

6° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίων

6.1. Σκοπιμότητα καλλιέργειας στο θερμοκήπιο

Θερμοκήπιο είναι μία κλειστή κατασκευή καλυμμένη με υλικό διαπερατό από την ορατή ηλιακή ακτινοβολία, η οποία έχει ικανό ύψος για την είσοδο ανθρώπων σε αυτή και χρησιμοποιείται για την τροποποίηση των κλιματικών συνθηκών στο εσωτερικό της σε σύγκριση με το εξωτερικό περιβάλλον, με στόχο την ανάπτυξη φυτών ή και την παραγωγή φυτικών προϊόντων, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Ειδικότερα, τα λαχανοκομικά θερμοκήπια έχουν ως σκοπό τη δημιουργία όσο το δυνατόν πιο ευνοϊκών συνθηκών περιβάλλοντος για καλλιέργεια λαχανικών με οικονομικά αποδεκτό κόστος.

Η καλλιέργεια λαχανικών σε θερμοκήπια είναι απαραίτητη σε εποχές και περιοχές που στην ύπαιθρο δεν υπάρχουν οι κατάλληλες κλιματικές συνθήκες για την ανάπτυξή τους και την ολοκλήρωση του καλλιεργητικού τους κύκλου. Τα λαχανοκομικά θερμοκήπια αποσκοπούν στην δημιουργία κατάλληλου μικροκλίματος για την ανάπτυξη των λαχανικών, όταν οι καιρικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την καλλιέργειά τους στην ύπαιθρο. Ως μικροκλίμα ορίζεται το σύνολο των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν σε ένα ομοιογενή χώρο περιορισμένης έκτασης κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Στα θερμοκήπια ειδικότερα, οι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζονται και τροποποιούνται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των φυτών είναι κυρίως η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία και η ατμοσφαιρική υγρασία. Παράλληλα, μέσα στο χώρο των θερμοκηπίων καθίσταται δυνατή και η τροποποίηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα. Ο βαθμός επέμβασης και η έκταση των αλλαγών που επιδιώκονται στις παραπάνω παραμέτρους του περιβάλλοντος μέσα στο θερμοκήπιο εξαρτώνται τόσο από τις απαιτήσεις της κάθε καλλιέργειας, όσο και από το κόστος τους.

Η επίδραση του θερμοκηπίου ως κλειστής κατασκευής (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του εξοπλισμού για θέρμανση, δροσισμό, σκίαση, κ.λπ.) οφείλεται κατά βάση σε δύο παράγοντες, οι οποίοι αναλύονται παρακάτω.

- Ο πρώτος παράγοντας είναι η ιδιότητα του διαφανούς υλικού κάλυψης να παρουσιάζει χαμηλή διαπερατότητα στην μεγάλου μήκους κύματος θερμική ακτινοβολία ($> 2500 \text{ nm}$) και υψηλή διαπερατότητα στην υπεριώδη, την φωτεινή και την εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία ($700\text{-}2500 \text{ nm}$). Σημειώνεται ότι η υπέρυθρη ακτινοβολία (από 700 nm έως 1 mm) είναι ένα από τα είδη της θερμικής ακτινοβολίας. Η ενέργεια που περιέχεται στην εισερχόμενη

φωτεινή και εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία απορροφάται από το έδαφος και τα άλλα στοιχεία του εσωτερικού του θερμοκήπιου. Αυτά με τη σειρά τους θερμαίνονται και εκπέμουν μεγάλου μήκους κύματος θερμική ακτινοβολία. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ακτινοβολίας δεν μπορεί να περάσει μέσα από υλικό κάλυψης, (το ποσοστό εξαρτάται από τη φύση του υλικού) με συνέπεια να παγιδεύεται και να θερμαίνει τον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου. Επιπλέον, η παγίδευση της θερμικής ενέργειας στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου μειώνει και τους ρυθμούς πτώσης της θερμοκρασίας του εδάφους στη διάρκεια της νύχτας.

- Ο δεύτερος παράγοντας είναι η ιδιότητα των υλικών κάλυψης του θερμοκηπίου να δρουν ως ανεμοφράκτες με συνέπεια να περιορίζουν δραστικά την ανταλλαγή αέρα μεταξύ του εσωτερικού χώρου του θερμοκηπίου και του φυσικού εξωτερικού περιβάλλοντος. Κατά συνέπεια, τα υλικά κάλυψης επιτρέπουν την διατήρηση διαφοράς θερμοκρασίας, υγρασίας και συγκέντρωσης CO₂ μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και του εσωτερικού του θερμοκηπίου και συνεπώς την δημιουργία ενός διακριτού μικροκλίματος στο τελευταίο.

Στις χώρες με Μεσογειακό κλίμα όπως η Ελλάδα, τα λαχανοκομικά φυτά που έχουν ανάγκη να καλλιεργηθούν σε ένα θερμοκήπιο είναι κυρίως αυτά που χαρακτηρίζονται ως θερμής εποχής. Πρόκειται δηλαδή για κηπευτικά τα οποία παράγουν βρώσιμους καρπούς. Η καλλιέργεια κηπευτικών θερμής εποχής στο θερμοκήπιο αποσκοπεί κυρίως στην παραγωγή των αντίστοιχων προϊόντων την ψυχρή εποχή του έτους, όταν δηλαδή η καλλιέργειά τους στην ύπαιθρο είναι αδύνατη, κυρίως λόγω χαμηλών θερμοκρασιών αέρα, αλλά και εδάφους. Ο σκοπός της καλλιέργειας κηπευτικών θερμής εποχής στο θερμοκήπιο στις χώρες και περιοχές με Μεσογειακό κλίμα είναι κατά κανόνα η παραγωγή καρπών κατά την περίοδο από Οκτώβριο μέχρι και Μάιο ή Ιούνιο. Η ανάγκη της παραγωγής κηπευτικών θερμής εποχής στο θερμοκήπιο μέχρι τον Μάιο ή και τον Ιούνιο, μολονότι αυτοί οι μήνες δεν ανήκουν στην ψυχρή εποχή του έτους, οφείλεται στο γεγονός ότι ο χρόνος έναρξης της παραγωγής στην ύπαιθρο καθορίζεται από τον χρόνο που το φυτό μπορεί να φυτευτεί στο χωράφι. Στις Μεσογειακές χώρες της Ευρώπης, τα θερμοαπαιτητικά κηπευτικά δεν μπορούν να φυτευτούν στην ύπαιθρο νωρίτερα από τον Μάρτη ή τον Απρίλη (ανάλογα με την περιοχή της χώρας). Μετά την φύτευση την άνοιξη χρειάζονται τουλάχιστον 5-8 (κολοκυνθώδη) μέχρι και 10-12 εβδομάδες μέχρι να δώσουν εμπορικά ώριμους καρπούς. Συνεπώς, η παραγωγή καρπών στις υπαίθριες καλλιέργειες θερμοαπαιτητικών κηπευτικών δεν μπορεί να ξεκινήσει νωρίτερα από τον Μάιο (κολοκυνθώδη) ή τον Ιούνιο (σολανώδη).

6.2. Θερμοκηπιακές καλλιέργειες κηπευτικών στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα, η εκτός εποχής παραγωγή κηπευτικών σε θερμοκήπια αποτελεί μία από τις σημαντικότερες γεωργικές δραστηριότητες, όπως συμβαίνει σε όλες σχεδόν τις χώρες της μεσογειακής λεκάνης. Από τα φυτά θερμής εποχής, στα ελληνικά θερμοκήπια καλλιεργούνται σε αξιόλογη έκταση η τομάτα, η μελιτζάνα, η πιπεριά, το αγγούρι, το κολοκύθι, το πεπόνι, το καρπούζι και το νωπό φασολάκι. Αντίθετα η μπάμια πολύ σπάνια καλλιεργείται στο θερμοκήπιο, ενώ το γλυκοκαλάμποκο άρχισε να καλλιεργείται τα τελευταία χρόνια σε μικρή έκταση. Ειδικά το αγγούρι, καλλιεργείται συστηματικά και σε αξιόλογη έκταση και το καλοκαίρι στα θερμοκήπια. Αυτό συμβαίνει γιατί οι ποικιλίες αγγουριού που επικρατούν σήμερα για παραγωγή νωπών καρπών είναι πλήρως θηλυκές ή παρθενοκαρπικές, δηλαδή ποικιλίες που παράγουν μόνο θηλυκά άνθη, τα οποία εξελίσσονται σε καρπούς χωρίς να χρειάζονται γονιμοποίηση (Denna, 1973). Οι ποικιλίες αυτές δεν είναι εύκολο να καλλιεργηθούν στην ύπαιθρο για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι ο κίνδυνος ανεπιθύμητης γονιμοποίησης των θηλυκών ανθέων, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό καρπών κατώτερης ποιότητας οι οποίοι είναι μη εμπορεύσιμοι. Ο δεύτερος λόγος είναι η κακή ποιότητα των καρπών που παράγονται όταν το φυτό αναπτύσσεται υπαίθρια χωρίς κλάδεμα και υποστύλωση, κυρίως επειδή κείτονται στο έδαφος, γιατί το αγγούρι σε φυσικές συνθήκες αναπτύσσεται ως έρπον φυτό.

Εκτός όμως από το αγγούρι, τα τελευταία χρόνια άρχισαν να καλλιεργούνται σε μεσογειακά θερμοκήπια το καλοκαίρι και τα σολανώδη καρποδοτικά κηπευτικά και κυρίως η τομάτα. Ο βασικός λόγος για την καλλιέργεια της τομάτας στο θερμοκήπιο το καλοκαίρι είναι τα σοβαρά προβλήματα καρπόδεσης που παρουσιάζει τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο στην ύπαιθρο, λόγω των υπερβολικά υψηλών θερμοκρασιών αέρα. Ένας επιπλέον λόγος είναι η καλύτερη ποιότητα καρπών που επιτυγχάνεται στις καλλιέργειες στο θερμοκήπιο (μεγαλύτερο ποσοστό καρπών Α' ποιοτικής κατηγορίας λόγω μειωμένης εμφάνισης ξηρής σήψης κορυφής και εγκαυμάτων, καθώς και λιγότερων προσβολών από έντομα). Τα παραπάνω όμως ισχύουν εφόσον το θερμοκήπιο που χρησιμοποιείται για παραγωγή καρποδοτικών κηπευτικών το καλοκαίρι είναι σύγχρονο και έχει τον κατάλληλο εξοπλισμό για διατήρηση ικανοποιητικών επιπέδων θερμοκρασίας και υγρασίας στο εσωτερικό του, καθώς και για αποτροπή της εισόδου βλαπτικών εντόμων. Σε απλά θερμοκήπια στα οποία ο μόνος εξοπλισμός για τον έλεγχο και την τροποποίηση του εσωτερικού μικροκλίματος είναι τα ανοίγματα που επιτρέπουν τον φυσικό εξαερισμό, δεν είναι δυνατή η θερινή καλλιέργεια κηπευτικών.

Εκτός όμως από την παραγωγή κηπευτικών θερμής εποχής, τα θερμοκήπια συχνά χρησιμοποιούνται και για παραγωγή κηπευτικών ψυχρής εποχής. Στην Ελλάδα, από τα ψυχρής εποχής κηπευτικά στο θερμοκήπιο καλλιεργούνται κυρίως το μαρούλι και η φράουλα, ενώ τελευταία άρχισε να καλλιεργείται και η πατάτα σε κάποια έκταση, κυρίως σε υψηλές σήραγγες (τούνελ). Σε μικρότερες εκτάσεις, σποραδικά μπορεί να καλλιεργούνται και άλλα λαχανικά ψυχρής εποχής σε θερμοκήπια, κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα. Κατά κανόνα, τα ψυχρής εποχής κηπευτικά που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια ανήκουν στα μέτρια ψυχροανθεκτικά, δεδομένου ότι σε πολλές περιοχές της χώρας η παραγωγή τους στην ύπαιθρο τους χειμερινούς μήνες και κυρίως τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο δεν είναι εφικτή. Η θερμοκηπιακή καλλιέργεια κηπευτικών ψυχρής εποχής τον χειμώνα είναι πολύ πιο συχνή στις βορειότερες χώρες της Ευρώπης, δεδομένου ότι εκεί η παραγωγή τους στην ύπαιθρο είναι αδύνατη τους χειμερινούς μήνες, πλην ελαχίστων εξαιρέσεων

Στην **Διαφάνεια 6** παρατίθενται στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων σχετικά με την συνολική έκταση των θερμοκηπίων που καλλιεργούνται με κηπευτικά στην Ελλάδα, την κατανομή τους ανά καλλιεργούμενο φυτό (κύρια καλλιέργεια) καθώς και τις αντίστοιχες μέσες και συνολικές αποδόσεις. Από τα δεδομένα αυτά προκύπτει ότι η συνολική έκταση των θερμοκηπίων που καλλιεργήθηκαν με κηπευτικά στην Ελλάδα το 2012 ανήλθε σε 55.743 στρέμματα. Διαπιστώνεται επίσης ότι περίπου το ένα τρίτο από την παραπάνω έκταση (19.043 στρέμματα) αντιστοιχεί σε καλλιέργειες τομάτας, οι οποίες έδωσαν συνολική παραγωγή 219.039 τόνους και μέση παραγωγή 11,5 τόνους ανά στρέμμα. Η δεύτερη σε έκταση καλλιέργεια θερμοκηπίου είναι η φράουλα με 11.630 στρέμματα και ακολουθούν το αγγούρι με 11.206 στρέμματα και η πιπεριά με 7.259 στρέμματα.

Πολλά θερμοκήπια χρησιμοποιούνται μετά την ολοκλήρωση της κύριας καλλιέργειας για την εγκατάσταση μίας δεύτερης καλλιέργειας βραχύτερης διάρκειας. Στην **Διαφάνεια 8** παρατίθεται αριθμητικά δεδομένα σχετικά με την έκταση των θερμοκηπίων που χρησιμοποιήθηκαν για μία δεύτερη καλλιέργεια κηπευτικού στη διάρκεια της ίδιας χρονιάς, την κατανομή της ανά είδος κηπευτικού, καθώς και το αντίστοιχο ύψος της συνολικής και της μέσης παραγωγής για κάθε καλλιεργούμενο φυτό.

Από τα δεδομένα που παρατίθενται στην **Διαφάνεια 8** προκύπτει ότι το πλέον συνηθισμένο λαχανικό που καλλιεργείται ως δεύτερη καλλιέργεια στα Ελληνικά θερμοκήπια, είναι και πάλι η τομάτα, αν και το ποσοστό της επί του συνόλου (περίπου 30%) είναι ελαφρώς μικρότερο σε σύγκριση με τα αντίστοιχα ποσοστά για την κύρια καλλιέργεια.

Οι μέσες στρεμματικές αποδόσεις που λαμβάνονται στα Ελληνικά θερμοκήπια είναι γενικά χαμηλές και υπολείπονται κατά πολύ αυτών που επιτυγχάνονται σε σύγχρονα

θερμαινόμενα θερμοκήπια χωρών της Βόρειας Ευρώπης. Για παράδειγμα, η μέση παραγωγή τομάτας στα Ελληνικά θερμοκήπια ανέρχεται στους 11,5 τόνους ανά στρέμμα περίπου, ενώ στα Ολλανδικά θερμοκήπια είναι σχεδόν τετραπλάσια (47 τόνοι ανά στρέμμα, FAOSTAT, 2014). Οι χαμηλές αποδόσεις ανά μονάδα καλλιεργούμενης επιφάνειας οφείλονται στο χαμηλό τεχνολογικό επίπεδο των περισσότερων Ελληνικών θερμοκηπίων (**Διαφάνεια 7**), τα οποία έχουν μειωμένες έως ανύπαρκτες δυνατότητες ελέγχου του εσωτερικού κλίματος. Επιπλέον, το επίπεδο της τεχνογνωσίας, όσον αφορά κυρίως την θρέψη, αλλά και την φυτοπροστασία, είναι χαμηλό. Τέλος, λόγω ανεπαρκειών στην ρύθμιση του εσωτερικού κλίματος και την τεχνική της καλλιέργειας, η καλλιεργητική περίοδος στα Ελληνικά θερμοκήπια είναι συνήθως μικρή. Επομένως, οι μέσες παραγωγές καρποδοτικών λαχανικών στα ελληνικά θερμοκήπια, οι οποίες λαμβάνονται από καλλιεργητικές περιόδους μέσης διάρκειας 5-6 μηνών, δεν είναι συγκρίσιμες με εκείνες π.χ. της Ολλανδίας, οι οποίες προέρχονται από καλλιεργητικές περιόδους 10-11 μηνών.

6.4. Απαιτήσεις για την εγκατάσταση ενός θερμοκηπίου

Πριν την εγκατάσταση ενός νέου θερμοκηπίου για παραγωγή κηπευτικών θα πρέπει να επιλεγούν σωστά: α) η θέση εγκατάστασής του, β) το σχήμα και το μέγεθός του, γ) τα υλικά κάλυψής του και δ) ο λοιπός εξοπλισμός του (συστήματα θέρμανσης, αερισμού, ρύθμιση της υγρασίας, αυτομάτου ελέγχου των κλιματικών συνθηκών, άρδευσης, κ.λπ.). Η λήψη ορθών αποφάσεων για τα παραπάνω θέματα πρέπει να βασίζεται όχι μόνο σε τεχνικά κριτήρια (π.χ. επίτευξη κατάλληλου μικροκλίματος στο εσωτερικό του), αλλά και σε οικονομικά κριτήρια με βάση την ανάλυση κόστους/οφέλους σε κάθε περίπτωση. Προφανώς βέβαια, το νομοθετικό πλαίσιο, η ανάλυση αγοράς και το ύψος της διαθέσιμης χρηματοδότησης είναι καθοριστικοί παράγοντες για την λήψη ορθών αποφάσεων σε κάθε περίπτωση. Αυτό το τελευταίο (διαθέσιμη χρηματοδότηση) είναι πολύ πιο σημαντικό στην περίπτωση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών σε σύγκριση με της υπαίθριες, λόγω του πολύ μεγάλου ύψους της επένδυσης που απαιτείται για την αγορά και εγκατάσταση ενός θερμοκηπίου μαζί με τον εξοπλισμό του. Αν και οι τιμές δεν παραμένουν αμετάβλητες στο χρόνο και το κόστος εξαρτάται από την συνολική έκταση και το είδος του θερμοκηπίου (τύπος σκελετού, υλικό κάλυψης, εξοπλισμός), ενδεικτικά αναφέρεται ότι η αγορά και εγκατάσταση ενός θερμοκηπίου με τον εξοπλισμό του (χωρίς να υπολογίζεται το κόστος της γης) κοστίζει μερικές δεκάδες χιλιάδες ευρώ ανά στρέμμα.

6.6. Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίων

Τα θερμοκήπια, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, διακρίνονται σε χωρικού τύπου και τυποποιημένα. Τα χωρικού τύπου κατασκευάζονται από τους ίδιους τους παραγωγούς, ενώ τα τυποποιημένα κατασκευάζονται από βιοτεχνίες και βιομηχανίες σε μαζική παραγωγή. Το σχήμα, οι διαστάσεις καθώς και τα υλικά σκελετού και κάλυψης είναι ποικίλα. Το τελικό σχήμα ενός θερμοκηπίου εξετάται από το σχήμα της Βασικής Κατασκευαστικής Μονάδας (BKM) και των επαναλήψεων της. Βασική κατασκευαστική μονάδα ενός θερμοκηπίου είναι το μικρότερο πλήρες τμήμα του, το οποίο επαναλαμβανόμενο κατά μήκος και κατά πλάτος σχηματίζει το σύνολο. Το πλάτος μίας BKM για κατασκευαστικούς λόγους συνήθως δεν υπερβαίνει τα 8 m. Υπάρχουν όμως και τύποι θερμοκηπίων με BKM που φτάνουν και τα 16 m. Το μήκος της BKM συνήθως κυμαίνεται από 2 έως 3 m.

Τα βασικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά με βάση τα οποία διακρίνονται τα θερμοκήπια σε κατηγορίες είναι: α) το σχήμα, β) το πλάτος, γ) το ύψος, δ) ο τρόπος διάταξης της BKM στην καλλιεργούμενη επιφάνεια, ε) το υλικό και ο τρόπος κατασκευής του σκελετού, και στ) το υλικό κάλυψης.

6.6.1. Σχήμα θερμοκηπίων

Οι BKM των θερμοκηπίων μπορούν να έχουν διάφορα σχήματα, τα οποία έχουν επιλεγεί με βάση τόσο τα τεχνικά χαρακτηριστικά όσο και το κόστος τους. Μία πρώτη βασική διάκριση είναι μεταξύ αυτών που έχουν ημικυκλική (τοξωτή) οροφή και αυτών που έχουν οροφή αποτελούμενη από δύο κεκλιμένα επίπεδα τα οποία συγκλίνουν μεταξύ τους ώστε να σχηματίσουν μία στέγη. Αν και υπάρχουν διάφορες ιδιοκατασκευές, τα επικρατέστερα σχήματα θερμοκηπίων (**Διαφάνεια 12**) είναι τα εξής:

- **Τοξωτά θερμοκήπια (ψηλά τούνελ ή ψηλές σήραγγες).** Στα τοξωτά θερμοκήπια, η BKM αποτελείται από δύο συνεχόμενες απλές αψίδες (**Διαφάνεια 15**). Το ύψος τους συνήθως είναι σχετικά χαμηλό, αλλά επαρκές για την είσοδο ανθρώπων (συνήθως 2-4 m στο κέντρο τους). Επειδή φέρουν μικρό φορτίο, έχουν ελαφρύ σκελετό, με συνέπεια να έχουν φτηνό κόστος. Ο τρόπος κατασκευής του σκελετού ενός τοξωτού θερμοκηπίου, καθώς και κάποιες ενδεικτικές διαστάσεις πλάτους και ύψους, φαίνονται στη **Διαφάνεια 15**. Λόγω του ανομοιόμορφου ύψους κατά πλάτος παρουσιάζουν αντίστοιχη ανομοιομορφία και στις συνθήκες περιβάλλοντος στο εσωτερικό τους. Η προοδευτική μείωση του ύψους κατά πλάτος της αψίδας προκαλεί αντίστοιχα αυξανόμενη δυσκολία στην κίνηση των εργατών και στην κατά ύψος ανάπτυξη φυτών προς τις δύο άκρες της αψίδας. Γι' αυτό, τα τοξωτά

θερμοκήπια δεν είναι κατάλληλα για φυτά υψηλής ανάπτυξης, όπως η τομάτα. Χρησιμοποιούνται κυρίως για καλλιέργειες φράουλας, κολοκυθίου, μη υποστλωμένου καρπουζιού και πεπονιού, μαρουλιού και λιγότερο συχνά για φυτά όπως νωπό φασόλι, πιπεριές, μελιτζάνες, κ.λπ. Ο αερισμός γίνεται χειρωνακτικά με πλαϊνά ανοίγματα τα οποία συχνά δεν μπορούν να μειώσουν σε κατάλληλα επίπεδα την εσωτερική θερμοκρασία την περίοδο από τον Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο. Λόγω του χαμηλού κόστους τους όμως, είναι πολύ διαδεδομένα, κυρίως για μικρής διάρκειας καλλιέργειες.

- **Τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια (τοξωτά με κάθετες πλευρές).** Στα τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια η αψίδα είναι στερεωμένη σε δύο κάθετους στύλους, τους ορθοστάτες (Διαφάνεια 16). Με αυτό το τρόπο σχηματίζεται ένα θερμοκήπιο με κάθετες πλάγιες πλευρές και ημικυκλική (τοξωτή) οροφή. Τεχνικά, έχουν την δυνατότητα να είναι αρκετά ψηλά, αλλά συνήθως δεν είναι πολύ μεγάλου ύψους. Κατά κανόνα φέρουν μεταλλικό σκελετό αν και υπάρχουν και μικτοί τύποι (ξύλο και μέταλλο). Είναι ένας πολύ διαδεδομένος τύπος θερμοκηπίων σε όλο τον κόσμο. Τα υλικά κάλυψης των κάθετων πλευρών και της ημικυκλικής οροφής συχνά είναι διαφορετικά, αλλά σε κάθε περίπτωση και τα δύο είναι κατασκευασμένα από κάποιο είδος διαφανούς πλαστικού. Μπορούν να φέρουν ανοίγματα και στην οροφή και στα πλάγια και να συνοδεύονται από εξοπλισμό για θέρμανση, δροσισμό κ.λπ., καθώς και αυτοματισμούς.
- **Αμφίρρικτα (αμφικλινή) θερμοκήπια.** Η ΒΚΜ αυτών των θερμοκηπίων διαφέρει από την προηγούμενη στο ότι η αψίδα έχει αντικατασταθεί από ένα ισοσκελές τρίγωνο (ζευκτό), σχηματίζοντας μία συμμετρική στέγη (Διαφάνεια 17). Τα αμφίρρικτα θερμοκήπια μπορούν να φέρουν ανοίγματα εξαερισμού τόσο στην οροφή όσο και στα πλάγια. Τα ανοίγματα οροφής μπορούν να είναι συνεχόμενα ή ασυνεχή. Τα συνεχόμενα ανοίγματα οροφής συνιστώνται όταν οι ανάγκες εξαερισμού κάποιες εποχές του έτους είναι μεγάλες (μεσογειακά κλίματα). Στη Βόρεια Ευρώπη συνήθως τα ανοίγματα οροφής δεν είναι συνεχόμενα, ενώ δεν υπάρχουν πλευρικά παράθυρα. Κάθε ΒΚΜ μπορεί να καλύπτεται είτε από δύο κεκλιμένα επίπεδα που σχηματίζουν μία μονή οροφή (Διαφάνεια 17) είτε από τέσσερα κεκλιμένα επίπεδα που συγκλίνουν ανά δύο σχηματίζοντας δύο συνεχόμενες οροφές (Διαφάνεια 18). Η μονή οροφή δημιουργεί μεγαλύτερο εσωτερικό όγκο στέγης. Επειδή η μονή οροφή καλύπτει όλο το πλάτος της ΒΚΜ, αναφέρεται διεθνώς ως wide span type. Αντίστοιχα, η διπλή οροφή δημιουργεί μικρότερο εσωτερικό χώρο στέγης, αφού κάθε επιμέρους στέγη καλύπτει μόνο το μισό από το συνολικό πλάτος της ΒΚΜ. Τα αμφίρρικτα θερμοκήπια με διπλή οροφή είναι διεθνώς γνωστά ως τύπου Venlo. Άλλα χαρακτηριστικά

που μπορούν να διαφοροποιούν τα αμφίρρικτα θερμοκήπια είναι: α) το ύψος τους, β) η γωνία κλίσης των κεκλιμένων επιπέδων, γ) το είδος του σκελετού και δ) το υλικό κάλυψης. Σε αυτόν τον τύπο ανήκουν τα περισσότερα γυάλινα θερμοκήπια. Ο τύπος του αμφίρρικτου θερμοκηπίου είναι αρκετά διαδεδομένος διεθνώς.

- **Αμφίρρικτα (αμφικλινή) θερμοκήπια με κεκλιμένες πλευρές.** Στην BKM των αμφίρρικτων θερμοκηπίων με κεκλιμένες πλευρές οι ορθοστάτες δεν είναι κάθετοι αλλά ελαφρώς κεκλιμένοι με κατάλληλη αντιστήριξη για να παρέχουν μεγαλύτερη αντίσταση στον άνεμο. Ως προς τα υπόλοιπα ισχύουν τα ίδια με τα τυπικά αμφίρρικτα θερμοκήπια με την επισημάνση ότι κατά κανόνα έχουν μικρότερο ύψος και είναι καλυμμένα με πλαστικό και όχι με γυαλί.
- **Ετεροκλινή θερμοκήπια.** Η BKM αυτών είναι όπως του αμφίρρικτου με τη διαφορά ότι το τρίγωνο που δημιουργεί τη στέγη δεν είναι ισοσκελές αλλά σκαλινό (Διαφάνεια 19). Έτσι δημιουργείται μία μη συμμετρική στέγη. Κατά τα άλλα, ισχύουν όσα έχουν αναφερθεί και για τα αμφικλινή θερμοκήπια. Τα ετεροκλινή θερμοκήπια είναι όμως πολύ λιγότερο διαδεδομένα διεθνώς σε σύγκριση με τα αμφικλινή.
- **Θερμοκήπια γοθτικού τύπου.** Η BKM των θερμοκηπίων γοθτικού τύπου μοιάζει με αυτή των τοξωτών. Η διαφορά είναι στο σχήμα της αψίδας, το οποίο δεν είναι το κλασσικό ημικυκλικό τόξο αλλά το γοθτικό. Το γοθτικό τόξο συνίσταται από δύο ελαφρά κυρτές (καμπυλωτές) πλευρές που συγκλίνουν προς το κέντρο (Διαφάνεια 20). Τα θερμοκήπια γοθτικού τύπου παρουσιάζουν και αυτά ανομοιομορφία στο ύψος κατά πλάτος, όπως τα τοξωτά. Γενικά όμως είναι ψηλότερα από τα τοξωτά, ανάλογα βέβαια και με τον βαθμό καμπυλότητας των πλευρικών τοιχωμάτων τους. Λόγω της σχετικά μεγάλης κλίσης των πλευρικών τοιχωμάτων τους, είναι κατάλληλα για περιοχές με υψηλό ύψος βροχών και συχνές χιονοπτώσεις. Δεν είναι πολύ διαδεδομένα διεθνώς. Χρησιμοποιούνται σε ορισμένες περιπτώσεις σε χώρες με ψυχρό και υγρό κλίμα.
- **Θερμοκήπια με στέγη γοθτικού τύπου.** Η BKM μοιάζει με αυτή των τροποποιημένων τοξωτών με μόνη διαφορά την αντικατάσταση της κλασσικής καμπυλωτης αψίδας που σχηματίζει την στέγη με την γοθτική αψίδα (Διαφάνεια 21). Όσον αφορά τους ορθοστάτες, αυτοί μπορούν να τοποθετηθούν είτε κάθετα είτε ελαφρά κεκλιμένοι, όπως στα αμφίρρικτα με κεκλιμένες πλευρές. Γενικά έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τα τροποποιημένα τοξωτά με την διαφορά ότι μπορούν να σχηματίζουν στέγη με μεγαλύτερη κλίση η οποία αφενός διευκολύνει την απορροή του νερού και του χιονιού και αφετέρου βελτιώνει την διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας τον χειμώνα. Συνεπώς, σε σύγκριση

με το τροποποιημένο τοξωτό είναι ένας πιο κατάλληλος τύπος θερμοκηπίου για βορειότερα και ψυχρότερα κλίματα.

Τα χωρικού τύπου θερμοκήπια μπορούν να έχουν διάφορα σχήματα με επικρατέστερο το αμφίκρικο ή διάφορες παραλλαγές του. Στην Νότια Ισπανία και κυρίως στην Αλμερία, τα χωρικού τύπου θερμοκήπια, τα οποία έχουν επίπεδη ή ελάχιστα κεκλιμένη στέγη, πολύ χαμηλό ύψος και ξύλινο σκελετό, είναι γνωστά ως parral-type (Montero et al., 2013).

Σε όλους τους τύπους θερμοκηπίων που σχηματίζουν στέγη, η κλίση της οροφής καθορίζει τον βαθμό ευκολίας στην απομάκρυνση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, δηλαδή των νερών της βροχής, του χιονιού και του χαλαζιού. Επιπλέον καθώς αυξάνεται η κλίση της οροφής, διευκολύνεται η απομάκρυνση του νερού που δημιουργείται από τη συμπύκνωση των υδρατμών στην εσωτερική επιφάνεια του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου. Όσον αφορά την επίδραση της κλίσης στον εσωτερικό φωτισμό, έχει διαπιστωθεί ότι, όσο αυξάνεται η κλίση της οροφής, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται σε ένα θερμοκήπιο μέσω του διαφανούς υλικού κάλυψής του τον χειμώνα (Montero et al., 2013). Από την άλλη πλευρά όμως, η αύξηση της κλίσης της οροφής δημιουργεί αυξημένες απαιτήσεις κυρίως όσον αφορά τον τρόπο κατασκευής του σκελετού του θερμοκηπίου, με συνέπεια να αυξάνει το κόστος της κατασκευής του. Η προσπάθεια για επίτευξη της χρυσής τομής μεταξύ κόστους και λειτουργικότητας έχει οδηγήσει στην υιοθέτηση κλίσεων οροφής μεταξύ 25° και 30° (Montero et al., 2013).

6.6.2. Πλάτος BKM θερμοκηπίων

Το πλάτος μίας BKM θερμοκηπίου θεωρητικά μπορεί να είναι οποιοδήποτε, αλλά πρακτικά καθορίζεται από τεχνικούς περιορισμούς που σχετίζονται με την στατική της ευστάθεια, καθώς και με τις διαστάσεις των διαθέσιμων υλικών κάλυψής της (von Zabeltitz, 2011). Η πλειονότητα των τυποποιημένων θερμοκηπίων, που υπάρχουν στη χώρα μας έχει BKM με πλάτος που κυμαίνεται από 5 μέχρι 8 m. Για τα τοξωτά θερμοκήπια προβλέπεται ελάχιστο ελεύθερο πλάτος ίσο με 7 m (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 1992). Πολλά θερμοκήπια χωρικού τύπου όμως έχουν πλάτος BKM μικρότερο από 5 m. Θερμοκήπια με τόσο μικρό πλάτος όμως δεν συνιστώνται (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 1992) γιατί δυσκολεύουν την εκμηχάνιση των καλλιεργητικών εργασιών και την κίνηση του εργατικού προσωπικού. Στα θερμοκήπια χωρικού τύπου είναι δυνατή η τοποθέτηση ενδιάμεσων στύλων για στήριξη της οροφής με ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους τα 2,50 m σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (1992).

6.6.3. Ύψος θερμοκηπίων

Το ύψος των περισσότερων τύπων θερμοκηπίου ορίζεται σε δύο επίπεδα. Το ένα επίπεδο βρίσκεται στο ύψος του ορθοστάτη. Σε αυτό το επίπεδο φέρονται οι υδρορροές που συλλέγουν το βρόχινο νερό και το παροχετεύουν στο έδαφος. Για αυτό, το ύψος των θερμοκηπίων μέχρι τον ορθοστάτη συχνά αναφέρεται και ως ύψος υδρορροής. Πάνω από το ύψος της υδρορροής φέρεται η στέγη, η οποία μόνο σε ορισμένα χωρικού τύπου θερμοκήπια είναι τελείως επίπεδη. Εφόσον η στέγη δεν είναι επίπεδη, φτάνει μέχρι ένα συγκεκριμένο ύψος το οποίο αναφέρεται ως ύψος κορφιά ή ύψος τόξου, ανάλογα με το σχήμα της BKM.

Τα παλιά θερμοκήπια χωρικού τύπου ήταν πολύ χαμηλά (γύρω στα 2-2,5 m) για να αντέχουν καλύτερα την καταπόνηση από τον άνεμο, αλλά είχαν ελάχιστη ρυθμιστική ικανότητα όσον αφορά το εσωτερικό μικροκλίμα, όπως θα εξηγηθεί παρακάτω. Τα τυποποιημένα θερμοκήπια όμως είναι αρκετά ψηλότερα. Οι ευρωπαϊκές προδιαγραφές για την κατασκευή τυποποιημένων θερμοκηπίων (European Standard EN 13031-1, 2001) δεν προβλέπουν ελάχιστο ύψος οροφής της κατασκευής. Σύμφωνα με τις εθνικές προδιαγραφές (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 1992), τα τυποποιημένα αμφίρρικτα θερμοκήπια απαιτείται να έχουν ύψος υδρορροής μεγαλύτερο από 2,6 m και ύψος κορφιά ή τόξου τουλάχιστον 3,5 m. Τα τελευταία χρόνια όμως κερδίζουν έδαφος τα πολύ ψηλά θερμοκήπια με ύψος υδρορροής που μπορεί να φτάνει τα 6-7 m (Διαφάνειες 18 & 23). Όσον αφορά τα τυποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια, οι εθνικές προδιαγραφές προβλέπουν ελάχιστο ύψος 3 m στη κορυφή της αψίδας και 1,50 m σε απόσταση μισού μέτρου από το σημείο στήριξης στο έδαφος.

Το ύψος του θερμοκηπίου είναι ιδιαίτερα σημαντικό, δεδομένου ότι όσο πιο ψηλό είναι ένα θερμοκήπιο τόσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος που αντιστοιχεί στην μονάδα της επιφάνειάς του, με συνέπεια να παρουσιάζει μεγαλύτερη «αδράνεια» στις θερμοκρασιακές μεταβολές που συμβαίνουν εκτός θερμοκηπίου. Τα ψηλά θερμοκήπια αργούν βέβαια να θερμανθούν αλλά διατηρούν τη θερμοκρασία που απέκτησαν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Γι' αυτό τα ψηλά θερμοκήπια είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για εκείνες τις περιοχές όπου οι ημέρες με μεγάλη ηλιοφάνεια ακολουθούνται από ιδιαίτερες ψυχρές νύκτες. Εκτός όμως από την καλύτερη θέρμανση, τα ψηλά θερμοκήπια πλεονεκτούν και όσον αφορά την τροφοδότηση των φυτών με διοξείδιο του άνθρακα όταν δεν εφαρμόζεται τεχνητά ανθρακολίπανση. Το πλεονέκτημα αυτό αφορά κυρίως τις ημέρες του χειμώνα που επικρατεί ικανοποιητική ηλιοφάνεια αλλά η εξωτερική θερμοκρασία είναι σχετικά χαμηλή οπότε τα παράθυρα εξαερισμού δεν ανοίγουν. Στις περιπτώσεις αυτές, λόγω της έντονης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών, η

συγκέντρωση CO₂ μέσα στο θερμοκήπιο μειώνεται σημαντικά, αφού ο αέρας δεν ανανεώνεται. Στα ψηλά θερμοκήπια όμως, λόγω του μεγαλύτερου όγκου αέρα ανά μονάδα φυλλικής επιφάνειας η ελάττωση της συγκέντρωσης CO₂ γίνεται με βραδύτερο ρυθμό και επομένως είναι λιγότερο έντονη. Εκτός από τα παραπάνω πλεονεκτήματα, τα ψηλά θερμοκήπια υπερτερούν και ως προς τον χώρο που είναι διαθέσιμος για την ανάπτυξη των φυτών. Το πλεονέκτημα αυτό είναι σημαντικό στις περιπτώσεις των υψηλής ανάπτυξης καρποδοτικών λαχανικών όπως η τομάτα, η μελιτζάνα, το αγγούρι, κ.λπ.. Παράλληλα όμως, σε αυτό το ύψος δημιουργείται πρόβλημα με την εκτέλεση των καλλιεργητικών εργασιών (κλάδεμα, υποστύλωση, συγκομιδή, κ.λπ.). Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με την χρησιμοποίηση σκάλας, ειδικών ανυψωτικών τροχήλατων οχημάτων, ή άλλων ανυψωτικών συστημάτων που επιτρέπουν στο εργατικό προσωπικό να περιποιείται τα φυτά σε μεγαλύτερο ύψος.

6.6.4. Τρόπος διάταξης βασικών κατασκευαστικών μονάδων

Η BKM μπορεί να επαναλαμβάνεται κατά μήκος και κατά πλάτος. Όταν επαναλαμβάνεται μόνο κατά μήκος, τότε δημιουργούνται τα απλά ή απλής γραμμής θερμοκήπια (**Διαφάνεια 14 πάνω**). Με την επανάληψη της BKM όχι μόνο κατά μήκος αλλά και κατά πλάτος, είναι εφικτή η κατασκευή μεγάλων θερμοκηπιακών μονάδων οποιουδήποτε πλάτους και οιασδήποτε έκτασης. Τα θερμοκήπια αυτού του τύπου ονομάζονται πολλαπλής γραμμής (**Διαφάνεια 14 κάτω**). Περιμετρικά, καθώς και στα κατώτερα σημεία που συνδέονται τα κεκλιμένα επίπεδα ή τα τόξα των BKM, τα πολλαπλής γραμμής θερμοκήπια φέρουν υδρορροές για την απομάκρυνση των όμβριων υδάτων από την στέγη. Στα πολλαπλής γραμμής θερμοκήπια οι γειτονικές BKM δεν διαχωρίζονται μεταξύ τους με υλικό κάλυψης, ώστε να προκύπτει ένας ενιαίος εσωτερικός χώρος, τόσο κατά μήκος όσο και κατά πλάτος. Κάθε ενιαίος χώρος θερμοκηπίου που σχηματίζεται από πολλές BKM συνιστά ένα διαμέρισμα.

Τα τοξωτά θερμοκήπια (υψηλές σήραγγες), τα απλά θερμοκήπια γοτθικού τύπου, καθώς και αυτά με τις κεκλιμένες πλευρές, μπορούν να είναι τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο. Δεν μπορούν όμως να επικοινωνούν μεταξύ τους και συνεπώς δεν μπορούν να σχηματίσουν γνήσια θερμοκήπια πολλαπλής γραμμής. Αντίθετα, όλοι οι άλλοι τύποι θερμοκηπίου που διακρίνονται με βάση το σχήμα τους μπορούν να σχηματίζουν θερμοκήπια πολλαπλής γραμμής με ενιαίο εσωτερικό χώρο. Τοξωτά θερμοκήπια που είναι τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους μόνο αν τροποποιηθούν ελαφρά, ώστε οι σιδερόβεργες που συνιστούν τον σκελετό τους να είναι κατακόρυφες μέχρι ένα μικρό ύψος και στη συνέχεια να κάμπτονται σχηματίζοντας την τυπική θολωτή αψίδα (**Διαφάνεια 15, δεξιά**).

Το εσωτερικό των θερμοκηπίων απλής γραμμής έχει καλύτερη πρόσβαση στην ηλιακή ακτινοβολία και συνεπώς τις εποχές με φτωχό φωτισμό τα φυτά δέχονται περισσότερο ηλιακό φως. Από την άλλη πλευρά όμως, ένα θερμοκήπιο απλής γραμμής έχει μεγαλύτερη συνολική εξωτερική επιφάνεια ανά μονάδα όγκου εσωτερικού αέρα, με συνέπεια να έχει πιο μεγάλες απώλειες σε θερμότητα. Αντίθετα, τα μεγάλου μεγέθους θερμοκήπια πολλαπλής γραμμής έχουν περιορισμένη επιφάνεια έκθεσης στον εξωτερικό αέρα και επομένως υφίστανται σε σημαντικά μικρότερο βαθμό την επίδραση των παραγόντων του περιβάλλοντος (αέρας, θερμοκρασία) σε σύγκριση με τα μικρά απλής γραμμής θερμοκήπια. Συνεπώς, τα μεγάλα θερμοκήπια πολλαπλής γραμμής θερμαίνονται οικονομικότερα, οπότε το κόστος παραγωγής σε αυτά είναι χαμηλότερο. Εκτός αυτού, τα μεγάλα θερμοκήπια πολλαπλής γραμμής παρέχουν μεγαλύτερη ευχέρεια κινήσεων στο εσωτερικό τους με συνέπεια να επιτυγχάνεται καλύτερη εκμηχάνιση των καλλιεργειών.

Ο προσανατολισμός ενός θερμοκηπίου ορίζεται από την διεύθυνση του κορυφιά ή του κορυφαίου άξονα της αψίδας ως προς τα σημεία του ορίζοντα, δηλαδή βορράς-νότος (B-N), ανατολή-δύση (A-Δ) ή ενδιάμεσες διευθύνσεις. Το μικροκλίμα μέσα σε ένα θερμοκήπιο μπορεί να επηρεάζεται από τον προσανατολισμό του, αν το σχήμα του είναι μακρόστενο, ενώ σημαντικός είναι επίσης και ο προσανατολισμός των γραμμών των φυτών (Montero et al., 2013). Όταν πρόκειται για σχετικά μικρά, μακρόστενα θερμοκήπια, ο προσανατολισμός τους μπορεί να υπαγορεύεται από τις διαστάσεις του χωραφιού στο οποίο θα εγκατασταθούν. Σε πολλές περιπτώσεις, όταν σε μία περιοχή πνέουν ισχυροί άνεμοι, η κατεύθυνση των επικρατούντων ανέμων είναι ίσως ο βασικότερος παράγοντας που καθορίζει τον προσανατολισμό του θερμοκηπίου. Στις περιπτώσεις αυτές, ο προσανατολισμός του θερμοκηπίου πρέπει να είναι παράλληλος με την διεύθυνση του επικρατούντος ισχυρού ανέμου, ώστε η μηχανική δύναμη του ανέμου να ασκείται στην μικρότερη εξωτερική επιφάνεια του θερμοκηπίου. Σε άλλες περιπτώσεις πάλι, τεχνικοί λόγοι άσχετοι με το μικροκλίμα του θερμοκηπίου (π.χ. προϋπάρχουσες κατασκευές ή υποδομές) μπορεί να είναι αποφασιστικοί παράγοντες για την επιλογή μίας συγκεκριμένης διεύθυνσης.

Όταν δεν συντρέχουν άλλοι σοβαροί λόγοι, ο προσανατολισμός του θερμοκηπίου γίνεται με βάση την επίδρασή του στο μικροκλίμα. Στο γεωγραφικό πλάτος που αντιστοιχεί στο μεσογειακό κλίμα (35 - 40 °N), η διεύθυνση A-Δ αυξάνει σημαντικά την διαπερατότητα του θερμοκηπίου στην φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία τον χειμώνα, ενώ την μειώνει ελαφρά το καλοκαίρι (Διαφάνεια 24). Από την άλλη πλευρά όμως, η διεύθυνση A-Δ χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας το μεσημέρι και αντίστοιχα μικρότερη το πρωί και το απόγευμα, ενώ η διεύθυνση B-N δημιουργεί συνθήκες πιο ομοιόμορφης κατανομής του

φωτισμού στη διάρκεια της ημέρας. Συνεπώς από την άποψη της ημερήσιας διακύμανσης της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας η διεύθυνση B-N υπερτερεί. Το πλεονέκτημα όμως της σημαντικά αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται σε ένα θερμοκήπιο με προσανατολισμό A-Δ τον χειμώνα, ειδικά όταν η κλίση της οροφής του είναι σχετικά μεγάλη (Montero et al., 2013), καθιστά αυτή την διεύθυνση ως την πλέον ενδεδειγμένη για τα μεσογειακά θερμοκήπια. Από αντίστοιχες μελέτες που έχουν γίνει στην Ολλανδία (Waaaijenberg, 2006), φαίνεται ότι και σε βορειότερα γεωγραφικά πλάτη η διεύθυνση A-Δ αυξάνει σημαντικά (περίπου κατά 23%) την διαπερατότητα του θερμοκηπίου στην ηλιακή ακτινοβολία τον χειμώνα (**Διαφάνεια 24**). Από την άλλη πλευρά όμως, για τα φυτά ο φωτισμός είναι πιο ομοιόμορφος στη διάρκεια της ημέρας όταν η γραμμές φύτευσης έχουν διεύθυνση B-N (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Συνεπώς, ο ιδανικός συνδυασμός για τις μεσογειακές κλιματικές συνθήκες είναι η τοποθέτηση των γραμμών των φυτών στη διεύθυνση B-N σε ένα θερμοκήπιο που είναι τοποθετημένο στη διεύθυνση A-Δ (Montero et al., 2013).

6.6.5. Σκελετός και λοιπά κατασκευαστικά θερμοκηπίων

6.6.5.1. Κατασκευή σκελετού

Ο σκελετός του θερμοκηπίου είναι το φέρον σύστημα πάνω στο οποίο θα αναρτηθεί το διαφανές υλικό κάλυψης. Ο σκελετός θα πρέπει να έχει επαρκή στατική ευστάθεια και αντοχή για να φέρει τα παρακάτω φορτία.

- **Μόνιμα φορτία**, δηλαδή το βάρος του σκελετού και του υλικού κάλυψης
- **Φορτία εξοπλισμού**
- **Φορτίο αναρτημένων φυτών** και καρποφορίας στα καρποδοτικά κηπευτικά
- **Πρόσκαιρα φορτία** (εργάτες, γραμμές μεταφοράς, κ.λπ).
- **Κλιματικά φορτία**, δηλαδή το βάρος του χιονιού και η πίεση του αέρα.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, είναι τεχνικά εφικτό να υπολογισθούν τα υλικά που απαιτούνται και να σχεδιαστεί κατάλληλα η συναρμολόγησή τους, ώστε ο σκελετός που θα προκύψει να έχει επαρκή μηχανική αντοχή. Μέσω των υπολογισμών αυτών προκύπτουν οι διατομές των στοιχείων του σκελετού, ανάλογα βέβαια με τη φύση του υλικού (ξύλο, χάλυβας, αλουμίνιο κλπ).

Ενώ από την μία πλευρά ένα θερμοκήπιο πρέπει να έχει επαρκή στατική και μηχανική αντοχή για να αντέχει στις προβλεπόμενες καταπονήσεις, από την άλλη πλευρά θα πρέπει να μην έχει υπερβολικά βαρύ και εκτεταμένο σκελετό για δύο λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι η σκίαση που προκαλεί ο σκελετός στην καλλιέργεια με δεδομένο ότι κατασκευάζεται από

αδιαφανή υλικά. Έχει υπολογιστεί ότι ο σκελετός μαζί με το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου μειώνει την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται μία θερμοκηπιακή καλλιέργεια κατά 25-30% σε σύγκρισή με μία υπαίθρια καλλιέργεια στην ίδια περιοχή και τον ίδιο χρόνο (Baille et al., 2001). Ένας δεύτερος λόγος που επιβάλλει την κατασκευή θερμοκηπίων με όσο το δυνατόν λιγότερα και λεπτότερα σκελετικά στοιχεία είναι το κόστος της κατασκευής, το οποίο αυξάνεται αναλογικά με τον συνολικό όγκο των τμημάτων που απαρτίζουν τον σκελετό. Συνεπώς, οι κατασκευαστές θερμοκηπίων καλούνται να βρουν την χρυσή τομή μεταξύ της ανάγκης για ισχυρό σκελετό που παρέχει ικανή στατική και μηχανική αντοχή και της ανάγκης για έναν ελαφρύ σχετικά σκελετό που θα ελαχιστοποιεί την σκίαση της καλλιέργειας και το κόστος κατασκευής του.

Εκτός από την ενισχυμένη κατασκευή του σκελετού, για να έχει ένα θερμοκήπιο την απαιτούμενη μηχανική αντοχή ενάντια σε ανέμους, χιόνι, κ.λπ., απαιτείται να έχει και κατάλληλη θεμελίωση. Η θεμελίωση μπορεί να γίνει είτε με περιμετρικό τοίχιο που στηρίζει και συνδέει ισχυρά τους στύλους (κολώνες) του σκελετού με το έδαφος, είτε με ατομική στήριξη κάθε κολώνας στο έδαφος με σκυρόδεμα (μπετόν). Αυτό όμως που δεν συνιστάται σε καμία περίπτωση είναι η στήριξη των στύλων του θερμοκηπίου απευθείας στο χώμα χωρίς προσθήκη σκυροδέματος (von Zabeltitz, 2011). Κατά κανόνα, τα σύγχρονα θερμοκήπια μεσαίας και υψηλής τεχνολογίας θεμελιώνονται με κατασκευή περιμετρικού τοιχίου.

Η αναλυτική παρουσίαση της μεθοδολογίας και της πορείας των τεχνικών υπολογισμών που απαιτούνται για την κατασκευή του σκελετού ενός θερμοκηπίου και την θεμελίωσή του στο έδαφος δεν περιλαμβάνεται σε αυτό το σύγγραμμα γιατί τα θέματα αυτά ξεφεύγουν από τους σκοπούς και το αντικείμενο ενός βιβλίου Γενικής Λαχανοκομίας. Οι ενδιαφερόμενοι αναγνώστες μπορούν να βρουν τις σχετικές πληροφορίες σε εξειδικευμένα βιβλία ή επιστημονικά άρθρα ανασκόπησης (π.χ. Μαυρογιαννόπουλος, 2001, von Zabeltitz, 2011, Montero et al., 2013). Παρακάτω θα γίνει μόνο μία σύντομη περιγραφή των υλικών κατασκευής του σκελετού ενός θερμοκηπίου και των βασικότερων πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους με αναφορά στις κηπευτικές καλλιέργειες.

6.6.5.2. Υλικά κατασκευής σκελετού θερμοκηπίου

Ξύλο. Το ξύλο είναι το πρώτο υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή σκελετού θερμοκηπίων (Διαφάνεια 25, πάνω δεξιά). Λόγω του συγκριτικά χαμηλότερου κόστους του το ξύλο προτιμάται και σήμερα για κατασκευή απλών θερμοκηπίων σχετικά χαμηλής τεχνολογίας. Έχει σαφώς μικρότερη μηχανική αντοχή από τα μεταλλικά υλικά και συνεπώς

δεν είναι κατάλληλο για θερμοκήπια με πλάτος BKM πάνω από 6 m (Μαυρογιαννόπουλος, 2001), πολύ ψηλά θερμοκήπια, καθώς και θερμοκήπια που προβλέπεται να έρθουν αντιμέτωπα με παράγοντες έντονης καταπόνησης (εγκατάσταση σε περιοχές που πλήττονται από ισχυρούς ανέμους, χιονοπτώσεις, κ.λπ.). Για τα πλαστικά θερμοκήπια έχει το πλεονέκτημα ότι δεν υπερθερμαίνεται όπως τα μεταλλικά θερμοκήπια και συνεπώς δεν καταστρέφει το πλαστικό στα σημεία που είναι σε επαφή μαζί του. Μπορεί όμως να παρουσιάσει προβλήματα στρέβλωσης και να προσβληθεί από μύκητες και ξυλοφάγα έντομα, με συνέπεια να προκαλούνται προβλήματα με την μηχανική του αντοχή. Ένα άλλο μειονέκτημα του ξύλου είναι ότι λόγω της μειωμένης μηχανικής του αντοχής απαιτεί δοκούς και στύλους μεγαλύτερης διατομής με συνέπεια να προκαλεί αυξημένη σκίαση στα φυτά. Τέλος, πολλά είδη ξύλου, όπως αυτά των κωνοφόρων (πεύκη, ελάτη) έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής της τάξεως των 4-5 ετών. Υπάρχουν όμως και είδη ξύλου κατάλληλα για θερμοκήπια με σημαντικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (π.χ. καστανιά). Ο εμποτισμός και η επικάλυψη του ξύλου με συντηρητικές ουσίες μπορεί να παρατείνει σημαντικά την διάρκεια ζωής του στα θερμοκήπια.

Χάλυβας. Ο χάλυβας είναι ένα κράμα σιδήρου με μικρή ποσότητα άνθρακα η οποία δεν υπερβαίνει το 2% του βάρους του, μαγγάνιο σε ποσοστό μικρότερο από 1%, καθώς και με πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Ο χάλυβας χαρακτηρίζεται από πολύ μεγάλη μηχανική αντοχή με συνέπεια να είναι κατάλληλος για κατασκευή σκελετών για ψηλότερα θερμοκήπια και φαρδύτερες BKM, καθώς και για περιοχές όπου τα θερμοκήπια είναι πιθανόν να αντιμετωπίσουν έντονες καταπονήσεις λόγω ισχυρών και ρικών φαινομένων. Οι κάθετοι στύλοι και οι δοκοί μπορεί να έχουν διάφορα σχήματα εγκάρσιας διατομής, όπως στρογγυλό, τετράγωνο, παραλληλόγραμμο, σχήμα Π, κ.λπ. Λόγω της υψηλής μηχανικής του αντοχής, ο χάλυβας επιτρέπει την δημιουργία σκελετών θερμοκηπίου με στύλους και δοκούς μικρής διατομής, με συνέπεια να προκαλεί αρκετά λιγότερη σκίαση στα φυτά σε σύγκριση με το ξύλο. Είναι πολύ κατάλληλο υλικό για κατασκευή σύγχρονων τυποποιημένων θερμοκηπίων. Το βασικό μειονέκτημα του χάλυβα είναι ότι η επιφάνειά του οξειδώνεται εύκολα και γρήγορα, ιδιαίτερα στα θερμοκήπια λόγω της αυξημένης σχετικής υγρασίας του αέρα που προκαλεί η διαπνοή, με συνέπεια να περιορίζεται η διάρκεια ζωής του.

Γαλβανισμένος χάλυβας. Είναι χάλυβας του οποίου η επιφάνεια έχει υποστεί γαλβανισμό, δηλαδή επικάλυψη με λεπτό στρώμα ψευδαργύρου πάχους περίπου 0,06 mm, με στόχο να προστατεύεται από την οξείδωση. Συνεπώς, ο γαλβανισμένος χάλυβας έχει όλα τα πλεονεκτήματα του απλού χάλυβα ως υλικό κατασκευής σκελετών θερμοκηπίων (**Διαφάνεια 25, κάτω αριστερά**), ενώ επιπλέον έχει υψηλή αντοχή στην οξείδωση. Για μεγάλη αντοχή στην οξείδωση απαιτείται θερμός γαλβανισμός, ο οποίος επιτυγχάνεται με εμβάπτιση του χάλυβα

σε ρευστοποιημένο ψευδάργυρο. Ο χάλυβας που έχει γαλβανιστεί εν θερμώ μπορεί να έχει διάρκεια ζωής μέχρι και 25 έτη.

Αλουμίνιο. Το αλουμίνιο είναι ένα πολύ ελαφρύ μέταλλο το οποίο ταυτόχρονα παρουσιάζει υψηλή μηχανική αντοχή και υψηλή αντοχή στην διάβρωση και στην οξείδωση. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων του, το αλουμίνιο τείνει να κυριαρχήσει σήμερα ως υλικό κατασκευής σκελετών θερμοκηπίων (**Διαφάνεια 25, κάτω δεξιά**). Λόγω της ισχυρής μηχανικής αντοχής του, οι διατομές των σκελετικών δοκών και στύλων είναι σχετικά μικρές και έτσι δεν δημιουργεί μεγάλη σκίαση στην καλλιέργεια. Σε αντίθεση με τον χάλυβα, η εξωτερική του επιφάνεια δεν οξειδώνεται όταν είναι σε επαφή με τον αέρα και την υγρασία μέσα στο θερμοκήπιο και συνεπώς δεν χρειάζεται κάποια ειδική προστασία από την διάβρωση και την οξείδωση. Λόγω του σχετικά υψηλότερου κόστους του όμως, συχνά χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με γαλβανισμένο χάλυβα για την κατασκευή θερμοκηπίων (γαλβανισμένος χάλυβας για τις κολώνες και τους δοκούς στήριξης και αλουμίνιο για την στήριξη υαλοπινάκων, αν το θερμοκήπιο προβλέπεται να είναι υαλόφρακτο). Στις περιπτώσεις αυτές όμως, πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα, ώστε να μην έρχεται σε επαφή το αλουμίνιο με τον γαλβανισμένο χάλυβα, γιατί στα σημεία επαφής προκαλείται ηλεκτρολυτική διάβρωση.

6.6.6. Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων

6.6.6.1. Χαρακτηριστικά υλικών κάλυψης και χρήση τους στα θερμοκήπια

Τα διαφανή υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων διακρίνονται σε τρεις γενικές κατηγορίες και ειδικότερα: α) το μαλακό (εύκαμπτο) πλαστικό, β) το σκληρό πλαστικό και γ) το γυαλί. Τόσα τα μαλακά όσο και τα σκληρά πλαστικά είναι πολυμερισμένοι υδρογονάνθρακες ή παράγωγα αυτών, δηλαδή οργανικές ενώσεις οι οποίες κατασκευάζονται με πρώτη ύλη διάφορα υποπροϊόντα του πετρελαίου. Όλα τα πολυμερή πλαστικά υλικά περιέχουν και διάφορες προσθετικές ουσίες που: α) είτε τα σταθεροποιούν χημικά, β) είτε τα προστατεύουν από διάφορους παράγοντες, γ) είτε τους προσδίδουν ειδικές ιδιότητες που είναι χρήσιμες για την καλλιέργεια των κηπευτικών υπό κάλυψη.

Όπως προκύπτει από την σύγκριση των ειδικών βαρών των σημαντικότερων υλικών κάλυψης θερμοκηπίων, τα οποία παρατίθενται στην **Διαφάνεια 30**, τα πλαστικά είναι πολύ ελαφρύτερα από το γυαλί και συνεπώς πιο εύχρηστα. Επιπλέον, το πάχος των πλαστικών υλικών κάλυψης και ιδιαίτερα των μαλακών φύλλων είναι σημαντικά μικρότερο, όπως προκύπτει από τα δεδομένα που παρατίθενται στην **Διαφάνεια 31**. Από την άλλη πλευρά όμως, το γυαλί έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα στη φωτεινή ακτινοβολία από τα πλαστικά υλικά

κάλυψης (Διαφάνεια 31). Επίσης, το γυαλί έχει θεωρητικά άπειρη διάρκεια ζωής, ενώ τα πλαστικά υλικά κάλυψης έχουν περιορισμένη διάρκεια ωφέλιμης ζωής που κυμαίνεται από 2 έως 10-15 έτη. Ο περιορισμένος χρόνος ωφέλιμης ζωής των πλαστικών υλικών κάλυψης οφείλεται στην προοδευτική μείωση της περατότητάς τους στο φως, η οποία μετά από κάποια χρόνια πέφτει σε μη αποδεκτά επίπεδα. Η μείωση της περατότητας των πλαστικών υλικών κάλυψης στη φωτεινή ακτινοβολία οφείλεται σε φωτογήρανση η οποία προκαλείται από την συνεχή έκθεσή τους στην ηλιακή ακτινοβολία. Συνεπώς, τα πλαστικά υλικά κάλυψης πρέπει να απορρίπτονται και να αντικαθίστανται με καινούργια μετά από κάποια χρόνια, ενώ το γυαλί δεν έχει ανάγκη αντικατάστασης, εκτός από μεμονωμένους υαλοπίνακες, εφόσον υποστούν θραύση λόγω κάποιου μηχανικού αιτίου.

Η απόρριψη των πλαστικών υλικών κάλυψης θερμοκηπίων μετά την χρήση τους δημιουργεί σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα. Πρόκειται για το ίδιο πρόβλημα που προκαλείται από την χρήση πλαστικών για εδαφοκάλυψη ή για καλλιέργεια φυτών σε χαμηλές σήραγγες. Συνεπώς οι προτεινόμενες λύσεις είναι κατά βάση παρόμοιες με εκείνες που προτείνονται για τα πλαστικά εδαφοκάλυψης (χρήση φωτο- και βιοαποδομήσιμων υλικών κάλυψης). Επιπλέον, η οργάνωση της συλλογής των πλαστικών κάλυψης μετά την χρήση τους στα θερμοκήπια και η ανάπτυξη τεχνολογιών ανακύκλωσής τους φαίνεται να αποτελεί μία πολύ καλή στρατηγική επίλυσης αυτού του προβλήματος (Briassoulis et al., 2012).

Οι τρόποι κατασκευής και οι γενικότερες φυσικές και χημικές ιδιότητες των πλαστικών υλικών και του γυαλιού μπορούν να αναζητηθούν σε εξειδικευμένα βιβλία (Hanap, 1998, Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Στο παρόν βιβλίο θα γίνει μόνο μία σύντομη αναφορά στα σημαντικότερα είδη πλαστικού και τους τύπους γυαλιού που χρησιμοποιούνται για κάλυψη θερμοκηπίων, εστιάζοντας μόνο σε εκείνες τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες που επηρεάζουν την καλλιέργεια των κηπευτικών υπό κάλυψη.

6.6.6.2. Διαφανή φύλλα μαλακού πλαστικού

- **Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE: low density polyethylene).** Τα φύλλα πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας είναι το πιο διαδεδομένο υλικό κάλυψης θερμοκηπίων στις χώρες με ήπιο έως υποτροπικό κλίμα. Λόγω του συγκριτικά πολύ χαμηλού ειδικού βάρους του, το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας είναι ένα ελαφρύ και εύχρηστο υλικό κάλυψης. Τα φύλλα LDPE είναι ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες μέχρι 70 °C (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Επίσης, τα φύλλα LDPE είναι αδιαπέραστα στο νερό και τους υδρατμούς, αλλά εν μέρει περατά στο O₂ και CO₂. Τα φύλλα πλαστικού

πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για την κάλυψη των θερμοκηπίων είχαν πολύ μικρή διάρκεια ζωής (1-2 έτη) και συνεπώς έπρεπε να αντικαθίστανται συχνά. Τις τελευταίες δεκαετίες όμως, μέσω προσθήκης κατάλληλων προστατευτικών ουσιών, η ωφέλιμη διάρκεια ζωής των φύλλων LDPE έχει επιμηκυνθεί σημαντικά και πλέον ανέρχεται στα 2,5-3 έτη (Dilara and Briassoulis 2000, Stefani et al., 2014).

- **Αιθυλένιο - οξικό βινύλιο (EVA: ethylene vinyl acetate).** Αυτό το πλαστικό υλικό είναι ένα συμπολυμερές αιθυλενίου και οξικού βινυλίου. Το οξικό βινύλιο, το οποίο συμμετέχει σε ποσοστό περίπου 3 – 15% στο συμπολυμερές, μειώνει την περατότητα των φύλλων EVA στην υπέρυθη ακτινοβολία, με συνέπεια να διατηρεί υψηλότερα επίπεδα νυχτερινής θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο. Επιπλέον, το οξικό βινύλιο αυξάνει την αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία με συνέπεια να αυξάνει τον χρόνο ζωής του φύλλου EVA σε σύγκριση με το κοινό φύλλο LDPE (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Σαν γενικός κανόνας, ισχύει ότι όσο περισσότερο οξικό βινύλιο περιέχεται σε ένα φύλλο EVA, τόσο μικρότερη είναι η περατότητά του στην υπέρυθη ακτινοβολία και τόσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια ζωής του, η οποία φθάνει μέχρι τα 4 έτη.
- **Αιθυλένιο - ακρυλικό βουτύλιο (EBA: ethylene butyl acrylate).** Είναι ένα συμπολυμερές του αιθυλενίου με ακρυλικό βουτύλιο (Espejo et al., 2012). Σε γενικές γραμμές τα φύλλα EBA έχουν παρόμοια συμπεριφορά και ιδιότητες με τα φύλλα EVA. Η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται μεταξύ 3-4 ετών.
- **Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC: Polyvinyl chloride).** Παράγεται μέσω πολυμερισμού του αέριου βινυλοχλωριδίου. Ανάλογα με το ποσοστό ειδικών προσθετικών ουσιών μπορεί να είναι εύκαμπτο ή σκληρό (άκαμπτο). Τα εύκαμπτα φύλλα πολυβινυλοχλωριδίου έχουν ικανοποιητική αντοχή και δεν αλλοιώνονται στο διάστημα από -20 έως 60 °C. Γενικά σε σύγκριση με το κοινό φύλλο LDPE το φύλλο μαλακού PVC έχει μικρότερη περατότητα στο O₂ και το CO₂, μικρότερη περατότητα στην υπέρυθη ακτινοβολία και μικρότερη θερμική αγωγιμότητα, με συνέπεια να διατηρεί υψηλότερα επίπεδα θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή. Επίσης, σε σύγκριση με το κοινό φύλλο LDPE έχει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, η οποία φτάνει τα 5 έτη. Παράγεται όμως σε φύλλα μικρού πλάτους (έως 2,5 m), των οποίων η συγκόλληση απαιτεί σημαντικό επιπλέον κόστος (Μαυρογιαννόπουλος, 2001), ενώ και το κόστος αγοράς του είναι σημαντικά υψηλότερο σε σύγκριση με το κοινό φύλλο LDPE. Τέλος ένα επιπλέον μειονέκτημα των φύλλων μαλακού PVC είναι ότι συκρατούν σκόνη στην επιφάνειά τους με συνέπεια να μειώνεται η περατότητά τους στο φως.

- **Πολυεστέρας (Polyester).** Τα διαφανή πλαστικά φύλλα πολυεστέρα που χρησιμοποιούνται για κάλυψη θερμοκηπίων προέρχονται από πολυμερισμό της αιθυλικής αλκοόλης, της προπυλικής γλυκόζης, του μαλεϊκού και του φουμαρικού οξέως (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Τα πολυεστερικά φύλλα έχουν πολύ υψηλή περατότητα στο ηλιακό φως η οποία διατηρείται και κατά την χρήση τους στα θερμοκήπια γιατί δεν συγκρατούν μεγάλες ποσότητες σκόνης στην επιφάνειά τους. Σημαντικό επίσης πλεονέκτημα των πολυεστερικών φύλλων είναι η σχετικά μεγάλη διάρκεια ζωής τους (4 - 7 έτη). Τα πολυεστερικά φύλλα διατηρούν τη θερμοκρασία νύχτας καλύτερα από τα κοινά φύλλα πολυαιθυλενίου λόγω της μειωμένης τους περατότητας στη εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία. Το μεγάλο μειονέκτημα των πολυεστερικών φύλλων είναι το κόστος τους, το οποίο καθιστά σχεδόν απαγορευτική την χρήση τους ως υλικά κάλυψης θερμοκηπίων.
- **Αιθυλένιο – τετραφθοριοαιθυλένιο (ETFE: Ethylene – tetrafluoroethylene).** Το ETFE είναι ένα συμπολυμερές αιθυλενίου και τετραφθοριοαιθυλενίου. Το τετραφθοριοαιθυλένιο προέρχεται από αντικατάσταση όλων των ατόμων υδρογόνου με άτομα φθορίου στο αιθυλένιο. Η παρουσία του φθορίου του προσδίδει μεγάλη ανθεκτικότητα τόσο στην υπεριώδη ακτινοβολία όσο και σε διάφορους διαβρωτικούς χημικούς παράγοντες, με συνέπεια να έχει συγκριτικά πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με το κοινό φύλλο LDPE σε συνθήκες καθημερινής έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία (Stefani, 2008). Η ωφέλιμη διάρκεια ζωής του ανέρχεται στα 10 έτη περίπου (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Είναι όμως πιο σκληρό από το πολυαιθυλένιο και τα συμπολυμερή του αιθυλενίου με οξικό βινύλιο και ακρυλικό βουτύλιο με συνέπεια να παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στον άνεμο (Stefani, 2008). Επίσης, το κόστος του είναι σημαντικά υψηλότερο σε σύγκριση με το LDPE αλλά και τα υπόλοιπα μαλακά πλαστικά φύλλα, με συνέπεια να μην είναι πολύ διαδεδομένη η χρήση του στα θερμοκήπια.

6.6.6.3. Διαφανείς επιφάνειες σκληρού πλαστικού

- **Πολυκαρβονικές επιφάνειες.** Οι πολυκαρβονικές ενώσεις είναι πολυμερισμένοι θερμοπλαστικοί πολυεστέρες με μεγάλη αντοχή στα χτυπήματα και τις υψηλές θερμοκρασίες. Στην αγορά κυκλοφορούν σκληρά αυλακωτά φύλλα καθώς και επίπεδοι πίνακες με διπλά τοιχώματα. Σε συνθήκες υψηλής ατμοσφαιρικής υγρασίας μπορεί να εισχωρήσει υγρασία στα κενά ανάμεσα στα διπλά τοιχώματα, με συνέπεια να μειώνεται η περατότητα τους στο φως. Τα απλά αυλακωτά φύλλα έχουν υψηλή περατότητα στο φως (Διαφάνεια 31). Η διάρκεια ζωής των πολυκαρβονικών επιφανειών μπορεί να παραταθεί αν

εξωτερικά βάνονται κάθε 2-3 έτη με διαφανές ακρυλικό συντηρητικό (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Γενικά η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται μεταξύ 10-15 ετών, ανάλογα με τα ενισχυτικά προσθετικά, την συντήρηση της επιφάνειάς τους και το αποδεκτό ποσοστό μείωσης του φωτισμού.

- **Ενισχυμένος πολυεστέρας (Fibreglass).** Πρόκειται για διαφανείς σκληρές επιφάνειες κατασκευασμένες από πολυεστέρα οι οποίες έχουν ενισχυθεί με προσθήκη ινών γυαλιού ή πολυαμιδίου σε ποσοστό 20-35%. Χαρακτηρίζεται από μεγάλη μηχανική αντοχή με συνέπεια να μην καταστρέφεται από χαλαζόπτωση. Λόγω των ινών γυαλιού, αυτός ο τύπος υλικού κάλυψης είναι γνωστός ως fibreglass. Η προσθήκη των ινών γυαλιού αυξάνει την μηχανική αντοχή των επιφανειών σκληρού πολυεστέρα, ενώ επιπλέον αυξάνει την διάχυση του φωτός. Ο ενισχυμένος πολυεστέρας διατίθεται τόσο σε μορφή αυλακωτών επιφανειών, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως στην οροφή των θερμοκηπίων, όσο και σε μορφή επίπεδων πινάκων οι οποίες καλύπτουν πλευρικά το θερμοκήπιο. Παρουσιάζει προβλήματα διάβρωσης της επιφάνειάς του, τα οποία οδηγούν σε αυξημένη εναπόθεση σκόνης και συνεπακόλουθα σε ταχεία μείωση της περατότητάς του στο φως. Τα σκληρά φύλλα ενισχυμένου πολυεστέρα δεν συνιστώνται πλέον ως υλικά κάλυψης θερμοκηπίων, λόγω της γρήγορης μείωσης της περατότητας τους στο φως σε συνδυασμό με το υψηλό τους κόστος (von Zabeltitz, 2011).
- **Σκληρό πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC).** Έχει σημαντικά χαμηλότερο κόστος από τον ενισχυμένο πολυεστέρα. Η διάρκεια ζωής του δεν ξεπερνά τα 5-8 έτη ανάλογα με τον τόπο κατασκευής του, δηλαδή ανάλογα με τα προστατευτικά πρόσθετα που περιέχει (βλέπε Παράγραφο 6.6.6.5). Η μειωμένη διάρκεια ζωής του οφείλεται κυρίως στην σχετικά μεγάλη του ευαισθησία στην υπεριώδη ακτινοβολία. Ένα επιπλέον μειονέκτημά του είναι ότι η τοποθέτησή του στο θερμοκήπιο είναι πιο δύσκολη σε σύγκριση με τα μαλακά φύλλα πολυαιθυλενίου.
- **Πολυμεθυλομεθακρυλικό πολυμερές (PMMA: Polymethyl methacrylate).** Είναι ένα πολυμερές πλαστικό υλικό το οποίο στην αγορά είναι γνωστό ως Plexiglas. Έχει πολύ καλή διαπερατότητα στο φως η οποία προσεγγίζει αυτή του γυαλιού. Το σημαντικότερο πλεονέκτημά του όμως είναι ότι διατηρεί την περατότητά του στο φως για πολλά χρόνια. Από πειράματα έχει διαπιστωθεί ότι μετά από χρήση για 15 χρόνια στο θερμοκήπιο η απώλεια της διαπερατότητάς του στο φως ήταν μόλις 2% (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Επιπλέον, οι πίνακες PMMA έχουν υψηλή αντοχή και θραύονται πολύ πιο δύσκολα από το γυαλί, ενώ παρουσιάζουν πολύ μικρή θερμική αγωγιμότητα με συνέπεια να διατηρούν τη

θερμοκρασία νύχτας καλύτερα από τα κοινά φύλλα πολυαιθυλενίου. Το μόνο μειονέκτημά του είναι το κόστος του το οποίο είναι σημαντικά υψηλότερο από αυτό του γυαλιού. Λόγω του πολύ υψηλού κόστους του, η χρήση του για κάλυψη θερμοκηπίων δεν είναι συχνή, μολονότι έχει άριστες οπτικές και θερμομονωτικές ιδιότητες, υψηλή μηχανική αντοχή και πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής.

6.6.6.4. Γυαλί

Το γυαλί προέρχεται από θερμική κατεργασία της πυριτικής άμμου η οποία συνίσταται από διοξείδιο του πυριτίου. Είναι ένα υλικό που η τέχνη της παρασκευής του ήταν γνωστή πολύ πριν την βιομηχανική επανάσταση. Ως υλικό κάλυψης θερμοκηπίου είναι πολύ διαδεδομένο κυρίως στα υψηλής τεχνολογίας θερμοκήπια και κυρίως σε αυτά που βρίσκονται σε χώρες με ψυχρό κλίμα. Η προτίμησή του για κατασκευή σύγχρονων υψηλής τεχνολογίας θερμοκηπίων οφείλεται: α) στην πολύ μεγάλη περατότητά του στην φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία, β) στην διατήρηση της περατότητάς του στο φως για θεωρητικά άπειρο χρόνο, γ) στην πρακτικά μηδενική περατότητά του στην υπέρυθρη ακτινοβολία μήκους κύματος πάνω από 3000 nm (βλέπε **Διαφάνεια 31**), η οποία του προσδίδει αυξημένη ικανότητα διατήρησης της εσωτερικής θερμοκρασίας μέσω του φαινομένου του θερμοκηπίου, δ) στην υψηλή αντίστασή του στον άνεμο και ε) στο σχετικά αποδεκτό κόστος του, αν λάβει κανείς υπόψη του τις οπτικές και θερμομονωτικές ιδιότητές του σε συνδυασμό με την θεωρητικά άπειρη διάρκεια ζωής του. Το αρχικό κόστος εγκατάστασης ενός θερμοκηπίου όμως είναι υψηλό όταν το υλικό κάλυψης είναι το γυαλί. Αυτό συμβαίνει όχι μόνο γιατί το ίδιο το υλικό είναι ακριβό, αλλά και γιατί το σχετικά υψηλό ειδικό βάρος του απαιτεί ενισχυμένο σκελετό, ο οποίος επίσης έχει υψηλό κόστος. Γι' αυτό το γυαλί επιλέγεται κατά προτίμηση για ακριβά θερμοκήπια υψηλής τεχνολογίας και όχι για απλά θερμοκήπια σχετικά χαμηλού κόστους, όπως είναι τα περισσότερα θερμοκήπια στη μεσογειακή λεκάνη.

Για την αύξηση της διάχυσης του φωτός (μεγαλύτερο ποσοστό διάχυτης ακτινοβολίας) στα σύγχρονα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται υαλοπίνακες των οποίων η μία επιφάνεια είναι τραχιά ή κυματοειδής (τύπος μερτελέ). Αυτοί οι υαλοπίνακες τοποθετούνται με την τραχιά επιφάνεια προς το εσωτερικό του θερμοκηπίου για να μην επικάθεται σκόνη στην εξωτερική επιφάνειά τους. Οι υαλοπίνακες με τραχιά την μία επιφάνεια είναι αναγκαίοι στην οροφή του θερμοκηπίου, ενώ στις κάθετες πλάγιες πλευρές συνήθως χρησιμοποιείται τζάμι με λείες και τις δύο επιφάνειές του δεδομένου ότι αυτές δέχονται κυρίως διάχυτο φως προερχόμενο από ανακλάσεις.

6.6.6.5. Ειδικοί τύποι πλαστικών κάλυψης θερμοκηπίων

- **Σταθεροποιημένα πλαστικά.** Για την σταθεροποίηση των πλαστικών υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων είναι συχνή η προσθήκη σταθεροποιητικών ουσιών που τα προστατεύουν από την οξείδωση (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Συχνή είναι επίσης και η χρήση ειδικών ουσιών που προστατεύουν τα μεγαλομόρια των πολυμερών από την υπεριώδη ακτινοβολία ή απορροφούν ένα μέρος της (UV-stabilizers). Η βλάβη που προκαλεί η ηλιακή ακτινοβολία στην διαπερατότητα των πλαστικών υλικών κάλυψης στο φως οφείλεται κυρίως στην επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας. Συνεπώς, η προσθήκη ουσιών που προστατεύουν τα πλαστικά υλικά κάλυψης από την υπεριώδη ακτινοβολία αυξάνει σημαντικά την διάρκεια ωφέλιμης ζωής τους στα θερμοκήπια (Montero et al., 2013). Προφανώς, τα πλαστικά υλικά που περιέχουν UV-stabilizers έχουν μειωμένη διαπερατότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία.
- **Πλαστικά που εμποδίζουν την διέλευση της υπεριώδους ακτινοβολίας.** Τα τελευταία χρόνια έχουν κατασκευαστεί και δοκιμαστεί διαφανή πλαστικά φύλλα τα οποία απορροφούν σχεδόν στο σύνολό της την υπεριώδη ακτινοβολία μήκους κύματος κάτω από 380 nm (UV blocking) και δεν της επιτρέπουν να εισέλθει στο θερμοκήπιο. Η δραστηκή μείωση της ακτινοβολίας με μήκος κύματος μικρότερο από 380 nm αποπροσανατολίζει τα επιβλαβή έντομα με συνέπεια να μειώνεται η δραστηριότητά τους μέσα στο θερμοκήπιο (Papaioannou et al., 2012). Παρόμοιες ουσίες προστίθενται για τον ίδιο σκοπό και σε δίχτυα σκίασης υπαίθριων κηπευτικών. Ένα πρόβλημα των διαφανών πλαστικών φύλλων που απορροφούν σχεδόν στο σύνολό της την υπεριώδη ακτινοβολία είναι ότι μπορούν να αποπροσανατολίσουν και να επηρεάσουν αρνητικά την δραστηριότητα των μελισσών, καθώς και των βομβίνων που γονιμοποιούν τα καρποδοτικά λαχανικά. Σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές, το πρόβλημα της αδρανοποίησης των βομβίνων που προκαλεί η απουσία UV ακτινοβολίας είναι μικρό και πρόσκαιρο γιατί τα έντομα σύντομα συνηθίζουν σε αυτό το περιβάλλον και συνεχίζουν να γονιμοποιούν κανονικά τα φυτά (Montero et al., 2013). Μία δεύτερη πιθανή παρενέργεια της απουσίας υπεριώδους ακτινοβολίας είναι ότι μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά ο δευτερογενής μεταβολισμός του φυτού ο οποίος είναι υπεύθυνος για την βιοσύνθεση του λυκοπενίου, του ασκορβικού οξέως, των φαινολικών ουσιών, των φλαβονοειδών, καθώς και άλλων ουσιών με αντιοξειδωτικές ιδιότητες (Caldwell et al., 2003, Tsormpatsidis et al., 2008).

- **Πλαστικά που μειώνουν την διαπερατότητα στην υπέρυθρη ακτινοβολία (θερμόφυλλα).** Στα πλαστικά υλικά κάλυψης είναι δυνατόν να προστίθενται και ουσίες που εμποδίζουν την διέλευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας, με συνέπεια να μειώνουν σημαντικά την απώλεια θερμότητας από το θερμοκήπιο στη διάρκεια της νύχτας (Espí et al., 2006). Ειδικά το πολυαιθυλένιο, έχει μεγάλη διαπερατότητα στην υπέρυθρη ακτινοβολία. Τις αίθριες νύχτες του χειμώνα, το έδαφος και τα φυτά εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία με αυξημένους ρυθμούς. Συνεπώς, αν στα φύλλα πολυαιθυλενίου που καλύπτουν το θερμοκήπιο δεν περιέχονται ουσίες που περιορίζουν την διέλευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας, οι ρυθμοί μείωσης της θερμοκρασίας του εδάφους, του αέρα, αλλά και των φυτικών ιστών μέσα στο θερμοκήπιο το βράδυ είναι πολύ υψηλοί. Η χρήση πλαστικών φύλλων που παρεμποδίζουν την έξοδο της υπέρυθρης ακτινοβολίας από το θερμοκήπιο ελαττώνει δραστικά τις απώλειες θερμικής ενέργειας από τον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου και συνεπώς διατηρεί υψηλότερα επίπεδα νυχτερινής θερμοκρασίας στο χώρο. Τα φύλλα πλαστικού που μειώνουν την διαπερατότητα στην υπέρυθρη ακτινοβολία μήκους κύματος υψηλότερου από 3000 nm είναι γνωστά ως θερμόφυλλα.
- **Πλαστικά που ανακλούν την εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία (NIR).** Μία άλλη τεχνολογική εξέλιξη στον τομέα των πλαστικών φύλλων κάλυψης των θερμοκηπίων είναι η προσθήκη ειδικών ουσιών στην εξωτερική τους επιφάνεια, οι οποίες αυξάνουν εκλεκτικά την ανακλαστικότητα τους έναντι της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας (700 – 2500 nm). Οι ουσίες αυτές δεν επηρεάζουν την διέλευση της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας και συνεπώς δεν έχουν αρνητική επίδραση στη φωτοσύνθεση. Η εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία όμως ανακλάται προς άλλες κατευθύνσεις και δεν εισέρχεται στο θερμοκήπιο, με συνέπεια να μειώνεται το θερμικό φορτίο που δέχονται τα φυτά στη διάρκεια ημερών με έντονη ηλιοφάνεια την θερμή εποχή του έτους. Συνεπώς, αυτά τα φύλλα πλαστικού είναι κατάλληλα για θερμοκήπια που χρησιμοποιούνται για παραγωγή κηπευτικών την θερμή εποχή του έτους σε σχετικά θερμά κλίματα (Mutwiwa, 2008). Αντίθετα, η ιδιότητα αυτή είναι μειονέκτημα τον χειμώνα, γιατί περιορίζοντας την εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία που εισέρχεται στο θερμοκήπιο μειώνουν και την θερμοκρασία στο εσωτερικό περιβάλλον σε μία εποχή που το πρόβλημα είναι οι χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες. Συνεπώς, σε περιοχές και χώρες με μέτρια ή πολύ ψυχρά κλίματα δεν συνιστάται η χρήση πλαστικών φύλλων που ανακλούν μεγάλο μέρος της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας γιατί οδηγεί σε αυξημένη κατανάλωση καυσίμων τον χειμώνα (Hemming et al., 2006).

- **Πλαστικά που αυξάνουν το ποσοστό της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας.** Τα τελευταία χρόνια, μέσω κατάλληλων προσθετικών ουσιών, έχουν κατασκευαστεί διαφανή υλικά κάλυψης από πλαστικό που αυξάνουν το ποσοστό της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας στην συνολική ακτινοβολία που τα διαπερνά. Η αύξηση του ποσοστού της διάχυτης ακτινοβολίας για μία δεδομένη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας είναι γνωστό ότι αυξάνει την συνολική φωτοσυνθετική ικανότητα της καλλιέργειας (Gu et al., 2002), ενώ επιπλέον μειώνει τα εγκαύματα από τον ήλιο τις πολύ θερμές καλοκαιρινές ημέρες. Για αυτό, τα πλαστικά φύλλα που αυξάνουν την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία (diffusive films) είναι πολύ δημοφιλή.
- **Αντισταγονικά πλαστικά υλικά κάλυψης.** Την ψυχρή εποχή του έτους, είναι συχνή η δημιουργία σταγόνων νερού στην οροφή των θερμοκηπίων που είναι καλυμμένα με διαφανή πλαστικά φύλλα και δεν θερμαίνονται, ή θερμαίνονται πλημμελώς την νύχτα. Οι σταγόνες αυτές προέρχονται από την συμπύκνωση και υγροποίηση υδρατμών λόγω της πτώσης της θερμοκρασίας του αέρα. Οι σταγόνες αυτές δημιουργούν σοβαρά προβλήματα στα καλλιεργούμενα κηπευτικά τόσο γιατί πέφτουν πάνω τους και δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για προσβολές από φυτοασθένειες, όσο και γιατί μειώνουν την διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του υλικού κάλυψης. Έχει υπολογιστεί (Castilla, 2005) ότι οι σταγόνες που σχηματίζονται στην εσωτερική επιφάνεια των πλαστικών φύλλων μειώνουν την φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία που εισέρχεται μέσα στο θερμοκήπιο σε ποσοστό μέχρι και 20%, λόγω ανάκλασης (**Διαφάνεια 34 Α**). Μέσω κατάλληλων προσθετικών ουσιών, η βιομηχανία πλαστικών έχει κατασκευάσει πλαστικά φύλλα τα τελευταία χρόνια τα οποία εμποδίζουν τον σχηματισμό σταγόνων νερού στην οροφή του θερμοκηπίου (anti-drip films). Τα αντισταγονικά φύλλα τροποποιούν την επιφανειακή τάση του νερού που προσκολλάται στην επιφάνεια του πλαστικού φύλλου, με συνέπεια να σχηματίζεται μία συνεχής λεπτή στοιβάδα νερού αντί σταγόνων (**Διαφάνεια 34 Β**). Η λεπτή στοιβάδα νερού έχει το επιπλέον πλεονέκτημα ότι περιορίζει την απώλεια θερμότητας από το εσωτερικό περιβάλλον την νύχτα γιατί είναι πρακτικά αδιαπέρατη στην μεγάλου μήκους κύματος θερμική ακτινοβολία.
- **Αντισκονικά πλαστικά υλικά κάλυψης.** Ένα άλλο πρόβλημα που παρουσιάζουν τα κοινά πλαστικά φύλλα κάλυψης των θερμοκηπίων είναι η συσσώρευση σκόνης στην εξωτερική τους επιφάνεια, η οποία μειώνει σημαντικά την διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το πλαστικό, επειδή είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, συσσωρεύει στατικό ηλεκτρικό φορτίο στην επιφάνειά του καθώς τρίβεται από τον άνεμο, με συνέπεια να έλκει την σκόνη.

Το πρόβλημα αυτό είναι πιο σοβαρό σε περιοχές που δεν βρέχει συχνά. Τα τελευταία χρόνια έχουν κατασκευαστεί πλαστικά φύλλα κάλυψης θερμοκηπίων τα οποία δεν συσσωρεύουν εύκολα σκόνη (anti-dust films), μέσω προσθήκης κατάλληλων ουσιών είτε επιφανειακά είτε στο εσωτερικό τους, οι οποίες αυξάνουν την ηλεκτρική τους αγωγιμότητα (Montero et al., 2013).

6.7. Εξοπλισμός θερμοκηπίων

Ο εξοπλισμός των θερμοκηπίων αποσκοπεί κυρίως στον έλεγχο της θερμοκρασίας και της υγρασίας στο εσωτερικό τους. Τα υψηλής τεχνολογίας θερμοκήπια μπορεί να διαθέτουν επιπλέον εξοπλισμό για τον έλεγχο και του φωτισμού καθώς και των επιπέδων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στο εσωτερικό τους. Σημειώνεται ότι, όσον αφορά τον φωτισμό, στα κηπευτικά μπορεί να ρυθμίζεται η ένταση της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (αφομοιωτικός φωτισμός) αλλά δεν υπάρχει σκοπιμότητα ελέγχου της φωτοπεριόδου. Στην Ελλάδα όμως πολύ λίγα λαχανοκομικά θερμοκήπια διαθέτουν εξοπλισμό για αύξηση των επιπέδων CO₂ στο εσωτερικό τους, ενώ ακόμη λιγότερα (κυρίως φυτώρια) μπορεί να διαθέτουν εξοπλισμό για την αύξηση του αφομοιωτικού φωτισμού.

Εκτός από τα παραπάνω, στον εξοπλισμό ενός θερμοκηπίου συμπεριλαμβάνονται τα εντομοστεγή δίχτυα που αποσκοπούν στον έλεγχο της εισόδου επιβλαβών εντόμων στο χώρο καλλιέργειας, οι εγκαταστάσεις συσκευασίας των παραγόμενων κηπευτικών, συστήματα πλύσης του θερμοκηπίου, οχήματα κίνησης του προσωπικού ανάμεσα στις γραμμές των φυτών και ανύψωσής τους για να εκτελούν καλλιεργητικές εργασίες, όπως κλάδεμα και υποστύλωση, συγκομιδή, κ.λπ. Στον εξοπλισμό του θερμοκηπίου συμπεριλαμβάνονται επίσης τα συστήματα άρδευσης και υδρολίπανσης. Ειδικού σκοπού θερμοκήπια, όπως τα βιολογικά θερμοκήπια, τα υδροπονικά θερμοκήπια, καθώς και τα θερμοκήπια-φυτώρια, συνήθως περιλαμβάνουν και αντίστοιχο ειδικό εξοπλισμό. Παρακάτω θα γίνει μόνο μία σύντομη τεχνική περιγραφή του βασικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για έλεγχο των κλιματικών συνθηκών (θερμοκρασία, υγρασία, φωτισμός, διοξείδιο του άνθρακα).

Στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες, σε γενικές γραμμές ο εξοπλισμός για την ρύθμιση του εσωτερικού μικροκλίματος των θερμοκηπίων αποσκοπεί: α) στην θέρμανση και την μείωση της ατμοσφαιρικής υγρασίας τον χειμώνα, β) στον εξαερισμό για την μείωση της θερμοκρασίας κάποιες ώρες της ημέρας την άνοιξη και το φθινόπωρο και γ) στην μείωση της θερμοκρασίας και αύξηση της υγρασίας το καλοκαίρι μέσω εξαερισμού, σκίασης και δροσισμού. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο ίδιος εξοπλισμός ρυθμίζει ταυτόχρονα

περισσότερες από μία κλιματικές παραμέτρους. Ειδικότερα, τα συστήματα θέρμανσης αυξάνουν την θερμοκρασία ενώ ταυτόχρονα μειώνουν την σχετική υγρασία, ενώ τα συστήματα δροσισμού αυξάνουν την υγρασία ενώ ταυτόχρονα μειώνουν την θερμοκρασία του αέρα. Αντίστοιχα, τα συστήματα εξαερισμού μειώνουν την θερμοκρασία αλλά ταυτόχρονα επηρεάζουν και την υγρασία του αέρα. Τα συστήματα σκίασης μειώνουν την θερμοκρασία του αέρα, ταυτόχρονα μειώνουν και τα επίπεδα της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας, ενώ επιπλέον έμμεσα ασκούν επίδραση και στην σχετική υγρασία του χώρου μέσω της επίδρασής τους στη θερμοκρασία. Επισημαίνεται επίσης ότι, πολλά συστήματα είναι αναγκαίο να λειτουργούν ταυτόχρονα και να συνεργάζονται μεταξύ τους για την ρύθμιση ενός κλιματικού παράγοντα (π.χ. συστήματα δροσισμού και εξαερισμού, ή δροσισμού και σκίασης, η θέρμανσης και ανάδευσης του εσωτερικού αέρα). Λαμβάνοντας αυτά υπόψη, η περιγραφή του κάθε συστήματος παρακάτω γίνεται με βάση την εργασία που εκτελεί και όχι με βάση τον κλιματικό παράγοντα που επηρεάζει.

6.7.1. Συστήματα εξαερισμού

Εξαερισμός είναι η ανταλλαγή αέρα μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού του θερμοκηπίου και αποσκοπεί στην μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας και στην είσοδο CO₂ στη διάρκεια της φωτεινής περιόδου του εικοσιτετραώρου. Τα συστήματα εξαερισμού διακρίνονται στα παθητικά, τα οποία επιτρέπουν την μετακίνηση αέριων μαζών μέσω απλών ανοιγμάτων και τα δυναμικά τα οποία ασκούν πίεση ή αναρρόφηση εξαναγκάζοντας αέριες μάζες να εξέλθουν από το θερμοκήπιο και στη θέση τους να εισέλθουν αέριες μάζες από τον εξωτερικό αέρα, ή αντίστροφα. Σύμφωνα με τον von Zabeltitz (2011), τα πιο σημαντικά ποσοτικά δεδομένα που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα ενός συστήματος εξαερισμού είναι:

- Ο ρυθμός ανταλλαγών του αέρα, δηλαδή πόσες φορές ανανεώνεται ο αέρας στη μονάδα του χρόνου (συνήθως ανά ώρα ή εναλλακτικά σε $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{min}^{-1}$),
- Η διαφορά εσωτερικής – εξωτερικής θερμοκρασίας που μπορεί να επιτύχει,
- Η ομοιογένεια στις τιμές θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία εντός του θερμοκηπίου,
- Η ταχύτητα κίνησης του αέρα πάνω καθώς και δια μέσου της κόμης των φυτών.

6.7.1.1. Παθητικά συστήματα εξαερισμού

Τα παθητικά συστήματα εξαερισμού συνίστανται από ειδικά παράθυρα (ανοίγματα) στην οροφή του θερμοκηπίου καθώς και στα πλάγια τοιχώματα (Διαφάνεια 36). Τα ανοίγματα

εξαερισμού μπορούν να είναι είτε κλειστά, είτε τελείως ανοιχτά, είτε σε μία ενδιάμεση κατάσταση (μερικό άνοιγμα), ανάλογα με τον εποδιωκόμενο ρυθμό ανανέωσης του εσωτερικού αέρα. Τα παράθυρα που χρησιμοποιούνται για παθητικό εξαερισμό, κατά κανόνα είναι καλυμμένα με το ίδιο διαφανές υλικό που καλύπτει και το υπόλοιπο θερμοκήπιο. Το άνοιγμα και το κλείσιμο των παραθύρων εξαερισμού ελέγχεται από τον καλλιεργητή, είτε χειρωνακτικά είτε μέσω αυτόματων συστημάτων, ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Η κινούσα δύναμη για την είσοδο του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου προκύπτει από την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού χώρου καθώς και από την κίνηση του ανέμου. Σύμφωνα με τους Papadakis et al. (1996), όταν η ταχύτητα του ανέμου υπερβαίνει τα 2 m s^{-1} , ο ρυθμός εισόδου του αέρα στο θερμοκήπιο καθορίζεται από τον άνεμο, ενώ η επίδραση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού αέρα είναι σχεδόν αμελητέα.

Στα θερμοκήπια που είναι καλυμμένα με φύλλα μαλακού πλαστικού, τα καλύμματα των ανοιγμάτων εξαερισμού είναι δύο τύπων, τα πτυσσόμενα (roll-up) και τα περυγωτά (flap) (von Zabeltitz, 2011). Στα θερμοκήπια όμως που καλύπτονται με σκληρό πλαστικό ή γυαλί τα καλύμματα των ανοιγμάτων εξαερισμού μπορούν να είναι μόνο περυγωτά.

Πτυσσόμενο είναι ένα κάλυμμα εξαερισμού το οποίο αποτελείται από ένα τμήμα πλαστικού φύλλου με στερεωμένη την πάνω πλευρά του στον σκελετό του θερμοκηπίου, ενώ το υπόλοιπο κρέμεται προς τα κάτω σαν μία κουρτίνα για να καλύπτει το άνοιγμα εξαερισμού (Διαφάνεια 36 κάτω). Στο κάτω μέρος του το πλαστικό φύλλο φέρει ενσωματωμένο έναν μεταλλικό σωλήνα διαμέτρου μισής ίντσας. Όταν πρέπει να ανοίξει το παράθυρο, το πλαστικό φύλλο που καλύπτει το άνοιγμα του θερμοκηπίου περιτυλίσσεται γύρω από αυτόν τον σωλήνα, ο οποίος λειτουργεί σαν ένα καρούλι, ώστε το κάλυμμα να μαζευτεί προς τα επάνω. Αντίστοιχα, όταν το άνοιγμα εξαερισμού πρέπει να κλείσει, το πλαστικό κάλυμμα ξετυλίγεται από τον σωλήνα στον οποίο είναι περιτυλιγμένο και το καλύπτει. Το άνοιγμα και το κλείσιμο μπορεί να γίνεται είτε χειρωνακτικά με μία μανιβέλα είτε με κάποιο είδος αυτοματοποίησης. Τα ανοίγματα εξαερισμού που λειτουργούν με πτυσσόμενα καλύμματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε απλά θερμοκήπια χαμηλής τεχνολογίας και στις περισσότερες φορές η έναρξη του ανοίγματος και του κλεισίματος, αλλά και η όλη διαδικασία γίνεται χειρωνακτικά με μανιβέλα.

Τα ανοίγματα εξαερισμού που φέρουν περυγωτά καλύμματα (Διαφάνεια 36 πάνω) χρησιμοποιούνται σε σύγχρονης τεχνολογίας θερμοκήπια και κατά κανόνα το άνοιγμα και το κλείσιμό τους γίνεται αυτοματοποιημένα. Τα περυγωτά καλύμματα είναι σταθερά πλαίσια με την πάνω πλευρά τους επίσης στερεωμένη πάνω στο σκελετό του θερμοκηπίου αλλά με δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα και συνεπώς να ανοίγουν και να

κλείνουν, όπως οι πτέρυγες ενός πουλιού. Η στροφική κίνηση των πτερυγωτών καλυμμάτων κατά το άνοιγμα και το κλείσιμο των ανοιγμάτων εξαερισμού υποστηρίζεται από οδοντωτές κρεμαγιέρες.

Το βασικότερο κατασκευαστικό ερώτημα σχετικά με τον παθητικό εξαερισμό είναι η συνολική επιφάνεια των ανοιγμάτων εξαερισμού, η οποία υπολογίζεται ως εκατοστιαία αναλογία επί της συνολικής έκτασης που καλύπτει το θερμοκήπιο. Σύμφωνα με σχετικά πρότυπα των ΗΠΑ (ANSI/ASAE, 2003), η επιφάνεια των ανοιγμάτων εξαερισμού στα θερμοκήπια πρέπει να ανέρχεται σε 15-25%. Χρησιμοποιώντας θερμοδυναμικά υπολογιστικά μοντέλα, ο von Zabeltitz (2011) καταλήγει σε ένα εύρος επιφάνειας ανοιγμάτων εξαερισμού που κυμαίνεται από 18-29%. Στις Τεχνικές Προδιαγραφές Θερμοκηπίων που έχει καταρτίσει το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (1992) προβλέπεται ελάχιστη επιφάνεια ανοιγμάτων εξαερισμού ίση με το 22% της επιφάνειας που καλύπτει το θερμοκήπιο (πλευρικός 7 %, οροφής 15 %). Τα πλευρικά ανοίγματα εξαερισμού μπορούν να παραλείπονται τελείως, αν τα ανοίγματα οροφής έχουν συνολική επιφάνεια τουλάχιστον 40% της συνολικής επιφάνειας του θερμοκηπίου.

Στα θερμοκήπια που βρίσκονται σε περιοχές με θερμότερα κλίματα, όπως αυτό της Μεσογείου, απαιτούνται προφανώς υψηλότερα ποσοστά επιφάνειας ανοιγμάτων εξαερισμού. Στα θερμότερα κλίματα, με δεδομένο ότι τα ανοίγματα εξαερισμού καλύπτουν μεγαλύτερη επιφάνεια, συνήθως είναι αναγκαία και ανοίγματα στις πλάγιες πλευρές του θερμοκηπίου, ειδικά αν η ταχύτητα των ανέμων που πνέουν στην περιοχή είναι μικρή (von Zabeltitz, 2011). Στα ψυχρότερα κλίματα, κατά κανόνα αρκούν μόνο τα παράθυρα οροφής τα οποία συνήθως είναι ασυνεχή. Στα τοξωτά θερμοκήπια υπάρχουν σοβαρές δυσκολίες με την δημιουργία ανοιγμάτων εξαερισμού σε επαρκή έκταση, καθώς επίσης και με το άνοιγμα και κλείσιμό τους τον κατάλληλο χρόνο γιατί λειτουργούν χειρωνακτικά. Γι' αυτό συχνά τα τοξωτά θερμοκήπια παρουσιάζουν προβλήματα υπερβολικών θερμοκρασιών στο εσωτερικό τους.

Τα τελευταία χρόνια, τα παράθυρα εξαερισμού των θερμοκηπίων καλύπτονται με εντομοστεγές δίχτυ (σήτα) για να αποτρέπεται η είσοδος επιβλαβών εντόμων στο εσωτερικό τους που βρίσκεται η καλλιέργεια (Διαφάνεια 38 πάνω). Τα εντομοστεγή δίχτυα όμως δημιουργούν αντίσταση στην κίνηση του αέρα, με αποτέλεσμα να μειώνουν την ταχύτητά του (Διαφάνεια 39) και συνεπώς τον ρυθμό ανανέωσής του. Το μέγεθος των οπών των διχτυών εξαρτάται από τις διαστάσεις των εντόμων, των οποίων την είσοδο στο θερμοκήπιο αποσκοπούν να παρεμποδίσουν (Διαφάνεια 38 κάτω). Το πιο μικρό από τα συνηθισμένα επιβλαβή έντομα θερμοκηπίων είναι ο θρίπας. Συνεπώς, η χρήση διχτυών που παρεμποδίζουν την είσοδο και του θρίπα στο θερμοκήπιο (μέγεθος οπών <192 μm) προκαλεί την μεγαλύτερη

παρεμπόδιση στον παθητικό εξαερισμό (Bethke and Paine, 1991). Ο αλευρώδης απαιτεί λιγότερο πυκνά δίκτυα (μέγεθος οπών $<288 \mu\text{m}$), και συνεπώς τα εντομοστεγή δίκτυα για αλευρώδη προκαλούν μικρότερη παρεμπόδιση στον παθητικό αερισμό σε σύγκριση με αυτά που χρησιμοποιούνται εναντίον του θρίπα. Από τα επιβλαβή έντομα θερμοκηπίων, το μεγαλύτερο μέγεθος το έχουν οι αφίδες και συνεπώς τα εντομοστεγή δίκτυα που αποτρέπουν μόνο την είσοδο των αφίδων (μέγεθος οπών $341 \mu\text{m}$) προκαλούν την μικρότερη παρεμπόδιση στον φυσικό εξαερισμό. Σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα των Pérez-Parra et al. (2004), τα εντομοστεγή δίκτυα κατά του θρίπα μειώνουν τον εξαερισμό κατά 60-70%, ενώ τα δίκτυα ενάντια στις αφίδες μόνο κατά 40%. Σε κάθε περίπτωση, η χρήση εντομοστεγών δικτύων και το μέγεθος των οπών που φέρουν (τύπος δικτυού) πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την κατασκευή του θερμοκηπίου, ώστε να υπολογίζεται ο βαθμός παρεμπόδισης των ανταλλαγών αέρα στη μονάδα του χρόνου και να ρυθμίζεται ανάλογα η έκταση των ανοιγμάτων παθητικού εξαερισμού.

6.7.1.2. Συστήματα δυναμικού εξαερισμού

Τα συστήματα δυναμικού εξαερισμού είναι πιο αποτελεσματικά από τα αντίστοιχα παθητικά συστήματα όσον αφορά την ανανέωση του αέρα και την μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Kittas et al., 2005). Ένα σύστημα δυναμικού εξαερισμού περιλαμβάνει ανεμιστήρες από την μία πλευρά του θερμοκηπίου (Διαφάνεια 37), οι οποίοι αναρροφούν τον εσωτερικό αέρα και τον βγάζουν έξω, καθώς και ανοίγματα από την απέναντι πλευρά, μέσω των οποίων εισέρχεται εντός του θερμοκηπίου ο εξωτερικός αέρας. Καθώς οι ανεμιστήρες τραβάνε τον εσωτερικό αέρα εκτός του θερμοκηπίου, στο εσωτερικό του τείνει να δημιουργηθεί υποπίεση, με συνέπεια να εισέρχεται εξωτερικός αέρας μέσω των ανοιγμάτων της απέναντι πλευράς, λόγω της διαφοράς πίεσης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα. Στα συστήματα δυναμικού αερισμού τα ανοίγματα που επιτρέπουν στον αέρα να εισέλθει εντός του θερμοκηπίου είναι πτερυγωτά (flap) και μικρότερα από αυτά που απαιτούνται για παθητικό αερισμό. Τεχνικά γίνεται και το αντίθετο, δηλαδή να εισάγουν οι ανεμιστήρες από την μία πλευρά τον αέρα μέσα στο θερμοκήπιο, οπότε τείνει να δημιουργηθεί υπερπίεση με συνέπεια να ωθείται ο εσωτερικός αέρας σε έξοδο εκτός θερμοκηπίου μέσω των ανοιγμάτων της άλλης πλευράς. Κατά κανόνα όμως, στα συστήματα δυναμικού αερισμού των θερμοκηπίων οι ανεμιστήρες αναρροφούν τον εσωτερικό αέρα και τον βγάζουν εκτός θερμοκηπίου. Σύμφωνα με τον von Zabeltitz (1999), κατά την εγκατάσταση ενός συστήματος δυναμικού αερισμού θα πρέπει να εφαρμόζονται τα εξής:

- Οι ανεμιστήρες πρέπει να αναρροφούν τον αέρα και να τον βγάζουν εκτός θερμοκηπίου γιατί η κατανομή της θερμοκρασίας στο χώρο είναι πιο ομοιόμορφη από την πλευρά της αναρρόφησης του αέρα.
- Η απόσταση μεταξύ δύο ανεμιστήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 8–10 m.
- Οι ανεμιστήρες πρέπει να ασκούν μία απορροφητική δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας (μύζηση αέρα) ίση με 30–50 Pascal λαμβάνοντας υπόψη και την εφαρμογή δροσισμού με υγρό παραπέτασμα, καθώς και την ύπαρξη εντομοστεγών διχτυών στα ανοίγματα της άλλης πλευράς.
- Συνιστάται η τοποθέτηση των ανεμιστήρων από την πλευρά που δεν είναι εκτεθειμένη στον επικρατούντα ισχυρό άνεμο.
- Από το σημείο εξόδου του ανεμιστήρα θα πρέπει να υπάρχει μία ελεύθερη ζώνη χωρίς εμπόδια σε απόσταση τουλάχιστον ίση με 1,5 φορές την διάμετρό του
- Η επιφάνεια των ανοιγμάτων της απέναντι πλευράς για την είσοδο του αέρα θα πρέπει να αντιστοιχεί σε τουλάχιστον 1,25 φορές την συνολική επιφάνεια των ανοιγμάτων των ανεμιστήρων.
- Η ταχύτητα του εισερχόμενου αέρα δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλη και στην κόμη των φυτών δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα $0,5 \text{ m s}^{-1}$.
- Τα ανοίγματα εισόδου του αέρα στην απέναντι πλευρά θα πρέπει να κλείνουν αυτόματα όταν οι ανεμιστήρες εξαερισμού δεν λειτουργούν.
- Η απόσταση μεταξύ της μίας πλευράς στην οποία είναι τοποθετημένοι οι ανεμιστήρες και της άλλης πλευράς στην οποία υπάρχουν τα ανοίγματα εισόδου του αέρα συνιστάται να μην υπερβαίνει τα 30-40 m (Bailey 2006) και σε κάθε περίπτωση να είναι μικρότερη από 50 m (Short, 2004).
- Συνιστάται η χρήση ανεμιστήρων χαμηλής πίεσης (μύζησης) και χαμηλής ταχύτητας περιστροφής (380–725 στροφές ανά λεπτό) με διάμετρο μεταξύ 0,75 – 1,25 m.

Ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα που μπορεί να επιτύχει ένα καλό σύστημα δυναμικού αερισμού συνήθως κυμαίνεται μεταξύ $120\text{--}200 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Ένα σύστημα δυναμικού αερισμού με ανεμιστήρες μπορεί να συνδυαστεί και με ένα σύστημα παθητικού αερισμού με ανοίγματα οροφής (Baeza et al., 2005). Ένας τέτοιος συνδυασμός αυξάνει τον ρυθμό ανανέωσης του αέρα, ειδικά αν τα ανοίγματα αερισμού δεν είναι πλήρως αλλά εν μέρει ανοιχτά (π.χ. 30%) όταν λειτουργεί ο δυναμικός αερισμός (Florez-Velasquez et al. 2009). Επιπλέον, μειώνει και την ανομοιομορφία θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο, τόσο οριζόντια στην κατεύθυνση της κίνησης του αέρα, όσο και κατακόρυφα (von Zabeltitz, 2011). Όταν υπάρχει και λειτουργεί

συμπληρωματικά και παθητικός αερισμός από την οροφή, η απόσταση μεταξύ των ανεμιστήρων και των ανοιγμάτων της απέναντι πλευράς για την είσοδο του αέρα μπορεί να είναι μεγαλύτερη από αυτή που συνιστάται όταν λειτουργεί μόνο δυναμικός αερισμός.

Τα συστήματα δυναμικού αερισμού είναι πολύ αποτελεσματικά όσον αφορά τον ρυθμό ανανέωσης του αέρα και την μείωση της θερμοκρασίας που επιτυγχάνουν, ενώ συμβάλλουν και σε μεγαλύτερη ομοιομορφία όσον αφορά την κατά ύψος διακύμανση της θερμοκρασίας και υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο (Kittas et al., 2001). Το μόνο τους μειονέκτημα είναι το σημαντικό κόστος που συνεπάγεται τόσο η αγορά και εγκατάστασή τους όσο και η λειτουργία τους λόγω κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος. Παρά το κόστος τους όμως, φαίνεται ότι για τα μεσογειακά θερμοκήπια που λειτουργούν τους περισσότερους τουλάχιστον θερμούς μήνες του έτους το όφελος που παρέχουν είναι σημαντικότερο από το κόστος τους. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν τα συστήματα δυναμικού αερισμού φέρουν και πρόσθετο εξοπλισμό, ώστε να λειτουργούν και ως συστήματα δροσισμού μέσω διαβρεχόμενων πορωδών πλαισίων.

6.7.2. Συστήματα θέρμανσης και εξοικονόμησης ενέργειας

6.7.2.1. Σκοπιμότητα και σημασία της χρήσης συστημάτων θέρμανσης

Το σύστημα θέρμανσης είναι ο σημαντικότερος εξοπλισμός για ένα θερμοκήπιο μετά τα συστήματα αερισμού, δεδομένου ότι ρυθμίζει τον βασικότερο κλιματικό παράγοντα για παραγωγή εκτός εποχής κηπευτικών, δηλαδή την θερμοκρασία κατά την ψυχρή εποχή του έτους. Παρά την σπουδαιότητά τους όμως, τα πιο πολλά θερμοκήπια σε περιοχές με ήπιο χειμώνα όπως οι περιοχές της νότιας Ελλάδας με χαμηλό υψόμετρο δεν διαθέτουν σύστημα θέρμανσης. Στα θερμοκήπια αυτά, η δυνατότητα παραγωγής κηπευτικών εκτός εποχής οφείλεται μόνο στην τροποποίηση της εσωτερικής τους θερμοκρασίας που προκύπτει από το γεγονός ότι συνιστούν κλειστές διαφανείς κατασκευές. Η μη εγκατάσταση συστήματος θέρμανσης όμως δεν οφείλεται στην επάρκεια του θερμοκηπίου ως κλειστής κατασκευής για την επίτευξη ικανοποιητικών θερμοκρασιών. Οφείλεται αποκλειστικά και μόνο στο πολύ υψηλό κόστος λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης και ειδικότερα στο πολύ υψηλό κόστος των καυσίμων. Αντίθετα, η επίτευξη ικανοποιητικών θερμοκρασιών για καλλιέργεια θερμής εποχής κηπευτικών στα θερμοκήπια τον χειμώνα καθιστά αναγκαία την ύπαρξη ενός συστήματος θέρμανσης ακόμη και σε χώρες της Βόρειας Αφρικής, όπως π.χ. η Τυνησία. Αν δεν υπάρχει σύστημα θέρμανσης στο θερμοκήπιο, τον χειμώνα τα θερμοαπαιτητικά κηπευτικά εκτίθενται για αρκετά χρονικά διαστήματα σε σαφώς χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές που απαιτούνται. Το αποτέλεσμα θα είναι να δίνουν πολύ χαμηλή παραγωγή και μεγάλο

ποσοστό καρπών δεύτερης ποιοτικής κατηγορίας, ενώ επιπλέον αντιμετωπίζουν πολύ μεγαλύτερα προβλήματα φυτοασθενειών. Σημειώνεται ότι, μέσω των συστημάτων θέρμανσης δεν ελέγχεται μόνο η θερμοκρασία αλλά και η σχετική υγρασία μέσα στον χώρο του θερμοκηπίου η οποία, όταν υπερβαίνει το 85-90%, ευνοεί την εμφάνιση φυτοασθενειών.

Η έναρξη και η παύση λειτουργίας ενός συστήματος θέρμανσης μπορεί να γίνεται είτε χειρωνακτικά με απόφαση του παραγωγού είτε αυτόματα. Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιούνται συστήματα αυτόματου ελέγχου του κλίματος του θερμοκηπίου, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στην καταγραφή της θερμοκρασίας και της υγρασίας στον εσωτερικό χώρο σε συνθήκες πραγματικού χρόνου μέσω κατάλληλων αισθητήρων.

Ένα σύστημα θέρμανσης θερμοκηπίου περιλαμβάνει δύο διακριτά επιμέρους τμήματα και ειδικότερα το σύστημα παραγωγής θερμότητας (π.χ. λέβητας και καυστήρας) και το σύστημα διανομής της θερμότητας μέσα στο θερμοκήπιο. Ένα βασικής σημασίας χαρακτηριστικό του συστήματος παραγωγής της θερμότητας είναι η πηγή της ενέργειας που παρέχει την θερμική ενέργεια.

6.7.2.2. Πηγές παραγωγής θερμότητας

Η πηγή παραγωγής της θερμότητας μπορεί να είναι:

- **Ορυκτά καύσιμα.** Στα ορυκτά καύσιμα περιλαμβάνονται το πετρέλαιο, το μαζούτ, το φυσικό αέριο, ο γαιάνθρακας, ο λιγνίτης, κ.λπ. Στα Ελληνικά θερμοκήπια χρησιμοποιούνται τα τρία πρώτα. Είναι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και έχουν πολύ μεγάλο κόστος, ιδιαίτερα το πετρέλαιο, το οποίο στην Ελλάδα, όταν χρησιμοποιείται στα θερμοκήπια, τιμολογείται ως πετρέλαιο κίνησης.
- **Βιομάζα.** Περιλαμβάνει κάθε είδους παραπροϊόντα ή υπολείμματα κατεργασίας γεωργικών ή δασικών πρώτων υλών, όπως ξύλο, πριονίδι, pellets, πυρηνόξυλο, άχυρο, κληματίδες, κ.λπ. Στα Ελληνικά θερμοκήπια είναι πολύ συνηθισμένη η χρήση ελαιοπυρήνας ή πυρηνόξυλου ως καύσιμου (**Διαφάνεια 41**) το οποίο είναι παραπροϊόν των ελαιοουργείων και έχει αρκετά χαμηλή τιμή.
- **Γεωθερμική ενέργεια.** Το μόνο κόστος που έχει το γεωθερμικό νερό είναι το κόστος του απαιτούμενου ειδικού εξοπλισμού για την άντληση και την αξιοποίησή του το οποίο είναι ασύγκριτα μικρότερο από το κόστος των καυσίμων για θέρμανση νερού. Συνεπώς, όπου υπάρχει αξιοποιήσιμο γεωθερμικό πεδίο μπορεί να αντλείται και να αξιοποιείται θερμό νερό από το έδαφος για θέρμανση θερμοκηπίων. Οι περιοχές με αξιοποιήσιμα γεωθερμικά πεδία έχουν σημαντικό συγκριτικό πλεονέκτημα για κατασκευή και λειτουργία θερμοκηπίων

ακόμη και αν έχουν σχετικά ψυχρό κλίμα, υπό την προϋπόθεση ότι τα επίπεδα φωτισμού τον χειμώνα δεν είναι τόσο χαμηλά, ώστε να ακυρώνουν αυτό το πλεονέκτημα.

- **Θερμά απόνερα από βιομηχανίες.** Η βιομηχανία και ιδιαίτερα η βαριά βιομηχανία (π.χ. διυλιστήρια, εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας) παράγουν θερμά απόνερα τα οποία προέρχονται από τα συστήματα ψύξης των μηχανών. Αντί να απορρίπτεται, αυτό το νερό μπορεί να αξιοποιείται για θέρμανση θερμοκηπίων, μειώνοντας σημαντικά το κόστος λειτουργίας τους.
- **Ηλιακή ενέργεια.** Η θέρμανση των θερμοκηπίων μπορεί να επιτευχθεί και με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς και άλλων συστημάτων αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Το πρόβλημα με αυτά τα συστήματα, το οποίο περιορίζει ακόμη την διάδοσή τους, είναι ότι τα θερμοκήπια έχουν ανάγκη για θέρμανση τον χειμώνα, κάτω από συνθήκες χαμηλής ηλιοφάνειας, οι οποίες δεν επιτρέπουν την συλλογή αξιολογών ποσοτήτων ενέργειας. Αντίθετα, τις ημέρες με υψηλή ηλιοφάνεια, είτε δεν υφίσταται ανάγκη για θέρμανση είτε είναι πολύ μικρή. Η αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας τις ημέρες και εποχές με υψηλή ηλιοφάνεια και η αξιοποίησή της τις ημέρες με χαμηλή ηλιοφάνεια παραμένει ακόμη τεχνικά δύσκολη και συνήθως είναι οικονομικά ασύμφορη. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι ο πολύ μεγάλος όγκος των απαιτούμενων δεξαμενών για την αποθήκευση του νερού το οποίο την ημέρα θερμαίνεται μέσα στο θερμοκήπιο καθώς ψύχει το εσωτερικό περιβάλλον ενώ την νύχτα χρησιμοποιείται για να θερμαίνει τον χώρο. Για τις συνθήκες της Κρήτης για παράδειγμα, θα χρειαζόταν χωρητικότητα δεξαμενών ίση με $0,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ για να καλυφθεί το 67% των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση με στόχο την διατήρηση μίας ελάχιστης εσωτερικής θερμοκρασίας ίσης με $12 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (von Zabeltitz, 2011). Επιπλέον, τα συστήματα αυτά απαιτούν και σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία μίας αντλίας θερμότητας και ανεμιστήρων.

6.7.2.3. Συστήματα παραγωγής θερμότητας

Τα συστήματα παραγωγής θερμότητας στα θερμοκήπια συνήθως είναι εγκαταστάσεις κεντρικής θέρμανσης ή τοπικές θερμάστρες με καυστήρα και λέβητα για παραγωγή θερμού νερού, ή αερόθερμα διαφόρων τύπων. Σε μικρά θερμοκήπια παλαιάς τεχνολογίας μπορεί να συναντήσει κανείς και άλλα συστήματα θέρμανσης, όπως ξυλόσομπες, σόμπες υγραερίου, θερμάστρες με ηλεκτρικές αντιστάσεις, κ.λπ. Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά τα συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων με παραγωγή θερμού νερού ή θερμού αέρα.

- **Σύστημα κεντρικής θέρμανσης με λέβητα θερμού νερού.** Πρόκειται για ένα κεντρικό σύστημα εγκατεστημένο σε έναν ειδικό χώρο, το λεβητοστάσιο, το οποίο περιλαμβάνει ένα σύνολο κατάλληλα συνδεδεμένων μεταξύ τους συσκευών και οργάνων και αποσκοπεί στην παραγωγή θερμικής ενέργειας μέσω καύσης ορυκτού καυσίμου ή βιομάζας. Η θερμική ενέργεια που παράγεται από την καύση θερμαίνει νερό που υπάρχει μέσα σε έναν λέβητα. Ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης αποτελείται από τον λέβητα, τον καυστήρα, τον κυκλοφορητή, τη δεξαμενή καυσίμων, τις διατάξεις ασφαλείας, την καπνοδόχο και τις σωληνώσεις που μεταφέρουν το θερμό νερό στο θερμοκήπιο (**Διαφάνεια 42 αριστερά**). Το θερμό νερό μεταφέρεται στο θερμοκήπιο, διανέμεται σε ένα δίκτυο σωληνώσεων, θερμαίνει το χώρο μέσω εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας από τις σωληνώσεις, οπότε ψύχεται και επιστρέφει στον λέβητα για να θερμανθεί ξανά. Τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης είναι υψηλής αποδοτικότητας και επιτυγχάνουν επαρκή και ομοιόμορφη θέρμανση του θερμοκηπίου, εφόσον έχει υπολογιστεί σωστά η δυναμικότητά τους, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε σχετικά υψηλής τεχνολογίας θερμοκήπια, ιδιαίτερα σε περιοχές και χώρες με ψυχρά κλίματα, όπου οι ανάγκες σε θέρμανση είναι μεγάλες.
- **Τοπικές θερμάστρες θέρμανσης με λέβητα θερμού νερού.** Βασίζονται στην ίδια αρχή με τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης (καύση ορυκτού καυσίμου ή βιομάζας για παραγωγή θερμικής ενέργειας η οποία διανέμεται στο θερμοκήπιο μέσω νερού). Είναι όμως απλά συστήματα καύσης μικρής δυναμικότητας και επομένως μπορούν να καλύψουν σχετικά περιορισμένες ανάγκες θέρμανσης.
- **Αερόθερμα.** Είναι διαφόρων τύπων. Υπάρχουν απλά μικρά αερόθερμα που λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια, άλλα μικρά αερόθερμα που καίνε υγραέριο προερχόμενο από φιάλες (γκάζι), καθώς και μεγαλύτερης δυναμικότητας αερόθερμα που καίνε ορυκτά καύσιμα ή βιομάζα (**Διαφάνεια 42 δεξιά**). Τα τελευταία είναι και τα πιο συνηθισμένα στα επαγγελματικά θερμοκήπια. Τα κύρια μέρη ενός αερόθερμου που λειτουργεί με καύση είναι το δοχείο καύσης, ο μεταλλάκτης και ο ανεμιστήρας. Ο ανεμιστήρας οδηγεί τον αέρα στον μεταλλάκτη. Ο αέρας θερμαίνεται με συναγωγή καθώς διέρχεται από τον μεταλλάκτη και διοχετεύεται στο χώρο του θερμοκηπίου. Μέσα στο θερμοκήπιο ο θερμός αέρας που έρχεται από το αερόθερμο τείνει να ψύχεται, οπότε επανέρχεται στο αερόθερμο για να θερμανθεί ξανά, κ.ο.κ. Η παρουσία ειδικών ανεμιστήρων-αναμοχλευτών μέσα στο θερμοκήπιο είναι πολύ σημαντική για να κατανέμεται όσο το δυνατόν πιο ομοιόμορφα ο θερμός αέρας στον εσωτερικό του χώρο και να αποφεύγεται η στρωματοποίησή του. Στα αερόθερμα που

λειτουργούν με καύση μίας θερμαντικής πηγής, το αναγκαίο οξυγόνο για την καύση πρέπει να μεταφέρεται από το εξωτερικό του θερμοκηπίου, ενώ τα παραγόμενα καυσαέρια πρέπει επίσης να αποβάλλονται εκτός θερμοκηπίου. Τα αερόθερμα έχουν χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας σε σύγκριση με τα κεντρικά συστήματα θέρμανσης και για αυτό προτιμώνται κατά κανόνα στα μέσης και χαμηλής τεχνολογίας θερμοκήπια των μεσογειακών χωρών. Είναι όμως λιγότερο αποτελεσματικά από τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης και επιτυγχάνουν μικρότερη ομοιομορφία στην κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου.

6.7.2.4. Συστήματα μεταφοράς της ενέργειας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η θερμική ενέργεια στο θερμοκήπιο μεταφέρεται σε μορφή είτε θερμού νερού, είτε ατμού, είτε θερμού αέρα. Ο τρόπος μεταφοράς της θερμικής ενέργειας δεν υποδηλώνει απαραίτητα και την μορφή παραγωγής της κατά την καύση της πηγής ενέργειας. Για παράδειγμα, είναι δυνατή η θέρμανση νερού κατά την καύση στον λέβητα, αλλά στη συνέχεια, μέσω ενός εναλλάκτη, η θερμότητα του νερού μπορεί να μεταφέρεται στον αέρα και η καλλιέργεια να θερμαίνεται με θερμό αέρα. Τα συστήματα μεταφοράς της ενέργειας περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω.

Μεταλλικοί σωλήνες για μεταφορά θερμού νερού

Οι σωλήνες αυτοί, οι οποίοι μεταφέρουν νερό θερμοκρασίας 85-95 °C μέσα στο θερμοκήπιο, συνήθως έχουν διάμετρο 5 cm. Η επιφάνεια των σωλήνων εκπέμπει θερμική ακτινοβολία η οποία αποδίδει στο χώρο το μεγαλύτερο μέρος της περιεχόμενης στο νερό θερμικής ενέργειας. Σε μικρό βαθμό ο αέρας θερμαίνεται και μέσω της άμεσης επαφής του με τους σωλήνες που μεταφέρουν το θερμό νερό.

Στα σύγχρονα θερμοκήπια υψηλής τεχνολογίας, οι μεταλλικοί σωλήνες που τοποθετούνται στο δάπεδο του θερμοκηπίου χρησιμοποιούνται επιπλέον και ως ράγες για την μετακίνηση βαγονέτων. Τα βαγονέτα αυτά χρησιμοποιούνται: α) για κίνηση του προσωπικού κατά μήκος των γραμμών των φυτών με στόχο την εκτέλεση καλλιεργητικών εργασιών (π.χ. κλάδεμα, υποστύλωση, συγκομιδή), β) για ανύψωση εργατικού προσωπικού στις καλλιέργειες φυτών που αναπτύσσονται σε μεγάλο ύψος (π.χ. τομάτα), ώστε να μπορούν να εκτελέσουν καλλιεργητικές εργασίες στην κόμη του φυτού, και γ) για την μεταφορά του συγκομιζόμενου κηπευτικού.

Ένα μέρος των σωληνώσεων κυκλοφορίας θερμού νερού πρέπει να είναι τοποθετημένο περιμετρικά εντός του θερμοκηπίου (**Διαφάνεια 37**), ώστε να θερμαίνεται ικανοποιητικά ο αέρας στην περιμετρική ζώνη που παρουσιάζει μεγάλες απώλειες σε θερμότητα προς το ψυχρό εξωτερικό περιβάλλον λόγω της επαφής της με τα εξωτερικά τοιχώματα. Εκτός από το δάπεδο και περιμετρικά, σε περιοχές που υπάρχει κίνδυνος ισχυρών χιονοπτώσεων είναι χρήσιμο να υπάρχουν και μερικοί σωλήνες θερμού νερού κάτω από την υδρορροή, ώστε να συμβάλλουν στο γρήγορο λιώσιμο του χιονιού που επικάθεται στην οροφή.

Μεταλλικοί σωλήνες για μεταφορά ατμού.

Επειδή στο εσωτερικό τους οι σωλήνες μεταφοράς ατμού έχουν θερμοκρασία μεγαλύτερη από 100 °C, αποδίδουν μεγαλύτερα ποσά θερμότητας στον αέρα ανά μονάδα επιφάνειας σωλήνα. Συνεπώς, οι μεταλλικοί σωλήνες μεταφοράς ατμού σε ένα θερμοκήπιο μπορούν να είναι λιγότεροι και μικρότερης διατομής (συνήθως έχουν διάμετρο 2,5-4 cm) σε σύγκριση με τους σωλήνες θερμού νερού. Οι λιγότεροι και μικρότερης διατομής σωλήνες μειώνουν το κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος θέρμανσης θερμοκηπίου με ατμό σε σύγκριση με το θερμό νερό. Από την άλλη όμως, η υψηλότερη θερμοκρασία είναι και μειονέκτημα γιατί μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα τόσο στα φυτά όσο και στο εργατικό προσωπικό. Επιπλέον, το χαμηλότερο κόστος των σωληνώσεων για μεταφορά ατμού εξισορροπείται σε μεγάλο βαθμό από το μεγαλύτερο κόστος που έχουν οι λέβητες ατμού.

Πλαστικοί σωλήνες με σπειρωτή επιφάνεια για μεταφορά θερμού νερού

Οι σωλήνες αυτοί συνήθως κατασκευάζονται από πολυπροπυλένιο και χρησιμοποιούνται για μεταφορά νερού σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας μέχρι 60 °C. Συνήθως η θέρμανση με νερό χαμηλής θερμοκρασίας εφαρμόζεται όταν αυτό προέρχεται από γεωθερμία ή από θερμά απόνερα βιομηχανίας. Λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας του νερού, είναι αναγκαία η χρήση σωλήνων με μεγαλύτερο συνολικό μήκος ανά μονάδα καλλιεργούμενης επιφάνειας. Η χρήση σπειρωτών σωλήνων αυξάνει την επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με τον αέρα με συνέπεια να μετριάξει την ανάγκη για τοποθέτηση πολλών σωλήνων. Όταν οι πλαστικοί σωλήνες με σπειρωτή επιφάνεια απλώνονται πάνω στο έδαφος, θερμαίνουν τόσο το έδαφος όσο και τον υπερκείμενο αέρα, ενώ όταν χρησιμοποιούνται μόνο για θέρμανση του αέρα πρέπει να τοποθετούνται σε ύψος τουλάχιστον 5 cm από το έδαφος (von Zabeltitz, 2011).

Διάτρητοι πλαστικοί σωλήνες για μεταφορά και διανομή θερμού αέρα από αερόθερμα.

Οι σωλήνες αυτοί είναι κατασκευασμένοι από διάφανο μαλακό πλαστικό και χρησιμοποιούνται για την μεταφορά και διανομή θερμού αέρα που παράγεται από αερόθερμα, ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη θέρμανση του χώρου. Από την μία πλευρά του μήκους τους στερεώνονται στο στόμιο εκβολής θερμού αέρα που φέρει το αερόθερμο (Διαφάνεια 42 δεξιά), ενώ από την άλλη πλευρά καταλήγουν τυφλά, δηλαδή δεν έχουν έξοδο, ώστε ο αέρας να αποβάλλεται από τις οπές που φέρουν κατά μήκος τους. Είναι σχετικά μεγάλης διαμέτρου (30–60 cm) και τοποθετούνται ανάμεσα στις γραμμές των φυτών σε διάφορα ύψη. Συνιστάται όμως να τοποθετούνται χαμηλά (κοντά στο έδαφος) για τους ίδιους λόγους που εκτέθηκαν παραπάνω στην παράγραφο που αναφέρεται στους μεταλλικούς σωλήνες μεταφοράς θερμού νερού. Οι οπές για την έξοδο του θερμού αέρα κατά μήκος των σωληνώσεων πρέπει να απέχουν από 30 έως 100 cm μεταξύ τους, ανάλογα με την διάμετρο των σωλήνων αλλά και των οπών. Σύμφωνα με τον von Zabeltitz (2011), η συνολική επιφάνεια των οπών πρέπει να είναι 1,5 έως 2 φορές όσο η διάμετρος του σωλήνα. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ANSI/ASAE (2003), ανά 9 m πλάτος θερμοκηπίου πρέπει να αντιστοιχεί ένας σωλήνας διανομής θερμού αέρα που θα εκτείνεται σε όλο το μήκος του.

6.7.2.5. Συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας

Η εξοικονόμηση ενέργειας βασίζεται κυρίως στην τοποθέτηση θερμοκουρτινών (thermal screens). Όπως αναφέρουν οι Kittas et al. (2013), οι θερμοκουρτίνες μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση κατά 35-40%, ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους. Οι θερμοκουρτίνες αποτελούνται από υλικά με χαμηλή θερμική αγωγιμότητα που περιορίζουν την διαφυγή θερμότητας από τον εσωτερικό προς το εξωτερικό αέρα στη διάρκεια της νύχτας. Θερμοκουρτίνες τοποθετούνται κυρίως την οροφή του θερμοκηπίου, αλλά σε ψυχρά κλίματα τοποθετούνται και στις πλάγιες εξωτερικές πλευρές του. Οι θερμοκουρτίνες αποτελούνται από διαφανή υλικά, τα οποία όμως μειώνουν την διέλευση του φωτός κατά 20-40% περίπου και για αυτό απλώνονται κυρίως την νύχτα που δεν υπάρχει φως, ενώ μαζεύονται την ημέρα για να εισέρχεται περισσότερο φως για την φωτοσύνθεση. Αν και οι θερμοκουρτίνες συμβάλλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας, η χρήση τους στα Μεσογειακά θερμοκήπια δεν είναι συνηθισμένη.

Συχνά οι θερμοκουρτίνες λειτουργούν ταυτόχρονα και ως κουρτίνες σκίασης το καλοκαίρι. Επειδή όμως οι δύο λειτουργίες είναι διαφορετικές, τα υλικά που έχουν την καλύτερη απόδοση ως κουρτίνες σκίασης (σχετικά υψηλή διαπερατότητα στο φως) δεν είναι

τα καλύτερα από άποψη θερμομόνωσης και το αντίθετο. Για αυτό σε πολλά σύγχρονα θερμοκήπια υψηλής τεχνολογίας που έχουν αρκετό ύψος, άλλη κουρτίνα χρησιμοποιείται ως θερμοκουρτίνα και άλλη ως κουρτίνα σκίασης. Στα περισσότερα μεσογειακά θερμοκήπια όμως χρησιμοποιούνται μόνο κουρτίνες οροφής που λειτουργούν ταυτόχρονα και ως κουρτίνες σκίασης. Οι κουρτίνες διπλής χρήσης συνήθως είναι κατασκευασμένες από ακρυλικές ίνες, οι οποίες σχηματίζουν μία αραιή ύφανση, καθώς και από λεπτές λωρίδες στιλπνών φύλλων αλουμινίου (Διαφάνεια 44). Η πυκνότητα των λωρίδων αλουμινίου καθορίζει και το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας. Οι λωρίδες αλουμινίου αντανακλούν την θερμική ακτινοβολία που εκπέμπουν τα φυτά, το έδαφος και ο εξοπλισμός του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της νύκτας, με συνέπεια να μειώνουν την πτώση της νυχτερινής θερμοκρασίας στο επίπεδο της κόμης των φυτών.

Το άνοιγμα και το κλείσιμο των θερμοκουρτινών συνήθως πραγματοποιείται αυτόματα μέσω του συστήματος αυτομάτου ελέγχου του κλίματος. Σύμφωνα με τους Dieleman and Kempkes (2006), αν οι θερμοκουρτίνες το πρωί παραμείνουν απλωμένες μέχρι να φθάσει η ένταση της εξωτερικής ηλιακής ακτινοβολίας το επίπεδο των $50\text{--}150\text{ W m}^{-2}$, μπορεί να εξοικονομηθεί ενέργεια σε ποσοστό 4% χωρίς καμία δυσμενή επίδραση στην παραγωγή. Για να μειωθεί η υγρασία μέσα στο θερμοκήπιο το πρωί, συνιστάται να μαζεύεται πρώτα η θερμοκουρτίνα και μετά να ανοίγουν τα παράθυρα εξαερισμού.

6.7.3. Συστήματα αφύγρανσης

Τα βασικά εργαλεία για την μείωση της σχετικής υγρασίας τον χειμώνα στα θερμοκήπια είναι η θέρμανση και ο εξαερισμός. Η θέρμανση όμως απαιτεί κατανάλωση ενέργειας, ενώ ο εξαερισμός τον χειμώνα, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη από την εσωτερική, προκαλεί σημαντικές απώλειες σε θερμική ενέργεια. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί συστήματα αφύγρανσης βασιζόμενα σε υδροσκοπικά διαλύματα αλάτων υψηλής πυκνότητας τα οποία διαχωρίζονται από τον αέρα μέσω μία υδρόφοβης συνθετικής μεμβράνης (Seginer and Kantz, 1989, Kim et al., 2008). Τα συστήματα αφύγρανσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μείωση της υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο την ψυχρή εποχή του έτους, όταν δεν είναι σκόπιμη ή εφικτή η θέρμανση, με στόχο να αποτραπεί ή να ελαχιστοποιηθεί η ανάγκη για εξαερισμό. Οι μεμβράνες των συστημάτων αφύγρανσης όμως απαιτούν συχνή συντήρηση (αναγέννηση). Προς το παρόν η χρήση συσκευών αφύγρανσης στα Ελληνικά θερμοκήπια είναι πολύ περιορισμένη.

6.7.4. Συστήματα σκίασης

Η σκίαση του θερμοκηπίου αποσκοπεί στην μείωση της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας με στόχο την μείωση της θερμοκρασίας στον εσωτερικό του χώρο την θερμή εποχή του έτους, όταν ο αερισμός δεν επαρκεί για το σκοπό αυτό. Ταυτόχρονα όμως, η σκίαση επιδρά και σε δύο άλλες κλιματικές παραμέτρους που είναι σημαντικές για τα καλλιεργούμενα κηπευτικά και ειδικότερα: α) στη σχετική υγρασία και β) στον φωτισμό, δηλαδή στην ένταση της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας. Η σκίαση ασκεί θετική επίδραση στη σχετική υγρασία εντός του θερμοκηπίου, καθώς την αυξάνει έμμεσα, μέσω της μείωσης που προκαλεί στη θερμοκρασία. Η ένταση του φωτισμού όμως μειώνεται καθώς αυξάνεται η σκίαση, με συνέπεια, από ένα όριο έντασης φωτισμού και κάτω να περιορίζεται και η φωτοσύνθεση. Συνεπώς, ένα σύστημα σκίασης θα πρέπει να μπορεί να λειτουργεί σε ένα σημείο ισορροπίας που θα μειώνει σε ικανοποιητικό βαθμό την θερμοκρασία χωρίς να μειώνει υπερβολικά τον φωτισμό. Σύμφωνα με τους Kitta et al. (2012), η σκίαση στις Ελληνικές κλιματικές συνθήκες δεν πρέπει να υπερβαίνει το 35% για να μην καθίσταται ο φωτισμός περιοριστικός παράγοντας για την ανάπτυξη των φυτών και την παραγωγή. Παρακάτω περιγράφονται συνοπτικά τα συστήματα σκίασης που χρησιμοποιούνται κατά κανόνα στα θερμοκήπια την θερμή εποχή του έτους για μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό τους.

6.7.4.1. Βάψιμο (άσπρισμα) θερμοκηπίου

Το άσπρισμα της εξωτερικής επιφάνειας των θερμοκηπίων (Διαφάνεια 47) είναι μία αποτελεσματική τεχνική μείωσης της εσωτερικής τους θερμοκρασίας, όταν ο εξαερισμός δεν επαρκεί (Baille et al., 2001). Επιπλέον, το άσπρισμα αυξάνει τις αναλογίες της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (Kittas et al., 1999) και της διαχεόμενης ακτινοβολίας (Tsirogiannis et al., 2006) στην συνολική ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στο θερμοκήπιο. Συνήθως, για το άσπρισμα του θερμοκηπίου χρησιμοποιείται στόκος διαλυμένος σε νερό μαζί με λευκή ακρυλική βαφή. Η συνήθης πρακτική είναι η προσθήκη 20-40 kg στόκου ανά 100 L νερό μαζί με μικρή ποσότητα λευκού ακρυλικού χρώματος (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Υπάρχουν και αρκετοί παραγωγοί που χρησιμοποιούν ασβέστη (CaO) σε δοσολογία περίπου 8 kg ανα 100 L νερού για το άσπρισμα των θερμοκηπίων (Baille et al., 2001). Η χρήση ασβέστη όμως σε γυάλινα θερμοκήπια με σκελετό από αλουμίνιο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα διάβρωσης και δεν συνιστάται (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Το θερμοκήπιο ψεκάζεται με το διάλυμα στόκου ή ασβέστη κατά τον Μάιο ή τον Ιούνιο, όταν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του δεν μπορεί να συγκρατηθεί σε ικανοποιητικά επίπεδα μόνο με τον εξαερισμό.

Η δοσολογία ασβέστη ή στόκου και χρώματος πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά με στόχο την αποφυγή υπερβολικής σκίασης, η οποία μπορεί να μειώσει σημαντικά την φωτοσύνθεση. Σε μία δοκιμή της δοσολογίας στόκου που χρησιμοποιούν συνήθως οι παραγωγοί διαπιστώθηκε ότι η συνολική σκίαση που δημιουργεί στο θερμοκήπιο είναι υπερβολική (Tsirogiannis et al., 2006). Ειδικότερα, ο ψεκασμός ενός υαλόφρακτου θερμοκηπίου με διάλυμα που προέκυψε από την προσθήκη 18 kg στόκου και 2 kg λευκού ακρυλικού χρώματος σε 100 L νερού σε ποσότητα ίση με 1 L m^{-2} μείωσε αθροιστικά την σκίαση, μαζί με τον σκελετό και τα υλικά κάλυψης, κατά 80%, με συνέπεια στο εσωτερικό να εισέρχεται μόνο το 20% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (Διαφάνεια 47 κάτω). Τα δεδομένα αυτά δείχνουν ότι η δοσολογία του στόκου πρέπει να είναι αρκετά χαμηλότερη από 18-20% κ.β. Η χρήση CaO σε δοσολογία 8 kg ανα 100 L νερού μείωσε την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του ασπρισμένου θερμοκηπίου περίπου στο 30% της εξωτερικής ακτινοβολίας (μείωση κατά 70% μαζί με αυτή που προκαλούν ο σκελετός και τα υλικά κάλυψης) το οποίο επίσης υπερβαίνει το επιθυμητό (Baille et al., 2001). Τα δεδομένα αυτά δείχνουν ότι η σκίαση με άσπρισμα της εξωτερικής επιφάνειας του θερμοκηπίου περικλείει σοβαρό κίνδυνο υπερβολικού περιορισμού της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας και θα πρέπει να γίνεται με περίσκεψη και προσοχή.

Βασικό μειονέκτημα των βαφών σκίασης είναι ότι σκιάζουν την καλλιέργεια ανεξάρτητα από τις συνθήκες ηλιοφάνειας. Έτσι, σε συνεφιασμένες ημέρες ή νωρίς το πρωί που ο φυσικός φωτισμός είναι ανεπαρκής, το βάψιμο μειώνει ακόμα περισσότερο την ένταση της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο.

6.7.4.2. Σκίαση με δίχτυ

Τα δίχτυα που χρησιμοποιούνται για σκίαση των θερμοκηπίων συνήθως είναι παρόμοια με αυτά που χρησιμοποιούνται για σκίαση υπαίθριων καλλιεργειών. Τα δίχτυα σκίασης τοποθετούνται τόσο εσωτερικά, όσο και εξωτερικά του θερμοκηπίου. Όταν τοποθετούνται εσωτερικά, εφαρμόζονται στο ύψος της υδρορροής. Εξωτερικά συνήθως τοποθετούνται σε χαμηλής τεχνολογίας θερμοκήπια, ή σε γυάλινα σε χαλαζόπληκτες περιοχές, πάνω από την οροφή, για προστασία από χαλάζι.

Στην εσωτερική τοποθέτηση, κατά κανόνα αυτοματοποιούνται για να απλώνονται και να μαζεύονται ανάλογα με την θερμοκρασία του θερμοκηπίου. Ο αυτοματισμός γίνεται με τη βοήθεια θερμοστάτη ή αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας. Στην εξωτερική τοποθέτηση δύσκολα μπορούν να αυτοματοποιηθούν.

6.7.4.3. Σκίαση με κουρτίνες

Οι κουρτίνες σκίασης τοποθετούνται εσωτερικά του θερμοκηπίου, οριζόντια, στο ύψος της υδρορροής (Διαφάνεια 49). Είναι κατασκευασμένες κυρίως από ακρυλικές ίνες οι οποίες σχηματίζουν μία αραιή ύφανση, καθώς και από λεπτές λωρίδες στιλπνών φύλλων αλουμινίου. Η αραιή ύφανση των ακρυλικών ινών, αλλά και η αραιή διάταξη των λωρίδων αλουμινίου επιτρέπει στο μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας να τις διαπεράσει. Παράλληλα, οι λωρίδες αλουμινίου αντανακλούν μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας με συνέπεια να μειώνουν το ενεργειακό φορτίο που εισέρχεται στο θερμοκήπιο και συνεπώς και την εσωτερική θερμοκρασία. Κατά κανόνα οι κουρτίνες σκίασης εκπτύσσονται και συμπτύσσονται αυτόματα με βάση την εσωτερική θερμοκρασία, η τιμή της οποίας καταγράφεται από θερμόμετρο και μεταφέρεται στο σύστημα αυτόματου ελέγχου του κλίματος σε πραγματικό χρόνο. Εναλλακτικά, το άπλωμα και το μάζεμα της κουρτίνας σκίασης μπορεί να γίνεται χειροκίνητα με έναν απλό ηλεκτρικό διακόπτη. Οι κουρτίνες σκίασης χρησιμοποιούνται για την μείωση της θερμοκρασίας την θερμή εποχή του έτους, όταν ο εξαερισμός δεν επαρκεί για τον σκοπό αυτό. Συχνά όμως οι κουρτίνες σκίασης χρησιμοποιούνται επιπρόσθετα και την ψυχρή εποχή του έτους ως θερμοκουρτίνες.

6.7.5. Συστήματα δροσισμού

Τα συστήματα δροσισμού αποσκοπούν στη μείωση της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μέσω εξάτμισης νερού. Η εξάτμιση νερού μετατρέπει μέρος της αισθητής θερμότητας σε λανθάνουσα θερμότητα, με συνέπεια να μειώνεται η θερμοκρασία του αέρα. Για να ψυχθεί ο αέρας μέσω εξάτμισης νερού θα πρέπει να μην είναι κορεσμένος σε υγρασία, ώστε να μπορεί το νερό να μετατρέπεται σε υδρατμούς. Προφανώς, όσο πιο ξηρός είναι ο αέρας τόσο μεγαλύτερο δυναμικό εξάτμισης νερού έχει και συνεπώς τόσο περισσότερο και ταχύτερα μπορεί να μειωθεί η θερμοκρασία του. Η χρήση ενός συστήματος δροσισμού είναι αναγκαία κυρίως στα θερμοκήπια που είναι εγκατεστημένα σε περιοχές με σχετικά θερμό κλίμα, εφόσον αυτά λειτουργούν το καλοκαίρι.

Ο δροσισμός μπορεί να εφαρμοστεί είτε εναλλακτικά είτε συμπληρωματικά με την σκίαση, ώστε να μην χρειαστεί να μειωθεί ο φωτισμός σε επίπεδα που περιορίζουν την φωτοσύνθεση. Σε σύγκριση με την σκίαση, ο δροσισμός έχει δύο πλεονεκτήματα. Το πρώτο πλεονέκτημα είναι ότι δεν μειώνει την ένταση του εισερχομένου φωτός και άρα δεν επηρεάζει αρνητικά την φωτοσύνθεση. Το δεύτερο πλεονέκτημα του δροσισμού είναι ότι μπορεί να επιτύχει μεγαλύτερη πτώση της εσωτερικής θερμοκρασίας σε σύγκριση με την σκίαση. Μέσω

του δροσισμού, η εσωτερική θερμοκρασία μπορεί να μειωθεί ακόμη και σε επίπεδα χαμηλότερα από την εξωτερική. Παρόλα αυτά όμως, για να είναι πιο αποτελεσματικός ο δροσισμός, συνιστάται να συνδυάζεται και με ελαφρά σκίαση (von Zabeltitz, 2011).

Κατά κανόνα εφαρμόζονται δύο συστήματα δροσισμού στα θερμοκήπια, το σύστημα ομίχλης και το υγρό παραπέτασμα (γνωστά και ως υγρή παρειά ή υγρό τοίχωμα).

6.7.5.1. Σύστημα ομίχλης

Ένα σύστημα ομίχλης περιλαμβάνει μία μονάδα πίεσης του νερού, σωληνώσεις για την μεταφορά του νερού και διατάξεις εκτοξευτήρων (ακροφύσια) που ψεκάζουν το νερό σε μορφή πολύ λεπτών σταγόνων στον εσωτερικό αέρα του θερμοκηπίου (**Διαφάνεια 51 αριστερά**). Οι τύποι των εκτοξευτήρων και η κατανομή τους στον χώρο του θερμοκηπίου μπορούν να διαφοροποιούνται ανάλογα με την καλλιέργεια. Υπάρχουν όμως κάποιες κοινές απαιτήσεις για όλα τα συστήματα ομίχλης για να είναι αποτελεσματικά. Τα συστήματα ομίχλης μπορούν να είναι χαμηλής ή υψηλής πίεσης, ανάλογα με την ακούμενη πίεση στο νερό που μεταφέρεται μέσω των σωληνώσεων στους εκτοξευτήρες. Τα χαμηλής πίεσης συστήματα λειτουργούν στα 3-5 bar ενώ τα υψηλής πίεσης, τα οποία θεωρούνται πιο αποτελεσματικά, στα 35-70 bar (von Zabeltitz, 2011). Τα χαμηλής πίεσης συστήματα ομίχλης λειτουργούν με εκτοξευτήρες που δημιουργούν σταγόνα διαμέτρου 60-100 μm . Στα συστήματα ομίχλης υψηλής πίεσης οι εκτοξευτήρες νερού έχουν μικρό στόμιο εκτόνωσης με συνέπεια να δημιουργούν πολύ λεπτή σταγόνα με διάμετρο 2-60 μm . Λόγω του πολύ μικρού μεγέθους της σταγόνας που δημιουργείται, η αναλογία της εξωτερικής της επιφάνειας που είναι εκτεθειμένη στον αέρα προς τον όγκο νερού που περικλείει είναι πολύ μεγάλη, με συνέπεια την άμεση εξαέρωσή της αμέσως μόλις εξέρχεται από το ακροφύσιο. Κατά συνέπεια, όταν λειτουργεί ένα σύστημα ομίχλης με εκτοξευτήρες λεπτών σταγόνων νερού στην οροφή του θερμοκηπίου, τα φυτά που βρίσκονται από κάτω δεν βρέχονται. Αυτό είναι πολύ σημαντικό γιατί διαφορετικά θα υπήρχε πρόβλημα προσβολών από μυκητολογικές και άλλες ασθένειες που ευνοούνται από την ύπαρξη υγρασίας πάνω στους φυτικούς ιστούς.

Για να λειτουργεί αποτελεσματικά ένα σύστημα ομίχλης, θα πρέπει ο εσωτερικός αέρας αφενός να κινείται μέσα στο θερμοκήπιο και αφετέρου να ανανεώνεται συνεχώς μέσω αντικατάστασης με νέο αέρα προερχόμενο από το εξωτερικό του θερμοκηπίου. Συνεπώς, για την σωστή λειτουργία ενός συστήματος ομίχλης είναι απαραίτητο να λειτουργεί ο εξαερισμός για την συνεχή ανανέωση του αέρα. Για την ομοιόμορφη κατανομή των σταγόνων σε όλο το θερμοκήπιο, άρα και της θερμοκρασίας, τα ακροφύσια πρέπει να είναι επαρκή σε αριθμό και

να κατανέμονται ομοιόμορφα και σε όλο το θερμοκήπιο. Για την υποβοήθηση της σωστής κατανομής μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μικροί ανεμιστήρες, εντός του θερμοκηπίου. Υπάρχουν όμως και συγκροτήματα που φέρουν δέσμη ακροφυσίων μαζί με ανεμιστήρες (Διαφάνεια 51 δεξιά). Ο συνδυασμός εκτοξευτήρων με ανεμιστήρες τριπλασιάζει τον όγκο του θερμοκηπίου που ψύχεται από κάθε εκτοξευτήρα και δημιουργεί μία πιο ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στο χώρο (Kittas et al., 2013).

Στις καλλιέργειες κηπευτικών υψηλής ανάπτυξης, όπως η τομάτα, το αγγούρι, κ.λπ., συστήματα ομίχλης μπορούν να εφαρμοστούν με επιτυχία μόνο σε υψηλά θερμοκήπια που αφήνουν αρκετό χώρο πάνω από την καλλιέργεια για την διασπορά των σταγόνων. Αν οι σταγόνες πέφτουν πάνω στα φύλλα ή τους βλαστούς μόλις εξέλθουν από τα ακροφύσια, διαβρέχουν αυτά τα μέρη των φυτών και βαθμιαία δημιουργούν εναποθέσεις αλάτων πάνω τους. Γι' αυτό, οι εκτοξευτήρες σε ένα σύστημα ομίχλης πρέπει να είναι τοποθετημένοι όσο πιο ψηλά γίνεται προς την οροφή του θερμοκηπίου, ειδικά όταν πρόκειται για καλλιέργειες κηπευτικών υψηλής ανάπτυξης.

Σε σύγκριση με ένα θερμοκήπιο που εξαερίζεται μόνο, ένα θερμοκήπιο που ψύχεται με σύστημα ομίχλης μπορεί να έχει χαμηλότερη θερμοκρασία κατά 5-14 °C (Μαυρογιανόπουλος, 2001). Ένα σοβαρό πρόβλημα που παρουσιάζουν συχνά τα συστήματα ομίχλης είναι η απόφραξη των εκτοξευτήρων νερού από άλατα. Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος, στα συστήματα ομίχλης και ειδικά στα υψηλής πίεσης είναι αναγκαία η χρήση νερού καλής ποιότητας με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε άλατα και ειδικά σε ασβέστιο.

6.7.5.2. Υγρό παραπέτασμα

Το υγρό παραπέτασμα δημιουργείται με τοποθέτηση συνεχόμενων πορωδών πλακών σε τμήμα της μίας πλευράς του θερμοκηπίου αντί κανονικού υλικού κάλυψης, οι οποίες διαβρέχονται συνεχώς με νερό όταν το σύστημα δροσισμού λειτουργεί (Διαφάνεια 52 αριστερά). Οι πορώδεις πλάκες συνδυάζονται με ανεμιστήρες (Διαφάνεια 52 δεξιά) τοποθετημένους είτε στην ακριβώς απέναντι πλευρά είτε στην ίδια πλευρά του θερμοκηπίου (von Zabeltitz, 2011). Όταν οι ανεμιστήρες βρίσκονται στην απέναντι πλευρά από αυτή που φέρεται το υγρό παραπέτασμα, αναρροφούν τον εσωτερικό αέρα, με συνέπεια να τείνουν να δημιουργήσουν υποπίεση στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, όπως στα συστήματα δυναμικού αερισμού. Στην περίπτωση αυτή πρόκειται για ένα σύστημα υγρού παραπετάσματος με αρνητική πίεση (Διαφάνεια 53 πάνω). Όταν οι ανεμιστήρες βρίσκονται στην ίδια πλευρά με το υγρό παραπέτασμα, αναρροφούν τον εξωτερικό αέρα και τον εισάγουν μέσα στο θερμοκήπιο

εξαναγκάζοντάς τον να περάσει μέσα από τις πορώδεις πλάκες. Ο αέρας που εισάγουν οι ανεμιστήρες στο θερμοκήπιο εξέρχεται εκτός αυτού μέσω ανοιγμάτων εξαερισμού που υπάρχουν στην απέναντι πλευρά από αυτή που φέρει το υγρό παραπέτασμα. Στην περίπτωση αυτή πρόκειται για ένα σύστημα υγρού παραπετάσματος με θετική πίεση (Διαφάνεια 53 κάτω).

Τόσο στην μία όσο και στην άλλη περίπτωση, ο εισερχόμενος αέρας εξατμίζει μέρος του νερού που περιέχεται στο υγρό παραπέτασμα καθώς το διαπερνά, με συνέπεια αφενός μεν να ψύχεται λόγω της λανθάνουσας θερμότητας που απορροφά και αφετέρου να αποκτά αυξημένη σχετική υγρασία. Συνεπώς, ο εισερχόμενος αέρας ψύχει το εσωτερικό του θερμοκηπίου, ενώ παράλληλα αυξάνει την σχετική υγρασία του. Εφόσον ο εσωτερικός αέρας απομακρύνεται συνεχώς από το θερμοκήπιο λόγω της λειτουργίας των ανεμιστήρων, η σχετική υγρασία στο εσωτερικό παραμένει σε ικανοποιητικά επίπεδα και ποτέ δεν προσεγγίζει τον κορεσμό. Το επίπεδο σχετικής υγρασίας του αέρα μετά την διέλευσή του μέσω του υγρού παραπετάσματος επιδιώκεται να ανέρχεται σε 85% (Kittas et al., 2013). Όπως συμβαίνει και με τα συστήματα ομίχλης, τόσο μεγαλύτερη πτώση της θερμοκρασίας μπορεί να επιτύχει ένα σύστημα υγρού παραπετάσματος, όσο πιο ξηρός είναι ο εξωτερικός αέρας που το διασχίζει.

Η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται καθώς ο αέρας διέρχεται μέσα από το υγρό παραπέτασμα είναι ευθέως ανάλογη της υγρής επιφάνειας με την οποία έρχεται σε επαφή ο εισερχόμενος αέρας. Η υγρή επιφάνεια είναι ανάλογη: α) με την συνολική επιφάνεια της πορώδους πλάκας και β) με την ειδική επιφάνεια του πορώδους υλικού. Συνεπώς, αυτοί οι δύο παράγοντες επηρεάζουν καθοριστικά την ψυκτική αποτελεσματικότητα ενός συστήματος δροσισμού με υγρό παραπέτασμα. Από σχετικές μελέτες και μετρήσεις έχει διαπιστωθεί ότι για την αποτελεσματική ψύξη μέσω υγρού παραπετάσματος, η επιφάνεια των πορωδών πλακών πρέπει να ανέρχεται σε 50-75 m² ανά στρέμμα θερμοκηπίου (Kittas et al., 2013). Επιπλέον, για να έχουν επαρκή ειδική επιφάνεια, οι πορώδεις πλάκες, πρέπει να έχουν αρκετό πάχος (συνήθως γύρω στα 10-20 cm). Οι πορώδεις πλάκες μπορούν να αποτελούνται από ίνες ξύλου, γυαλιού, αλουμινίου, ή πλαστικών ουσιών, ή από κυψελίδες κυτταρίνης και η διάρκεια ζωής τους μπορεί να ανέλθει στα 10 έτη περίπου (Nelson, 1998). Οι κυψελίδες κυτταρίνης είναι το πιο συνηθισμένο υλικό. Ένα σύστημα δροσισμού με υγρό παραπέτασμα αναμένεται να επιτυγχάνει μία μείωση της θερμοκρασίας της τάξεως των 3-12 °C στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, σε σύγκριση με το εξωτερικό περιβάλλον (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Στα θερμοκήπια απλής γραμμής, το υγρό παραπέτασμα και οι ανεμιστήρες τοποθετούνται στις δύο μεγάλες πλευρές του θερμοκηπίου εφόσον η απόσταση μεταξύ τους δεν υπερβαίνει τα 61 m (Nelson, 1998). Στα θερμοκήπια πολλαπλής γραμμής η μέγιστη απόσταση μεταξύ του υγρού παραπετάσματος και των ανεμιστήρων δεν πρέπει να ξεπερνά τα

35-40 m (von Zabeltitz, 2011). Αν απαιτείται μεγαλύτερο συνολικό πλάτος θερμοκηπίων που ψύχονται με υγρό παραπέτασμα, θα πρέπει να δημιουργούνται ξεχωριστά διαμερίσματα με πλάτος μέχρι 40 m το καθένα, τα οποία θα μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω κοινού διαδρόμου (Διαφάνεια 54). Στις περιπτώσεις αυτές, η ελάχιστη απόσταση του διαδρόμου που χωρίζει τα υγρά παραπετάσματα δύο γειτονικών διαμερισμάτων πρέπει να ανέρχεται σε 15 m.

Για να μην μειώνεται η απόδοση των ανεμιστήρων και να μην δαπανάται άσκοπα ηλεκτρική ενέργεια, ο επικρατών ισχυρός άνεμος δεν πρέπει να κατευθύνεται προς την πλευρά του θερμοκηπίου από την οποία εξέρχεται ο εσωτερικός αέρας. Η ταχύτητα του αέρα από το υγρό παραπέτασμα προς την απέναντι πλευρά του θερμοκηπίου συνιστάται να ρυθμίζεται στα $0,75-1,5 \text{ m s}^{-1}$ (von Zabeltitz, 2011). Καθώς ο αέρας μέσα στο θερμοκήπιο κινείται από το υγρό παραπέτασμα προς την απέναντι πλευρά, η θερμοκρασία του αυξάνεται. Η διαφορά θερμοκρασίας από το σημείο της εισόδου μέχρι το σημείο της εξόδου του αέρα επιδιώκεται να μην ξεπερνά τους $3-4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Nelson, 1998). Αν είναι μεγαλύτερη, θα πρέπει να αυξάνεται η ταχύτητα του αέρα μέσω κατάλληλης ρύθμισης των ανεμιστήρων.

Το νερό παρέχεται στην ανώτερη πλευρά των πορωδών πλακών μέσω ενός διάτρητου σωλήνα και τις διαβρέχει καθώς, λόγω βαρύτητας, διηθείται κατακόρυφα προς την κάτω πλευρά. Η παροχή συνιστάται να ανέρχεται σε 240 L την ώρα ανά m μήκους πορώδους πλάκας ανεξάρτητα από το ύψος της, ενώ η ποσότητα νερού που καταναλώνεται υπολογίζεται ότι ανέρχεται μέχρι τα 24 L την ώρα ανά m^2 υγρού πορώδους τοιχώματος (Nelson, 1998). Η ποσότητα του νερού που διηθείται κατακόρυφα μέσω των πορωδών πλακών και δεν εξατμίζεται, αλλά φτάνει στο κάτω μέρος τους, συλλέγεται και ανακυκλώνεται συνεχώς με την βοήθεια κατάλληλης αντλίας. Για την προστασία των πορωδών πλακών από άλγη, συνιστάται η περιοδική έγχυση υποχλωριώδους νατρίου ή υπεροξειδίου του υδρογόνου στο νερό με το οποίο διαβρέχονται.

6.7.6. Συστήματα εμπλουτισμού με CO_2

Όταν επικρατούν χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, το θερμοκήπιο παραμένει κλειστό και δεν αερίζεται, με συνέπεια η συγκέντρωση CO_2 κοντά στην κόμη των φυτών να μειώνεται σε επίπεδα σημαντικά χαμηλότερα από αυτά που επικρατούν στον εξωτερικό αέρα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, οι ρυθμοί φωτοσύνθεσης περιορίζονται δραστικά, με συνέπεια η παραγωγή των κηπευτικών που καλλιεργούνται μέσα στο θερμοκήπιο να μειώνεται σημαντικά. Από την άλλη πλευρά, έχει διαπιστωθεί ότι η ανύψωση της φυσικής συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μέσω συστημάτων εμπλουτισμού σε

επίπεδα μεταξύ 700 και 1000 ppm αυξάνει τους ρυθμούς φωτοσύνθεσης, με συνέπεια να λαμβάνεται υψηλότερη παραγωγή κατά 21-61% σε ξηρή μάζα (Dion et al., 2011). Επιπλέον, η αύξηση της συγκέντρωσης CO₂ στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μέσω συστημάτων τεχνητού εμπλουτισμού επιταχύνει την ανάπτυξη των φυτών, με συνέπεια να προωμίζει την παραγωγή (Nederhoff, 1994). Για όλους τους παραπάνω λόγους, πολλά θερμοκήπια είναι εξοπλισμένα με συστήματα εμπλουτισμού του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου με CO₂. Επειδή ο άνθρακας είναι ένα θρεπτικό στοιχείο το οποίο προσλαμβάνεται από τα φυτά ως CO₂ κατά την λειτουργία της φωτοσύνθεσης, η παροχή CO₂ σε μία καλλιέργεια συχνά αποκαλείται **ανθρακολίπανση** στην καλλιεργητική πράξη. Όταν παρέχεται CO₂ μέσα σε ένα θερμοκήπιο, θα πρέπει να υπάρχει ικανοποιητικής δυναμικότητας σύστημα ανάμειξης του εσωτερικού αέρα με ανεμιστήρες για την γρήγορη και ομοιόμορφη κατανομή του CO₂ σε όλον τον χώρο και την γρήγορη μεταφορά του στην κόμη των φυτών. Ακόμη και όταν υπάρχει ο σχετικός εξοπλισμός, ο εσωτερικός αέρας του θερμοκηπίου δεν εμπλουτίζεται συνεχώς με CO₂ αλλά μόνο σε συγκεκριμένες: α) ώρες στη διάρκεια του εικοσιτετραώρου, β) εποχές του έτους, και γ) κλιματικές συνθήκες. Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις CO₂ που διατηρούνται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου όταν εφαρμόζεται εμπλουτισμός μπορούν να διαφοροποιούνται ανάλογα με το είδος του φυτού αλλά και άλλους παράγοντες. Η έναρξη καθώς και η διακοπή της παροχής CO₂ μέσα στο θερμοκήπιο ρυθμίζονται αυτόματα με βάση μετρήσεις της περιεκτικότητας του αέρα σε CO₂ και της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε πραγματικό χρόνο, καθώς και σε συντονισμό με την λειτουργία των ανοιγμάτων εξαερισμού.

6.7.6.1. Παροχή έτοιμου CO₂ από κεντρικές δεξαμενές αποθήκευσης

Ένας τρόπος παροχής CO₂ στα θερμοκήπια είναι η εγκατάσταση μία μεγάλης εξωτερικής δεξαμενής με ανθεκτικά τοιχώματα για την αποθήκευση πεπιεσμένου CO₂ (Διαφάνεια 56 αριστερά) το οποίο, επειδή βρίσκεται υπό πίεση, είναι υγροποιημένο. Η χωρητικότητα της δεξαμενής μπορεί να κυμαίνεται από 20 kg μέχρι 52.000 kg CO₂ (Dion et al., 2011). Ο παραγωγός προμηθεύεται το CO₂ για το γέμισμα των δεξαμενών από εξειδικευμένες εταιρείες που εμπορεύονται βιομηχανικά αέρια. Το CO₂ παρέχεται στην καλλιέργεια μέσω κεντρικού συστήματος διανομής. Το πεπιεσμένο CO₂ μεταφέρεται αρχικά μέσω μεταλλικών σωλήνων στο θερμοκήπιο ενώ ένα σύστημα βαλβίδων ρύθμισης της πίεσης μειώνει την αρχική πίεση που είχε μέσα στην δεξαμενή αποθήκευσης. Όταν εισέρχεται στο θερμοκήπιο, το CO₂ διανέμεται στα φυτά μέσω πλαστικών σωλήνων από μαλακό πολυαιθυλένιο (συνήθης διάμετρος 3-6 mm) οι οποίοι φέρουν οπές ανά 30 cm. Οι σωλήνες

διανομής του CO₂ είναι απλωμένοι χαμηλά κατά μήκος των γραμμών των φυτών (Διαφάνεια 57).

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του έτοιμου CO₂ είναι ότι είναι καθαρό και δεν περιέχει προσμίξεις άλλων αερίων που μπορούν να βλάψουν τα φυτά. Γενικά, η χρήση έτοιμου CO₂ για τον εμπλουτισμό των θερμοκηπίων είναι ο πιο εύκολος και ασφαλής τρόπος ανθρακολίπανσης των κηπευτικών στις καλλιέργειες υπό κάλυψη. Το μειονέκτημα όμως του έτοιμου CO₂ είναι το υψηλότερο κόστος που έχει κατά κανόνα αυτή η μέθοδος ανθρακολίπανσης.

6.7.6.2. Παροχή CO₂ που παράγεται στη θερμοκηπιακή μονάδα μέσω καύσης

Πρόκειται για το CO₂ των καυσαερίων που παράγονται από την τέλεια καύση υγαερίου, φυσικού αερίου, πετρελαίου, κηροζίνης, βιομάζας ή άλλης θερμαντικής πηγής. Τα προϊόντα της τέλει καύσης που αποβάλλονται ως καυσαέρια υπό αερόβιες συνθήκες είναι το CO₂ και το νερό. Συνεπώς τα καυσαέρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας για τον εμπλουτισμό του θερμοκηπίου με CO₂, εφόσον ο καυστήρας είναι κατάλληλα σχεδιασμένος για το σκοπό αυτό και συντηρημένος, ώστε η καύση να είναι τέλεια. Ατελής καύση μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή αιθυλενίου και μονοξειδίου του άνθρακα (CO), τα οποία είναι τοξικά για τα φυτά. Επιπλέον, το CO σε συγκέντρωση πάνω από 50 ppm στον αέρα είναι δηλητηριώδες για τον άνθρωπο γιατί η εισπνοή του μπορεί να δεσμεύσει την αιμοσφαιρίνη, με συνέπεια να προκαλεί θάνατο από ασφυξία. Ορισμένα καύσιμα, όπως π.χ. το φυσικό αέριο, μπορούν να περιέχουν μικρές ποσότητες θειούχων ουσιών με συνέπεια την παραγωγή διοξειδίου του θείου κατά την καύση τους. Το SO₂ σε συγκεντρώσεις πάνω από 0,02% στον αέρα του θερμοκηπίου είναι τοξικό για τα φυτά γιατί, όταν διαλύεται στο νερό, μετατρέπεται σε θειώδες οξύ, το οποίο μπορεί να προκαλέσει εγκαύματα στους φυτικούς ιστούς (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Για να αποφευχθούν τέτοια προβλήματα, τα καυσαέρια που προκύπτουν από έναν καυστήρα συνιστάται να διέρχονται από κατάλληλα φίλτρα πριν απελευθερωθούν μέσα στον χώρο του θερμοκηπίου για να εμπλουτίσουν τον αέρα με CO₂. Μέσα στο θερμοκήπιο, το CO₂ που προέρχεται από καύση διανέμεται στα φυτά μέσω διάτρητων πλαστικών σωλήνων, όπως ακριβώς και το έτοιμο CO₂ που είναι αποθηκευμένο υπό πίεση σε δεξαμενές. Πριν διανεμηθούν στο θερμοκήπιο τα καυσαέρια με το CO₂, θα πρέπει να αναμειγνύονται με καθαρό εξωτερικό αέρα για να ψύχονται και να μην αυξάνουν πολύ την υγρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Κατά κανόνα, για εμπλουτισμό με CO₂ χρησιμοποιούνται τα καυσαέρια που προέρχονται από το σύστημα θέρμανσης του θερμοκηπίου. Συνεπώς, όταν το CO₂ παράγεται με επιτόπια καύση, μπορεί να προέρχεται είτε από συστήματα κεντρικής θέρμανσης, είτε από αεροθέρμα που είναι τοποθετημένα μέσα στο θερμοκήπιο (von Zabeltitz et al., 2011). Στις ΗΠΑ κυρίως, είναι συνηθισμένη η χρήση ειδικών μικρών καυστήρων για την παροχή CO₂ οι οποίοι κρέμονται από την οροφή του θερμοκηπίου (Nelson, 1998). Τέτοιοι καυστήρες παράγουν περίπου 3 kg CO₂ ανά kg προπανίου (Hicklenton, 1988) και 2,1 kg CO₂ ανά kg φυσικού αερίου που καίνε (Hannan, 1998). Σε περίπτωση που η καύση γίνεται μέσα στο θερμοκήπιο, ο καυστήρας πρέπει να τροφοδοτείται με οξυγόνο μέσω παροχής εξωτερικού αέρα γιατί, όταν το θερμοκήπιο είναι κλειστό, υπάρχει κίνδυνος γρήγορης πτώσης των επιπέδων του οξυγόνου στον εσωτερικό αέρα.

Όταν λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης, συνήθως το θερμοκήπιο παραμένει κλειστό για να μην διαφεύγει η θερμότητα από το εσωτερικό του, οπότε τότε είναι αναγκαίος ο εμπλουτισμός με CO₂. Συνεπώς, η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης του θερμοκηπίου συνδυάζεται εποχιακά καλά με τον εμπλουτισμό με CO₂. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στα θερμοκήπια των χωρών με ψυχρό κλίμα (π.χ. Ολλανδία) όπου το σύστημα θέρμανσης είναι σε λειτουργία κατά το μεγαλύτερο μέρος της καλλιεργητικής περιόδου. Δεν συνδυάζεται όμως στον κύκλο του εικοσιτετραώρου, δεδομένου ότι το CO₂ χρειάζεται την ημέρα για την φωτοσύνθεση, ενώ η θέρμανση κυρίως την νύχτα. Για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος, έχουν δημιουργηθεί ειδικά συστήματα βασιζόμενα στην αποθήκευση θερμού νερού που παράγεται την ημέρα όταν εφαρμόζεται ανθρακολίπανση και χρησιμοποιείται την νύχτα για την θέρμανση του θερμοκηπίου (Chalabi et al., 2002). Όταν χρειάζεται εμπλουτισμός με CO₂ αλλά δεν χρειάζεται θέρμανση, μπορεί να γίνεται καύση μόνο για παροχή CO₂ στην καλλιέργεια. Σε αυτή την περίπτωση όμως, ο εμπλουτισμός με CO₂ μπορεί να έχει σημαντικό κόστος. Επειδή οι ανάγκες για εμπλουτισμό με CO₂ δεν συμπίπτουν χρονικά με τις ανάγκες για θέρμανση, η ανθρακολίπανση μέσω καύσης φυσικού αερίου προκαλεί ένα κόστος καυσίμων αυξημένο κατά 25% σε σύγκριση με αυτό που απαιτείται μόνο για θέρμανση (Chalabi et al., 2002).

Επειδή τα μεσογειακά θερμοκήπια δεν θερμαίνονται ή θερμαίνονται πλημελώς, ο εμπλουτισμός με CO₂ μέσω καύσης εφαρμόζεται μόνο σε λίγα υψηλής τεχνολογίας θερμοκήπια. Η καλύτερη στρατηγική για τα μεσογειακά θερμοκήπια είναι η εγκατάσταση ενός μικτού συστήματος παροχής CO₂. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να τροφοδοτείται με καυσαέρια, όταν λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης, και με πεπιεσμένο και υγροποιημένο CO₂ προερχόμενο από δεξαμενές, όταν δεν λειτουργεί το σύστημα θέρμανσης.

6.7.7. Συστήματα τεχνητού φωτισμού

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η χρήση τεχνητού φωτισμού στα Ελληνικά θερμοκήπια κηπευτικών είναι σπάνια και κυρίως αφορά φυτώρια. Για την τεχνητή παροχή συμπληρωματικού φωτισμού με στόχο την αύξηση της καθαρής φωτοσύνθεσης απαιτείται η εγκατάσταση ενός συστήματος αποτελούμενου από κατάλληλους λαμπτήρες. Ένα τέτοιο σύστημα πρέπει να λειτουργεί αυτόματα βασιζόμενο στην συνεχή καταγραφή της έντασης του φυσικού φωτισμού σε πραγματικό χρόνο μέσω κατάλληλου αισθητήρα. Οι τύποι λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται για την παροχή τεχνητού αφομοιωτικού φωτισμού περιγράφονται πολύ συνοπτικά παρακάτω.

Λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής πίεσης (HPS: high-pressure sodium). Είναι οι πλέον συχνά χρησιμοποιούμενοι λαμπτήρες για παροχή αφομοιωτικού φωτισμού στα θερμοκήπια (Διαφάνεια 58 αριστερά). Στην αγορά διατίθενται τύποι με ισχύ 400, 430, 600 ή 1000 W. Εκπέμπουν κυρίως στην περιοχή του ορατού φάσματος μεταξύ 540-650 nm με μέγιστη κορυφή τα 589 nm, ενώ παρουσιάζουν και μία δεύτερη περιοχή εκπομπής ακτινοβολίας στα 810-840 nm. Μετατρέπουν σε φωτεινή ακτινοβολία περίπου το 25% της συνολικής ενέργειας που καταναλώνουν και έχουν διάρκεια ζωής έως 24.000 ώρες (Nelson, 1998).

Λαμπτήρες φθορισμού (Fluorescent). Οι λαμπτήρες φθορισμού μετατρέπουν το 20% περίπου της συνολικής ενέργειας που καταναλώνουν σε φωτεινή ακτινοβολία. Έχουν σχετικά υψηλό κόστος εγκατάστασης. Οι λαμπτήρες cool white που εκπέμπουν κυρίως στο κυανούν είναι οι πλέον κατάλληλοι για παροχή συμπληρωματικού αφομοιωτικού φωτισμού στα θερμοκήπια.

Λαμπτήρες μεταλλικών αλάτων αλογόνων. Συνήθως χρησιμοποιούνται λαμπτήρες μεταλλικών αλάτων ιωδίου με ισχύ μέχρι 2000 W. Μετατρέπουν το 20% της συνολικά καταναλισκόμενης ενέργειας σε φωτεινή ενέργεια. Δεν χρησιμοποιούνται πολύ στα θερμοκήπια, λόγω του σχετικά υψηλού κόστους αγοράς τους και της σχετικά μικρής διάρκειας ζωής τους.

Λαμπτήρες LED (light emitting diode). Οι λαμπτήρες LED άρχισαν να χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια στα θερμοκήπια για τεχνητό φωτισμό. Παρέχουν ακτινοβολία σε συγκεκριμένες στενές περιοχές του φάσματος αλλά η αποδοτικότητά τους σε φωτεινή ακτινοβολία είναι πολύ υψηλότερη από αυτή των υπόλοιπων λαμπτήρων, ενώ έχουν σημαντικά μεγαλύτερη διάρκεια ζωής (Wojciechowska et al., 2015). Η αρχική αξία αγοράς τους όμως είναι υψηλότερη. Στα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται λαμπτήρες LED που

εκπέμπουν στο κυανούν (μπλέ) και στο κόκκινο (Choi et al., 2015). Δεν υπάρχει ακόμη αρκετή εμπειρία με την χρήση τους σε θερμοκήπια, κυρίως λόγω του πολύ υψηλού κόστους τους. Οι τιμές των LED όμως μειώνονται βαθμιαία, οπότε στο μέλλον η χρήση τους για παροχή αφομοιωτικού φωτισμού στα θερμοκήπια αναμένεται να επεκταθεί.

6.8. Καλλιέργεια σε δικτυοκήπια

Τα δικτυοκήπια (Διαφάνεια 59) φέρουν παρόμοιο σκελετό με αυτόν των θερμοκηπίων, αλλά είναι καλυμμένα πλήρως με δίχτυα σκίασης αντί των συνηθισμένων υλικών κάλυψης που είναι στεγανά στο νερό. Τα δίχτυα που καλύπτουν τα δικτυοκήπια δεν εμποδίζουν πλήρως την είσοδο του αέρα και δεν περιορίζουν την έξοδο της θερμικής ενέργειας. Κατά κανόνα, το σχήμα των δικτυοκηπίων είναι τοξωτό ή τροποποιημένο τοξωτό. Δικτυοκήπια εγκαθίστανται συνήθως σε περιοχές με πολύ θερμό και ημίξηρο κλίμα, όπως αυτό που επικρατεί στη Νότια Μεσόγειο. Στα δικτυοκήπια, η επίδραση του θερμοκηπίου ως κλειστής κατασκευής είναι πολύ περιορισμένη, αφού το δίχτυ που τα καλύπτει παρεμποδίζει ελάχιστα την έξοδο της θερμικής ενέργειας και συνεπώς δεν συμβάλλει στην διατήρηση υψηλότερων θερμοκρασιών στο εσωτερικό τους σε σύγκριση με το εξωτερικό περιβάλλον στη διάρκεια της ημέρας. Αυτό όμως δεν θεωρείται μειονέκτημα, γιατί τα δικτυοκήπια δεν χρησιμοποιούνται για την διατήρηση υψηλότερων εσωτερικών θερμοκρασιών με στόχο την εκτός εποχής καλλιέργεια θερμοαπαιτητικών κηπευτικών, όπως συμβαίνει με τα θερμοκήπια. Οι βασικοί σκοποί της καλλιέργειας κηπευτικών σε ένα δικτυοκήπιο είναι παρόμοιοι με αυτούς που έχει η σκίαση μίας υπαίθριας καλλιέργειας, δηλαδή η μείωση της θερμοκρασίας κάτω από το δικτυωτό πλέγμα και ειδικότερα στο επίπεδο της κόμης των φυτών, καθώς και η προστασία από χαλάζι, έντονη βροχή και πουλιά. Η καλλιέργεια σε δικτυοκήπια όμως παρέχει και κάποια επιπλέον σημαντικά οφέλη. Το πρώτο από αυτή είναι η προστασία από επιβλαβή έντομα, εφόσον για την κάλυψή τους χρησιμοποιείται εντομοστεγές δίχτυ. Το δεύτερο πλεονέκτημα είναι η πιο αποτελεσματική προστασία από πουλιά, καθώς και η προστασία και από άλλα σπονδυλωτά ζώα, όπως ποντίκια, κατοικίδια ζώα, κ.λπ. Το τρίτο πλεονέκτημα είναι ότι τα δικτυοκήπια παρέχουν σημαντική (αν και όχι πλήρη) προστασία από τον άνεμο.

Η βασική κλιματική παράμετρος που τροποποιούν πρωταγενώς τα δικτυοκήπια είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Έμμεσα, μέσω της μείωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, περιορίζεται η εσωτερική θερμοκρασία που είναι το βασικό ζητούμενο, ενώ μέσω της μείωσης της θερμοκρασίας αυξάνεται η σχετική υγρασία του αέρα. Τα δικτυοκήπια επιτρέπουν την είσοδο του αέρα στο εσωτερικό τους και συνεπώς δεν έχουν προβλήματα μείωσης των

συγκεντρώσεων CO₂ στην περιοχή της κόμης των φυτών. Επιπλέον, επειδή παρέχουν ταυτόχρονα και αερισμό και σκίαση, τα δικτυοκήπια αντιμετωπίζουν σημαντικά μικρότερα προβλήματα υπερθέρμανσης του εσωτερικού τους το καλοκαίρι, σε σύγκριση με τα κοινά θερμοκήπια. Θα μπορούσε δηλαδή κανείς να πει ότι ένα δικτυοκήπιο είναι ένα θερμοκήπιο με εξειδικευμένα χαρακτηριστικά για καλλιέργεια φυτών την θερμή εποχή του έτους. Έχει όμως διαπιστωθεί ότι, η επίδραση που ασκούν η σκίαση και ο αερισμός στην θερμοκρασία μέσα σε ένα δικτυοκήπιο είναι πολυσύνθετη, εξαρτώμενη από πολλούς παράγοντες (Tanny, 2013). Ειδικότερα, έχει παρατηρηθεί ότι η μείωση της θερμοκρασίας που παρέχει ένα δικτυοκήπιο αρκετές φορές δεν είναι ικανοποιητική παρά την σκίαση και τον εξαερισμό. Γι' αυτό, τους πολύ θερμούς μήνες του καλοκαιριού, ένα δικτυοκήπιο μπορεί να έχει ανάγκη και από ένα σύστημα δροσισμού με ομίχλη για να διατηρήσει την θερμοκρασία στο εσωτερικό του σε ικανοποιητικά χαμηλά επίπεδα (Leyva et al., 2015). Γενικότερα, το μικροκλίμα μέσα σε ένα δικτυοκήπιο επηρεάζεται τόσο από τις φυσικές όσο και από τις οπτικές ιδιότητες του δικτυωτού πλέγματος που χρησιμοποιείται για την κάλυψή του (Kitta et al., 2014).

Οι φυσικές ιδιότητες των δικτύων που χρησιμοποιούνται στα δικτυοκήπια σχετίζονται με το μέγεθος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οπών του πλέγματος (Rigakis et al., 2015). Το μέγεθος και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οπών του πλέγματος καθορίζουν τον ρυθμό ανταλλαγών του αέρα, δηλαδή πόσες φορές ανανεώνεται ο αέρας στη μονάδα του χρόνου. Είναι προφανές ότι δίχτυα με μεγαλύτερες οπές (λιγότερο πυκνό πλέγμα) επιτρέπουν καλύτερο αερισμό του εσωτερικού χώρου. Το μέγεθος των οπών του πλέγματος όμως καθορίζεται πρωταρχικά από τις ανάγκες για έλεγχο των επιβλαβών εντόμων, όπως συμβαίνει και με την τοποθέτηση εντομοστεγών δικτύων στα ανοίγματα των κλασσικών θερμοκηπίων. Συνεπώς, το ιδανικό δίχτυ είναι αυτό που έχει αρκετά μικρές οπές, ώστε να παρεμποδίζεται αποτελεσματικά η είσοδος των εντόμων που βλάπτουν τη συγκεκριμένη καλλιέργεια, αλλά ταυτόχρονα και αρκετά μεγάλες, ώστε να αερίζεται αποτελεσματικά ο εσωτερικός χώρος.

Τα οπτικά χαρακτηριστικά ενός πλέγματος καθορίζουν τόσο την ποσότητα, δηλαδή την ένταση της εισερχόμενης ακτινοβολίας, όσο και την ποιότητά της, δηλαδή την σύσταση του φάσματός της (Kitta et al., 2014). Η ένταση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας ως ποσοστό της εξωτερικής ηλιακής ακτινοβολίας υποδηλώνει τον βαθμό σκίασης που προκαλεί το δίχτυ. Σχετικά με τον επιθυμητό βαθμό σκίασης, δηλαδή αυτόν που μειώνει επαρκώς την εσωτερική θερμοκρασία χωρίς να περιορίζει υπερβολικά την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία, ισχύουν τα ίδια με τις σκιαζόμενες υπαίθριες καλλιέργειες. Όσον αφορά τις μεταβολές στην ποιότητα της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας που προκαλούνται από τη διέλευσή της μέσω του δικτυού, αυτές καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από το χρώμα του, αλλά

και από τις πρόσθετες ουσίες που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή του. Οι πρόσθετες ουσίες είναι παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται για να προσδώσουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά στα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων. Είναι δηλαδή ουσίες που παρεμποδίζουν την είσοδο της υπεριώδους ακτινοβολίας, περιορίζουν την διαφυγή της υπέρυθρης ακτινοβολίας, κ.λπ..

Μία επιπλέον θετική επίδραση που έχουν τα δικτυοκήπια είναι η αύξηση του ποσοστού της διαχεόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στην συνολικά εισερχόμενη ακτινοβολία. Από την άλλη πλευρά, ένα άλλο μειονέκτημα των δικτυοκηπίων είναι ότι δεν προστατεύουν την καλλιέργεια από την βροχή, με συνέπεια σε συνθήκες υγρού καιρού να την αφήνουν εκτεθειμένη σε κινδύνους προσβολών από ασθένειες (von Zabeltitz, 2011).

Βιβλιογραφία

I. Ελληνική Βιβλιογραφία

Γραφιαδέλλης, Μ., 1986. Σύγχρονα Θερμοκήπια. Β΄ Έκδοση. Έκδοση Βιβλιοπωλείου Δ. Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη, 328 σελ.

Κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 834/2007 του Συμβουλίου της 28/6/2007 για την βιολογική παραγωγή και την επισήμανση των βιολογικών προϊόντων και την κατάργηση του κανονισμού (ΕΟΚ) αριθ. 2092/91. <http://gmcert.gr/entypa/834-2007.pdf>.

Μαυρογιαννόπουλος, Γ., 2001. Θερμοκήπια. Έκδοση Γ΄. Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα, 602 σελ.

Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 1992. Τεχνικές προδιαγραφές θερμοκηπίων. Γενική Δ/νση Φυτικής Παραγωγής, Δ/νση ΠΑΠ Δενδροκηπευτικής, Τμήμα Ανθέων και Καλλωπιστικών, Αθήνα.

II. Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

ANSI/ASAE EP 406.4, 2003. Standard: heating, ventilation and cooling greenhouses. American Society of Agricultural Engineers, MI, USA.

ASAE (American Society for Agricultural Engineers), 2000. ANSI/ASAE EP406.3 MAR98, heating, venting and cooling greenhouses, 675, 682.

Baeza, E.J., Perez-Parra, J., Montero, L.I., 2005. Effect of ventilation size on natural ventilation in Parral-type greenhouses by means of CFD simulation. Acta Hort. 691, 465–472.

Bailey, B.J., 2006. Natural and mechanical greenhouse climate control. Acta Hort. 710, 43-54.

- Baille, A., Kittas, C., Katsoulas, N., 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agric. Forest Meteorol.* 107, 293–306.
- Bethke, J.A., Paine, T.D., 1991. Screen hole size and barriers for exclusion of insect pests of glasshouse crops. *J. Entomol. Sci.* 26, 169-177.
- Briassoulis, D., Aristopoulou, A., Bonora, M., Verlodt, I., 2004. Degradation characterisation of agricultural low-density polyethylene films. *Biosyst. Engng* 88, 131–143.
- Briassoulis, D., Hiskakis, M., Babou, E., Antiohos, S.K., Papadi, C., 2012. Experimental investigation of the quality characteristics of agricultural plastic wastes regarding their recycling and energy recovery potential. *Waste Manage.* 32, 1075–1090.
- Caldwell, M.M., Ballare, C.L., Bornman, J.F., Flint, S.D., Bjorn, L.O., Teramura, A.H., Kulandaivelu, G., Cox, S.E., Stushnoff, C., Sampson, D.A., 2003. Relationship of fruit color and light exposure to lycopene content and antioxidant properties of tomato. *Can. J. Plant Sci.* 83, 913-919.
- Castilla, N., 2005. *Invernaderos de Plastico.Tecnologia y Manejo*. 2nd Edn. Mundi-Prensa Libros, Madrid, *Ισπανία*, 462 σελ.
- Castilla, N. Baeza, E., 2013. Greenhouse site selection. In: *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops - Principles for Mediterranean Climate Areas*. FAO, Plant Production and Protection Paper 217, Rome, pp. 21-33.
- Castilla, N., Hernandez, J., 2007. Greenhouse technological packages for high quality production. *Acta Hort.* 761, 285–297.
- Castilla, N., Montero, J.I., 2008. Environmental control and crop production in Mediterranean greenhouses. *Acta Hort.* 797, 25–36.
- Chalabi, Z.S., Biro, A., Bailey, B.J., Aikman, D.P., Cockshull, K.E., 2002. Optimal control strategies for carbon dioxide enrichment in greenhouse tomato crops. Part II: Using the exhaust gases of natural gas fired boilers. *Biosyst. Engng* 81, 323–332.
- Choi, H.G., Moon, B.Y., Kang, N.J., 2015. Effects of LED light on the production of strawberry during cultivation in a plastic greenhouse and in a growth chamber. *Sci. Hort.* 189, 22–31.
- Creamer, N.G., Baldwin, K.R., 2000. An evaluation of summer cover crops for use in vegetable production systems in north Carolina. *HortScience* 35, 600-603.
- Denna, D.W., 1973. Effects of genetic parthenocarpy and gynoeious flowering habit on fruit production and growth of cucumber *Cucumis sativus* L. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 98, 602-604.

- Dieleman, A., Kempkes, F., 2006. Energy screens in tomato: determining the optimal opening strategy. *Acta Hort.* 718, 599-606.
- Dilara, P.A., Briassoulis, D., 2000. Degradation and stabilization of low-density polyethylene films used as greenhouse covering materials. *J. Agric. Engng Res.* 76, 309-321.
- Dion, L.-M., Lefsrud, M., Orsat, V., 2011. Review of CO₂ recovery methods from the exhaust gas of biomass heating systems for safe enrichment in greenhouses. *Biomass Bioenergy* 35, 3422-3432.
- European Standard EN 13031-1, 2001. Greenhouses - Design and construction - Part 1: Commercial production greenhouses.
- Espejo, C., Arribas, A., Monzó, F., Díez, P.P., 2012. Nanocomposite films with enhanced radiometric properties for greenhouse covering applications. *J. Plastic Film Sheet.* 28, 336-350.
- Espí, E., Salmerón, A., Fontecha, A., García, Y., Real, A.I., 2006. Plastic films for agricultural applications. *J. Plastic Film Sheet.* 22, 85-102.
- Florez-Velasquez, J., Montero, J.I., Baeza, E.J., 2011. Analysis of mechanical ventilation in a three span greenhouse using computational fluid dynamics. *Acta Hort.* 893, 653-660.
- Gu, L., Baldocchi, D., Verma, S.B., Black, T.A., Vesala, T., Falge, E.M., Dowty, P.R., 2002. Advantages of diffuse radiation for terrestrial ecosystem productivity. *J. Geophys. Res.* 107(D6), doi:10.1029/2001JD001242.
- Hanan, J.J., 1998. Greenhouses. Advanced technology for protected horticulture. CRC Press, Boca Raton, USA. 684 pp.
- Hemming, S., Kempkes, F., van der Braak, N., Dueck, T., Marissen, N., 2006. Greenhouse cooling by NIR-reflection. *Acta Hort.* 719, 97-106.
- Hicklenton, P.R., 1988. CO₂ Enrichment in the Greenhouse - Principles and Practices. Timber Press, Portland, Oregon, USA.
- Kim, K., Yoon, J.-Y., Kwon, H.-J., Hana, J.-H., Son, J.E., Nam, S.-W., Giacomelli, G.A., Lee, I.-B., 2008. 3-D CFD analysis of relative humidity distribution in greenhouse with a fog cooling system and refrigerative dehumidifiers. *Biosyst. Engng* 100, 245-255.
- Kitta, E., Baille, A.D., Katsoulas, N., Rigakis, N., Gonzalez-Real, M.M., 2014. Effects of cover optical properties on screenhouse radiative environment and sweet pepper productivity. *Biosyst. Biosyst. Engng* 122, 115-126.
- Kitta, E., Katsoulas, N., Savvas, D., 2012. Shading effects on greenhouse microclimate and crop transpiration in a cucumber crop grown under Mediterranean conditions. *Appl. Engin. Agric.* 28, 129-140.

- Kittas, C., Baille, A., Giaglaras, P., 1999. Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouses. *J. Agric. Eng. Res.* 73, 341–351.
- Kittas, C., Karamanci, M., Katsoulas, N., 2005. Air temperature in a forced ventilation greenhouse with rose crop. *Energy Build.* 37, 807-812.
- Kittas, C., Katsoulas, N., Baille, A., 2001. Influence of greenhouse ventilation regime on microclimate and energy partitioning of a rose canopy during summer conditions. *J. Agric. Biosyst. Engng Res.* 79, 349-360.
- Kittas, C., Katsoulas, N., Bartzanas, T., 2011. Characterization and analysis of the effects of greenhouse climate control equipment on greenhouse microclimate and crop response. *Acta Hort.* 893, 117-132.
- Kittas, C., Katsoulas, N., Bartzanas, T., Bakker, S., 2013. Greenhouse climate control and energy use. In: *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops - Principles for Mediterranean Climate Areas*. FAO, Plant Production and Protection Paper 217, Rome, pp. 63-95.
- Leyva, R., Constán-Aguilar, C., Sánchez-Rodríguez, E., Romero-Gámez, M., Soriano, T., 2015. Cooling systems in screenhouses: Effect on microclimate, productivity and plant response in a tomato crop. *Biosyst. Engng* 129, 100–111.
- Montero, J.I., Teitel, M., Baeza, E., Lopez, J.C., Kacira, M., 2013. Greenhouse design and covering materials. In: *Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops - Principles for Mediterranean Climate Areas*. FAO, Plant Production and Protection Paper 217, Rome, pp. 35-62.
- Mutwiwa, U.N., von Elsner, B., Tantau, H.J., Max, J.F.J., 2008. Cooling naturally ventilated greenhouses in the tropics by near-infra red reflection,” *Acta Hort.* 801, 259-265.
- Nederhoff, E.M., 1994. Effect of CO₂ concentration on photosynthesis, transpiration and production of greenhouse fruit vegetable crops. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands, 213 pp.
- Nelson, P.V., 1998. *Greenhouse Operation and Management*. 5th Edn. Prentice Hall Inc., New Jersey, USA. 637 pp.
- Papadakis, G., Mermier, M., Meneses, J.F., Boulard, T., 1996. Measurement and analysis of air exchange rates in a greenhouse with continuous roof and side openings. *J. Agric. Eng. Res.* 63, 219–228.
- Papaioannou, Ch., Katsoulas, N., Maletsika, P., Siomos, A., Kittas, C., 2012. Effects of a UV-absorbing greenhouse covering film on tomato yield and quality. *Spanish J. Agric. Res.* 10, 959-966.

- Peet, M.M., Welles, G., 2005. Greenhouse tomato production. In: Heuvelink, E. (Ed.). Tomatoes. Crop Production Science in Horticulture Series (Vol. 13), CABI Publishing, Oxfordshire, U.K., pp. 257-304.
- Pérez-Parra, J., Baeza, E., Montero, J.I., Bailey, B.J., 2004. Natural ventilation of Parral greenhouses. *Biosys. Biosyst. Engng* 87, 355–366.
- Rigakis, N., Katsoulas, N., Teitel, M., Bartzanas, T., Kittas, C., 2015. A simple model for ventilation rate determination in screenhouses. *Energy & Build.* 87, 293–301.
- Savvas, D., Akoumianakis, K., Karapanos, I., Ntatsi, G., Kontopoulou, C.-K., Lontakis, A., Sintori, A., Akoumianakis, A., Ropokis, A., 2015. Study 5: Vegetables: Open-Field and Greenhouse Production. In: *New Agriculture for a New Generation - Recharging Greek Youth to Revitalize the Agriculture and Food Sector of the Greek Economy*. AUA, Athens.
- Seginer, I., Kantz, D., 1989. Night time use of dehumidifiers in greenhouses: an analysis. *J. Agric. Biosyst. Engng Res.* 44, 141–158.
- Short, H., 2004. Greenhouse structures and plant growth control systems for energy efficient crop production. *Acta Hort* 633, 17–27.
- Stefani, L., Zanon, M., Modesti, M., Ugel, E., Vox, G., Schettini, E., 2008. Reduction of the environmental impact of plastic films for greenhouse covering by using fluoropolymeric materials. *Acta Hort.* 801, 131-138.
- Stefani, L., Vox, G., Schettini, E., 2014. Variation of the mechanical and radiometric properties of LDPE greenhouse films exposed to agrochemicals and solar radiation. *Acta Hort.* 1037, 905-912.
- Tanny, J., 2013. Microclimate and evapotranspiration of crops covered by agricultural screens: A review. *Biosyst. Biosyst. Engng* 114, 26-43.
- Tsirogiannis, Y., Katsoulas, N., Savvas, D., 2006. Experience from using a simple greenhouse whitening material. *AgroThesis*, 4, 18-19.
- Tsormpatsidis, E., Henbest, R.G.C., Davis, F.J., Battey, N.H., Hadley, P., Wagstaffe, A., 2008. UV irradiance as a major influence on growth, development and secondary products of commercial importance in Lollo Rosso lettuce ‘Revolution’ grown under polyethylene films. *Environ. Exp. Bot.* 63, 232–239.
- Védie, H., Mazollier, C., Sassi, A., 2016. Summer green manuring in OGH under Mediterranean climate. In: *III International Symposium on Organic Greenhouse Horticulture*. Izmir (Turkey), April 11-14, 2016. *Acta Hort.* (in press).

- Von Zabeltitz, C., 1999. Greenhouse structures. In: Stanhill, G., Zvi Enoch, H. (eds). Greenhouse Ecosystems. Ecosystems of the World, Elsevier, Amsterdam, pp. 17–69.
- Von Zabeltitz, C., 2011. Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany. 363 pp.
- Waaijenberg, D., 2006. Design, construction and maintenance of greenhouse structures. *Acta Hort.* 710, 31-42.
- Wojciechowska, R., Długosz-Grochowska, O., Kołton, A., Zupnik, M., 2015. Effects of LED supplemental lighting on yield and some quality parameters of lamb's lettuce grown in two winter cycles. *Sci. Hort.* 187, 80–86.