερό είτε θερμαίνεται σε έναν λέβητα και προωθείται με κυκλοφορητή στις σωληνώσεις που έχουν εγκατασταθεί στο χώρο του θερμοκηπίου, ή θερμαίνεται σ' ένα εναλλάκτη ατμού - νερού και προωθείται με κυκλοφορητή πάλι στις σωληνώσεις του θερμοκηπίου. Όταν δεν απαιτείται θερμότητα στο θερμοκήπιο (έλεγχος με θερμοστάτη), τότε το νερό μπορεί να κυκλοφορεί μέσα στις σωληνώσεις με τη βοήθεια του κυκλοφορητή, χωρίς να διέρχεται από το λέβητα ή τον εναλλάκτη. Όταν απαιτείται θερμότητα, ο θερμοστάτης δίνει εντολή να ανοίξει αναλογικά μια τρίδος βαλβίδα για να επιτρέψει σε μια ποσότητα από το νερό των σωληνώσεων να περάσει από το λέβητα ή τον εναλλάκτη και να θερμανθεί πριν επανακυκλοφορήσει στις σωληνώσεις θέρμανσης.

Ένας άλλος θερμοστάτης τοποθετημένος στο λέβητα ευαισθητοποιείται με τη θερμοκρασία του νερού στο λέβητα και αυτόματα δίνει εντολή για το άναμμα του καυστήρα, ώστε η θερμοκρασία του νερού να διατηρείται σταθερή και να μην υπερβαίνει ένα καθορισμένο όριο (συνήθως 85°C ή 95°C).

Στη Β. Ευρώπη, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στη Β. Αμερική, ακόμη και σε μεγάλα θερμοκήπια είναι προτιμηταία η θέρμανση με ζεστό νερό παρά η θέρμανση με ατμό. Συνήθως χρησιμοποιούνται καυστήρες ατμού με εναλλάκτη ζεστού νερού και εφαρμόζεται σύστημα υψηλής πίεσης που επιτρέπει υψηλότερες θερμοκρασίες στο νερό. Αυτή η τακτική οδηγεί σε μεγαλύτερη θερμική απόδοση, σε σχέση με τα συστήματα χαμηλής πίεσης. Το ζεστό νερό, στο σύστημα χαμηλής πίεσης, έχει συνήθως θερμοκρασία 85°C , μπορεί όμως να αυξηθεί σε περιπτώσεις μεγάλων απαιτήσεων σε θερμότητα. Στο σύστημα υψηλής πίεσης το ζεστό νερό έχει θερμοκρασία περίπου 95°C .

Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται συνήθως για διανομή της θερμότητας στην περιφέρεια του θερμοκηπίου είναι μαύροι σιδηροσωλήνες διαμέτρου 5 cm (2"). Το μήκος των σωλήνων που χρειάζονται στο χώρο του θερμοκηπίου, προσδιορίζεται από τις απαιτούμενες ανάγκες σε θερμότητα και την απόδοση των σωλήνων. Σπουδαίο ρόλο για την ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας μέσα στο θερμοκήπιο παίζει η θέση που θα τοποθετηθούν οι σωληνώσεις διανομής.



6.2 Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου.

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται μπορεί να είναι στερεά (π.χ. γαιάνθρακες), υγρά (π.χ. μαζούτ) και αέρια (π.χ. υγραέριο). Τα πλεονεκτήματα του καθενός εξαρτώνται από τη διαθεσιμότητα του σε μια περιοχή, την τιμή και από τη ρύπανση που προκαλεί στο περιβάλλον.

Πρώτο σε προτίμηση είναι το γαιαέριο, όπου βέβαια υπάρχει, διότι μπορεί να αυτοματοποιηθεί εύκολα η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης, η εγκατάσταση έχει μικρότερο αρχικό κόστος, επί πλέον δεν χρειάζονται δοχεία αποθήκευσης και καίγεται με πολύ μεγάλη απόδοση, με αποτέλεσμα να χρειάζεται λιγότερη εργασία για συντήρηση του καυστήρα. Το προπάνιο και βουτάνιο (υγραέριο) έχουν τα ίδια πλεονεκτήματα, αλλά είναι ακριβότερα και απαιτούνται δοχεία αποθήκευσης.

Δεύτερα σε προτίμηση καύσιμα είναι το πετρέλαιο και το μαζούτ. Με αυτά, το σύστημα θέρμανσης μπορεί να αυτοματοποιηθεί εύκολα, αλλά η συντήρηση του καυστήρα είναι σε αυτή την περίπτωση συχνότερη (περίπου κάθε δεκαήμερο).

Στη θέρμανση του θερμοκηπίου μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά καυστήρες γαιάνθρακα και ξύλου, που στις περισσότερες περιπτώσεις μπορούν να αυτοματοποιηθούν, αλλά χρειάζονται μεγάλες αποθήκες για τα καύσιμα και περισσότερη εργασία συντήρησης και αποκομιδής της στάχτης. Η αποδοτικότητα της καύσης υπολογίζεται σε 60% για το ξύλο και 70% για το πετρέλαιο. Γενικά, θεωρείται ότι 1 τόνος ξύλου αντιστοιχεί σε 400 lit πετρελαίου. Εκεί όπου η τιμή του ξύλου (σε κομμάτια μέχρι 5cm) ή του γαιάνθρακα είναι χαμηλή, η χρησιμοποίησή τους προσφέρει σημαντική οικονομία.

Όταν έχουν προσδιορισθεί οι απαιτήσεις σε ενέργεια του θερμοκηπίου, η ποσότητα του καυσίμου που απαιτείται (F) προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$F = \frac{Q_{TM} \cdot 3600}{n \cdot Q_F} \text{ (kg ή lt)} \quad (5.1)$$

όπου:

Q_{TM} είναι η συνολικά απαιτούμενη ενέργεια σε kWh η οποία υπολογίζεται ανάλογα με τη μέθοδο υπολογισμού των θερμικών αναγκών.

Έτσι η η συνολικά απαιτούμενη ενέργεια υπολογίζεται

$$\emptyset \quad \text{με την μέθοδο της οικοδομικής} \quad Q_{TM} = q A_g D_N$$

$$\emptyset \quad \text{με τη μέθοδο ενεργειακού ισοζυγίου} \quad Q_{TM} = Q_H A_g D_N$$

n είναι η αποδοτικότητα της παραγωγής θερμότητας και μεταφοράς της στο θερμοκήπιο

Q_F είναι η κατώτερη θερμογόνος τιμή του καυσίμου σε kJ/μονάδα καυσίμου.

Αν το καύσιμο καίγεται σε καυστήρα που βρίσκεται μέσα στο θερμοκήπιο, το n εκφράζει την αποδοτικότητα του καυστήρα, αν όμως η θερμότητα παράγεται σε κάποια απόσταση και μεταφέρεται στο θερμοκήπιο, τότε το n συμπεριλαμβάνει και τις απώλειες ενέργειας κατά τη μεταφορά. Εκτός από την περίπτωση φυσικού αερίου, όπου χρησιμοποιείται συμπυκνωτής καμινάδας, το νερό που παράγεται κατά την καύση φεύγει ως ατμός από την καμινάδα. Επομένως για τον υπολογισμό θα πρέπει να χρησιμοποιείται η κατώτερη θερμογόνος τιμή του καυσίμου. Η θερμογόνος τιμή μερικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται συνήθως, δίδεται στους Πίνακες 8.14 και 8.15.



6.2.1 Σωληνώσεις νερού.

Η θερμική απόδοση των σιδηροσωλήνων θέρμανσης των θερμοκηπίων, ανά μέτρο μήκους τους, προκύπτει από τη σχέση :

$$Q_{tube} = p_{tube} \cdot c \cdot (T_u - T_i) \quad (\text{W/m}) \quad (5.1)$$

όπου :

p_{tube} είναι η περίμετρος του σωλήνα σε m,

c είναι συντελεστής απόδοσης του σωλήνα ο οποίος προκειμένου για σωλήνες σε οριζόντια διάταξη παίρνει την τιμή $c_{hor} = 14 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$,

και για σωλήνες σε κατακόρυφη διάταξη παίρνει την τιμή $c_{perp} = 11,5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$,

T_u είναι θερμοκρασία του νερού θέρμανσης σε $^\circ\text{K}$

T_i είναι θερμοκρασία του εσωτερικού του θερμοκηπίου σε $^\circ\text{K}$.

Το απαιτούμενο μήκος των σωλήνων θέρμανσης δίνεται ως:

$$L_{tube} = \frac{Q}{n \cdot Q_{tube}} \quad (\text{m}) \quad (5.2)$$

όπου ακόμη πρέπει να ισχύει: $L_{tube} > 2p_{garden}$ (περίμετρος θερμοκηπίου). Επίσης στην (5.2)

n είναι ο βαθμός αποδόσεως του συστήματος,

Q είναι οι συνολικές μέγιστες θερμικές απώλειες (W) υπολογιζόμενες με μία από τις σχέσεις

$$Q = Q_H \cdot A_g \quad \text{ή} \quad Q = q \cdot A_g$$

ανάλογα με την μέθοδο υπολογισμού των θερμικών απωλειών που χρησιμοποιείται.

6.2.2 Σωληνώσεις ατμού.

Οι σωληνώσεις αυτές κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης βρίσκονται σε θερμοκρασία 102°C (κάτω από μια σχετικά χαμηλή πίεση των 25 Pa περίπου), σε αντίθεση με τις σωληνώσεις ζεστού νερού που βρίσκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία ($80^\circ\text{C} - 95^\circ\text{C}$). Για το λόγο αυτό απαιτείται μικρότερη επιφάνεια σωλήνων για να αποδώσει την ίδια ποσότητα θερμίδων στο χώρο του θερμοκηπίου. Επειδή επί πλέον η κυκλοφορία του ατμού μέσα στις σωληνώσεις συναντά μικρότερες αντιστάσεις απ' ό,τι το νερό, η συνήθης διάμετρος για σωληνώσεις ατμού είναι (2.5 – 4.0)cm (1" - 1 1/2"), αντί των 5 cm που χρησιμοποιούνται στην περιφέρεια του θερμοκηπίου στην περίπτωση του ζεστού νερού.

Ο ατμός παράγεται στο λέβητα και μεταφέρεται στο θερμοκήπιο μέσω των σωληνώσεων μεταφοράς. Η ροή του ατμού στις σωληνώσεις ρυθμίζεται από ηλεκτρική βαλβίδα. Ένας θερμοστάτης που βρίσκεται στο θερμοκήπιο, ανοίγει τη βαλβίδα όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από το επιθυμητό επίπεδο και αντίθετα. Στον **πίνακα 3.1**, δίνεται η αποδιδόμενη ενέργεια από σιδηροσωλήνες ατμού όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου διατηρείται σταθερή και ίση με 15.5°C .



6.3 Θέση σωληνώσεων θέρμανσης.

Οι γραμμές φύτευσης, των φυτών που αποκτούν σημαντικό ύψος, πρέπει να έχουν προσανατολισμό Βορρά-Νότου. Εάν έχουν προσανατολισμό Ανατολής-Δύσης, το ένα φυτό θα σκιάζει το άλλο, ιδιαίτερα το πρωί και το απόγευμα, όταν η ένταση του φωτισμού είναι μικρότερη.

Οι σωλήνες θέρμανσης, για να μην εμποδίζουν την κυκλοφορία στο θερμοκήπιο, θα πρέπει να κατευθύνονται παράλληλα προς τις γραμμές των φυτών. Οι κεντρικές σωληνώσεις που φέρνουν το νερό από το λέβητα και οι σωληνώσεις επιστροφής που μαζεύουν το νερό, το οποίο επιστρέφει από το θερμοκήπιο και το οδηγούν στο λέβητα, τοποθετούνται συνήθως στην περιφέρεια του θερμοκηπίου. Η θερμότητα χάνεται πιο γρήγορα στην περιφέρεια απ' ό,τι στο κέντρο του θερμοκηπίου, γι' αυτό, για να υπάρξει ομοιόμορφη θερμοκρασία στο χώρο του, θα πρέπει ένα πολύ μεγάλο μέρος της ενέργειας να αποδίδεται στην περιφέρεια με την εγκατάσταση ικανού μήκους σωληνώσεων. Δεν είναι σκόπιμη όμως η τοποθέτηση όλων των σωλήνων περιμετρικά, γιατί τα ρεύματα του αέρα που δημιουργούνται από τις ψυχρές επιφάνειες της οροφής και το θερμό κέντρο προκαλούν κατά τόπους ψυχρές θέσεις στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Γενικά σε σχέση με την τοποθέτηση των σωλήνων ισχύουν τα εξής:

- ∅ περίπου το ένα τρίτο (1/3) των σωληνώσεων, όχι όμως πάνω από 8 σειρές σωλήνων ή λιγότερες από δύο, τοποθετείται περιμετρικά,
- ∅ τα υπόλοιπα δύο τρίτα (2/3) τοποθετούνται στο εσωτερικό χαμηλά μεταξύ των φυτών, ή ένα μέρος στην οροφή και το άλλο χαμηλά μεταξύ των φυτών,
- ∅ σε θερμοκήπια που είναι εγκατεστημένα σε περιοχές όπου συμβαίνουν μεγάλες χιονοπτώσεις συνηθίζεται να τοποθετούνται και λίγοι σωλήνες ψηλά – κοντά στην στέγη- με σκοπό να συνεισφέρουν στο ταχύτερο λιώσιμο του χιονιού και την μείωση του φορτίου χιονιού στη στέγη.

6.4 Σωλήνες θερμού αέρα.

Για τη θέρμανση του αέρα συνήθως χρησιμοποιούνται πλαστικοί διάτρητοι σωλήνες οι οποίοι μπορεί να βρίσκονται είτε στο επίπεδο του εδάφους είτε να κρέμονται από την οροφή, πάνω από το ύψος των φυτών.

6.4.1 Πλαστικοί διάτρητοι σωλήνες στο επίπεδο του εδάφους.

Οι σωλήνες κατανομής του θερμού αέρα μέσα στο θερμοκήπιο τοποθετούνται σε ίσες αποστάσεις κατά μήκος του θερμοκηπίου. Η διάμετρος των σωλήνων αυτών είναι (15 – 20) cm και οι οπές εξόδου του θερμού αέρα ανοίγονται σε διαστήματα (15 – 60) cm. Ο αέρας που εξέρχεται κοντά στην κλειστή άκρη του σωλήνα είναι περισσότερος απ' ό,τι στην αρχή, επειδή όμως συμβαίνουν και απώλειες θερμότητας από τα τοιχώματα του σωλήνα, τα δυο αυτά γεγονότα τείνουν να αλληλοεξουδετερώνουν την ανομοιομορφία.

Το σύστημα θα πρέπει να μπορεί να αποσυνδέεται εύκολα την εποχή όπου δεν απαιτείται θέρμανση. Με τους σωλήνες σε αυτή τη θέση, η θερμοκρασία και η ταχύτητα του αέρα που εξέρχεται από τις οπές δεν πρέπει να είναι μεγάλη, επειδή ζημιώνει τα φυτά. Το γεγονός



αυτό και η μεγάλη αντίσταση των φυτών στη ροή του αέρα δημιουργούν δυσκολία στην ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας σε όλο το χώρο του θερμοκηπίου. Για να βελτιωθεί η ομοιομορφία θα πρέπει ο αριθμός των σωλήνων να είναι αρκετά μεγάλος (σχεδόν σε κάθε δίδυμη σειρά φυτών) και ομοιόμορφα κατανεμημένος στο χώρο. Συχνά ο θερμός αέρας που εξέρχεται από τις οπές, αναγκαστικά πέφτει επάνω στα φύλλα που βρίσκονται κοντά, πριν προλάβει να αναμιχθεί με τον κρύο αέρα και προκαλεί ζημιές. Εάν το μήκος του θερμοκηπίου είναι μικρότερο από 18m, τότε η κατανομή μπορεί να γίνει από την μια άκρη στην άλλη. Εάν όμως το μήκος είναι μεγαλύτερο, η κατανομή γίνεται από το μέσον του θερμοκηπίου προς τις δυο άκρες.

6.4.2 Πλαστικοί διάτρητοι σωλήνες στην οροφή.

Σε αυτή την περίπτωση τοποθετούνται λιγότεροι σωλήνες (30 – 40)cm επάνω από το ύψος των φυτών. Σε θερμοκήπια με πλάτος μικρότερο από 9m τοποθετείται μόνον ένας τέτοιος σωλήνας κατά μήκος του κέντρου του θερμοκηπίου. Σε θερμοκήπια μεγαλύτερου πλάτους χρησιμοποιούνται παραπάνω σωλήνες. Σωλήνας διαμέτρου (50-70)cm φέρει συνήθως δυο οπές ανά 30cm κατά μήκος του σωλήνα, διαμέτρου 5cm. Η συνολική επιφάνεια των οπών είναι συνάρτηση της διαμέτρου του σωλήνα και της παροχής του ανεμιστήρα του αερόθερμου (Bailey B.J., 1978).

Η έξοδος του αέρα από τις οπές του σωλήνα θα πρέπει να έχει αρκετή κινητική ενέργεια ώστε να μπορέσει να αναμιχθεί με τον πυκνότερο και ψυχρότερο αέρα του θερμοκηπίου, σε άλλη περίπτωση δεν θα αναμιχθεί σωστά και θα συσσωρευτεί στην οροφή, κατάσταση που είναι ανεπιθύμητη.

Ο ίδιος σωλήνας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εσωτερική κυκλοφορία του αέρα στο θερμοκήπιο, χωρίς να λειτουργεί το αερόθερμο. Έτσι, ακόμα και όταν δεν χρειάζεται θέρμανση, είναι δυνατόν να υπάρχει ομοιομορφία συνθηκών σε όλο το χώρο του θερμοκηπίου και να αποφευχθεί η διαστρωμάτωση του αέρα. Με το σύστημα αυτό, εκτός από την ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας, επιτυγχάνεται η μείωση της σχετικής υγρασίας και η αναπλήρωση του CO₂ στο χώρο γύρω από τα φύλλα.

Κατά την κυκλοφορία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, μπορεί να γίνει και φυτοπροστασία με τη χρήση πτητικών φυτοφαρμάκων, τα οποία με πεπιεσμένο αέρα ωθούνται στο σωλήνα από ένα σημείο που βρίσκεται 60cm μετά τον ανεμιστήρα. Με τη συνεχή κυκλοφορία του αέρα, το φυτοφάρμακο κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο του χώρο του θερμοκηπίου, δρώντας αποτελεσματικά. Από μελέτες του Carpenter W. and Willis W. (1957) σχετικές με το διάτρητο σωλήνα, παρατίθενται τα σημαντικότερα συμπεράσματα:

- Ø Για κάθε διάτρητο σωλήνα υπάρχει ένας κρίσιμος μέγιστος αριθμός οπών στο σωλήνα,
- Ø Η ισχύς του ανεμιστήρα, με στατική πίεση (20-30)Pa πρέπει να είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζει παροχή (20-30)% τουλάχιστον του όγκου του θερμοκηπίου ανά λεπτό,
- Ø Η επιφάνεια της τομής του σωλήνα πρέπει να είναι περίπου 0,033 m² για κάθε παροχή 10 m³/min του ανεμιστήρα,
- Ø Εάν η σχέση μεταξύ της συνολικής επιφάνειας των οπών προς την επιφάνεια της εγκάρσιας διατομής του σωλήνα είναι < 1,3 η αποτελεσματικότητα του εξαεριστήρα δεν είναι καλή, εάν επίσης είναι > 2,4 δημιουργείται αστάθεια του αγωγού σωλήνα. Συνιστάται η σχέση να βρίσκεται στο εύρος (1.5 – 2.0),
- Ø Όταν η διάμετρος των οπών είναι στο εύρος (4 – 6)cm, δεν παρουσιάζονται προβλήματα στην απόδοση του ανεμιστήρα και του σωλήνα. Με διαφορετική διάμετρο είναι πιθανό να παρουσιασθούν προβλήματα,



- Ø Εάν η κατανομή των οπών είναι ομοιόμορφη, η ποσότητα και η ταχύτητα του αέρα που βγαίνει από τις οπές, κοντά στην κλειστή άκρη, είναι συνήθως διπλάσια από εκείνη των οπών κοντά στον ανεμιστήρα,
- Ø Τα προηγούμενα ισχύουν πλήρως για μήκος αγωγού 30m. Η απόδοση αγωγών μήκους μικρότερου ή μεγαλύτερου από 30m είναι η ίδια και εφαρμόζονται οι ίδιες αρχές υπολογισμού, όμως ο αγωγός μεγάλου μήκους πρέπει να έχει τον ίδιο αριθμό οπών εξόδου του αέρα, όπως και ο αγωγός μικρού μήκους, εφ' όσον η συνολική παροχή θα είναι η ίδια. Η διαφορά θα είναι στο ότι ο μακρύτερος αγωγός θα έχει μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των οπών,
- Ø Στους αγωγούς με μήκος μεγαλύτερο των 30m, οι απώλειες φορτίου εξ αιτίας των τριβών, αλλάζουν την ταχύτητα εξόδου του αέρα από τις οπές. Γι' αυτό συνήθως διατηρείται η ίδια ταχύτητα χρησιμοποιώντας αγωγούς μεγαλύτερης διαμέτρου,
- Ø Οι αγωγοί αυτοί (όταν απαιτείται κυκλοφορία του αέρα χωρίς θέρμανση) μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για ταχύτητες του ανεμιστήρα, ακόμα και στο 20% της μεγίστης ταχύτητας, υπό τον όρο ότι οι αγωγοί παραμένουν φουσκωμένοι και κρέμονται σωστά,
- Ø Βρέθηκε ότι η γωνία του κώνου εξόδου του ρεύματος αέρα από τις οπές ποικίλει από πολύ οξεία 22° στην αρχή προς την πλευρά του ανεμιστήρα, προς ορθή γωνία στο τέλος του σωλήνα (κλειστή άκρη). Όταν οι σωλήνες με ίδια διαστήματα οπών, δεν εξασφαλίζουν ομοιόμορφη κατανομή αέρα, αλλά όσο πλησιάζουν προς το τέλος, η παροχή των οπών είναι μεγαλύτερη. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται ευνοϊκό, διότι δεν δημιουργούνται μικροί κύκλοι του αέρα με το αερόθερμο, που θα είχαν ως συνέπεια μεγάλες παροχές και υψηλότερη θερμοκρασία, στην αρχή σε τοπικό επίπεδο και ανεπαρκή κυκλοφορία του αέρα και χαμηλότερη θερμοκρασία στο βάθος του θερμοκηπίου. Όταν όλο και μεγαλύτερες παροχές θερμού αέρα διασχίζουν διαρκώς μεγαλύτερο μήκος θερμοκηπίου, το τελικό αποτέλεσμα θα είναι η καλύτερη και πιο ομοιόμορφη κατανομή της παρεχόμενης θερμότητας και της θερμοκρασίας.



7 ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Ο αερισμός του θερμοκηπίου αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα αφού οι ανταλλαγές αέρα μεταξύ του εσωτερικού χώρου ενός θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος αυτού αποτελούν διαδικασία που επιδρά ισχυρά στο κλίμα του θερμοκηπίου. Η ανανέωση του αέρα επιδρά όχι μόνο στο ενεργειακό ισοζύγιο (θερμοκρασία και υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου) αλλά και στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και άλλων αερίων που ίσως υπάρχουν. Ο όρος «αερισμός» του θερμοκηπίου περιλαμβάνει δύο έννοιες:

- ∅ Την ανάδευση του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου, με σκοπό τη δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών σε όλη την έκταση του θερμοκηπίου, και
- ∅ Την ανταλλαγή του θερμού αέρα του θερμοκηπίου με τον εξωτερικό αέρα, που ονομάζεται ειδικότερα εξαερισμός. Στόχος του εξαερισμού είναι η ρύθμιση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά τη θερμή περίοδο, η μείωση της σχετικής υγρασίας και η ρύθμιση της συγκέντρωσης του CO₂.

Στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες, οι ανάγκες για εξαερισμό ξεκινούν από νωρίς την άνοιξη έως αργά το φθινόπωρο. Ακόμα και το χειμώνα, που, με απλή ανάδευση του αέρα, επιδιώκεται βασικά η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο, υπάρχουν περιπτώσεις που απαιτείται εξαερισμός για μείωση της θερμοκρασίας, ιδιαίτερα στις νότιες περιοχές, τις ηλιόλουστες ώρες (Καυγά 2005).

Ένα αποτελεσματικό σύστημα εξαερισμού πρέπει:

- ∅ Να έχει ικανοποιητική ισχύ, ώστε να μπορεί, αλλάζοντας τον αέρα του θερμοκηπίου, να περιορίζει στο ελάχιστο την αύξηση της θερμοκρασίας, κατά τις θερμές ώρες της ημέρας,
- ∅ Να δημιουργεί ομοιόμορφες συνθήκες στο μικροκλίμα εντός του θερμοκηπίου,
- ∅ Να έχει μικρές απαιτήσεις συντήρησης,
- ∅ Να είναι απλό και αξιόπιστο και να διαθέτει αυτοματισμούς,
- ∅ Να έχει χαμηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας.

Διακρίνονται δύο τύποι αερισμού

- ∅ Ο φυσικός ή στατικός κατά τον οποίο ο αέρας κινείται λόγω διαφορών πίεσης που δημιουργούνται από τα φυσικά φαινόμενα - συνθήκες (άνεμοι, διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού χώρου) καθώς και από συνδυασμό των παραπάνω,
- ∅ Ο δυναμικός αερισμός σε περιπτώσεις όπου εφαρμόζονται ανεμιστήρες οι οποίοι δημιουργούν διαφορές πίεσης που είναι υπεύθυνες για την κίνηση του αέρα.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επιδρούν στην ανάγκη για αερισμό του θερμοκηπίου:

- ∅ Η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα,
- ∅ Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας,
- ∅ Η μέγιστη ανεκτή θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο που εξαρτάται από το είδος του καλλιεργούμενου φυτού,
- ∅ Το μέγεθος και τα υλικά κατασκευής του θερμοκηπίου.
- ∅ Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής στην εγκατάσταση του θερμοκηπίου.



7.1 Φυσικός αερισμός.

Ο φυσικός αερισμός μεταξύ του εσωτερικού της εγκατάστασης και του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι ο κύριος ρυθμιστικός παράγοντας για τον έλεγχο του μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Αναλυτικότερα η διαδικασία του αερισμού περιλαμβάνει ένα κύριο ρεύμα αέρα που κινείται από σταθερά πεδία πέσεων του αέρα και από ένα φαινόμενο στρωματοποίησης (διαστρωμάτωσης) λόγω των δυνάμεων άνωσης και θερμοκρασιακών διαφορών (Boulard et al, 1998).

Με δεδομένο ότι ο φυσικός αερισμός είναι η συνήθης πρακτική καθώς πλέον όλα τα θερμοκήπια περιλαμβάνουν κάποιο σύστημα αερισμού (Boulard and Baille 1995, Kittas et al, 1997), στόχος είναι η βελτιστοποίηση των συνθηκών του θερμοκηπίου με έναν όσο το δυνατόν καλύτερο σχεδιασμό του αερισμού. Έτσι ένα αποδοτικό σύστημα αερισμού είναι ιδιαίτερα κρίσιμο υπό Μεσογειακές συνθήκες για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας και σε ορισμένο βαθμό της διαπνοής της καλλιέργειας (Boulard and Baile, 1993).

Οι περισσότερες πειραματικές μελέτες πάνω στον εξαερισμό σε πλήρους κλίμακας θερμοκήπια έχουν χρησιμοποιήσει τεχνικές ιχνηλάτισης (tracer - διοχέτευση αερίου για κυκλοφορία εντός του χώρου. Αυτές περιλαμβάνουν μετρήσεις σε θερμοκήπια εξοπλισμένα είτε με ανεμιστήρες οροφής (Fernandez and Bailey, 1992) ή εξαεριστήρες οροφής και πλαϊνών (Papadakis et al 1996, Kittas et al, 1996). Εν τούτοις οι τεχνικές αυτές δεν δίνουν μια καθαρή εικόνα των στοιχείων της συνολικής ροής που επικρατεί εντός του θερμοκηπίου, ενώ δεν δίνουν και ικανοποιητική πληροφορία για την πρόβλεψη ενός μοντέλου ροής του αέρα.

Ο μηχανισμός του φυσικού εξαερισμού εξαρτάται από τις επιδράσεις του ανέμου, την θερμική άνοση και τον συνδυασμό και των δύο, ανέμου και δυνάμεων άνωσης. (Hsin Yu et al, 2002). Η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου αποτελούν τους κυρίαρχους παράγοντες που επηρεάζουν τον επαγόμενο άνεμο. Οι Miguel et al. (2001), υπέδειξαν ότι μια πλήρης κατανόηση της σχέσης μεταξύ των χαρακτηριστικών του ανέμου (ταχύτητα και διεύθυνση) και των χαρακτηριστικών του εξαερισμού (διαστάσεις, εσωτερικός και εξωτερικός σχεδιασμός) απαιτούνται για να επιτευχθεί αποδοτικός φυσικός εξαερισμός. Δηλ. ο εξαερισμός και οι ρυθμοί διαφυγής εξαρτώνται από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας και το άνοιγμα του αερισμού. Τα ανοίγματα φυσικού αερισμού περιλαμβάνουν παράθυρα, πόρτες, φωταγωγούς, ανεμιστήρες οροφής όπως και ειδικά σχεδιασμένα εσωτερικά και εξωτερικά ανοίγματα.

Ο ρυθμός φυσικού εξαερισμού επηρεάζεται από τον μετακινούμενο άνεμο που πνέει μέσω των ανοιγμάτων. Οι Batista et al, (1999) προτείνουν μια εμπειρική σχέση για την πρόβλεψη της ροής μέσω ενός πλαϊνού τοιχώματος - ανοίγματος ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου και της αποτελεσματικότητας των ανοιγμάτων. Η σχέση αυτή είναι

$$Q = EAV \quad (6.1.1)$$

όπου Q είναι ο ρυθμός ροής του ανέμου σε όρους ογκομετρικής παροχής (m^3/s),

E είναι η αποτελεσματικότητα των ανοιγμάτων (μη διαστασοποιημένη),

A είναι το μέγεθος του εσωτερικού ανοίγματος σε m^2 και

V είναι η ταχύτητα του ανέμου σε m/sec .

Η εναλλαγή αέρα μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου επιδρά στις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως θερμοκρασία, υγρασία συγκέντρωση CO_2 που με την σειρά τους επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή της καλλιέργειας. Κατά την διάρκεια του χειμώνα, ο εξαερισμός πρέπει να αναιρεί την υπερβολική υγρασία και να παρέχει μια



καλή ατμόσφαιρα εντός του θερμοκηπίου, ενώ κατά την διάρκεια του καλοκαιριού οι κύριες αιτίες για αερισμό είναι για δροσισμό και για αφαίρεση υγρασίας, αιτίες που εξαρτώνται από τις εσωτερικές συνθήκες.

Παρά τα παραπάνω η ακρίβεια της πρόβλεψης είναι αμφίβολη λόγω των δυσκολιών της μετρήσεων ακριβείας και του ελλείμματος μοντέλων που πρέπει εφαρμοστούν σε ένα μεγάλο αριθμό διαφορετικών θερμοκηπίων. Οι μετρήσεις του εξαερισμού και οι ρυθμοί διαφυγής είναι απαραίτητες για να παρέχουν καλή γνώση και έλεγχο του κλίματος στα θερμοκήπια. Επίσης η γνώση των χαρακτηριστικών του αερισμού ενός θερμοκηπίου είναι απαραίτητη για τον καλό έλεγχο των εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών και μια καλή απόδοση σε υψηλής ποιότητας παραγωγή.

Γενικά ο αερισμός ενός θερμοκηπίου χαρακτηρίζεται με βάση τον ρυθμό ωριαίας ανανέωσης N , δηλ. το πόσες φορές ο όγκος του αέρα του θερμοκηπίου ανανεώνεται σε μία ώρα (h^{-1}). Από συγκριτική άποψη είναι προτιμότερο να εκφράζεται ο αερισμός ως ροή όγκου αέρος η μάζα αέρος που αντιστοιχεί στην επιφάνεια του ανοίγματος ή στην επιφάνεια του θερμοκηπίου. Σε ένα θερμοκήπιο που διαθέτει ανοίγματα οροφής και πλευρικά ο φυσικός αερισμός δηλ. η ροή αέρα μέσω ενός ανοίγματος προκαλείται από τον συνδυασμό των διαφορών πίεσης που δημιουργούνται από τις ακόλουθες αιτίες:

1. Δυνάμεις άνωσης που δημιουργούνται λόγω θερμοκρασιακών διαφορών (φαινόμενο καμινάδας) μεταξύ εξωτερικού περιβάλλοντος και εσωτερικού χώρου. Ως γνωστό ο θερμός αέρας μέσα στο θερμοκήπιο γίνεται ελαφρύτες, (μείωση της πυκνότητας) ανεβαίνει προς τα άνω ως αποτέλεσμα της επιβολής ανωστικών δυνάμεων και βγαίνει από τα ανοίγματα της οροφής. Κατά αυτό τον τρόπο δημιουργείται υποπίεση και από τα πλευρικά ανοίγματα εισέρχεται στο θερμοκήπιο ψυχρός αέρας ο οποίος λόγω του ότι είναι βαρύτερος (μεγαλύτερη πυκνότητα) παραμένει χαμηλά μέχρι να ζεσταθεί οπότε ανέρχεται και έτσι ο κύκλος ανανέωσης του αέρα συνεχίζεται.
2. Ταχύτητα ανέμου αφού ο αέρας εισέρχεται από τα πλευρικά παράθυρα με τη μεγαλύτερη πίεση και βγαίνει από εκείνα της απέναντι πλευράς που έχει μικρότερη πίεση (Kittas et al. 2001).

Τα ανοίγματα τυπικά θα πρέπει να καλύπτουν μια επιφάνεια ίση με το 25 -30% της επιφάνειας του εδάφους, ώστε ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα να είναι ικανοποιητικός (Γραφιαδέλλης 1987). Η ελάχιστη σχετική επιφάνεια των ανοιγμάτων εξαερισμού, εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες τις περιοχής και από το είδος των φυτών που καλλιεργούνται. Η έκταση και το γεωμετρικό σχήμα των ανοιγμάτων του θερμοκηπίου επηρεάζει σημαντικά την αντίσταση της ροής και επομένως το ρυθμό αερισμού. Τα παράθυρα της υπήνεμης πλευράς, που βρίσκονται σε αρνητική πίεση σε σχέση με τη βαρομετρική, είναι ασφαλέστερο να ανοίγουν πρώτα.

Ο καλύτερος τρόπος φυσικού εξαερισμού είναι ο συνδυασμός πλευρικών ανοιγμάτων με παράθυρα οροφής, σε διάφορες διαστάσεις ή συνεχή σε όλο το μήκος του θερμοκηπίου. Αυτός ο συνδυασμός ανοιγμάτων έχει ως αποτέλεσμα καλό εξαερισμό, ιδιαίτερα τις θερμές περιόδους του έτους. Η αυτοματοποίηση των ανοιγμάτων γίνεται με ηλεκτροκινητήρες που η εκκίνηση τους γίνεται με την βοήθεια θερμοστάτη χώρου. Το μειονέκτημα είναι ότι το σύστημα λειτουργεί με βάση μόνο τη θερμοκρασία του χώρου, χωρίς να παίρνει υπόψη τους ανέμους. Ένας ισχυρός άνεμος, όμως, μπορεί να προκαλέσει υπερβολική μείωση της θερμοκρασίας και εκτός από το θερμοστάτη πρέπει να υπάρχει και ανεμόμετρο, ώστε να λαμβάνεται υπόψη και η ταχύτητα του ανέμου. Μόνο με την λειτουργία τέτοιου συστήματος δεν μπορούν να επιτευχθούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες στο χώρο του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα τις ημέρες με άπνοια (η θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο είναι συνήθως



μεγαλύτερη από την εξωτερική κατά 6°C και άνω). Τέλος, για να λειτουργήσει σωστά ένα τέτοιο σύστημα απαιτούνται κατασκευές θερμοκηπίου μεγάλου ύψους και δυνατότητα κατασκευής στεγανών παραθύρων οροφής που να αυτοματοποιούνται εύκολα.

Το χειμώνα η θερμοκρασία πρέπει να ρυθμίζεται μόνο από τα ανοίγματα της οροφής, ώστε να προφυλάσσονται τα φυτά από τα ψυχρά ρεύματα. Την άνοιξη και το φθινόπωρο υπολογίζεται ότι στις ελληνικές συνθήκες απαιτούνται περίπου 40 αλλαγές του αέρα του θερμοκηπίου, την ώρα. Το καλοκαίρι όμως, συχνά δεν επαρκούν τα ανοίγματα για τη μείωση της υψηλής θερμοκρασίας, οπότε είναι απαραίτητη η εφαρμογή δυναμικού εξαερισμού, σε συνδυασμό ίσως και με σύστημα δροσισμού.

Διάφορες τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση και την πρόβλεψη και των ρυθμών διαφυγής όπως η τεχνική ιχνηλάτισης (tracer), τα ενεργειακά ισοζύγια καθώς και μετρήσεις διαφορών πίεσης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Το ενεργειακό ισοζύγιο βασίζεται στην υπόθεση ότι ο εξαερισμός αφαιρεί ενέργεια μέσα από το θερμοκήπιο ως τρόπος πρόληψης υπερβολικά υψηλών θερμοκρασιών. Οι Fernandez & Bailey (1992), στη μελέτη τους προχώρησαν σε μια σύγκριση των αποτελεσμάτων του ενεργειακού ισοζυγίου και των τεχνικών ιχνηλάτισης (tracer gas). Η tracer gas έδειξε ακρίβεια σε σχέση με το ενεργειακό ισοζύγιο σε χαμηλούς ρυθμούς εξαερισμού. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια για ανοίγματα αερισμού περισσότερο από 20%. Η δυσκολία στην χρήση αυτής της μεθόδου είναι η ανάγκη μέτρησης ενός μεγάλου αριθμού μεταβλητών ενώ μια μόνο αμφίβολη μέτρηση μπορεί να έχει μεγάλη επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα.

Οι Fernandez & Bailey (1992), κατέδειξαν ότι η διεύθυνση του ανέμου δεν έχει ανιχνεύσιμη επίδραση στον ρυθμό του εξαερισμού. Ένας παράγοντας επίσης που έμμεσα επηρεάζει τον ρυθμό εξαερισμού είναι η ηλιακή ακτινοβολία, διότι είναι ένα σημαντικό συστατικό του ενεργειακού ισοζυγίου. Όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι υψηλή, η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου αυξάνει και ο ρυθμός αερισμού αυξάνει ως αποτέλεσμα του ισχυρότερου φαινομένου της θερμικής άνωσης. Άρα σε περιοχές που ο άνεμος δεν είναι τόσο δυνατός, η διαφορά στην θερμοκρασία είναι περισσότερο σημαντική στον φυσικό αερισμό των θερμοκηπίων.

Η ροή αέρα μέσω ανοίγματος οφείλεται στην διαφορά πίεσης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος. Οι Boulard et al (1996), Papadakis et al (1996), Kittas et al, (1996) μέτρησαν διαφορές πίεσης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος σε διάφορα θερμοκήπια για να ταυτοποιήσουν τους συντελεστές πίεσης του ανέμου και τις μεταβολές του σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του ανέμου. Οι Kittas et al (1996) έχουν αποδείξει, ότι ο ρυθμός αερισμού του επαγόμενου ανέμου μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση ενός συντελεστή πίεσης ανέμου C_w . Οι Boulard et al (1996) σε συγκριτικές μετρήσεις των διαφορών πίεσης με τις tracer gas τεχνικές επιβεβαίωσαν ότι οι τεχνικές αυτές μπορεί να μην επιτρέπουν τον καθορισμό πραγματικής ροής αλλά χαρακτηρίζουν την αποτελεσματική ροή μέσω των ανοιγμάτων.

7.2 Δυναμικός αερισμός.

Τα περισσότερα θερμοκήπια στις περιοχές της Μεσογείου δροσίζονται κυρίως με φυσικό αερισμό. Ο συγκεκριμένος όμως τρόπος αερισμού είναι αποτελεσματικός στις περιπτώσεις ανεμόπτωσης καθώς και όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος δεν υπερβαίνει τους 30°C , υπό την αίρεση ότι τα ανοίγματα στις πλευρές και την οροφή είναι αρκετά σε αριθμό και επιφάνεια. Κατά τους Baille (1988) και El-Aidy (1991) τους καλοκαιρινούς μήνες και σε συνθήκες άπνοιας ο φυσικός αερισμός δεν είναι επαρκής.



Ο δυναμικός αερισμός με ανανέωση του αέρα του θερμοκηπίου ανά λεπτό είναι πιο αποτελεσματικός στον δροσισμό των θερμοκηπίων. Όταν ο εξωτερικός αέρας είναι πολύ κρύος (χειμώνας) ή πολύ ξηρός (καλοκαίρι) τα φυτά στο θερμοκήπιο υποφέρουν (Triti et al, 1984). Το κόστος του εξοπλισμού και η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται εμποδίζουν την εκτεταμένη εφαρμογή του δυναμικού εξαερισμού στα θερμοκήπια (Baille, 1988), η οποία σε περιοχές όπως η χώρα μας κρίνεται απαραίτητη

Με τον δυναμικό αερισμό είναι δυνατόν να επιτευχθούν ρυθμοί ανανέωσης του αέρα μεγαλύτεροι των 40 ανά ώρα (h^{-1}) κάτι που δεν επιτυγχάνεται με τα συστήματα φυσικού αερισμού. Για το λόγο αυτό γίνεται χρήση ανεμιστήρων που τοποθετούνται στο τοίχωμα του θερμοκηπίου. Ιδιαίτερα στις θερμές περιοχές, όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή, για να επιτευχθεί μια διαφορά θερμοκρασιών μέσα-έξω $6^{\circ}C$, απαιτούνται 60 αλλαγές του αέρα την ώρα. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί μόνο με μηχανικά μέσα, δεδομένου ότι συχνά επικρατούν και χαμηλές ταχύτητες ανέμων. Είναι γνωστό ότι όταν το ποσοστό ανοιγμάτων φυσικού αερισμού ξεπερνά το 30% η επίδραση του αερισμού στην διάφορα θερμοκρασίας (ΔT) καθίσταται αμελητέα (Kittas et al, 1997) .

Με την τοποθέτηση ηλεκτροκίνητων ανεμιστήρων ή εξαεριστήρων, ο αέρας του θερμοκηπίου μπορεί ανανεώνεται ανεξάρτητα από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος. Οι εξαεριστήρες απορροφούν αέρα από το περιβάλλον εκτός του θερμοκηπίου και τον διοχετεύουν στον εσωτερικό, απωθώντας τον αέρα που πρέπει να ανανεωθεί (εξαερισμός με υπερπίεση). Συνηθέστερα όμως απομακρύνουν τον αέρα από το εσωτερικό του θερμοκηπίου προς το εξωτερικό, δημιουργώντας υποπίεση, οπότε φρέσκος αέρας εισέρχεται από τα παράθυρα που βρίσκονται στην απέναντι πλευρά. Λεπτομέρειες για τον τύπο και την τοποθέτηση και τον χρόνο λειτουργίας των ανεμιστήρων ανάλογα με τις απαιτήσεις του θερμοκηπίου σε εξαερισμό τις διαφορές εποχές του έτους, δίδονται στην βιβλιογραφία (Μαυρογιαννόπουλος, 2001, Γραφιαδέλλης, 1987).

Μια τυπική εγκατάσταση δυναμικού εξαερισμού απαιτεί ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας 15-50 MJm² κι ισχύ 5-15 W/m² ανάλογα με τον τύπο του εξαεριστήρα. Περισσότερες από 60 αλλαγές θεωρούνται αντιοικονομικές, για το λόγο αυτό αν απαιτείται μεγαλύτερη μείωση της θερμοκρασίας το θερμοκήπιο πρέπει να σκιάζεται, ή να τοποθετείται σύστημα δροσισμού με εξάτμιση νερού. Οι απαιτήσεις σε εξαερισμό, για τον έλεγχο της θερμοκρασίας, επηρεάζονται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, τη μέγιστη ανεκτή θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο και το μέγεθος του θερμοκηπίου. Ο ρυθμός εξαερισμού, για να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη θερμοκρασία εξαρτάται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία, από την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα, την εξατμισοδιαπνοή στο χώρο του θερμοκηπίου και από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής.

Τα θερμοκήπια με δυναμικό εξαερισμού παρέχουν ικανοποιητική ανανέωση του αέρα στο χώρο του θερμοκηπίου, ακόμα και σε περιπτώσεις άπνοιας και συχνά είναι η μόνη λύση σε θερμοκήπια όπου είναι τεχνικά και οικονομικά δύσκολη η κατασκευή σωστού συστήματος παθητικού εξαερισμού. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα είναι επίσης το γεγονός ότι με μικρές προσθήκες μπορεί να λειτουργήσει σύστημα δροσισμού που θα βοηθήσει ώστε η θερμοκρασία του χώρου να μειωθεί σε επίπεδα και κάτω της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα.

Το βασικό του μειονέκτημα είναι ότι καταναλώνει σημαντική ποσότητα ενέργειας το καλοκαίρι και φυσικά ότι το θερμοκήπιο πρέπει να βρίσκεται σε περιοχή με παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας σημαντικός κίνδυνος είναι και το ενδεχόμενο να καταστραφεί η φυτεία, αν το σύστημα υποστεί μια ξαφνική βλάβη που δεν μπορεί να επισκευαστεί εύκολα (Μαυρογιαννόπουλος 2001, Γραφιαδέλλης 1987).

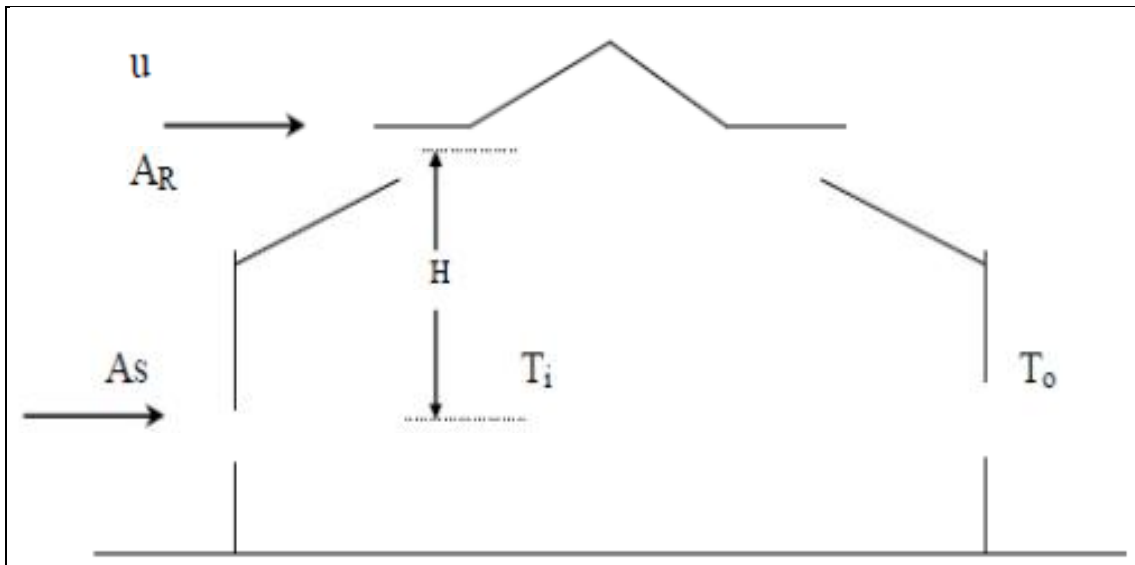


7.3 Κρίσιμοι παράμετροι αερισμού.

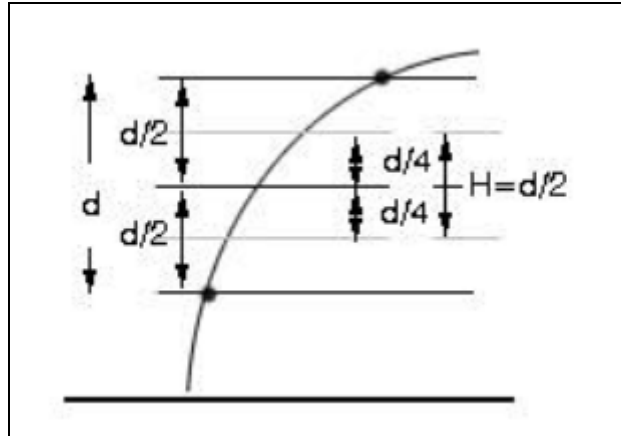
Ο αερισμός ενός θερμοκηπίου γενικά χαρακτηρίζεται με βάση το ποσοστό ωριαίας ανανεώσεως R , δηλαδή πόσες φορές ο όγκος του θερμοκηπίου ανανεώνεται σε μια ώρα (h^{-1}). Προτιμάται συχνά η έκφραση του αερισμού ως ροή όγκου αέρος ή μάζα αέρος που αντιστοιχεί στην επιφάνεια του ανοίγματος ή στην επιφάνεια του θερμοκηπίου. Η μονάδα που χρησιμοποιείται κατά αυτή την έννοια είναι το $m^3/m^2 \cdot s$ ή το $kg/m^2 \cdot s$. Σε ένα θερμοκήπιο που διαθέτει ανοίγματα οροφής και πλαϊνά (Σχήμα 6.1) η ροή αέρα μέσω ενός ανοίγματος προκαλείται από τον συνδυασμό των διαφορών πίεσης που δημιουργούνται

- ∅ λόγω των δυνάμεων άνωσης που οφείλονται σε διαφορές θερμοκρασίες (φαινόμενο καμινάδας) και
- ∅ λόγω της ταχύτητας του ανέμου.

Ειδικότερα στο Σχ. 6.1 απεικονίζεται ένα σκαρίφημα αμφικλινούς τύπου θερμοκηπίου στο οποίο αποδίδονται ανοίγματα τόσο στην οροφή όσο και στις πλευρές του. Στην περίπτωση που δημιουργούνται ανοίγματα μόνο στις πλευρές, αυτά θα πρέπει να τοποθετούνται σε συγκεκριμένα ύψη όπως φαίνεται στο Σχ. 6.2 όπου παρουσιάζονται ανοίγματα για ένα τοξωτό τύπο θερμοκηπίου. Θα πρέπει να σημειωθεί πάντως ότι και στις δύο περιπτώσεις τα ανοίγματα που δίνονται στους δύο τύπος θερμοκηπίων αναφέρονται σε φυσικό αερισμό.



Σχήμα 6.1 Μορφές ανοιγμάτων για τον φυσικό αερισμό του θερμοκηπίου (πλαϊνά ανοίγματα – ανοίγματα οροφής).



Σχήμα 6.2 Μορφές ανοιγμάτων για τον φυσικό αερισμό του θερμοκηπίου τοξωτού τύπου με μόνο πλαϊνά ανοίγματα.

Στην περίπτωση αυτή αποδεικνύεται ότι η παροχή αερισμού δίνεται από την σχέση (Kittas et al., 1997):

$$Q = C_d \times \left[\left(\frac{A_R \times A_s}{\sqrt{A_R^2 + A_s^2}} \right)^2 \times \left(2 \times g \times \frac{T_o - T_i}{T_o} \times H \right) + \left(\frac{A_T}{2} \right)^2 \times C_w \times u^2 \right]^{1/2} \quad (6.1)$$

- όπου: Q η παροχή αερισμού σε m³ /s,
 C_d ο συντελεστής αποφόρτισης,
 A_R η επιφάνεια ανοιγμάτων οροφής σε m²,
 A_s η επιφάνεια πλαϊνών ανοιγμάτων σε m²,
 g η επιτάχυνση της βαρύτητας, λαμβάνεται g = 9,81 m/s²,
 T_o η θερμοκρασία εξωτερικού αέρα σε ⁰K,
 T_i η θερμοκρασία εσωτερικού αέρα σε ⁰K,
 H είναι η υψομετρική διαφορά μεταξύ των ανοιγμάτων οροφής και πλευρών σε m. Στην περίπτωση που υπάρχει μόνο μία σειρά ανοιγμάτων στις πλευρές (π.χ. τοξωτά θερμοκήπια), τότε το H ισούται με d/2, όπου d είναι το ύψος του ανοίγματος (Σχήμα 6.2.),
 A_T η συνολική επιφάνεια ανοιγμάτων σε m²,
 C_w ο ολικός συντελεστής ανεμοπίεσης,
 u η ταχύτητα του ανέμου m/s.

Στην περίπτωση κατά την οποία οι επιφάνειες των ανοιγμάτων οροφής και των πλαϊνών ανοιγμάτων είναι ίδιες η σχέση 6.1 γράφεται:

$$Q = \frac{A_T}{2} \times C_d \times \left[g \times \frac{T_o - T_i}{T_o} \times h + C_w \times u^2 \right]^{1/2} \quad (6.2)$$

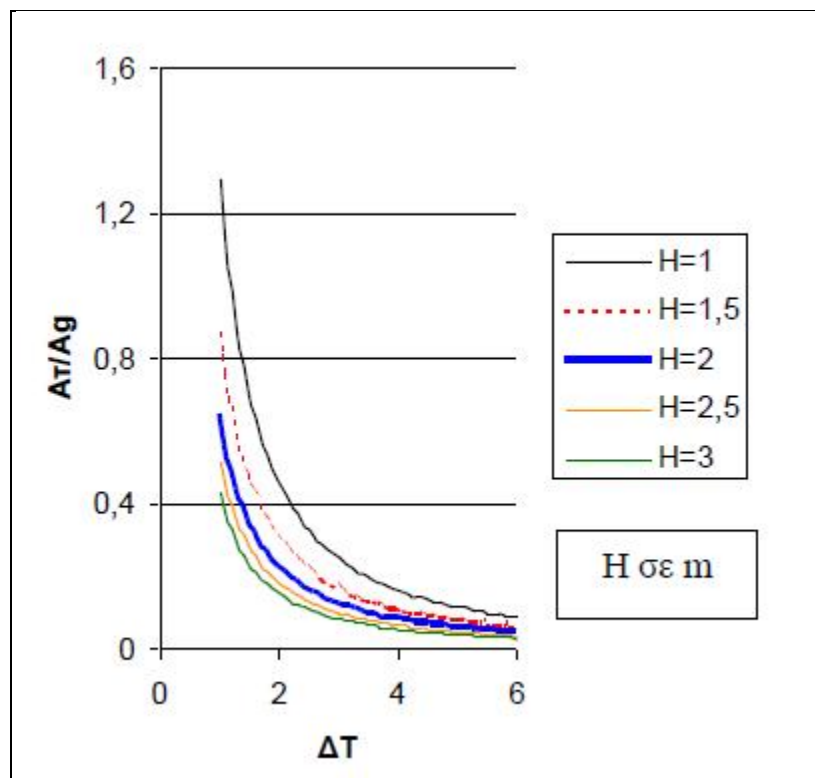
Στη σχέση (6.2) ο πρώτος όρος εντός της αγκύλης αφορά τη ροή αερισμού λόγω του φαινομένου της καμινάδας και ο δεύτερος όρος τη ροή αερισμού λόγω των δυνάμεων της ταχύτητας του ανέμου. Αποδεικνύεται ότι όταν ο λόγος $u/\Delta T$ γίνεται μεγαλύτερος του 1 το



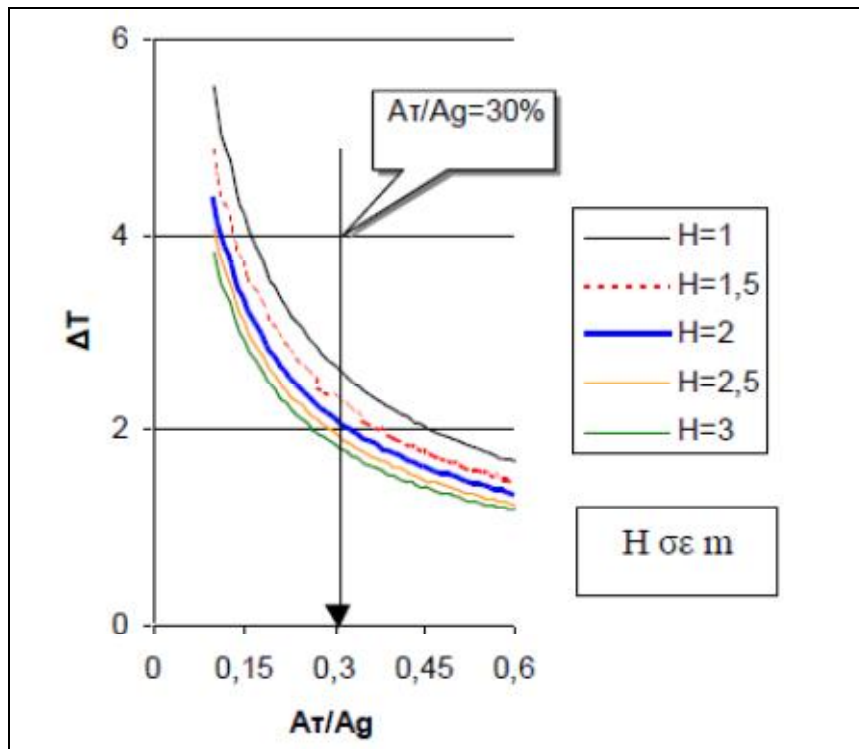
φαινόμενο της καμινάδας μπορεί να αγνοηθεί. Επίσης ο συντελεστής C_w είναι ένας ολικός συντελεστής ταχύτητας ανέμου και περιλαμβάνει τη δράση της μέσης συνιστώσας της ταχύτητας του ανέμου καθώς και τη δράση της τυρβώδους κίνησης του αέρα.

Στη χώρα μας τα περισσότερα θερμοκήπια εξαερίζονται με φυσικό τρόπο. Ο φυσικός εξαερισμός, για να λειτουργήσει ικανοποιητικά έχει ανάγκη από μεγάλα ανοίγματα, τα οποία πρέπει να τοποθετηθούν στις κατάλληλες θέσεις στο θερμοκήπιο.

Ένα στενόμακρο θερμοκήπιο, με πλάτος που δεν υπερβαίνει τα 10m, είναι δυνατό να βασίζεται τον αερισμό του σε πλευρικά μόνο ανοίγματα. Όσο όμως το πλάτος του θερμοκηπίου είναι μεγαλύτερο, τόσο ανεπαρκής αποδεικνύεται ο εγκάρσιος αερισμός με πλευρικά μόνο ανοίγματα και επομένως απαιτούνται πρόσθετα ανοίγματα οροφής. Πολλές φορές, ακόμη και σε όχι μεγάλου πλάτους θερμοκήπια, ο αερισμός με πλευρικά μόνο ανοίγματα αποδεικνύεται ανεπαρκής όταν καλλιεργούνται μεγάλου ύψους φυτά που αυξάνουν την αντίσταση ροής του αέρα. Πολύ συχνά τα πρόσθετα ανοίγματα οροφής αποδεικνύονται σωτήρια, διότι τις ημέρες με άπνοια βοηθούν να λειτουργήσει σωστά ο αερισμός που βασίζεται στις διαφορές θερμοκρασίας. Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το έδαφος και τα φυτά, ο αέρας που βρίσκεται σε επαφή με αυτά θερμαίνεται, γίνεται ελαφρότερος και ανέρχεται. Έτσι, με ανοίγματα αερισμού στην οροφή και στις πλευρές υπάρχει ικανοποιητικός εξαερισμός. Ο ψυχρότερος και βαρύτερος εξωτερικός αέρας εισέρχεται από τα κατώτερα πλευρικά ανοίγματα και ο θερμότερος, άρα και ελαφρότερος αέρας, εξέρχεται από τα υψηλότερα ανοίγματα.



Σχήμα 6.3. Μεταβολή της επιτυγχανομένης διαφοράς θερμοκρασίας ΔT σε συνάρτηση με την επιφάνεια των ανοιγμάτων φυσικού αερισμού (για $R_0=842W/m^2$).



Σχήμα 6.4. Μεταβολή της απαιτούμενης επιφάνειας ανοιγμάτων για την επίτευξη της επιθυμητής διαφοράς θερμοκρασίας ΔT σε συνάρτηση με την το ύψος H (για $R_0=842\text{W/m}^2$).

Τα ανοίγματα εξαερισμού για να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα με το φυσικό εξαερισμό, πρέπει να είναι μεγάλης επιφάνειας, αλλά και ρυθμιζόμενα, ώστε να επιτρέπουν μικρότερες παροχές όταν δεν απαιτείται μεγάλη παροχή εξαερισμού. Ο αυτοματισμός εδώ είναι απαραίτητος, διότι οι απαιτήσεις σε εξαερισμό διαρκώς μεταβάλλονται, ιδίως την άνοιξη και το φθινόπωρο. Υψηλότερος εξαερισμός από τον απαιτούμενο την ψυχρή περίοδο έχει ως αποτέλεσμα μεγάλες απώλειες ενέργειας ή χαμηλότερη από την επιθυμητή θερμοκρασία στο θερμοκήπιο.

7.4 Μηχανισμοί των ανοιγμάτων.

Η ροή του αέρα στον παθητικό εξαερισμό ρυθμίζεται με τη αυξομείωση της έκτασης των ανοιγμάτων εξαερισμού (παράθυρα). Τα παράθυρα κατασκευάζονται συνήθως συνεχόμενα κατά μήκος των κατακόρυφων πλευρών και της οροφής. Η προσαρμογή του παραθύρου στον σκελετό γίνεται από την επάνω πλευρά και είναι αρθρωτή. Το άνοιγμα και το κλείσιμο των παραθύρων οροφής γίνεται μέσω οδοντωτών, ή σπαστών βραχιόνων. Οι βραχιόνες αυτοί συγκρατούν την κάτω πλευρά του παραθύρου καθ' όλο το μήκος του και συνδέονται μεταξύ τους με ένα σωληνωτό άξονα, έτσι ώστε με την περιστροφή αυτού του άξονα να μετακινούνται όλοι οι βραχιόνες μαζί και να ανοίγουν ή να κλείνουν το παράθυρο. Η περιστροφή του άξονα μπορεί να γίνεται με χειροκίνητο μηχανισμό ή με ηλεκτροκινητήρα δεξιόστροφο και αριστερόστροφο, στον οποίο έχει παρεμβληθεί μειωτήρας στροφών. Στους ηλεκτροκίνητους μηχανισμούς η εντολή για το άνοιγμα ή το κλείσιμο δίνεται με χειροκίνητο διακόπτη ή με θερμοστάτη χώρου, υπάρχει όμως πάντα η δυνατότητα ανοίγματος με το χέρι στην περίπτωση που θα υπάρξει διακοπή ηλεκτρικής ενέργειας.



Τα παράθυρα των κατακόρυφων πλευρών στα υαλόφρακτα θερμοκήπια και σε μερικά πλαστικής κάλυψης έχουν την ίδια κατασκευή όπως και της οροφής. Στα περισσότερα όμως πλαστικής κάλυψης θερμοκήπια με φύλλο πολυαιθυλενίου είναι πολύ απλούστερη. Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει σκελετός παραθύρου, αλλά το πλαστικό φύλλο που καλύπτει το άνοιγμα συγκρατείται σταθερά στο σκελετό από την επάνω πλευρά, ενώ στην κάτω πλευρά τυλίγεται μέχρις ενός σημείου σε ανεξάρτητο από τον σκελετό σωλήνα $1/2''$. Στη μια άκρη του σωλήνα προσαρμόζεται μανιβέλα, έτσι ώστε, περιστρέφοντας τη μανιβέλα, το πλαστικό να τυλίγεται στο σωλήνα. Με το τύλιγμα του πλαστικού στο σωλήνα, αυτός μετακινείται προς τα επάνω και αφήνει ανοικτό το άνοιγμα του εξαερισμού. Με αντίθετη περιστροφή το ξανακλείνει. Η περιστροφή και εδώ μπορεί να γίνει με ηλεκτροκινητήρα που παίρνει εντολή από θερμοστάτη και χειροκίνητα, όπως γίνεται συνηθέστερα.

7.5 Κατανομή και έκταση των ανοιγμάτων

Τα ανοίγματα εξαερισμού, αφ' ενός μεν πρέπει να εξασφαλίζουν τον απαιτούμενο εξαερισμό κάθε φορά, αφ' ετέρου να τον κατανέμουν ομοιόμορφα μέσα στο θερμοκήπιο. Αυτό επιτυγχάνεται με το κατάλληλο μέγεθος των ανοιγμάτων αερισμού, αλλά και με τη σωστή θέση των ανοιγμάτων, ώστε να είναι ομοιόμορφα και συμμετρικά κατανομημένα κατά μήκος του θερμοκηπίου. Η επιφάνεια εξαερισμού του θερμοκηπίου, που υπολογίζεται από τη σχέση

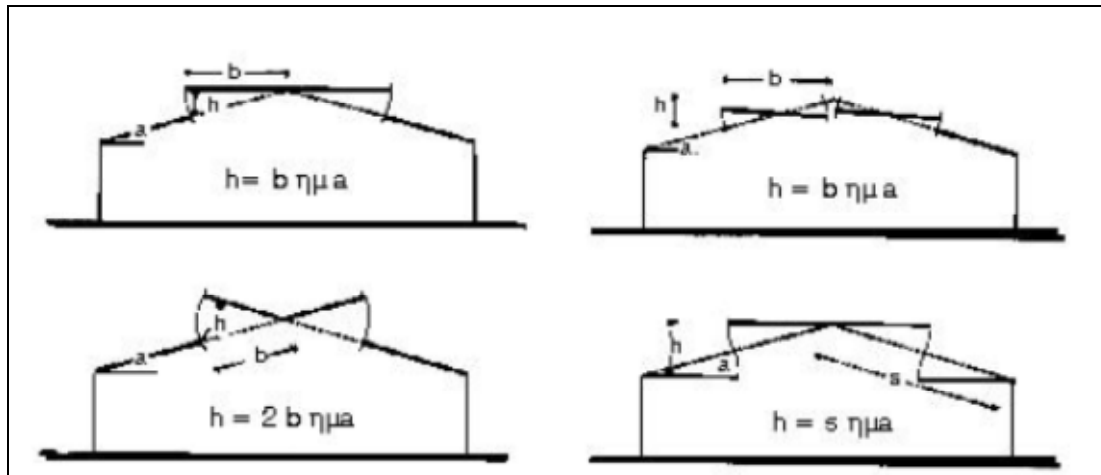
$$A_T = N \times L \times h \quad (m^2) \quad (6.4.1)$$

όπου: A_T είναι η μέγιστη επιφάνεια ανοιγμάτων εξαερισμού σε m^2 ,
 N είναι ο αριθμός των ανοιγμάτων,
 L είναι το μήκος του ανοίγματος σε m ,
 h είναι το μέγιστο πραγματικό ύψος του ανοίγματος.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι το μέγιστο πραγματικό ύψος του ανοίγματος δεν είναι πάντα αυτό που αντιστοιχεί στο πλάτος του παραθύρου ως κατασκευή, αλλά προσδιορίζεται από την κάθετο που φέρεται από το χείλος του ανοίγματος στο σκελετό προς την επιφάνεια του παραθύρου όταν βρίσκεται στο μέγιστο του ανοίγματός του σε m . Για τοξωτά θερμοκήπια συνήθως $h = d$ (Σχήμα 6.5).

Η ελάχιστη σχετική επιφάνεια ανοιγμάτων εξαερισμού που θα πρέπει να διαθέτει ένα θερμοκήπιο είναι συνάρτηση των κλιματικών συνθηκών της περιοχής, καθώς και του είδους των φυτών που θα καλλιεργηθούν. Υπολογίζεται ότι κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του φθινοπώρου στη βορειοδυτική Ελλάδα, η έκταση των ανοιγμάτων θα πρέπει να επιτρέπει περισσότερες από 40 εναλλαγές του αέρα την ώρα. Σε σχέση με την κατανομή των ανοιγμάτων, τα ανοίγματα οροφής να είναι περίπου το 80% των συνολικών ανοιγμάτων.

Κατά τους χειμερινούς μήνες η θερμοκρασία του θερμοκηπίου μπορεί να ρυθμιστεί και πρέπει να ρυθμίζεται με μόνο τα ανοίγματα εξαερισμού της οροφής. Τα ανοίγματα των πλευρών αυτή την εποχή έχουν αποτέλεσμα την εισαγωγή ψυχρού αέρα αμέσως στη ζώνη των φυτών, με δυσμενή αποτελέσματα γι' αυτά. Αυτή η επισήμανση πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη από τον αγροτικό πληθυσμό ο οποίος ως πιο πρόσφορη λύση βρίσκουν τη λειτουργία πλευρικών ανοιγμάτων, θέτοντας όμως έτσι σε κίνδυνο την ορθή και γρήγορη ανάπτυξη των φυτών και επομένως και τη μετέπειτα παραγωγή και συγκομιδή.



Σχήμα 6.5 Ανοίγματα εξαερισμού ορφής και υπολογισμός των διαστάσεων ανοιγμάτων.

Εδώ από κάτω πετάμε υλικό από την Καυγά και μετά θα δούμε πως θα το διαμορφώσουμε καλύτερα. Πάμε





8 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Το υπό μελέτη θερμοκήπιο βρίσκεται στην περιοχή Κυλήνης (Λυγιά Βαρθολομιού) του νομού Ηλείας και είναι τοξωτό. Η καλυπτόμενη επιφάνεια εδάφους είναι $85 \times 25 \text{ m}^2$. (Μήκος \times Πλάτος). Το ύψος δε φθάνει στα 3.6m (2.20+1.4). Στο συγκεκριμένο θερμοκήπιο θα γίνει καλλιέργεια φασολιού τους μήνες Νοέμβριο έως και Ιανουάριο οπότε και αναμένεται η ωρίμανση και συγκομιδή. Μια άποψη της θέσης δίνεται στην παρακάτω εικόνα. 5.

Λόγω ακριβώς της χειμερινής εποχικής καλλιέργειας, απαιτείται αρχικά η μελέτη θέρμανσης του θερμοκηπίου προκειμένου να εκτιμηθούν οι θερμικές ανάγκες και στη συνέχεια θα γίνει επιλογή του οικονομικότερου τρόπου κάλυψης των θερμικών αναγκών.

Ο υπολογισμός των θερμικών αναγκών γίνεται με τη μέθοδο ενεργειακού ισοζυγίου (Θεοχάρης 2000). Αναλυτικότερα η μέθοδος έχει περιγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο οπότε στο κεφάλαιο αυτό θα γίνουν οι υπολογισμοί για τη συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης.



Εικόνα 5: Άποψη της υπό μελέτης περίπτωσης.

8.1 Υπολογισμός παραμέτρων.

Για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών απαιτούνται τα προκαταρκτικά στοιχεία της μελέτης που αναφέρονται σε μετεωρολογικά, γεωμετρικά και κλιματολογικά δεδομένα. Αναλυτικότερα για το κάθε είδος δεδομένων ακολουθούν οι υπολογισμοί.

8.1.1 Υπολογισμός μετεωρολογικών παραμέτρων.

$$\emptyset \quad \text{Γεωγραφικό Πλάτος: } j = 37^{\circ}40' = \frac{\pi}{\xi} 37^{\circ} + \frac{40}{60} \frac{\pi}{\xi} = 37.67^{\circ} \quad (\text{Πίνακας 8.2})$$

$$\emptyset \quad \text{Χαρακτηριστική ημέρα (I)} \quad \begin{array}{ll} \text{Νοεμβρίου} & I_N = 318 \\ \text{Δεκεμβρίου} & I_{\Delta} = 344 \\ \text{Ιανουαρίου} & I_A = 017 \end{array} \quad (\text{Πίνακας 8.3})$$



Ø Μέση μηνιαία μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία T_{max} T_{min} . (Πίνακας 8.4)

Στη συνέχεια υπολογίζονται για κάθε μήνα της καλλιέργειας οι θερμοκρασίες T_{max} , T_{min} όπου: T_{max} είναι η μέση μηνιαία μέγιστη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος ($^{\circ}\text{C}$)

T_{min} είναι η μέση μηνιαία ελάχιστη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος ($^{\circ}\text{C}$).

Τα T_{min} και T_{max} προκύπτουν από ημιτονοειδείς συναρτήσεις της μορφής:

$$T_i(j) = A_i + B_i \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{365} \cdot t - F_i\right) \quad (4.8)$$

όπου ο δείκτης j δηλώνει τη μέση μέγιστη (mean – max) ή τη μέση ελάχιστη (mean – min) θερμοκρασία ημέρας. Οι ποσότητες A_i , B_i , εκφράζονται σε $^{\circ}\text{C}$ και F_i σε μοίρες είναι σταθερές για κάθε πόλη και λαμβάνονται από τον Πίνακα 8.4. Έτσι υπολογίζονται μέγιστες και ελάχιστες μέσες θερμοκρασίες εξωτερικού περιβάλλοντος για κάθε μήνα καλλιέργειας.

Συντελεστές	mean – min	mean – max	Χαρακτηριστική. Μέρα (I)	T_{max} ($^{\circ}\text{C}$)	T_{min} ($^{\circ}\text{C}$)
$A_i =$	12.094	22.597	NOE => 318	20.76	10.61
$B_i =$	-6.676	-8.272	ΔΕΚ => 344	17.45	7.94
$F_i =$	-60.196	-59.155	ΙΑΝ => 017	14.57	5.62

Ø Μηνιαία ηλιοφάνεια D_s (h)

(Πίνακας 8.6)

Για την περιοχή του Πύργου λαμβάνονται τιμές μέσης πραγματικής μηνιαίας ηλιοφάνειας για

Νοέμβριο $D_s = 176.5$ h,

Δεκέμβριο $D_s = 146.5$ h,

Ιανουάριο $D_s = 148.1$ h.

Ø Σχετική υγρασία εξωτερικού περιβάλλοντος (RH_0)

(Πίνακας 8.7)

Για την περιοχή του Πύργου προκύπτει $RH_0 = 78\%$.

Υπενθυμίζεται ότι η σχετική υγρασία για το εσωτερικό του θερμοκηπίου τίθεται $RH_i = 75\%$.

8.1.2 Υπολογισμός γεωμετρικών και κλιματολογικών παραμέτρων.

Ø Υπολογισμός επιφανειών και όγκου του θερμοκηπίου.

Στο σημείο αυτό υπολογίζονται αρχικά η επιφάνεια του εδάφους που καλύπτει το θερμοκήπιο (A_g) καθώς και η επιφάνεια του καλύμματος (A_c) σε m^2 . Επίσης υπολογίζεται ο όγκος του θερμοκηπίου.

$$A_g = (25\text{m}) (85\text{m}) = 2125 \text{ m}^2.$$

$$A_c = 5 \times (6\text{m}) \times (85\text{m}) + 2 \times (2.2\text{m} \times 85\text{m}) + 2 \times (2.2\text{m} \times 25\text{m}) = 2550\text{m}^2 + 374\text{m}^2 + 110\text{m}^2 \Rightarrow A_c = 3034\text{m}^2$$

$$V_0 = (25\text{m}) \times (85\text{m}) \times (2.2\text{m}) + \frac{\pi (2.5\text{m})^2}{2} \times (85\text{m}) = (4675 + 834.5)\text{m}^3 \Rightarrow V_0 = 5509\text{m}^3$$

Ø Υπολογισμός συντελεστών καλύμματος – εδάφους, καλύμματος – ουρανού (f_{cg} , f_{cs}).

Οι παραπάνω συντελεστές υπολογίζονται από τις σχέσεις (4,14), (4,15) όπως παρακάτω:



$$f_{cs} = \frac{1+b}{2} = \frac{1 + \frac{A_g}{A_c}}{2} = \frac{A_c + A_g}{2' A_c} \quad (4.14)$$

$$f_{cg} = 1 - f_{cs} \quad (4.15)$$

$$f_{cs} = \frac{A_c + A_g}{2' A_c} = \frac{3034 + 2125}{2 \times 3034} \Rightarrow f_{cs} = 0.85$$

$$f_{cg} = 1 - f_{cs} = 1 - 0.85 \Rightarrow f_{cg} = 0.15$$

Ø Υπολογισμός απόκλισης της γης.

Η απόκλιση της γης σε μοίρες (δ) υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$d = 23.45^\circ \cdot \sin \left(\frac{360}{365} \cdot (284 + I) \right) \quad (4.7)$$

όπου I είναι ο αύξων αριθμός της ημέρας του έτους $1 < I < 365$ (Πίνακας 8.3).

Έτσι υπολογίζεται η απόκλιση για κάθε έναν από τους μήνες καλλιέργειας δηλ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1: ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ

Μήνες	Χαρακτηριστική μέρα (l)	Απόκλιση (δ)	Διάρκεια ημέρας DL (h)	Μηνιαία διάρκεια ημέρας D_d (h)	Διάρκεια νύκτας NL (h)	Μηνιαία διάρκεια νύκτας D_N (h)
NOE	318	-18.912	9.95	298.5	14.05	421.5
ΔΕΚ	344	-23.051	9.44	292.6	14.56	451.4
ΙΑΝ	017	-20.917	9.71	301.1	14.29	443.0

Ø Υπολογισμός διάρκειας ημέρας - νύκτας σε ώρες (h)

Η διάρκεια της ημέρας υπολογίζεται από τη σχέση

$$DL = \frac{2}{15} \cdot \sin^{-1}(-\sin \varphi \cdot \sin \delta) \quad (4.6)$$

όπου

φ είναι το γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες που δίνεται στον Πίνακα 8.2.(Παράρτημα),

δ είναι η απόκλιση της γης σε μοίρες, που έχει υπολογιστεί νωρίτερα.

Προφανώς η διάρκεια της ημέρας μεταβάλλεται ανάλογα με τους μήνες της καλλιεργητικής περιόδου οπότε υπολογίζονται τιμές DL για κάθε μήνα της καλλιέργειας. Στη συνέχεια υπολογίζεται η μηνιαία διάρκεια ημέρας ως $D_d = DL \times \text{αρ. ημερών μήνα}$. Υπολογίζεται ακόμα η διάρκεια της νύκτας ($NL = 24 - DL$) σε ώρες καθώς και η μηνιαία διάρκεια της νύκτας. Οι υπολογισμοί των μεγεθών βρίσκονται στον Πίνακα 6.1.

$$\text{Σε επόμενο βήμα υπολογίζεται ο λόγος } i = \frac{D_s}{D_d} \quad (4.11)$$

όπου

D_s η μηνιαία διάρκεια ηλιοφάνειας που προκύπτει από τον Πίνακα 8.6 (Παράρτημα) και



D_d η μηνιαία διάρκεια ημέρας που προκύπτει ως $D_d = DL \times$ αριθμό ημερών μήνα.

Λόγω του ότι η καλλιέργεια διαρκεί επί 3 μήνες υπολογίζονται δείκτες i για κάθε μήνα οπότε

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2: ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΗΜΕΡΑΣ ΚΑΙ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ

Μήνες	Διάρκεια ημέρας DL (h)	Μηνιαία διάρκεια ημέρας D_d (h)	Διάρκεια νύκτας NL (h)	Μηνιαία Διάρκεια νύκτας D_N (h)	Μηνιαία διάρκεια ηλιοφάνειας D_s (h)	$i = \frac{D_s}{D_d}$	K
ΝΟΕ	9.95	298.5	14.05	421.50	176.5	0.5913	0.389
ΔΕΚ	9.44	292.6	14.56	451.36	146.5	0.5006	0.401
ΙΑΝ	9.71	301.1	14.29	442.99	148.1	0.4920	0.395

Τέλος ο Συντελεστής νύκτας K υπολογίζεται από τη σχέση::

$$K = 0.05881 + 0.0235 \cdot NL \quad (4.4)$$

Ø Υπολογισμός κρίσιμων θερμοκρασιών

Υπενθυμίζεται ότι η θέρμανση είναι αναγκαία όταν για τη μέση θερμοκρασία νυκτός ισχύει η σχέση : $T_o < T_i$.

όπου:

T_o είναι η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος σε °C

T_i είναι η μέση επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού του θερμοκηπίου σε °C

Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι η θερμοκρασία T_i εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας και οι τιμές της δίνονται από τον Πίνακα 8.1 (Παράρτημα). Εκτιμάται ότι για την καλλιέργεια του φασολιού η μέση επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού του θερμοκηπίου $T_i = 17^\circ\text{C}$.

Η θερμοκρασία T_o προκύπτει από τη σχέση: $T_o = T_{\min} + K \cdot (T_{\max} - T_{\min})$ (4.3)

όπου:

T_{\min} είναι η μέση μηνιαία ελάχιστη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος σε °C

T_{\max} είναι μέση μηνιαία μέγιστη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος σε °C

Οι ως άνω θερμοκρασίες έχουν υπολογιστεί νωρίτερα επομένως υπολογίζεται και η κρίσιμη θερμοκρασία T_o .

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.3: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ-I

Χαρ. Μέρα (l)	T_{\max} (°C)	T_{\min} (°C)	K	T_o (°C)	T_g (°C)	$i = \frac{D_s}{D_d}$	T_s (°C)
ΝΟΕ => 318	20.76	10.61	0.389	14.56	14.56	0.5913	4.06
ΔΕΚ => 344	17.45	7.94	0.401	11.76	11.76	0.5006	2.25
ΙΑΝ => 017	14.57	5.62	0.395	9.15	9.15	0.4920	-0.26

Στη συνέχεια υπολογίζονται οι θερμοκρασίες



T_g, T_s, T_c που είναι οι θερμοκρασίες του εξωτερικού εδάφους, του ουρανού και του καλύμματος αντίστοιχα,

Γίνεται επίσης η παραδοχή ότι κατά τη διάρκεια της νύκτας για μετάδοση θερμότητας με μηχανισμό την ακτινοβολία θεωρείται ότι $T_g = T_o$.

Επίσης η θερμοκρασία του ουρανού T_s υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T_s = (T_o - 15)' i + (T_o - 4)' (1 - i) \quad (4.10)$$

Ø Μέση Ταχύτητα ανέμου (Πίνακας 8.5)

Από τον Πίνακα 8.5 προσεγγιστικά (τιμές για Καλαμάτα) προκύπτει ότι η μέση ταχύτητα ανέμου είναι για μήνα Νοέμβριο $u_{10} = 2.42$ m/s, $u = 0.85 \times u_{10} = 2.06$ m/s
 Δεκέμβριο $u_{10} = 2.78$ m/s, $u = 0.85 \times u_{10} = 2.36$ m/s
 Ιανουάριο $u_{10} = 2.88$ m/s, $u = 0.85 \times u_{10} = 2.45$ m/s

Ø Υπολογισμός θερμοκρασίας καλύμματος T_c .

Η θερμοκρασία καλύμματος T_c υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T_c = T_o + \frac{DT + 0.2' T_s - 3.72}{1.32 + 0.4' u^{0.8}} = T_o + \frac{(T_i - T_o) + 0.2' T_s - 3.72}{1.32 + 0.4' u^{0.8}} \quad (4.12)$$

όπου u είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου σε m/s για την οποία γίνεται η παραδοχή

$$u = 0.85 \times u_{10}, \quad (4.13)$$

όπου με u_{10} σημειώνεται η μέση ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και υπολογίζεται με τη βοήθεια του Πίνακα 8.5 (Παράρτημα).

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.4: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ-II

Χαρ. Μέρα (I)	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	K	T_o (°C)	T_g (°C)	T_s (°C)	T_i (°C)	T_c (°C)
ΝΟΕ => 318	20.76	10.61	0.389	14.6	14.6	4.1	17.0	15.3
ΔΕΚ => 344	17.45	7.94	0.401	11.8	11.8	2.3	17.0	13.6
ΙΑΝ => 017	14.57	5.62	0.395	9.2	9.2	-0.3	17.0	12.0

8.2 Εφαρμογή Μεθόδου Ενεργειακού Ισοζυγίου.

Με τη βοήθεια των παραπάνω δεδομένων κλιματολογικών – μετεωρολογικών και γεωμετρικών εφαρμόζεται στα επόμενα ο υπολογισμός των ενεργειακών απαιτήσεων του θερμοκηπίου. Το ενεργειακό ισοζύγιο για ένα θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της νύκτας δίνεται από τη σχέση:

$$Q_H = R_N + Q_{cc} + Q_v + LE + Q_s \quad (4.1)$$

όπου :

Q_H είναι η απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης σε W/m^2

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



- Q_{cc} είναι η αισθητή θερμότητα από μεταφορά και αγωγιμότητα μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος του σε W/m^2
- Q_v είναι η απώλεια θερμότητας εξ αιτίας της διείσδυσης του αέρα σε W/m^2
- LE είναι η λανθάνουσα θερμότητα λόγω εξάτμισης (ή συμπύκνωσης) σε W/m^2
- Q_s είναι η μεταφορά θερμότητας στο έδαφος W/m^2

Κατά τη διάρκεια της νύχτας, επειδή δεν συμβαίνει διαπνοή, είναι: $LE = 0$. Επίσης η Q_s είναι περίπου ίση με το 5% του συνόλου και για το λόγο αυτό θεωρείται αμελητέα. Επομένως η (4.1) απλοποιείται στην:

$$Q_H = R_N + Q_{cc} + Q_v \quad (4.2)$$

Στα επόμενα γίνεται ο αναλυτικός υπολογισμός κάθε ποσού ενέργειας.

8.2.1 Υπολογισμός R_N .

Με τον όρο R_N σημειώνεται η καθαρή ανταλλαγή ενέργειας με ακτινοβολία μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος αυτού σε W/m^2 . Πιο αναλυτική έκφραση για τον όρο δίνεται από τη σχέση:

$$R_N = - \frac{A_c}{A_g} \left[f_{cg} \cdot s \cdot T_g^4 + f_{cs} \cdot s \cdot T_s^4 - s \cdot T_c^4 \right] \quad (4.9)$$

όπου:

T_g, T_s, T_c που είναι οι θερμοκρασίες του εξωτερικού εδάφους, του ουρανού και του καλύμματος αντίστοιχα, οι οποίες διαφέρουν για κάθε μήνα καλλιέργειας και έχουν υπολογιστεί στον Πίνακα 6.4.

Υπενθυμίζεται ότι η σχέση (4.9) εφαρμόζεται για κάθε μήνα καλλιέργειας, επομένως επειδή η υπό μελέτη θερμοκηπιακή καλλιέργεια διαρκεί 3 μήνες οι όροι θα επαναλαμβάνονται αντίστοιχα 3 φορές δηλ. όσοι και οι μήνες.

$$R_N = - \frac{3034}{2125} \times 5.67 \times 10^{-8} \left\{ \begin{aligned} & \left[(0.15) \times (273+14.6)^4 + (0.85) \times (273+4.1)^4 - (273+15.3)^4 \right] + \\ & \left[(0.15) \times (273+11.8)^4 + (0.85) \times (273+2.3)^4 - (273+13.6)^4 \right] + \\ & \left[(0.15) \times (273+9.2)^4 + (0.85) \times (273-0.3)^4 - (273+12.0)^4 \right] \end{aligned} \right\}$$

$$R_N = (70.49 + 71.04 + 76.54) \text{ W/m}^2 \Rightarrow R_N = 218.1 \text{ W/m}^2$$

$$R_{NM} = R_N \times D_N = (70.49 \times 421.50 + 71.04 \times 451.36 + 76.54 \times 442.99) \text{ Wh/m}^2 \Rightarrow$$

$$R_{NM} = 95.68 \text{ kWh/m}^2 \text{ σε διάρκεια 3 μηνών.}$$

8.2.2 Υπολογισμός Q_{cc} .

Ως Q_{cc} νοείται η αισθητή θερμότητα από μεταφορά και αγωγιμότητα μεταξύ του θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος του σε W/m^2 . Πιο αναλυτικά η συγκεκριμένη ποσότητα

δίνεται από τη σχέση: $Q_{cc} = \frac{A_c}{A_g} \cdot U \cdot (T_i - T_o)$ όπου $U = \frac{5.8u + 9.16}{u + 3.2}$ (W/m^2)



ΠΙΝΑΚΑΣ 6.5: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Χαρ. Μέρα (I)	u(m/s)	U	T _i (°C)	T _o (°C)	Q _{cc} (W/m ²)	D _N (h)	Q _{ccM} (kWh/m ²)
NOE => 318	2.06	4.01	17	14.6	14.0	421.50	5.9
ΔΕΚ => 344	2.36	4.11	17	11.8	30.8	451.36	13.9
ΙΑΝ => 017	2.45	4.14	17	9.2	46.4	442.99	20.5
Suma					91.1		40.3

Επομένως $Q_{ccNM} = 40.3 \text{ kWh/m}^2$

8.2.3 Υπολογισμός Q_v.

Η συγκεκριμένη ποσότητα εκφράζει την απώλεια θερμότητας λόγω διείσδυσης του αέρα σε W/m². Πιο αναλυτικά περιγράφεται από τη σχέση:

$$Q_n = R \cdot \frac{V_0}{A_g} \cdot \rho \cdot (H_i - H_o) \quad (4.18)$$

όπου:

Ø R είναι οι ανανεώσεις του αέρα την ώρα σε 1/h. Το R δίνεται από τη σχέση:

$$R = 0.7 + 0.5u \quad (4.19)$$

Ø V₀ είναι ο όγκος του θερμοκηπίου σε m³, ρ είναι η πυκνότητα του αέρα η οποία λαμβάνεται ίση με 1.25 kg/m³.

Ø H_i, H_o είναι η ενθαλπίες του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα αντίστοιχα σε J/Kg. Οι ενθαλπίες υπολογίζονται με τη βοήθεια του ψυχομετρικού χάρτη και πιο συγκεκριμένα:

Ø η H_o υπολογίζεται συναρτήσει της T_o και της σχετικής υγρασίας RH_o ενώ

Ø η H_i, υπολογίζεται συναρτήσει της T_i και της σχετικής υγρασίας RH_i.

Η εξωτερική σχετική υγρασία RH_o δίνεται στον Πίνακα 8.7 (Παράρτημα) ενώ η εσωτερική σχετική υγρασία RH_i σε μια τυπική μελέτη λαμβάνεται ίση με 90%. Επομένως για την ενθαλία του εσωτερικού αέρα με δεδομένη την επιθυμητή θερμοκρασία και υγρασία υπολογίστηκε από Ψυχομετρικό Χάρτη H_i = 58 kJ/kg. Με βάση τα παραπάνω για τον υπολογισμό των απωλειών θερμότητας λόγω διείσδυσης του αέρα

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.6: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΛΟΓΩ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ

Μήνες	u (m/s)	R (1/h)	T _i (°C)	T _o (°C)	H _i (kJ/kg)	H _o (kJ/kg)	H _i - H _o (kJ/kg)	D _N (h)	Q _v (W/m ²)	Q _{vM} (kWh/m ²)
NOE	2.06	1.73	17	14.6	52	38	14	421.50	21.80	9.19
ΔΕΚ	2.36	1.88	17	11.8	52	31	21	451.36	35.54	16.04
ΙΑΝ	2.45	1.93	17	9.2	52	28	24	442.99	41.59	18.42
									98.93	43.65

Επομένως $Q_{vM} = 43.65 \text{ kWh/m}^2$



Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι ανάλογα με την καλλιέργεια τίθεται η τιμή της εσωτερικής σχετικής υγρασίας. Σε σχέση με την τιμή της υγρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος αυτή λαμβάνεται από τον Πίνακα 8.7 (Παράρτημα). Έτσι οι υπολογισμοί στον Πίνακα 6.6 αναφέρονται σε επιθυμητή εσωτερική σχετική υγρασία της τάξης του 90% όταν η εξωτερική στην περιοχή του Πύργου όπου και υλοποιείται η θερμοκηπιακή καλλιέργεια είναι 78%. Στην πραγματικότητα όμως η καλλιέργεια φασολιού ευδοκιμεί σε περιβάλλον σχετικής υγρασίας της τάξης του 75%. Επομένως αφού η εξωτερική σχετική υγρασία στην περιοχή Πύργου Ηλείας είναι σε παραπλήσια τιμή (78%) οι εν λόγω απώλειες θερμότητας λόγω διεύδυσης θεωρούνται αμελητέες και δεν θα προσμετρηθούν στο σύνολο των απωλειών.

8.2.4 Υπολογισμός Q_{HM} και Q_{HM} .

Συνοψίζοντας όλα τα είδη απωλειών προκύπτει ότι

$$Q_{HM} = R_{NM} + Q_{ccM} + Q_{vM}$$

$$Q_{HM} = (95.7 + 40.3 + 0) kWh / m^2 \Rightarrow Q_{HM} = 136.0 kWh / m^2$$

Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια για τους 3 μήνες καλλιέργειας για όλη την επιφάνεια του θερμοκηπίου είναι:

$$Q_{THM} = (136.0 kWh / m^2) \times (2125 m^2) \Rightarrow Q_{THM} = 289 MWh$$

Διαφορετικά είναι επίσης δυνατός ο υπολογισμός της ισχύος του λέβητα που θα πρέπει να επιλεγεί προκειμένου να μπορεί να καλύψει τις παραπάνω απώλειες.

$$Q_H = R_N + Q_{cc} + Q_v$$

$$Q_H = (218.1 + 91.1 + 0) W / m^2 \Rightarrow Q_H = 309.2 W / m^2$$

Η συνολική απαιτούμενη ισχύς για τους 3 μήνες καλλιέργειας για όλη την επιφάνεια του θερμοκηπίου είναι:

$$Q_{TH} = (309.2 W / m^2) \times (2125 m^2) \Rightarrow Q_{TH} = 656958 W \Rightarrow Q_{TH} \approx 657 KW$$

8.3 Υπολογισμός σωληνώσεων.

Η θερμική απόδοση των σιδηροσωλήνων θέρμανσης των θερμοκηπίων, ανά μέτρο μήκους τους, προκύπτει από τη σχέση :

$$Q_{tube} = p_{tube} \times c \times (T_u - T_i) \quad (W/m) \quad (6.3.1)$$

όπου :

p_{tube} είναι η περίμετρος του σωλήνα σε m,

c είναι συντελεστής απόδοσης του σωλήνα ο οποίος προκειμένου για σωλήνες σε οριζόντια διάταξη παίρνει την τιμή $c_{hor} = 14 W/m^2 \text{ } ^\circ K$,

και για σωλήνες σε κατακόρυφη διάταξη παίρνει την τιμή $c_{perp} = 11,5 W/m^2 \text{ } ^\circ K$,



T_u είναι θερμοκρασία του νερού θέρμανσης σε $^{\circ}\text{C}$

T_i είναι θερμοκρασία του εσωτερικού του θερμοκηπίου σε $^{\circ}\text{C}$.

Το απαιτούμενο μήκος των σωλήνων θέρμανσης δίνεται ως:

$$L_{tube} = \frac{Q}{n \cdot Q_{tube}} \quad (\text{m}) \quad (6.3.2)$$

όπου ακόμη πρέπει να ισχύει: $L_{tube} > 2p_{garden}$ (περίμετρος θερμοκηπίου). Επίσης στην (6.3.2)

n είναι ο βαθμός αποδόσεως του συστήματος,

Q_T είναι οι συνολικές μέγιστες θερμικές απώλειες (W).

Νωρίτερα υπολογίστηκαν οι συνολικές απώλειες για όλη την έκταση του θερμοκηπίου για τους 3 μήνες καλλιέργειας στο ποσό $Q_{THM} = 289 \text{ MWh}$.

ή διαφορετικά $q = (218.1 + 91.1 + 0) \text{ W} / \text{m}^2 \Rightarrow q = 309.2 \text{ W} / \text{m}^2$

Επομένως για διάρκεια ενός μηνός θα είναι $q_M = (309.2 / 3) \text{ W} / \text{m}^2 \Rightarrow q_M = 103.1 \text{ W} / \text{m}^2$

$Q_T = q_M \times A_g \Rightarrow Q_T = (103.1 \text{ W} / \text{m}^2) \times (2125 \text{ m}^2) \Rightarrow Q_T = 219087.5 \text{ W}$

☐ Επιλέγεται κεντρικό σύστημα θέρμανσης με νερό. Σε αυτό το σύστημα πιο συγκεκριμένα επιλέγεται διάμετρος σωλήνα $d = 2''$ και υπολογίζεται η περίμετρος του σωλήνα από τη σχέση:

$$p_{tube} = 2\pi \left(2 \text{ inch} \times 2.54 \times 10^{-2} \text{ m} / \text{inch} \right) / 2 \approx 0.16 \text{ m}$$

Οι σωλήνες που χρησιμοποιούνται συνήθως για διανομή της θερμότητας στην περιφέρεια του θερμοκηπίου είναι μαύροι σιδηροσωλήνες διαμέτρου 5 cm (2"). Το μήκος των σωλήνων που χρειάζονται στο χώρο του θερμοκηπίου, προσδιορίζεται από τις απαιτούμενες ανάγκες σε θερμότητα και την απόδοση των σωλήνων. Σπουδαίο ρόλο για την ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας μέσα στο θερμοκήπιο παίζει η θέση που θα τοποθετηθούν οι σωληνώσεις διανομής.

Οι σωλήνες θέρμανσης, για να μην εμποδίζουν την κυκλοφορία στο θερμοκήπιο, θα πρέπει να κατευθύνονται παράλληλα προς τις γραμμές των φυτών. Οι κεντρικές σωληνώσεις που φέρνουν το νερό από το λέβητα και οι σωληνώσεις επιστροφής που μαζεύουν το νερό, το οποίο επιστρέφει από το θερμοκήπιο και το οδηγούν στο λέβητα, τοποθετούνται συνήθως στην περιφέρεια του θερμοκηπίου.

Η θερμότητα χάνεται πιο γρήγορα στην περιφέρεια απ' ό,τι στο κέντρο του θερμοκηπίου, γι' αυτό, για να υπάρξει ομοιόμορφη θερμοκρασία στο χώρο του, θα πρέπει ένα πολύ μεγάλο μέρος της ενέργειας να αποδίδεται στην περιφέρεια με την εγκατάσταση ικανού μήκους σωληνώσεων. Δεν είναι σκόπιμη όμως η τοποθέτηση όλων των σωλήνων περιμετρικά, γιατί τα ρεύματα του αέρα που δημιουργούνται από τις ψυχρές επιφάνειες της οροφής και το θερμό κέντρο προκαλούν κατά τόπους ψυχρές θέσεις στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Γενικά όσο αφορά την τοποθέτηση των σωλήνων ισχύουν τα εξής:

☐ περίπου το ένα τρίτο (1/3) των σωληνώσεων, όχι όμως πάνω από 8 σειρές σωλήνων ή λιγότερες από δύο, τοποθετείται περιμετρικά,

☐ τα υπόλοιπα δύο τρίτα (2/3) τοποθετούνται στο εσωτερικό χαμηλά μεταξύ των φυτών, ή ένα μέρος στην οροφή και το άλλο χαμηλά μεταξύ των φυτών,



- Ø σε θερμοκήπια που είναι εγκατεστημένα σε περιοχές όπου συμβαίνουν μεγάλες χιονοπτώσεις συνηθίζεται να τοποθετούνται και λίγοι σωλήνες ψηλά – κοντά στην στέγη- με σκοπό να συνεισφέρουν στο ταχύτερο λιώσιμο του χιονιού και την μείωση του φορτίου χιονιού στη στέγη.
- Ø Επιλέγεται θερμοκρασία θερμού νερού $T_v = 90^\circ \text{C}$.
- Ø Επιλέγεται η τοποθέτηση των σωλήνων να είναι σε οριζόντια διάταξη οπότε ο συντελεστής απόδοσης αυτών λαμβάνει την τιμή $c_{hor} = 14 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$.

Η θερμική απόδοση των σιδηροσωλήνων θέρμανσης των θερμοκηπίων, ανά μέτρο μήκους τους, προκύπτει από τη σχέση :

$$Q_{tube} = p_{tube} \times c \times (T_u - T_i) = (0.16 \text{ m}) (14 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}) (90 - 17)^\circ \text{C} = 163.5 \text{ W/m}$$

Επομένως το συνολικό απαιτούμενο μήκος σωληνώσεων είναι:

$$L_{tube} = \frac{Q_T}{n \cdot Q_{tube}} = \frac{219087.5 \text{ W}}{0.8 \cdot 163.5 \text{ W/m}} \Rightarrow L_{tube} = 1675 \text{ m}$$

Περιμετρικά θα τοποθετηθεί μήκος σωληνώσεων $2 \times (85 + 25) \text{ m} = 220 \text{ m}$. Το ποσοστό αυτό βέβαια είναι πολύ μικρό (της τάξης του 13%) του συνολικού μήκους σωληνώσεων ζεστού νερού. Επομένως για να φτάσει η κάλυψη σωληνώσεων στο 1/3 του συνολικού μήκους που απαιτείται θα πρέπει να τοποθετηθούν 2 σειρές σωληνώσεων δηλ. $2 \times 220 \text{ m} = 440 \text{ m}$, που σε σχέση με τη συνολική κάλυψη συνιστά ποσοστό της τάξης του 26.3%. Κατά αυτό τον τρόπο ο αριθμός των εσωτερικών σειρών θα είναι:

$$N_{eswt} = \frac{L_{eswt}}{L} = \frac{1235 \text{ m}}{85} = 14.537 \approx 15 \text{ σειρές}$$

Υπολογίζεται πλέον το πραγματικό συνολικό μήκος σωληνώσεων που θα τοποθετηθούν:

$$L_{pr agm} = L_{per} + 5 \times L = 440 \text{ m} + 15 \times 85 \text{ m} = 1715 \text{ m}$$

Κατά αυτό τον τρόπο όμως υπολογίστηκε μεγαλύτερο μήκος σωλήνων από το απαιτούμενο. Επομένως για την απόδοση της απαιτούμενης θερμότητας θα πρέπει η θερμοκρασία του θερμού νερού να μειωθεί. Γενικότερα ένας τρόπος για να μειωθεί η θερμότητα Q_T που θα αποδίδουν οι σωλήνες είναι είτε η επιλογή σωλήνων μικρότερης διαμέτρου είτε η μείωση της θερμοκρασίας του νερού, είτε ο συνδυασμός των παραπάνω δύο τρόπων.

Στη χειρότερη περίπτωση που θα πρέπει να υπολογιστεί νέα διάμετρος σωλήνων θα πρέπει να επιλεγεί μια νέα θερμοκρασία του ζεστού νερού με συνδυασμό των σχέσεων (6.3.1), (6.3.2) και να λυθεί το σύστημα των εξισώσεων είτε ως προς τη διάμετρο του σωλήνα, είτε ως προς τη θερμοκρασία του νερού θέρμανσης T_v .

Καταρχήν υπολογίζεται η απαιτούμενη θερμοκρασία νερού για τη διάμετρο σωλήνα $d_{σωλ.} = 2,0 \text{ inch}$.

$$T_u = T_i + \frac{Q_s}{p_{tube} \times c} = T_i + \frac{Q_T}{n \times L_{swl} \times p_{tube} \times c} = 17^\circ \text{C} + \frac{219087.5}{0.8 \times 1715 \times 0.16 \times 4} \text{ }^\circ \text{C} \Rightarrow T_u = 88.3^\circ \text{C}$$

Πρακτικά η θερμοκρασία που προκύπτει δεν διαφέρει ιδιαίτερα από εκείνη που υπολογίστηκε αρχικά επομένως δεν χρειάζεται να προχωρήσει η μελέτη σε επαναυπολογισμό της διαμέτρου των σωληνώσεων. Αυτό που εύκολα μπορεί να γίνει η ρύθμιση του λέβητα σε



λίγο χαμηλότερη θερμοκρασία από την αρχική για παράδειγμα θα μπορούσε να τεθεί θερμοκρασία ζεστού νερού στους 85 °C.

8.4 Υπολογισμός κατανάλωσης καυσίμου.

Για τη θέρμανση του θερμοκηπίου στις μέρες μας αναζητούνται πιο οικονομικοί τρόποι από το συμβατικό πετρέλαιο η τιμή του οποίου είναι στα χρόνια της οικονομικής κρίσης απαγορευτική για μια επικερδή αγροτική επιχείρηση. Έτσι ένας κοινά χρησιμοποιούμενος τρόπος θέρμανσης είναι αυτός με λέβητα πέλετ.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι γενικά στον αγροτικό κόσμο της χώρας μας επικρατεί άγνοια ως προς την καταλληλότητα της καύσιμης ύλης και την ενέργεια που μπορεί αυτή να παρέχει. Έτσι ενώ στο εμπόριο κυκλοφορούν πολλοί τύποι πέλετ, σπάνια ο προμηθευτής γνωρίζει την θερμογόνο ισχύ του καυσίμου προς πώληση, ενώ και ο αγρότης δεν γνωρίζει καν πως η θερμογόνο ισχύ του στερεού καυσίμου που προμηθεύεται σχετίζεται με την οικονομία που μπορεί να έχει κατά τη θέρμανση του θερμοκηπίου του. Επίσης μια καύσιμη στερεά ύλη θρυμματισμένη σε πολύ μικρά κομμάτια της τάξης του εκατοστού ή και μικρότερα είναι προτιμότερη λόγω του ότι διαθέτει μεγαλύτερη επιφάνεια κατά την καύση, κάτι που είναι πολύ σημαντικό.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Θεοχάρης 2014) η αποδοτικότητα της καύσης υπολογίζεται σε 60% για το ξύλο και 70% για το πετρέλαιο. Γενικά, θεωρείται ότι 1 τόνος ξύλου αντιστοιχεί σε 400 lit πετρελαίου. Εκεί όπου η τιμή του ξύλου (σε κομμάτια μέχρι 5cm) ή του γαιάνθρακα είναι χαμηλή, η χρησιμοποίησή τους προσφέρει σημαντική οικονομία. Έτσι όταν έχουν προσδιορισθεί οι απαιτήσεις σε ενέργεια του θερμοκηπίου, η ποσότητα του καυσίμου που απαιτείται (F) προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$F = \frac{Q_{TM} \cdot 3600}{n \cdot Q_F} \text{ (kg ή lt)} \quad (6.4.1)$$

όπου:

Q_{TM} είναι η συνολικά απαιτούμενη ενέργεια σε kWh η οποία υπολογίζεται ανάλογα με τη μέθοδο υπολογισμού των θερμικών αναγκών.

Έτσι η η συνολικά απαιτούμενη ενέργεια υπολογίζεται

\emptyset με τη μέθοδο ενεργειακού ισοζυγίου $Q_{TM} = Q_H A_g D_N$

n είναι η αποδοτικότητα της παραγωγής θερμότητας και μεταφοράς της στο θερμοκήπιο

Q_F είναι η κατώτερη θερμογόνο τιμή του καυσίμου σε kJ/μονάδα καυσίμου.

Στη συγκεκριμένη θερμοκηπιακή καλλιέργεια θα χρησιμοποιηθεί πυρήνας ελιάς για τον οποίο μετρήθηκε με πρότυπη μέθοδο σε θερμιδόμετρο οβίδας κατά DIN 51 900, ASTM D 240, ASTM 5865 η θερμογόνο ισχύ σε καλορίμετρο τύπου οβίδας. Σύμφωνα με τις πρότυπες μετρήσεις που διενεργήθηκαν υπολογίστηκε κατώτερη θερμογόνο ισχύς του προτεινόμενου καυσίμου σε **17.500 kJ/kg**.

Η τιμή αυτή συγκρινόμενη με την αντίστοιχη του πετρελαίου θέρμανσης (Πίνακας 8.15) που είναι 42.600 kJ/kg, μπορεί αρχικά να θεωρηθεί ως χαμηλή αφού φθάνει ως ποσοστό στο 41.1% της τιμής του πετρελαίου. Δεδομένων όμως των τιμών των καυσίμων αυτών στην αγορά τελικά αποτελεί μια αρκετά ικανοποιητική λύση.

Το κόστος της συγκεκριμένης ποιότητας πυρήνα ελιάς ανέρχεται σε 150€/tn ενώ το κόστος του πετρελαίου θέρμανσης με σημερινές τιμές ανέρχεται στα 1000€/tn. Στους πίνακες



6.7, 6.8 γίνεται ο υπολογισμός του κόστους και για τα δύο καύσιμα προκειμένου να φανεί η τεράστια διαφορά στο κόστος θέρμανσης με πυρήνα έναντι του πετρελαίου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.7: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ -ΚΟΣΤΟΣ Ι

Μήνες	R_{NM} (kWh/m ²)	Q_{ccM} (kWh/m ²)	Q_{VM} (kWh/m ²)	Q_{TM} (kWh/m ²)	Ποσότητα Καυσίμου (tn)	Κόστος (€) Καύσιμο Πυρήνας
NOE	29.7	5.9	0	35.6	25.5	3.825
ΔΕΚ	32.1	13.9	0	45.9	34.6	5.190
ΙΑΝ	33.9	20.5	0	54.4	40.1	6.015
Total	95.7	40.3	0	136.0	100.2	15.030

Επομένως σύμφωνα με τη σχέση (6.4.1) υπολογίζεται στη συνέχεια για κάθε μήνα καλλιέργειας η απαιτούμενη ποσότητα καυσίμης ύλης. Επίσης γίνεται μια σύγκριση με καύσιμο πετρέλαιο και την τιμή πώλησης αυτού βέβαια.

Ø Με καύσιμο τον **πυρήνα ελιάς** και θερμογόνο ισχύ αυτού **16.500 kJ/kg**.

$$F_N = \frac{(R_{NM} + Q_{ccM} + Q_{VM}) \times A_g \cdot 3600}{n \cdot Q_F} = \frac{(49.6) \times 2125 \times 3600}{(0.85) \times 7500} \approx 25.5 \text{ tn}$$

$$F_D = \frac{(R_{NM} + Q_{ccM} + Q_{VM}) \times A_g \cdot 3600}{n \cdot Q_F} = \frac{(67.3) \times 2125 \times 3600}{(0.85) \times 7500} = 34.6 \text{ tn}$$

$$F_I = \frac{(R_{NM} + Q_{ccM} + Q_{VM}) \times A_g \cdot 3600}{n \cdot Q_F} = \frac{(78.1) \times 2125 \times 3600}{(0.85) \times 7500} = 40.1 \text{ tn}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.8: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ -ΚΟΣΤΟΣ ΙΙ

Μήνες	R_{NM} (kWh/m ²)	Q_{ccM} (kWh/m ²)	Q_{VM} (kWh/m ²)	Q_{TM} (kWh/m ²)	Καύσιμο Πετρέλαιο (tn)	Κόστος (€)
NOE	29.7	10.7	9.2	49.6	9.4	9.400
ΔΕΚ	32.1	19.2	16.0	67.3	12.7	12.700
ΙΑΝ	33.9	25.8	18.4	78.1	14.7	14.700
Total	95.7	55.7	43.7	195.0	36.8	36.800

Επαναλαμβάνοντας τον υπολογισμό του κόστους με καύσιμο το πετρέλαιο προκύπτει:

$$F_N = \frac{(R_{NM} + Q_{ccM} + Q_{VM}) \times A_g \cdot 3600}{n \cdot Q_F} = \frac{(49.6) \times 2125 \times 3600}{(0.95) \times 2600} \approx 9.4 \text{ tn}$$

$$F_D = \frac{(R_{NM} + Q_{ccM} + Q_{VM}) \times A_g \cdot 3600}{n \cdot Q_F} = \frac{(67.3) \times 2125 \times 3600}{(0.95) \times 2600} = 12.7 \text{ tn}$$

$$F_I = \frac{(R_{NM} + Q_{ccM} + Q_{VM}) \times A_g \cdot 3600}{n \cdot Q_F} = \frac{(78.1) \times 2125 \times 3600}{(0.95) \times 2600} = 14.7 \text{ tn}$$



8.5 Επιλογή λέβητα.

Η επιλογή του κατάλληλου τρόπου θέρμανσης του θερμοκηπίου αποτελεί πολύ σημαντική παράμετρο από οικονομικής άποψης ειδικά στις μέρες μας κατά τις οποίες η οικονομική κρίση δεν αφήνει περιθώρια για σπατάλη. Για το λόγο αυτό ζητούμενο παραμένει πάντα ο πιο αποδοτικός τρόπος θέρμανσης με το μικρότερο δυνατό κόστος. Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί ότι το πετρέλαιο ως καύσιμο σήμερα είναι πολύ ακριβο (~1€λίτρο) ως εκ τούτου η εγκατάσταση και χρήση ενός λέβητα πετρελαίου κρίνεται απαγορευτική.

Πιο προσφιλή συστήματα θέρμανσης σήμερα θεωρούνται οι λέβητες πέλετ, ξύλου και άλλων μορφών βιομάζας. Στη συνέχεια θα γίνει η επιλογή λέβητα για την ικανοποίηση των θερμικών αναγκών της θερμοκηπιακής καλλιέργειας.

Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα βασικά τμήματα ενός λέβητα είναι ο θάλαμος καύσης μέσα στον οποίο γίνεται η καύση της ύλης, τα μεταλλικά τοιχώματα που καλύπτουν το θάλαμο καύσης και στα οποία υπάρχει κατάλληλος χώρος για την κυκλοφορία του νερού. Ο αερολέβητας είναι η πιο οικονομική λύση για θέρμανση επαγγελματικών χώρων και ιδανική λύση για θερμοκήπια, ξερανήτνια, πτηνοτροφία.

ΤΥΠΟΣ	TR 65*	TR 85*	TR 100*	TR 125*	TR 150*	TR 200*	TR 250*	TR 300*	TR 350*	TR 400*	TR 500*
Ισχύς kw	65	85	100	125	150	200	250	300	350	400	500
Ανεμιστ. m³/h	4.200	5.200	8.000	9.000	12.000	15.000	19.000	24.000	30.000	35.000	42.500
Καπ/χος mm	150	150	180	180	200	200	230	230	300	300	300
Πλάτος mm	710	810	870	960	1060	1210	1360	1460	1610	1710	1960
Βάθος mm	760	760	885	910	1010	1160	1310	1410	1560	1660	1910
Ύψος mm	1780	1830	1990	1990	1990	1990	2105	2205	2305	2305	2305
ΤΙΜΗ ΛΕΒΗΤΑ	2.823	3.277	3.790	4.518	5.234	5.627	6.455	7.606	8.556	9.756	10.305
ΤΙΜΗ ΛΕΒΗΤΑ ME RIELLO	3.673	4.127	4.778	5.506	6.222	6.761	7.931	10.146	11.096	12.676	13.805





9 Συμπεράσματα – Ανασκόπηση.

Βασικός στόχος μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας είναι η παραγωγή αγροτικών προϊόντων εκτός εποχής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του εισοδήματος των καλλιεργητών, αφού ένα προϊόν εκτός εποχής πληρώνεται σε υψηλότερες τιμές. Ένα άλλο αποτέλεσμα είναι η συνεισφορά στο ΑΕΠ της χώρας το οποίο μπορεί να μεγεθύνεται με μεταφορά και διάθεση των προϊόντων στο εξωτερικό.

Προφανώς ως παραγωγή προϊόντων εκτός εποχής τις περισσότερες φορές νοείται η παραγωγή μέσα στους χειμερινούς μήνες. Μια θερμοκηπιακή καλλιέργεια εκτός εποχής για να αποδώσει απαιτεί την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης του εκάστοτε φυτού. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ολοένα και αυξανόμενη κάλυψη εδαφών από θερμοκηπιακές καλλιέργειες οδηγεί και σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Έτσι η θέρμανση των θερμοκηπίων με συμβατικά καύσιμα (πετρέλαιο), αποτελεί τον κύριο παράγοντα του κόστους παραγωγής πέρα από τα υπόλοιπα αναλώσιμα (υλικά κάλυψης) και πάγια (κατασκευή μονάδας). Κατά αυτό τον τρόπο η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας δηλ. η μείωση του ενεργειακού κόστους των θερμοκηπίων, οδηγεί στη χρήση και αξιοποίηση των αναεώσιμων πηγών ενέργειας. Στις μέρες μας το βασικό καύσιμο θέρμανσης των τελευταίων ετών (πετρέλαιο) είναι απαγορευτικό λόγω του υψηλού κόστους στα χρόνια της κρίσης. Έτσι μια ενδιαφέρουσα και πιο οικονομική λύση αποδεικνύεται η βιομάζα, όπως περιγράφηκε και νωρίτερα.

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκε αναλυτικά η μέθοδος υπολογισμού των θερμικών απωλειών μια θερμοκηπιακής μονάδας προς εγκατάσταση στην περιοχή της Κυλλήνης του νομού Ηλείας, όπου πρόκειται να καλλιεργηθεί φασόλι στους χειμερινούς μήνες και πιο συγκεκριμένα από Νοέμβριο έως και Ιανουάριο. Δόθηκαν αναλυτικά μεγέθη ως προς δύο μεθόδους υπολογισμού των θερμικών αναγκών, η οικοδομική και η μέθοδος του ενεργειακού ισοζυγίου. Κρίθηκε ότι η μέθοδος του ενεργειακού ισοζυγίου αποδίδει ορθότερα αποτελέσματα και με μεγαλύτερη ακρίβεια ως προς την οικοδομική και ως μελέτη περίπτωσης εφαρμόστηκε στη θερμοκηπιακή μονάδα προς εγκατάσταση. Λόγω του ότι επίσης το συμβατικό πετρέλαιο κρίθηκε ασύμφορο ως πολύ ακριβή πηγή θέρμανσης οι ενεργειακές ανάγκες θα καλύπτονται από λέβητα βιομάζας (κάυση πυρηνόξυλου).

Η μελέτη που πραγματοποιήθηκε για την καλλιέργεια φασολιού θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο για οποιαδήποτε άλλη επόμενη μελέτη των θερμικών αναγκών μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας. Θα πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη περιοχή και στους συγκεκριμένους χειμερινούς μήνες που επιχειρείται η καλλιέργεια οι απώλειες θερμότητας λόγω διείσδυσης του αέρα με μικρό σφάλμα μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες λόγω του ότι τα επίπεδα της εξωτερικής σχετικής υγρασίας και τα επιθυμητά για την καλλιέργεια εντός του θερμοκηπίου είναι παρόμοια της τάξης του (75 – 78)%. Ως εκ τούτου για τη συγκεκριμένη καλλιέργεια απουσιάζει ένας παράγοντας απωλειών, που σε άλλες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική αύξηση του ενεργειακού κόστους της τάξης του (25 – 30) %.

Στα πλαίσια της μελέτης δόθηκαν στοιχεία για το φωτισμό της μονάδας και τη σύνδεση με την ηλιακή ακτινοβολία ενώ έγινε μια σύντομη περιγραφή των τρόπων μεταφοράς θερμότητας που διέπουν το φαινόμενον θερμοκηπίου (Κεφάλαιο 2). Δόθηκαν εν συντομία στοιχεία για την καλλιέργεια του φασολιού που σχετίζονται περισσότερο με το αγροτικό ημερολόγιο (Κεφάλαιο 3).



Στη συνέχεια δόθηκαν τα χαρακτηριστικά κατασκευαστικά στοιχεία των θερμοκηπίων ενώ αναγνωρίστηκαν οι χωρικοί αλλά και οι τυποποιημένοι τύποι των εγκαταστάσεων. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έγινε αναλυτική περιγραφή των δυνατοτήτων που προσφέρονται κατά την επιλογή των υλικών κάλυψης(κεφάλαιο 4).

Στα επόμενα δόθηκαν οι μέθοδοι υπολοισμού των θερμικών αναγκών ή θερμικών απωλειών. Ειδικότερα μελετήθηκε η μέθοδος του ενεργειακού ισοζυγίου και η οικοδομική (κεφάλαιο 5). Εν συνεχεία δόθηκε ο τρόπος υπολογισμού των σωληνώσεων για την περίπτωση θέρμανσης με νερό και άλλα κατασκευαστικά στοιχεία των σωληνώσεων (κεφάλαιο 6).

Αναπόσπαστο τμήμα της μελέτης μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας είναι και το κομμάτι του αερισμού – δροσισμού, που όμως στην περίπτωση χειμερινής καλλιέργειας σπάνια εφαρμόζεται. Παρολαυτά περιγράφηκαν τα είδη αερισμού και οι κρίσιμες παράμετροι που ενδιαφέρουν καθώς επίσης συζητήθηκαν οι μηχανισμοί των ανοιγμάτων με την απαιτούμενη κατανομή και έκταση που πρέπει να καλύπτουνσε ένα θερμοκήπιο (κεφάλαιο 7).

Αφού δόθηκαν όλα τα χαρακτηριστικά που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εγκατάσταση μια θερμοκηπιακής καλλιέργειας στο κεφάλαιο 8 γίνεται η ανάλυση για μια συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης που αναφέρεται σε καλλιέργεια φασολιού εντός θερμοκηπίου έκτασης 2125 τ.μ. Ειδικότερα εφαρμόστηκε η μέθοδος του ενεργειακού ισοζυγίου ως πιο αξιόπιστη και πλήρης με τους μηχανισμούς που λαμβάνει υπόψη. Πέραν της μελέτης θέρμανσης που αποτελεί το βασικότερο κομμάτι της μελέτης έγινε και ο σχεδιασμός – υπολογισμός των σωληνώσεων για την περίπτωση θέρμανσης νερού καθώς και ο υπολογισμός για την κατανάλωση καυσίμου. Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την επιλογή λέβητα σύμφωνα με τις ενεργειακές ανάγκες που προέκυψαν από τη μελέτη θέρμανσης.

Γενικότερα η ολοκληρωμένη μελέτη των χαρακτηριστικών εγκατάστασης, κυρίως των υλικών κάλυψης αλλά πιο σημαντικά των θερμικών απαιτήσεων του θερμοκηπίου που μελετήθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αναφορά για κάθε υπονήφιο παραγωγό που διαθέτει ή θα ήθελε να ακολουθήσει μια θερμοκηπιακή καλλιέργεια μεγέθους συγκρίσιμου με το υπό μελέτη στην περιοχή της Ηλείας. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι το κλιματούμενο είδος έχει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ώστε να οδηγούν σε μεγιστοποίηση της παραγωγής.

Η περιοχή της Ηλείας έχει ένα σοβαρό δυναμικό σε πυρήνα ελιάς λόγω της υψηλής παραγωγής ελαιολάδου που ανέκαθεν διέθετε η περιοχή. Ως εκ τούτου δίνεται με τον τρόπο αυτό και λύση αναφορικά με την καύσιμη ύλη για τη θέρμανση των θερμοκηπίων η οποία σημειωτέον δεν συνεισφέρει στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα ως βιομάζα.

Σε μια αντίστοιχη μελέτη (Κυριακόπουλος 2015) αναγνωρίστηκε ότι το αρχικό κόστος επένδυσης για το σύστημα θέρμανσης με πυρήνα ελιάς είναι υψηλότερο σε σχέση με ένα σύστημα συμβατικού καυσίμου (πετρελαίου) μεσοπρόθεσμα θα παρατηρείται αύξηση της καθαρής αξίας του προϊόντος και αυξημένα κέρδη, λόγω της γρήγορης απόσβεσης του αρχικού κόστους.

Κατά τα παραπάνω διαφαίνεται ότι για τη συγκεκριμένη περιοχή η θερμοκηπιακή καλλιέργεια μόνο θετικά μπορεί να συνεισφέρει στην ανάπτυξη της περιοχής (ν. Ηλείας) και να συνεισφέρει όχι μόνο στην τοπική οικονομία αλλά πιο σημαντικά και στο ΑΕΠ της χώρας.

Τέλος τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν σε μια συγκριτική διερεύνηση ως προς τους πιο κρίσιμους παράγοντες. Για παράδειγμα

- Ø Συγκριτική μελέτη συστημάτων θέρμανσης και αξιοποίηση άλλων μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη συγκεκριμένη μονάδα όπως η γεωθερμία,



- Ø Μελέτη θερμοκηπιακής καλλιέργειας άλλων κηπευτικών που καλλιεργούνται στην περιοχή,
- Ø Σύγκριση της ίδιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας ίδιου μεγέθους σε άλλες περιοχές του της χώρας (π.χ. Βόρεια Ελλάδα),
- Ø Λεπτομερής απόδοση οικονομικών στοιχείων της μελέτης που θα οδηγήσει μια μελέτη σκοπιμότητας και ασφαλή οικονομικά αποτελέσματα ως προς την επένδυση σε θερμοκηπιακή καλλιέργεια.





10 Αναφορές

1. Bakker J.C., Bot G.P.A., Challa H., Van de Braak N.J., *Greenhouse climate control*, Wageningen Pers, 1995,
2. Briassoulis D., Waaijenberg D., Gratraud J., von Eslner B., (1997). Mechanical Properties of Covering Materials for Greenhouses: Part 1, General Overview. *Journal of Agriculture Engineering Research*, Vol. 67, pp.81-96
3. Γεωργακάκης Δ. : "Στοιχεία Ρύθμισης Περιβάλλοντος και Σχεδιασμού Αγροτικών Κατασκευών ", Αθήνα 1992,
4. Γιαννούλης Π., *Νέες Πηγές Ενέργειας*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2001
5. Γραφιαδέλλης Μ.:"Σύγχρονα Θερμοκήπια" Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1980
6. Θεοχάρης Μενέλαος, (2015). Γεωργικές και Θερμοκηπιακές Κατασκευές Σημειώσεις Θεωρίας. ΤΕΙ Ηπείρου. \
7. Θεοχάρης Μ.: " Γεωργικές Κατασκευές", Άρτα 2000,
8. Θεοχάρης Μ.: " Γεωργικές Κατασκευές, Εργαστηριακές Ασκήσεις", Άρτα 2000,
9. Θεοχάρης Μ.:" Θερμοκηπιακές Κατασκευές", Άρτα 2000
10. Kittas C., Katsoulas N., Baille A. (2001). Influence of Greenhouse Ventilation Regime on the Microclimate and Energy Partitioning of a Rose Canopy during Summer Conditions. *J.agric. Engng Res.*, Vol. 79 (3), pp. 349-360
11. Μαυρογιαννόπουλος Ν. Γ., *Θερμοκήπια, Περιβάλλον – Υλικά – Κατασκευή - Εξοπλισμός*, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε, Αθήνα 2001
12. Mayers C. and Mackson C. J., (1982). Application of Solar Energy in Agriculture. Economic Commission of Europe, AGRI/MECH, Report No 94
13. Ολύμπιος Χ., Τεχνική της Κκαλλιέργειας των Κκηπευτικών στο Θερμοκήπιο, Αθηνά, 1994
14. Papadakis G., Briassoulis D., Scarascia Mygnozza G, Vox G., Feuilleley P., Stffers A.J., (2000). Radiometric and Thermal Properties of, and Testing Methods for, Greenhouse Covering Materials. *Journal of Agriculture Engineering Research*, Vol. 77(1), pp.7-38,
15. Rozakis S., Soldatos P., Papadakis G., Kyritsis S., Papantonis D., (1997). Evaluation of an Integrated Renewable energy System for Electricity Generation in Rural Areas. *Energy Policy*, Vol. 25 (3), pp. 337-347



16. Trigui M., Barrigton S., Gauthier L., (2001). A Strategy for Greenhouse Climate Control, Part I: Model Development. *Journal of Agriculture Engineering Research*, Vol. 78, pp. 407-413
17. Von Elsner B., Briassoulis D., Waaijenberg D., Mistriotis A., von Zabeltitz C., Graatrad J., Russo G., Suay- Cortes R., (2000a). Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouse in European Union Countries: Part I, Design Requirements. *Journal of Agriculture Engineering Research*, Vol. 75, pp. 1-16
18. Von Elsner B., Briassoulis D., Waaijenberg D., Mistriotis A., von Zabeltitz C., Graatrad J., Russo G., Suay- Cortes R., (2000b). Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouse in European Union Countries: Part II, Typical Designs. *Journal of Agriculture Engineering Research*, Vol. 75, pp. 111-126



11 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο σημείο αυτό δίνονται οι πίνακες για τη μελέτη θέρμανσης ενός θερμοκηπίου. Καταρχήν δίνονται οι πίνακες που απαιτούνται για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών ενός θερμοκηπίου και με τις δύο μεθόδους υπολογισμού, δηλ. με βάση το ενεργειακό ισοζύγιο που πρέπει να ισχύει καθώς και με την απλοποιημένη μέθοδο της οικοδομικής. Οι Πίνακες που χρειάζεται ο μελετητής είναι οι 8.1 – 8.12.

Οι επόμενοι πίνακες σχετίζονται με το σχεδιασμό του συστήματος θέρμανσης.



Πίνακας 8.1 Τυπικές ελάχιστες ανεκτές νυκτερινές θερμοκρασίες για τις κυριότερες θερμοκηπιακές καλλιέργειες στην Ελλάδα.

Καλλιέργεια	Ελάχιστη ανεκτή θερμοκρασία (°C)	Παρατηρήσεις
Ανθοκομικά		
Καλσεολαρία	10	Εναρξη ανάπτυξης και άνθηση
	15,5	Βλάστηση και ανάπτυξη
Γαρδένια	15,5-17	
Γαρύφαλλο	10-11	Χειμώνας
	13	Ανοιξη
Κυκλάμινο	13-15	Καλοκαίρι
	15,5-18	Βλάστηση
	13	Νεαρά φυτά
	10-11	Ανάπτυξη και άνθηση
Λίλλιο	15,5	
Ορχιδέες	18-21	
Ποινσέτια	15,5-18	
Σαντπόλια	18-21	
Τριαντάφυλλα	15-16	
Φυλλώδη φυτά	18-21	Τα διάφορα είδη διαφέρουν ως προς τις απαιτήσεις σε θερμοκρασίες
Χρυσάνθεμο	15	Δρεπτά άνθη
	16	Γλαστρικά φυτά
Κηπευτικά		
Αγγούρι	18,5	
Καρπούζι	13-14	
Λάχανο	15-20	
Μαρούλι	13	23 °C για ηλιόλουστες ημέρες
Μελιτζάνα	15	
Ντομάτα	15,5-19	21-26 °C για ηλιόλουστες ημέρες
Πεπόνι	18-24	Φύτρωμα
	15-16	Ανάπτυξη
Πιπεριά	12-15	Φύτρωμα
	16-18	Βλάστηση και ανάπτυξη
Φράουλες	7-13	
Δενδροκομικά		
Μπανανιά	16-20	



Πίνακας 8.2 Γεωγραφικό πλάτος φ πόλεων της Ελλάδας.

Πόλη	φ	Πόλη	φ	Πόλη	φ	Πόλη	φ
Αγρίνιο	38° 37'	Θεσ/νίκη	40° 45'	Λαμία	38° 54'	Σάμος	37° 45'
Αγ.Νικόλαος	35° 15'	Θήβα	38° 20'	Λάρισα	39° 38'	Σέρρες	41° 05'
Αθήνα	37° 58'	Ιωάννινα	39° 40'	Λευκάδα	38° 45'	Σπάρτη	37° 04'
Αλεξ/πολη	40° 51'	Καβάλα	40° 56'	Λημνος	39° 45'	Τρίκαλα	39° 33'
Αμφισσα	38° 31'	Καλαμάτα	37° 00'	Λιβαδειά	38° 28'	Τρίτολη	37° 31'
Αργοστόλι	38° 15'	Καρδίτσα	39° 22'	Μεσολόγγι	38° 22'	Φλώρινα	40° 48'
Αρτα	39° 10'	Καρπενήσι	38° 45'	Μυτιλήνη	39° 06'	Χαλκίδα	38° 28'
Βέροια	40° 30'	Καστοριά	40° 30'	Νάουσα	40° 38'	Χανιά	35° 30'
Βόλος	39° 22'	Κατερίνη	40° 15'	Ναύπλιο	37° 45'	Χιος	38° 22'
Γρεβενά	40° 05'	Κέρκυρα	39° 37'	Ξάνθη	41° 07'		
Δράμα	41° 09'	Κιλκίς	41° 00'	Ορεστιάδα	41° 30'		
Έδεσσα	40° 48'	Κοζάνη	40° 18'	Πάτρα	38° 15'		
Ζάκυνθος	37° 45'	Κομοτηνή	41° 07'	Πρέβεζα	38° 58'		
Ηράκλειο	35° 20'	Κόνιτσα	40° 15'	Πύργος	37° 40'		
Ηγουμε/τσα	39° 30'	Κόρινθος	37° 56'	Ρόδος	36° 23'		

Πίνακας 8.3 Αντιπροσωπευτικές ημέρες κάθε μήνα για την ηλιακή ακτινοβολία στην Ελλάδα.

• Μήνας	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Ημέρα Έτους (Ι)	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
Ημέρα μήνα	17η	16η	16η	15η	15η	11η	17η	16η	15η	15η	15η	10η

Πίνακας 8.4 Τιμές συντελεστών A_i , B_i και F_i για την εύρεση των θερμοκρασιών T_{min} , T_{max} .

α/α	Πόλη		min-min	mean-min	mean	mean-max	max-max
1.	Αγρίνιο	A_i	5,608	11,031	17,196	23,301	29,398
		B_i	-9,036	-7,399	-8,920	-10,558	-10,640
		F_i	-67,264	-63,225	-64,484	-65,130	-68,915
2.	Αθήνα	A_i	7,023	12,527	17,521	22,503	28,675
		B_i	-9,193	-7,993	-9,107	-10,241	-10,050
		F_i	-64,663	-61,174	-63,611	-65,395	-68,224
3.	Αλεξαν/πολη	A_i		9,482	14,404	19,331	
		B_i		-8,182	-9,564	-10,935	
		F_i		-62,428	-63,751	-64,752	
4.	Αργοστόλι	A_i	9,232	14,035	18,178	22,263	27,383
		B_i	-7,456	-6,933	-7,544	-8,108	-8,747
		F_i	-61,750	-58,224	-59,009	-59,726	-65,517
5.	Αρτα	A_i	6,899	11,875	17,457	22,935	28,301
		B_i	-8,644	-7,640	-8,765	-9,823	-9,657
		F_i	-67,021	-63,186	-64,297	-65,016	-68,547
6.	Βόλος	A_i		12,837	16,872	20,913	
		B_i		-8,306	-8,696	-9,081	
		F_i		-64,770	-64,778	-64,822	



(Πίνακας 8.4 συνέχεια)

7.	Ζάκυνθος	A _i	11,051	14,797	18,290	21,761	25,542
		B _i	-7,385	-6,793	-7,519	-8,262	-8,768
		F _i	-56,030	-55,464	-58,283	-60,851	-62,094
8.	Ηράκλειο	A _i	10,253	14,698	18,406	22,111	29,174
		B _i	-7,336	-6,578	-6,746	-6,926	-6,821
		F _i	-56,429	-54,719	-57,732	-60,546	-69,303
9.	Θεσσαλονίκη	A _i		10,366	15,730	21,063	
		B _i		-8,734	-9,892	-11,116	
		F _i		-65,206	-67,750	-69,645	
10.	Θήρα	A _i	20,801	14,816	17,590	20,390	25,418
		B _i	-8,160	-6,742	-7,163	-7,597	-7,298
		F _i	-59,018	-57,048	-58,907	-60,882	-62,632
11.	Ιεράπετρα	A _i		15,182	19,374	23,569	
		B _i		-7,219	-7,600	-7,995	
		F _i		-55,159	-57,733	-60,025	
12.	Ιωάννινα	A _i		7,879	13,859	19,827	
		B _i		-7,713	-8,960	-10,755	
		F _i		-66,094	-67,092	-67,765	
13.	Καβάλα	A _i	1,042	7,824	13,401	19,071	25,210
		B _i	-10,903	-8,355	-9,558	-10,802	-9,421
		F _i	-72,952	-67,748	-66,978	-66,357	-67,461
14.	Καλαμάτα	A _i	8,138	12,165	17,842	23,521	27,701
		B _i	-7,314	-6,440	-7,221	-7,995	-7,984
		F _i	-62,663	-58,261	-57,686	-57,225	-60,873
15.	Κάρπαθος	A _i	12,993	16,337	20,033	23,668	27,217
		B _i	-8,172	-7,294	-7,395	-7,555	-8,228
		F _i	-60,020	-57,693	-58,336	-58,482	-62,871
16.	Κέρκυρα	A _i	5,712	11,568	16,722	21,872	26,534
		B _i	-8,425	-6,796	-7,853	-8,912	-9,470
		F _i	-62,687	-58,489	-60,469	-61,981	-65,382
17.	Κοζάνη	A _i	0,190	6,922	12,345	17,845	25,595
		B _i	-10,518	-8,732	-10,161	-11,781	-10,534
		F _i	-69,340	-65,634	-67,482	-68,784	-70,689
18.	Κόρινθος	A _i		13,836	18,133	22,424	
		B _i		-7,914	-8,540	-9,176	
		F _i		-61,168	-63,054	-64,841	
19.	Κύθηρα	A _i	10,736	15,375	17,834	20,399	25,816
		B _i	-8,402	-7,107	-7,568	-8,099	-8,81
		F _i	-59,978	-56,380	-57,298	-58,889	-63,870
20.	Κύμη	A _i	8,408	13,239	16,547	19,842	26,013
		B _i	-8,399	-7,881	-8,194	-8,514	-7,538
		F _i	-63,467	-60,660	-62,451	-64,149	-62,860
21.	Λάρισα	A _i	2,416	8,931	15,312	21,693	29,260
		B _i	-10,580	-8,610	-10,272	-11,969	-11,380
		F _i	-68,171	-63,152	-67,065	-69,735	-72,170
22.	Λήμνος	A _i	7,763	13,317	16,636	19,962	25,200
		B _i	-9,770	-7,723	-8,509	-9,318	-8,740
		F _i	-63,277	-59,653	-62,030	-64,249	-65,939
23.	Μεθώνη	A _i	9,688	14,304	17,916	21,543	25,752
		B _i	-8,272	-6,768	-6,959	-7,156	-7,270
		F _i	-59,414	-55,788	-54,930	-54,234	-59,237
24.	Μυτιλήνη	A _i	8,782	13,907	17,507	21,155	26,970
		B _i	-9,453	-7,508	-8,464	-9,457	-9,064
		F _i	-64,958	-60,230	-63,164	-65,688	-68,336
25.	Νάξος	A _i	10,729	14,883	17,652	20,415	25,224
		B _i	-7,546	-6,422	-6,310	-6,197	-6,148
		F _i	-57,474	-55,245	-57,260	-59,443	-60,851



(Πίνακας 8.4 συνέχεια)

25.	Νάξος	A _i	10,729	14,883	17,652	20,415	25,224
		B _i	-7,546	-6,422	-6,310	-6,197	-6,148
		F _i	-57,474	-55,245	-57,260	-59,443	-60,851
26.	Πάτρα	A _i		12,094	17,339	22,597	
		B _i		-6,676	-7,470	-8,272	
		F _i		-60,196	-59,691	-59,155	
27.	Ρόδος	A _i	9,170	14,056	18,718	23,375	28,459
		B _i	-8,931	-7,286	-8,013	-8,745	-9,149
		F _i	-61,937	-57,921	-58,878	-59,694	-62,951
28.	Σάμος	A _i	10,204	15,105	18,162	21,235	26,837
		B _i	-9,276	-7,075	-7,530	-8,004	-8,118
		F _i	-61,986	-58,712	-60,976	-62,593	-64,909
29.	Σέρρες	A _i	3,295	8,737	14,623	20,507	26,329
		B _i	-10,811	-9,038	-10,581	-12,116	-11,242
		F _i	-73,580	-70,658	-71,059	-71,298	-73,758
30.	Τρίκαλα	A _i	5,644	10,486	15,881	21,373	27,900
		B _i	-10,358	-8,939	-10,290	-11,694	-10,590
		F _i	-70,457	-68,349	-69,518	-70,607	-74,322
31.	Τρίπολη	A _i	1,558	7,509	13,579	19,626	27,015
		B _i	-8,336	-6,997	-8,761	-10,558	-10,270
		F _i	-66,100	-59,867	-63,084	-65,302	-68,673
32.	Φλώρινα	A _i	-1,304	6,120	11,785	17,467	25,877
		B _i	-11,901	-8,834	-10,412	-11,973	-10,375
		F _i	-69,906	-68,615	-69,337	-69,835	-71,177
33.	Χαλκίδα	A _i	9,690	14,499	18,349	22,178	28,587
		B _i	-9,561	-8,258	-9,046	-9,837	-9,340
		F _i	-63,702	-59,712	-63,677	-66,914	-67,925
34.	Χανιά	A _i	10,817	14,875	18,763	22,665	29,476
		B _i	-7,354	-6,499	-7,021	-7,618	-6,982
		F _i	-59,675	-56,842	-60,030	-62,811	-70,178
35.	Χίος	A _i	10,836	14,864	17,927	21,077	25,508
		B _i	-8,780	-7,489	-8,437	-9,408	-8,757
		F _i	-59,458	-59,458	-62,543	-65,019	-66,516

Πίνακας 8.5 Μέση ταχύτητα ανέμου (m/s).

Πόλη	I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	O	N	Δ
Αθήνα - Ελληνικό	3,91	3,96	3,76	3,29	3,09	3,29	3,91	4,01	3,60	3,65	3,45	3,81
Αρτα	3,34	3,34	3,14	2,93	2,73	2,42	2,37	2,42	2,37	2,62	2,57	3,14
Ηράκλειο	4,78	5,09	4,68	4,06	3,24	3,50	4,58	4,58	3,96	3,81	4,17	4,84
Θεσσαλονίκη	2,98	3,04	2,83	2,78	2,62	3,09	3,34	2,93	2,78	2,52	2,57	2,78
Καλαμάτα	2,88	2,93	2,73	2,52	2,52	2,88	2,93	2,88	2,62	2,47	2,42	2,78
Κέρκυρα	2,52	2,83	2,57	2,21	1,80	1,90	1,80	1,80	1,70	2,06	2,62	2,68
Λάρισα	1,23	1,54	1,70	1,65	1,59	2,01	2,11	1,90	1,70	1,39	0,98	0,93
Λήμνος	5,56	5,92	5,45	4,12	3,86	3,65	4,37	4,73	4,27	5,09	5,04	5,66
Ρόδος	3,91	4,42	4,42	4,53	4,32	5,25	5,97	5,76	4,94	3,40	3,14	3,76



Πίνακας 8.6 Μέση πραγματική μηνιαία και ετήσια ηλιοφάνεια σε ώρες

Α/Α	Πόλη	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ	Έτος
1	Αθήνα	123,2	138,9	180,4	232,5	302,8	334,6	372,7	356,6	276,5	210,9	161,8	127,2	2818
2	Αλιάρτος	85,9	108,5	158,5	212,0	286,1	317,3	337,1	379,1	246,3	170,8	127,7	96,6	2526
3	Αραξος	128,5	131,8	185,8	221,9	283,1	298,1	343,6	338,9	271,3	207,7	154,6	120,8	2686
4	Αργουστόλι	138,9	133,3	183,5	206,9	303,4	340,6	367,4	347,0	269,4	203,5	153,2	119,8	2166
5	Αρτα	144,5	128,0	182,9	192,8	276,9	307,7	340,2	336,6	259,1	203,8	150,2	127,4	2658
6	Ηράκλειο	108,8	128,4	170,3	234,5	314,3	353,3	384,7	356,7	285,2	197,2	161,5	121,1	2816
7	Θεσπίακη	106,3	120,7	152,6	209,4	268,9	292,8	342,4	306,1	238,5	171,1	119,8	100,5	2429
8	Γεραπετρα	157,3	161,5	213,9	243,8	303,2	359,2	386,0	369,8	301,6	239,0	202,1	164,5	3108
9	Ιωάννινα	93,8	97,6	145,6	177,2	244,2	269,1	319,8	299,0	222,6	179,4	117,0	86,7	2252
10	Καλαμάτα	148,9	142,5	193,5	193,2	307,9	344,4	366,3	344,2	272,0	209,7	176,1	122,4	2821
11	Κέρκυρα	120,4	119,4	168,0	211,9	277,9	329,6	371,7	340,5	257,6	198,6	134,6	111,8	2642
12	Κομοτηνή	113,4	111,1	142,9	191,7	247,5	287,4	316,5	303,7	237,4	186,1	124,0	110,0	2372
13	Κόνιτσα	117,2	105,1	160,9	163,3	242,1	263,4	311,6	299,0	219,7	173,4	135,9	123,2	2315
14	Κόρινθος	109,1	124,4	179,6	210,5	292,4	321,9	344,4	335,4	263,0	199,3	157,4	123,7	2661
15	Κόθηρα	146,1	138,9	184,7	215,2	299,9	350,4	364,7	345,1	277,5	212,7	164,5	131,1	2831
16	Λαμία	103,9	105,6	169,9	209,6	280,9	320,8	336,3	321,4	241,8	175,0	143,1	124,0	2531
17	Λαρίσα	89,4	109,7	159,1	213,1	279,8	300,2	333,1	322,5	243,6	176,0	140,6	95,9	2463
18	Λημνος	82,0	110,7	162,1	21,7	294,4	326,7	344,7	338,4	264,9	197,8	127,6	94,6	2566
19	Μεθώνη	121,3	129,3	183,9	199,7	230,8	326,1	354,1	331,6	264,9	210,9	164,6	119,8	2697
20	Μήλος	93,7	87,6	166,5	260,3	327,0	389,2	424,0	399,4	320,6	195,4	161,9	95,8	2921
21	Μυτιλήνη	102,8	116,0	161,3	213,3	305,1	343,8	382,7	357,1	284,6	207,0	146,7	111,2	2732
22	Νάξος	101,3	118,3	167,5	215,5	285,8	319,5	340,8	327,4	273,8	206,3	156,0	117,8	2630
23	Πάρος	111,3	134,8	183,1	236,9	319,5	359,8	377,7	349,8	282,4	212,0	153,5	119,9	2841
24	Πάτρα	104,8	117,4	190,5	186,0	272,4	323,1	334,1	313,5	254,2	193,8	132,2	117,1	2539
25	Πύργος	148,1	137,0	199,3	207,1	305,8	338,5	364,8	345,4	275,2	215,4	176,5	146,5	2851
26	Ρέθυμνο	110,8	132,3	157,0	218,0	309,0	335,0	373,1	350,2	263,7	166,1	165,8	112,9	2694
27	Ρόδος	135,7	142,0	206,0	246,7	314,5	355,5	387,1	373,3	313,3	239,6	184,4	142,1	3041
28	Σαμος	129,3	139,2	182,9	224,6	299,3	348,7	377,6	356,3	300,5	230,6	168,4	122,4	2880
29	Σέρρες	101,5	108,0	157,8	198,8	260,2	293,0	321,3	307,9	235,5	172,6	128,0	110,9	2396
30	Σητεία	112,6	129,2	182,5	229,2	309,3	348,8	376,3	348,4	282,6	200,3	166,1	118,7	2806
31	Σκόρος	77,0	100,8	140,8	214,0	300,0	337,9	363,6	341,5	260,6	180,8	124,1	92,5	2534
32	Σουδα	112,7	131,1	177,2	229,5	313,1	335,8	371,9	365,6	284,3	187,2	161,5	120,7	2791
33	Σύρος	110,6	142,0	175,4	248,8	321,6	342,0	387,3	361,5	289,7	230,7	157,3	127,8	2895
34	Τομπάκι	146,4	152,3	218,4	234,8	304,5	351,7	376,7	374,2	296,4	235,7	186,9	150,7	3029
35	Χανιά	111,7	128,9	174,4	228,5	314,2	357,8	331,7	368,4	276,3	183,8	157,7	115,4	2809
36	Χίος	107,7	119,8	176,3	225,4	318,6	353,3	391,3	367,3	293,8	222,5	153,5	118,7	2854



Πίνακας 8.7 Μέση σχετική υγρασία RH_{mean} (%) περιοχών της Ελλάδας.

Πόλη	RH_{mean} (%)					Πόλη	RH_{mean} (%)				
	Ιαν.	Απρ.	Ιουλ.	Οκτ.	Έτος		Ιαν.	Απρ.	Ιουλ.	Οκτ.	Έτος
Αγρίνιο	77	67	52	71	67	Λάρισα	82	69	49	72	67
Αθήνα	73	62	46	66	62	Λήμνος	76	71	61	73	70
Αργοστόλι	74	71	63	72	71	Μεθώνη	74	74	74	73	74
Άρτα	77	72	62	74	71	Μήλος	74	68	61	70	68
Βόλος	77	70	60	74	70	Μυτιλήνη	75	66	55	69	66
Εύεσσα	70	62	51	65	62	Νάξος	72	70	70	73	71
Ζάκυνθος	73	71	61	71	70	Ναύπλιο	76	68	55	70	67
Ηράκλειο	70	64	58	67	65	Πάτρα	73	69	60	70	68
Θεσσαλονίκη	76	68	55	71	68	Πύργος	78	75	69	76	75
Θήρα	73	70	61	72	69	Ρόδος	75	70	56	69	68
Ικαρία	71	65	50	61	62	Σάμος	72	67	58	69	67
Ιωάννινα	77	67	53	73	68	Σέρρες	78	65	55	70	67
Καβάλα	78	70	58	70	69	Σητεία	73	66	62	70	68
Καλαμάτα	73	69	58	71	68	Σκόπελος	78	72	64	76	73
Κάρυστος	77	73	62	72	72	Σκύρος	78	72	67	75	73
Κέρκυρα	75	74	63	75	71	Σουφλί	82	67	58	72	71
Κοζάνη	78	63	51	68	65	Σπάρτη	76	65	49	69	65
Κομοτηνή	74	70	52	68	66	Τρίκαλα	79	65	48	71	65
Κόνιτσα	72	63	51	65	63	Τρίπολη	79	63	46	69	65
Κόρινθος	75	68	59	70	68	Φλώρινα	84	65	57	72	70
Κύθηρα	73	68	55	68	66	Χαλκίδα	77	66	55	69	67
Κως	71	66	64	69	67	Χανιά	73	67	57	70	66
Λάμια	75	62	51	68	64	Χίος	74	65	50	67	64



Πίνακας 8.8 Αντιστάσεις εσωτερικών συνθηκών της επιφάνειας του καλύμματος (von Zabeltitz 1986)

Σύστημα θέρμανσης	Θερμική αντίσταση των συνθηκών της εσωτερικής επιφάνειας R_i , [$m^2 \text{ } ^\circ K/W$]
Σωλήνες ψηλά	0,09
Σωλήνες στα τοιχώματα και στους ενδιάμεσους στύλους	0,09
Σωλήνες κάτω από τραπέζια της καλλιέργειας	0,10
Σωλήνες στο έδαφος	0,12
Αερόθερμα ελεύθερα	0,09
Αερόθερμα με αγωγούς αέρα	0,10
Μικτό σύστημα θέρμανσης με σωλήνες και αερόθερμα	0,10

Πίνακας 8.9 Θερμική αντίσταση υλικών κάλυψης θερμοκηπίων R (von Zabeltitz 1986)

Υλικό κάλυψης	Θερμική αντίσταση του υλικού R_L , [$m^2 \text{ } ^\circ K/W$]
Απλός υαλοπίνακας	0,01
Απλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού, κυματοειδής πάχους 1mm	0,01
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 15mm	0,24
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 12mm	0,11
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 6mm	0,09
Απλό φύλλο πλαστικού PE, PVC	0,01
Διπλό φύλλο πλαστικού με κενό αέρος 12mm	0,15
Διπλό φύλλο πλαστικού με κενό αέρος 5mm	0,15

Πίνακας 8.10 Θερμική αγωγιμότητα (λ) των υλικών τοιχοποιίας.

Υλικό	Θερμική αγωγιμότητα του υλικού, λ , $W / m^2 \text{ } ^\circ K$
Οπτόπλινθοι (τούβλα)	0,84
Τσιμεντόπλινθοι	0,15 – 0,30
Τοίχος σκυροδέματος	1,4
Ξύλο μαλακό	0,13
Ξύλο σκληρό	0,15
Διογκωμένη πολυστερίνη	0,03
Πολυουρεθάνη, άκαυπτες επιφάνειες	0,02



Πίνακας 8.11 Θερμική αντίσταση των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας καλύμματος του θερμοκηπίου.

Έκθεση στον άνεμο	Θερμική αντίσταση πλευρών $m^2 \cdot ^\circ K/W$	Θερμική αντίσταση οροφής $m^2 \cdot ^\circ K/W$
Υψηλή	0,080	0,070
Κανονική	0,055	0,045
Προσήνεμη	0,030	0,020

Πίνακας 8.12 Μέση διάρκεια της ημέρα DL κατά μήνα και γεωγραφικό πλάτος.

Μήνας	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
Αντιπροσωπευτική ημέρα (D)	17	47	75	105	135	162	198	228	258	288	318	344
Απόκλιση της γης, δ , ($^\circ$)	-	-	-2,42	9,41	18,79	23,09	21,18	13,45	2,22	-9,60	-	-
Γεωγραφικό πλάτος, φ , ($^\circ$)	Διάρκεια της ημέρας, DL, (h)											
35,00	9,93	10,76	11,77	12,89	13,84	14,32	14,10	13,29	12,21	11,09	10,15	9,69
35,20	9,91	10,75	11,77	12,90	13,85	14,33	14,12	13,30	12,21	11,09	10,14	9,67
35,40	9,90	10,75	11,77	12,90	13,87	14,35	14,13	13,31	12,21	11,08	10,12	9,65
35,60	9,88	10,74	11,77	12,91	13,88	14,37	14,15	13,32	12,21	11,07	10,11	9,64
35,80	9,87	10,73	11,77	12,92	13,89	14,39	14,16	13,32	12,21	11,07	10,09	9,62
36,00	9,85	10,72	11,77	12,92	13,91	14,41	14,18	13,33	12,21	11,06	10,08	9,60
36,20	9,83	10,71	11,76	12,93	13,92	14,42	14,20	13,34	12,22	11,05	10,06	9,58
36,40	9,82	10,70	11,76	12,94	13,94	14,44	14,21	13,35	12,22	11,04	10,05	9,56
36,60	9,80	10,69	11,76	12,94	13,95	14,46	14,23	13,36	12,22	11,04	10,03	9,54
36,80	9,78	10,68	11,76	12,95	13,97	14,48	14,25	13,37	12,22	11,03	10,02	9,53
37,00	9,77	10,67	11,76	12,96	13,98	14,50	14,26	13,38	12,22	11,02	10,01	9,51
37,20	9,75	10,66	11,76	12,96	14,00	14,52	14,28	13,40	12,22	11,02	9,99	9,49
37,40	9,73	10,65	11,75	12,97	14,01	14,54	14,30	13,41	12,23	11,01	9,98	9,47
37,60	9,72	10,64	11,75	12,98	14,03	14,56	14,32	13,42	12,23	11,00	9,96	9,45
37,80	9,70	10,63	11,75	12,99	14,04	14,57	14,33	13,43	12,23	10,99	9,95	9,43
38,00	9,68	10,62	11,75	12,99	14,06	14,59	14,35	13,44	12,23	10,99	9,93	9,41
38,20	9,67	10,61	11,75	13,00	14,07	14,61	14,37	13,45	12,23	10,98	9,91	9,39
38,40	9,65	10,60	11,74	13,01	14,09	14,63	14,39	13,46	12,23	10,97	9,90	9,37
38,60	9,63	10,59	11,74	13,01	14,10	14,65	14,40	13,47	12,24	10,97	9,88	9,35
38,80	9,61	10,58	11,74	13,02	14,12	14,67	14,42	13,48	12,24	10,96	9,87	9,33
39,00	9,60	10,57	11,74	13,03	14,13	14,69	14,44	13,49	12,24	10,95	9,85	9,31
39,20	9,58	10,56	11,74	13,04	14,15	14,71	14,46	13,50	12,24	10,94	9,84	9,29
39,40	9,56	10,55	11,73	13,04	14,16	14,73	14,47	13,51	12,24	10,94	9,82	9,27
39,60	9,54	10,54	11,73	13,05	14,18	14,75	14,49	13,52	12,24	10,93	9,80	9,25
39,80	9,52	10,53	11,73	13,06	14,20	14,77	14,51	13,53	12,25	10,92	9,79	9,23
40,00	9,51	10,52	11,73	13,07	14,21	14,79	14,53	13,54	12,25	10,91	9,77	9,21
40,20	9,49	10,51	11,73	13,07	14,23	14,82	14,55	13,56	12,25	10,90	9,76	9,19
40,40	9,47	10,49	11,73	13,08	14,24	14,84	14,57	13,57	12,25	10,90	9,74	9,17
40,60	9,45	10,48	11,72	13,09	14,26	14,86	14,59	13,58	12,25	10,89	9,72	9,15
40,80	9,43	10,47	11,72	13,10	14,28	14,88	14,61	13,59	12,26	10,88	9,71	9,13
41,00	9,41	10,46	11,72	13,11	14,29	14,90	14,62	13,60	12,26	10,87	9,69	9,11
41,50	9,36	10,43	11,71	13,12	14,34	14,95	14,67	13,63	12,26	10,85	9,65	9,05
42,00	9,32	10,41	11,71	13,14	14,38	15,01	14,72	13,66	12,27	10,83	9,60	9,00



Πίνακας 8.13 Αποδιδόμενη ενέργειαατμού ανά μέτρο μήκους σωλήνα.

Μέσο θέρμανσης	$d_{σωλ.}^*$ [inch]	Q_s [W/m]
Ατμός 102 °C	1 ½	200
Ατμός 102 °C	1 ¼	173

Πίνακας 8.14 Θερμογόνος δύναμη και πυκνότητα στερεών καυσίμων.

Στερεό καύσιμο	Μέση θερμογόνος τιμή		Πυκνότητα [kg/m ³]
	[kJ/kg]	[kcal/kg]	
Ανθρακίτης	31980	7650	850-1000
Καστανό κάρβουνο (υψηλής ποιότητας)	20900	5000	600
Καστανό κάρβουνο (χαμηλής ποιότητας)	7520	1800	600
Λιγνίτης	16000	3800	600
Τύρφη ξανθή	15470	3700	300-400
Καυσόξυλα(σκληρά ξύλα)	14630	3500	400-600
Καυσόξυλα(μαλακά ξύλα)	12500	3000	
Κωκ (Cooking coal)	28010	6700	340-450

Πίνακας 8.15 Θερμογόνος δύναμη και πυκνότητα υγρών καυσίμων.

Υγρό καύσιμο	Καθαρή θερμογόνος τιμή		Πυκνότητα [kg/m ³]
	[kJ/l]	[kJ/kg]	
Βενζίνη	30290	42220	0,724
Καθαρό πετρέλαιο	33570	42050	0,780
Πετρέλαιο μεταφορών και θέρμανσης	35570	42600	0,835
Πετρέλαιο ελαφρό θέρμανσης	36370	42050	0,865
Πετρέλαιο βαρύ θέρμανσης (μαζούτ)		40960	0,940