



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Διπλωματική Εργασία

της

Γκοτζιαμάνη Ιωάννας

Επιβλέπων Καθηγητής

Μαρούλης Ζαχαρίας

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση προϊόντων εκτός εποχής έχει οδηγήσει στην συνεχή αύξηση των θερμοκηπιακών εκτάσεων. Η πλειοψηφία των θερμοκηπίων στην Ελλάδα ωστόσο είναι παλιάς τεχνολογίας, τα οποία δεν καταφέρνουν να προστατεύσουν τα φυτά όπως χρειάζεται. Αυτό συμβαίνει διότι οι περισσότεροι καλλιεργητές είναι μεγάλοι σε ηλικία και επιμένουν στις παραδοσιακές τεχνικές, είτε ακόμα και μικρότερης ηλικίας παραγωγοί, φοβούνται το ρίσκο μίας τέτοιας επένδυσης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία προσπαθήσαμε να απορρίψουμε το στερεότυπο αυτό, επικεντρώνοντας τη μελέτη στις ιδανικές συνθήκες ευδοκίμησης του φυτού και μετέπειτα πως μπορούν να επιτευχθούν.

Τα συνολικά κόστη της αγοράς του μηχανολογικού εξοπλισμού και στη συνέχεια τα έτησια κόστη λειτουργίας ενός πλήρως εξοπλισμένου και τεχνολογικά άρτιου θερμοκηπίου είναι υψηλά, παρόλα αυτά επιφέρουν μεγαλύτερο καθαρό κέρδος. Αυτό συμβαίνει διότι τα φυτά παραγουν πολύ περισσότερους καρπούς σε ιδανικές κλιματικές συνθήκες, γεγονός που μεταφράζεται σε πολλαπλάσια παραγωγή και χρηματική εισροή.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος Πινάκων.....	5
Κατάλογος Εικόνων.....	7
Περίληψη.....	8
Abstract.....	9
Αντικείμενο και Στόχοι.....	10
1. Συνθήκες Καλλιέργειας Αγροτικών Προϊόντων.....	11
1.1. Θερμοκρασία.....	11
1.1.1. Ρύθμιση Ετήσιας Θερμοκρασίας Καλλιέργειας Τομάτας.....	17
1.2. Σχετική Υγρασία.....	21
1.2.1. Ρύθμιση Σχετικής Υγρασίας στο Θερμοκήπιο.....	21
1.3. Διοξείδιο του Άνθρακα.....	24
1.3.1. Ρύθμιση περιεκτικότητας CO ₂ στο Θερμοκήπιο.....	25
1.4. Άρδευση.....	26
1.4.1. Ποιότητα Νερού.....	28
2. Εξοπλισμός Θερμοκηπίων.....	31
2.1. Υλικά Κατασκευής.....	31
2.1.1. Υλικά Σκελετού.....	31
2.1.1.1. Ξύλο.....	32
2.1.1.2. Μέταλλα.....	32
2.1.1.3. Σύγκριση των Υλικών Κατασκευής.....	33
2.1.2. Υλικά Κάλυψης.....	36
2.1.2.1. Γαλοπίνακας.....	36
2.1.2.2. Εύκαμπτα Πλαστικά Φύλλα.....	37
2.1.2.3. Επιφάνειες Σκληρού Πλαστικού.....	38
2.1.2.4. Σύγκριση των Υλικών Κάλυψης.....	39
2.2. Εξοπλισμός Θερμοκηπίων.....	40
2.2.1. Θέρμανση.....	42
2.2.1.1. Κεντρικό Σύστημα Θέρμανσης με Νερό ή Ατμό.....	44
2.2.1.2. Θέρμανση με Αερόθερμα.....	49
2.2.1.2.1. Κύριο Σύστημα Αερόθερμων.....	49
2.2.1.2.2. Δευτερεύον Σύστημα Αερόθερμων.....	52
2.2.2. Συστήματα Κλιματισμού-Ψύξης.....	52
2.2.2.1. Φυσικός-Παθητικός Εξαερισμός.....	52

2.2.2.2. Μηχανικός-Δυναμικός Εξαερισμός.....	55
2.2.2.3. Σύστημα Δροσισμού Υγρής Παρέας.....	56
2.2.3. Εξοπλισμός για Μείωση Απωλειών Θέρμανσης-Ψύξης.....	59
2.2.3.1. Θερμοκουρτίνα Σκίασης.....	59
2.2.3.2. Διπλή Στρώση Υλικού Κάλυψης.....	60
2.2.4. Εξοπλισμός για Ρύθμιση Σχετικής Υγρασίας.....	60
2.2.4.1. Ρύθμιση Χαμηλής Σχετικής Υγρασίας.....	60
2.2.4.2. Ρύθμιση Υψηλής Σχετικής Υγρασίας.....	62
2.2.5. Εμπλουτισμός με CO ₂	63
2.2.5.1. Εξάτμιση υγρού CO ₂	64
2.2.5.2. Καύση Υδρογονανθράκων.	65
2.2.5.3. Επιλογή Συστήματος Εμπλουτισμού CO ₂	67
2.2.6. Σύστημα Άρδευσης.....	68
2.2.6.1. Θεωρητική Εκτίμηση των Αναγκών Άρδευσης.....	72
3. Οικονομική Αξιολόγηση.....	76
3.1. Ταμειακές Εισροές.....	76
3.2. Συνολικό Κόστος Επένδυσης.....	80
3.2.1. Καθαρό Κεφάλαιο Κίνησης.....	81
3.2.1.1. Απαιτήσεις σε Νερό.....	81
3.2.1.2. Απαιτήσεις σε Ρεύμα.....	82
3.2.1.3. Συνολικό Λειτουργικό Κόστος Εγκατάστασης.....	83
3.2.2. Αρχική Ταμειακή Εκροή.....	85
3.2.3. Λοιπά Έξοδα.....	86
3.3. Υπολογισμός Καθαρών Ταμειακών Ροών.....	86
3.4. Καθαρή Παρούσα Αξία.....	87
Συμπεράσματα.....	89

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

- Πίνακας 1: Άριστες Θερμοκρασίες
- Πίνακας 2: Άριστες Θερμοκρασίες Ημέρας και Νύχτας
- Πίνακας 3: Θερμοκρασία 24h
- Πίνακας 4: Θερμοκρασίες Μονής Καλλιέργειας Τομάτας
- Πίνακας 5: Θερμοκρασίες Διπλής Καλλιέργειας Τομάτας
- Πίνακας 6: Βέλτιστη Σχετική Υγρασία
- Πίνακας 7: Σχετική Υγρασία Καλλιέργειας Τομάτας
- Πίνακας 8: Συντελεστής Ωφελιμότητας
- Πίνακας 9: Τιμές Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας Νερού
- Πίνακας 10: Ιδιότητες Υλικών Σκελετού
- Πίνακας 11: Χαρακτηριστικά Υλικών Κατασκευής
- Πίνακας 12: Πολυαιθυλένιο Ανθεκτικό στην UV
- Πίνακας 13: Σύγκριση Υλικών Κάλυψης
- Πίνακας 14: Συντελεστής Θερμοπερατότητας- Αριθμός Αλλαγών Αέρα
- Πίνακας 15: Διαφορά Υπάρχουσας και Επιθυμητής Θερμοκρασίας °C
- Πίνακας 16: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Λέβητα
- Πίνακας 17: Κόστος Εγκατάστασης Κεντρικού Συστήματος Θέρμανσης
- Πίνακας 18: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αερόθερμων
- Πίνακας 19: Σχετική Επιφάνεια Παραθύρων Φυσικού Εξαερισμού Ar%
- Πίνακας 20: Ψυκτική Ικανότητα Υγρής Παρείας
- Πίνακας 21: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αφυγρανητήρων
- Πίνακας 22: Ιδιότητες Καυσίμων για Παραγωγή CO₂
- Πίνακας 23: Ημερήσιο Κόστος Παραγωγής CO₂ σε ένα Στρέμμα Γυάλινου Θερμοκηπίου
- Πίνακας 24: Ετήσιο Κόστος Παραγωγής CO₂ σε Γυάλινο Θερμοκήπιο στην Ιεράπετρα
- Πίνακας 25: Υπολογισμός Υδατικών Αναγκών για Δέκα Στρέμματα Τομάτας (Μονή Καλλιέργεια)
- Πίνακας 26: Παραγωγικότητα Θερμοκηπίων στην Ελλάδα
- Πίνακας 27: Παραγωγικότητα Θερμοκηπίων στην Ολλανδία
- Πίνακας 28: Ετήσιες Ταμιακές Εισροές - Παραγωγικότητα Ολλανδίας
- Πίνακας 29: Ετήσιες Ταμιακές Εισροές - Παραγωγικότητα Ελλάδας
- Πίνακας 30: Εισροές Πέντε Πρώτων Ετών
- Πίνακας 31: Υπολογισμός Ετήσιας Κατανάλωσης Νερού
- Πίνακας 32: Υπολογισμός Ετήσιας Κατανάλωσης Ρεύματος

Πίνακας 33: Ετήσιο Συνολικό Λειτουργικό Κόστος

Πίνακας 34: Κόστος Εξοπλισμού Δέκα Στρεμμάτων

Πίνακας 35: Καθαρές Ταμιακές Ροές Πέντε Πρώτων Ετών (×1.000€)

Πίνακας 36: Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (×1000€)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Άριστες και Καταστροφικές Θερμοκρασίες Καλλιέργειας Κηπευτικών

Εικόνα 2: Οριακές και Ιδανικές Τιμές Διοξειδίου του Άνθρακα στο Θερμοκήπιο

Εικόνα 3: Καμπύλη Μηνιαίας Εξάτμισης στην Ιεράπετρα

Εικόνα 4: Χαρακτηριστικές Διαστάσεις στο Θερμοκήπιο

Εικόνα 5: Διαστασιολόγηση Θερμοκηπίου Δέκα Στρεμμάτων

Εικόνα 6: Διάγραμμα Ροής Κεντρικού Συστήματος Θέρμανσης

Εικόνα 7: Διάγραμμα Ροής Συστήματος Υδρονέφωσης Υψηλής Πίεσης

Εικόνα 8: Διάγραμμα Ροής Συστήματος Άρδευσης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αρχικά προσδιορίστηκαν τα προϊόντα ενδιαφέροντος τα οποία είναι η τομάτα, το αγγούρι και η πιπεριά. Από βιβλιογραφική έρευνα που πραγματοποιήθηκε βρέθηκαν οι άριστες συνθήκες καλλιέργειας ως προς τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό του εδάφους.

Αφότου αναλύθηκαν οι συνθήκες περιγράφηκε ο μηχανολογικός εξοπλισμός για την δημιουργία των ιδανικών συνθηκών. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε η μελέτη της περίπτωσης ενός θερμοκηπίου δέκα στρεμμάτων στην πόλη της Ιεράπετρας στην Κρήτη. Βάση των χαρακτηριστικών της κατασκευής του, ερευνήθηκε και επιλέχθηκε ο κατάλληλος εξοπλισμός ως προς τις διαστάσεις, την ισχύ, το κόστος, τις ώρες λειτουργίας. Αναζητήθηκε εξοπλισμός ώστε να αποδόσει η θερμοκηπιακή μονάδα στο μέγιστο.

Στη συνέχεια ακολούθησε η οικονομική αξιολόγηση του σχεδιασμού. Υπολογίστηκαν το συνολικό κόστος της επένδυσης και η δυνατότητα απόσβεσης του. Ακόμα, υπολογίστηκαν τα μεμονομένα κόστη όπως τα κόστη των εργατικών, του νερού, της ενέργειας κ. Τέλος κρίνεται ποια καλλιέργεια από τις τρεις είναι οικονομικά βιώσιμη.

ABSTRACT

The products of interest initially were tomato, cucumber and pepper. The optimum cultivation conditions were found from a literature survey, for temperature, relative humidity, carbon dioxide and soil water.

Afterward, the mechanical equipment were analyzed for creating the ideal conditions as it was described. At the same time, a case study was conducted of a ten acre greenhouse in the town of Ierapetra in Crete. The appropriate equipment was surveyed based on the characteristics of greenhouse's construction and its dimensions. Electricity requirements, operating hours and days of operation were selected. Equipment was sought to give the greenhouse unit the maximum.

At the end, the financial evaluation of the design was held. The total cost of the investment and its depreciation were calculated, such as labor, water, energy and so on. Finally, it was decided which one of the three crops was economically sustainable.

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η τεχνική μελέτη και ο σχεδιασμός ενός πλήρως εξοπλισμένου και τεχνολογικά προηγμένου θερμοκηπίου, το οποίο καταλαμβάνει μία έκταση δέκα στρεμμάτων. Η μελέτη επικεντρώνεται στην καλλιέργεια τριών προϊόντων, της τομάτας, του αγγουριού και της πιπεριάς, καθώς αποτελούν τα πιο δημοφιλή και εμπορικά κηπευτικά.

Αρχικά, προσδιορίζονται οι συνθήκες που πρέπει να επικρατούν στο εσωτερικό του θερμοκηπίου για την υγιή ανάπτυξη και πλήρη ευδοκίμηση των φυτών. Οι ιδανικές συνθήκες παίζουν κυρίαρχο ρόλο στην πορεία της παραγωγής και στην τελική αύξηση της παραγωγικότητας. Έτσι, μελετάται η θερμοκρασία που απαιτείται σε κάθε στάδιο ανάπτυξης του φυτού, η σχετική υγρασία και η εξάρτηση της από τη θερμοκρασία, όπως και τα επίπεδα του διοξειδίου του άνθρακα που απαιτούνται. Τέλος, υπολογίζονται οι ανάγκες και η συχνότητα άρδευσης, όπως και η ποιότητα του νερού.

Στη συνέχεια, προσεγγίζονται οι τρόποι και τα συστήματα τα οποία θα προσφέρουν τον πλήρη έλεγχο των συνθηκών καλλιέργειας. Σε πρώτο στάδιο αναπτύσσονται τα στοιχεία της κατασκευής, που αφορούν το υλικό κάλυψης, τη διαρρύθμιση και το υλικό του σκελετού. Σε δεύτερο στάδιο αναλύονται τα αυτοματοποιημένα συστήματα που χρειάζεται να εγκατασταθούν προκειμένου να ρυθμιστούν οι συνθήκες καλλιέργειας στις τιμές που προσδιορίστηκαν στην πρώτη ενότητα.

Στο τέλος της μελέτης γίνεται η οικονομική αποτίμηση για την κατασκευή ενός αυτοματοποιημένου θερμοκηπίου, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που σχεδιάσαμε. Στα κόστη λειτουργίας περιλαμβάνονται το κόστος του εξοπλισμού (αγορά, εγκατάσταση, συντήρηση), το κόστος παραγωγής, το ενεργειακό κόστος και το κόστος των εργατικών. Ως έσοδα θεωρούνται οι απολαβές από τις πωλήσεις των προϊόντων. Έτσι, υπολογίζεται το οικονομικό ισοζύγιο και αν τελικά η επιχείρηση είναι βιώσιμη ή όχι.

Στόχος είναι ο πλήρης σχεδιασμός ενός προηγμένου θερμοκηπίου δέκα στρεμμάτων και η εύρεση των κατάλληλων τιμών λειτουργίας των αυτοματοποιημένων συστημάτων που περιλαμβάνει. Σημαντικός είναι ακόμα ο οικονομικός απολογισμός και τα τελικά έσοδα που θα προσφέρει το όλο εγχείρημα. Απώτερος σκοπός είναι η μέγιστη δυνατή παραγωγικότητα με τη δημιουργία ενός ποιοτικού προϊόντος με το μικρότερο δυνατό κόστος.

1. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Οι συνθήκες καλλιέργειας στο θερμοκήπιο διαφοροποιούνται κατά πολύ από αυτές σε μία υπαίθρια καλλιέργεια. Η κυριότερη διαφορά είναι η προστασία της καλλιέργειας από τα καιρικά φαινόμενα λόγω της πλήρους κάλυψης της, δημιουργώντας ένα ευνοϊκό προς το φυτό μικροκλίμα. Το γεγονός αυτό εάν αξιοποιηθεί κατάλληλα μπορεί να οδηγήσει σε ένα πλήρως ελεγχόμενο περιβάλλον με ένα ποιοτικά ανώτερο προϊόν, το οποίο είναι πιο υγιεινό και ασφαλές, λόγω των λιγότερων φυτοφαρμάκων που απαιτούνται. Βασική προϋπόθεση αποτελεί η επίγνωση των αναγκών του φυτού σε κάθε στάδιο ανάπτυξης του και η κάλυψη τους με την εγκατάσταση κατάλληλου εξοπλισμού. Οι συνθήκες καλλιέργειας επομένως καθορίζονται από το ίδιο το φυτό και είναι ανεξάρτητες από την έκταση που καταλαμβάνει το θερμοκήπιο. Έτσι οι επιθυμητές συνθήκες παραμένουν ίδιες είτε πρόκειται για θερμοκήπιο εκατό είτε όπως στην περίπτωση μας δέκα στρεμμάτων.

1.1. Θερμοκρασία

Η επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας κρίνεται από τη διαφορά που εμφανίζεται στην παραγωγή (υδατανθράκων) της φωτοσύνθεσης και στην κατανάλωση (υδατανθράκων) της αναπνοής. Σκοπός είναι η διαφορά αυτή να είναι η μέγιστη δυνατή, οδηγώντας στη μέγιστη καθαρή φωτοσύνθεση. Αποθηκεύεται επί της ουσίας στο φυτό η μέγιστη δυνατή ποσότητα υδατανθράκων, ενώ στην περίπτωση που η διαφορά είναι αρνητική τα φυτά καταστρέφονται.

Σε ότι αφορά τη νύχτα, κατά τη διάρκεια της οποίας δεν πραγματοποιείται η φωτοσύνθεση, η κατάλληλη θερμοκρασία πρέπει να είναι μικρότερη από αυτή της ημέρας, καθώς έτσι μειώνεται ο ρυθμός της αναπνοής (κατανάλωση υδατανθράκων). Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας είναι επιθυμητή, καθώς βοηθάει στην ανάπτυξη του φυτού, στην καλύτερη άνθιση και καρπόδεση του.

Συνεπώς, η άριστη θερμοκρασία ενός φυτού δεν είναι ίδια κάθε δεδομένη στιγμή, αλλά διαφέρει ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης του, όπως και αν είναι ημέρα ή νύχτα. Η διατήρηση της σε μια επιθυμητή τιμή επιτυγχάνεται με τη χρήση αυτοματοποιημένων ή μη συστημάτων θέρμανσης, τα οποία με κατάλληλη ρύθμιση φέρνουν τη θερμοκρασία στα άριστα επίπεδα. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη το υψηλό κόστος τους (δαπανηρές εγκαταστάσεις, καύσιμη ύλη) το οποίο αυξάνει το συνολικό κόστος της καλλιέργειας.

Ακόμα, κρίσιμης σημασίας είναι και η θερμοκρασία του εδάφους, που επηρεάζει την ριζική ανάπτυξη και την αναπνοή του φυτού. Το έδαφος έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα από τον αέρα, οπότε μεταβάλλει τη θερμοκρασία του με πιο αργό ρυθμό. Σύμφωνα με μετρήσεις των Romero και Bellido (2014)^[1] η αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά ένα βαθμό οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους κατά 0.86 °C, ενώ η αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά ένα βαθμό οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους κατά 0.66°C. Ακόμα, η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ημέρας και νύχτας είναι αμελητέα (ιδιαίτερα όταν το έδαφος καλύπτεται με βλάστηση)^{[1][2]}, γεγονός που διευκολύνει τη ρύθμιση της με ειδικά συστήματα θέρμανσης στο άριστο επίπεδο (κυκλοφορία ζεστού νερού, ηλεκτρικές αντιστάσεις).

Παρατίθεται ακολούθως πίνακας άριστων θερμοκρασιών, που επηρεάζουν την πορεία της καλλιέργειας της τομάτας, της πιπεριάς και του αγγουριού σε διάφορα στάδια ανάπτυξης τους, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία.

Πίνακας 1

Άριστες Θερμοκρασίες

Καλλιέργεια	Θερμοκρασία (°C)		Παρατηρήσεις	Πηγή
	Ημέρας	Νύχτας		
Καλλιέργεια	24-26	16-17	Άριστη μέση θερμοκρασία (υψηλό εύρος για ημέρες με	Brooks (1973) ^[3]
	21-22	14-16	ηλιοφάνεια, χαμηλό για ημέρες με συννεφιά)	
Τομάτα	25-30	16-20	Άριστη μέση θερμοκρασία	Ολύμπιος (2015) ^[4]
	24-27		Βλάστηση σπόρου	
	18-24	15-21	Καρπόδεση-Ωρίμανση Καρπού	
	21-30		Ανθοφορία-Επικονίαση-Γονιμοποίηση	
	21-22		Μέγιστη σύνθεση χρώματος καρπού	
	>30, <15		Φτωχή Καρπόδεση	
	<13		Δεν γονιμοποιούνται τα άνθη	

	>35, <12		Προβλήματα στην ανάπτυξη του φυτού	
	<10		Καταστροφή φυτού	
	21-26	14-17	Άριστη μέση θερμοκρασία	
	29		Βλάστηση σπόρου	
	15-17		Άριστη θερμοκρασία εδάφους	Γραφιαδέλλης(1987) ^[5]
	21-29		Ανθοφορία-Επικονίαση-Γονιμοποίηση	
	23-25	14-17	Καρπόδεση-Ωρίμανση Καρπού	
	21-28		Ανθοφορία-Επικονίαση-Γονιμοποίηση	MISSISSIPPI STATE UNIVERSITY
	20-25		Άριστη μέση θερμοκρασία	Allemann et al.(1998) ^[6]
	18-22		Φύτευση-Ανάπτυξη Βλαστού	
	18-20		Ανθοφορία-Επικονίαση-Γονιμοποίηση	Seniz, 1992 ^[7]
	15-25		Καρπόδεση-Ωρίμανση Καρπού	
	18-35		Συγκομιδή	
Πιπεριά	25-28	16-18	Άριστη μέση θερμοκρασία, απαιτεί σταθερές διακυμάνσεις στη θερμοκρασία, με ελάχιστες και μέγιστες τιμές πολύ κοντά	Sweet & Hot Pepper Production Guideline 2014 ^[8]
	26-28		Βλάστηση σπόρου	
	23-25		Φύτευση-Ανάπτυξη Βλαστού	
	23-25	17-18	Καρπόδεση-Ωρίμανση Καρπού	
	20-24		Μέγιστη σύνθεση χρώματος καρπού	
	20-25		Βλάστηση σπόρου	Ayala ^[9]

	20-25	16-18	Φύτευση-Ανάπτυξη βλαστού	
	26-28	18-20	Καρπόδεση-Ωρίμανση καρπού	
	22-28	16-18	Άριστη μέση θερμοκρασία	
	27-30		Βλάστηση σπόρου	
	20-25		Καρπόδεση-Ωρίμανση καρπού	Ολύμπιος (2015) ^[4]
	18-24		Μέγιστη σύνθεση χρώματος καρπού	
	>37,<13		Προβλήματα στην ανάπτυξη του φυτού	
	20-27		Άριστη μέση θερμοκρασία	Allemann et al.(1998) ^[10]
	23-25	>18	Άριστη μέση θερμοκρασία	Cucumber Production Guideline 2014 ^[11]
	25-28	>20	Βλάστηση σπόρου	
	30	20	Άριστη μέση θερμοκρασία	
	25-35		Βλάστηση σπόρου	Ολύμπιος (2015) ^[4]
	>37,<15		Προβλήματα στην ανάπτυξη του φυτού	
	<10		Κρυοτραυματισμός	
Αγγούρι	20-25	18	Άριστη μέση θερμοκρασία	
	32		Βλάστηση σπόρου	Γραφιαδέλλης(1987) ^[5]
	20		Άριστη θερμοκρασία εδάφους	
	25-35		Βλάστηση σπόρου (2-3 μέρες)	
	22-24		Άριστη μέση θερμοκρασία (για καλή ποιότητα φρούτων)	Gruda et al. (2017) ^[12]
	>30, <7		Προβλήματα στην ανάπτυξη του φυτού	

22-30	18-24	Άριστη μέση θερμοκρασία
>35,<17		Προβλήματα στην ανάπτυξη του φυτού

Σύμφωνα με τον Πίνακα 1 παρατηρούνται αποκλίσεις στις θερμοκρασίες που δίνονται από τις βιβλιογραφικές πηγές. Αυτό συμβαίνει καθώς η ανάπτυξη του φυτού επηρεάζεται και από άλλες παραμέτρους (περιεκτικότητα ατμόσφαιρας σε CO₂, σχετική υγρασία, εδαφολογικές συνθήκες κ.α.) οι οποίες σε κάθε μελέτη δεν είναι εφικτό να είναι επακριβείς. Έτσι, είναι δύσκολη η μεμονωμένη μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας στο φυτό με αποτέλεσμα τις διαφορετικές τιμές που παρουσιάζονται.

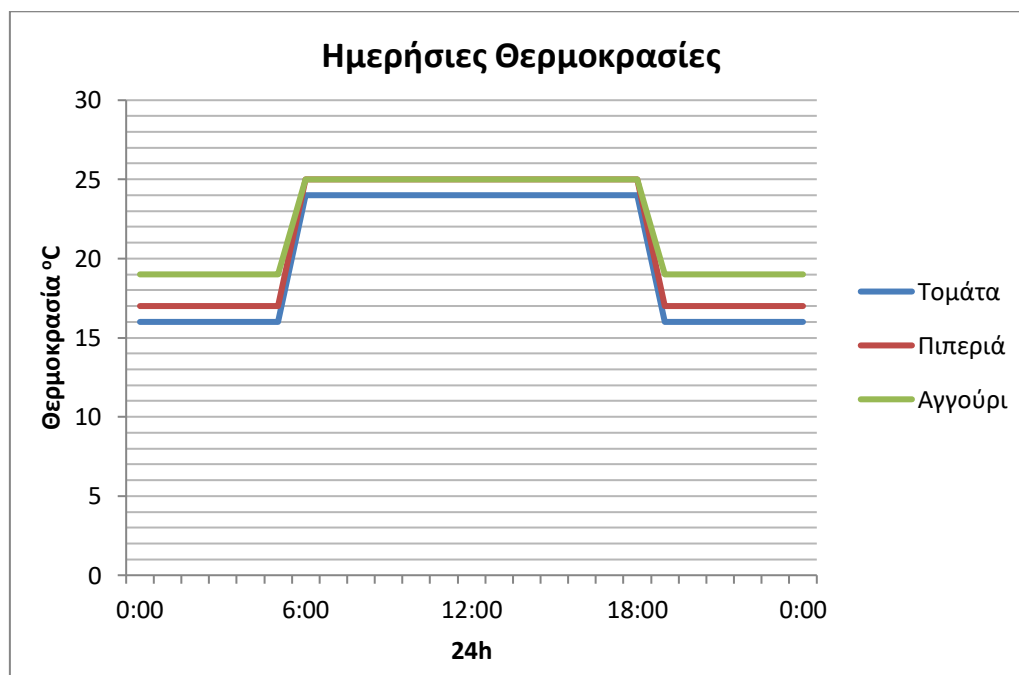
Στη συνέχεια υπολογίζονται οι άριστες θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας, οι οποίες προκύπτουν από τον μέσο όρο των άριστων θερμοκρασιών για κάθε φυτό σύμφωνα με την βιβλιογραφία. Έπειτα, από το εύρος των άριστων θερμοκρασιών αποσπάται ο μέσος όρος για την θερμοκρασία της ημέρας και της νύχτας αντίστοιχα. Έτσι προκύπτει ο πίνακας 2:

Καλλιέργεια	Θερμοκρασία Νύχτας	Μέσος Όρος Νύχτας	Θερμοκρασία Ημέρας	Μέσος Όρος Ημέρας
Τομάτα	15-16	16	23-25	24
Πιπεριά	16-18	17	22-28	25
Αγγούρι	19	19	24-26	25

Με βάση τους ημερήσιους και νυχτερινούς μέσους όρους της θερμοκρασίας, δημιουργείται το δυνατό εύρος θερμοκρασίας το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί στην θερμοκηπιακή καλλιέργεια κατά τη διάρκεια ενός εικοσιτετράωρου, δηλαδή τα επιτρεπτά όρια που μπορούν να εφαρμοστούν στο φυτό. Έτσι, προκύπτει ο πίνακας 3:

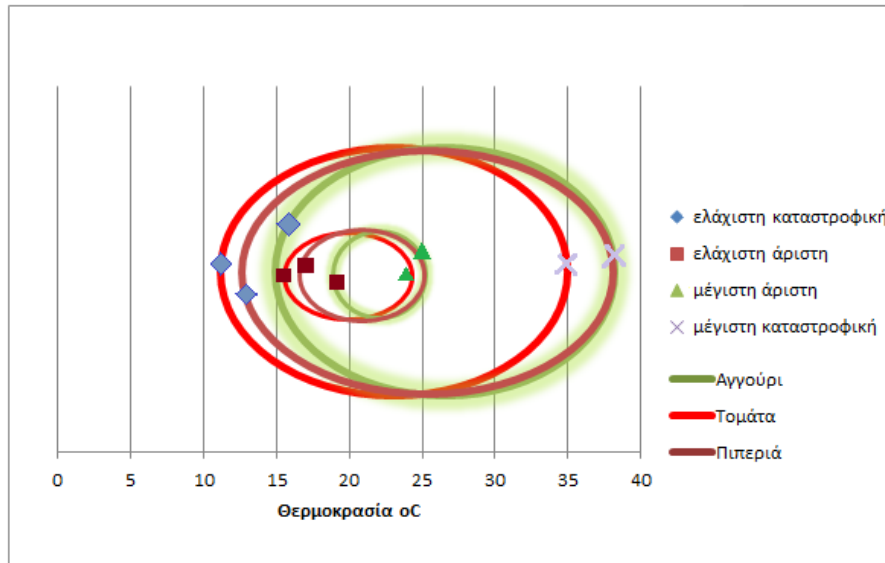
Πίνακας 3	
Θερμοκρασία 24h	
Καλλιέργεια	Θερμοκρασία °C
Τομάτα	16-24
Πιπεριά	17-25
Αγγούρι	19-25

Ακολούθως παρουσιάζεται διάγραμμα για κάθε κηπευτικό προϊόν, ως προς την άριστη θερμοκρασία καλλιέργειας που πρέπει να ακολουθηθεί, κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας αντίστοιχα.



Γνωρίζοντας έτσι τις άριστες θερμοκρασίες που χρειάζεται να εφαρμοστούν κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, μπορούμε να υπολογίσουμε τα θερμικά φορτία που χρειάζονται εντός ενός εικοσιτετράωρου και να τα εφαρμόσουμε μέσω των αυτόματων συστημάτων θέρμανσης. Με τον τρόπο αυτό καταφέρνει ο παραγωγός να αποκτήσει ένα άριστο ποιοτικά προϊόν και παράλληλα να εξοικονομήσει χρηματικούς πόρους.

Με βάση τις επιτρεπτές (άριστες) θερμοκρασίες του πίνακα 3 και τις θερμοκρασίες στις οποίες σταματάει η ανάπτυξη των φυτών (καταστροφικές), διαμορφώνεται η Εικόνα 1.



Εικόνα 1: Άριστες και Καταστροφικές Θερμοκρασίες Καλλιέργειας Κηπευτικών

Ο εσωτερικός κύκλος αφορά το εύρος των άριστων θερμοκρασιών και ο εξωτερικός τις θερμοκρασίες στις οποίες μπορεί να διαβιώσει το φυτό μεν , χωρίς να αποδίδει στο μέγιστο δε. Πέρα από τα όρια του εξωτερικού κύκλου σταματάει η ανάπτυξη του φυτού.

Σε θερμοκρασίες μικρότερες από το κατώτερο όριο προκαλείται κρουστραυματισμός, ο οποίος οδηγεί σε μείωση της ποιότητας του προϊόντος. Για παράδειγμα στην τομάτα, σε θερμοκρασίες μικρότερες των 12 βαθμών προκαλείται κρουστραυματισμός, επιδρώντας αρνητικά στη γεύση της, αφού προκαλεί μείωση του αρώματος και αύξηση της οξύτητας. Παρατηρείται τέλος, ότι και τα τρία φυτά είναι ευπαθή στον παγετό και πιο ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες. Πιο συγκεκριμένα, το αγγούρι είναι πιο ευαίσθητο στον παγετό, περισσότερο από την τομάτα και την πιπεριά, ενώ είναι πιο ανθεκτικό στις υψηλές θερμοκρασίες σε σχέση με την τομάτα, ομοίως και η πιπεριά.

1.1.1. Ρύθμιση ετήσιας θερμοκρασίας καλλιέργειας τομάτας

Οι θερμοκρασίες που μελετήσαμε παραπάνω αποτελούν ένα ασφαλές φάσμα το οποίο μπορεί να εφαρμόσει ο καλλιεργητής στο θερμοκήπιο. Το εύρος τους όμως παραμένει μεγάλο, για αυτό θα γίνει προσπάθεια να περιοριστεί. Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 1, κάθε φυτό χρειάζεται διαφορετική θερμοκρασία σε κάθε φάση της ανάπτυξης του, επομένως χρήζει μία επισταμένη μελέτη ως προς τις θερμοκρασίες που πρέπει να εφαρμοστούν καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας του.

Έτσι, θα εστιάσουμε στις θερμοκρασίες που χρειάζεται η καλλιέργεια της τομάτας στη διάρκεια ενός έτους, έχοντας υπόψιν ότι δεν καλλιεργείται όλο το χρόνο παρά ορισμένους

μήνες (οπότε δεν χρειάζεται συνεχόμενη θέρμανση στο θερμοκήπιο) και ακόμα ότι πραγματοποιείται με μονή (μία φορά το χρόνο) ή διπλή καλλιέργεια (δύο φορές το χρόνο).

Η ανάπτυξη της τομάτας όπως και των περισσότερων κηπευτικών μπορεί να χωριστεί στις εξής τέσσερις περιόδους:

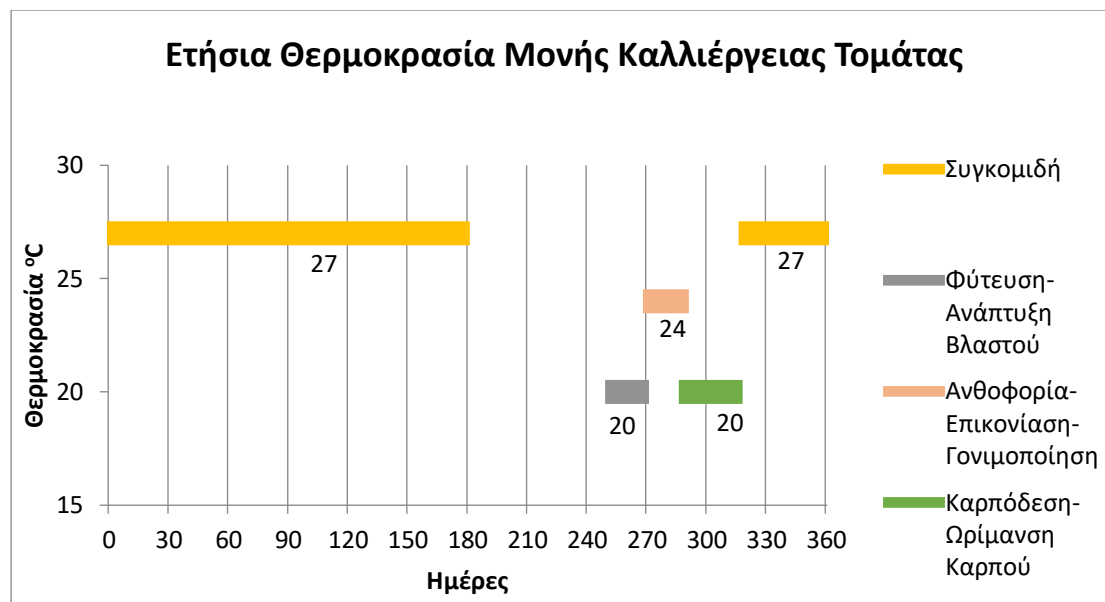
Όταν πραγματοποιείται μία καλλιέργεια η περίοδος φύτευσης ξεκινάει μέσα Σεπτεμβρίου και ολοκληρώνεται με την συγκομιδή τέλη Ιουνίου, αποφεύγοντας τους θερμούς μήνες του καλοκαιριού (Ιούλιο, Αύγουστο). Ενώ όταν γίνεται διπλή καλλιέργεια, η πρώτη καλλιέργεια ξεκινάει αρχές Σεπτεμβρίου και ολοκληρώνεται τέλη Δεκεμβρίου και η δεύτερη αρχές Μαρτίου μέχρι τέλη Ιουνίου, αποφεύγοντας έτσι και τους πολύ ψυχρούς μήνες του χειμώνα (Ιανουάριο, Φεβρουάριο).

Οι περισσότεροι καλλιεργητές δεν σπέρνουν απευθείας τον σπόρο της τομάτας στο έδαφος, αλλά αγοράζουν το φυτό από το φυτώριο. Στο φυτώριο αναπτύσσεται για τέσσερις έως έξι εβδομάδες έως ότου αποκτήσει από επτά έως οχτώ φύλλα, οπότε είναι έτοιμο για μεταφύτευση στο θερμοκήπιο, εξοικονομώντας με τον τρόπο αυτό πολύτιμο χρόνο για τον παραγωγό. Αφού γίνει η μεταφύτευση οι μέρες που απαιτούνται για την πρώτη ανθοφορία είναι 15, ενώ για την πρώτη συγκομιδή 60.

Με βάση τις θερμοκρασίες από τον πίνακα 1 για τις περιόδους ανάπτυξης που μελετάμε διαμορφώνεται ο πίνακας που ακολουθεί για μονή καλλιέργεια φυτών τομάτας. Οι θερμοκρασίες προκύπτουν από την μέση τιμή του κάθε εύρους που δίνεται και στη συνέχεια από τον μέσο όρο αυτών.

Στάδιο	Θερμοκρασία	Περίοδος	Διάρκεια
Ανάπτυξης	°C		
Φύτευση- Ανάπτυξη Βλαστού	20	Μέσα Σεπτεμβρίου- Τέλη Σεπτεμβρίου	2 εβδομάδες
Ανθοφορία- Επικονίαση- Γονιμοποίηση	24	Τέλη Σεπτεμβρίου- Μέσα Οκτωβρίου	2 εβδομάδες
Καρπόδεση- Ωρίμανση Καρπού	20	Μέσα Οκτωβρίου- Μέσα Νοεμβρίου	4 εβδομάδες
Συγκομιδή	27	Μέσα Νοεμβρίου- Τέλη Ιουνίου	30 εβδομάδες

Προκύπτει έτσι το διάγραμμα που ακολουθεί ως προς τις θερμοκρασίες που πρέπει να εφαρμοστούν σε μια ετήσια καλλιέργεια τομάτας που έχει φυτευτεί με μονή καλλιέργεια.



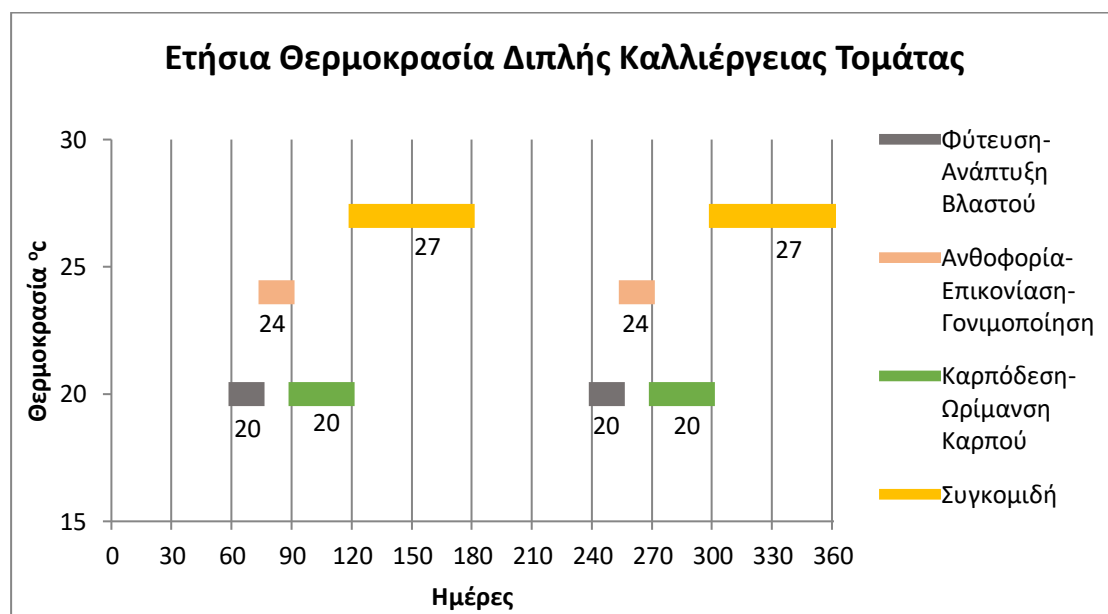
Αντίστοιχα, σε μια διπλή καλλιέργεια τομάτας, οι θερμοκρασίες που πρέπει να εφαρμοστούν ανά περίοδο είναι οι ίδιες. Η μόνη διαφορά προσδιορίζεται στην διάρκεια της περιόδου συγκομιδής η οποία διαρκεί δύο περίπου μήνες. Με την πρώτη καλλιέργεια να ξεκινάει τον Μάρτιο και τη δεύτερη το Σεπτέμβριο διαμορφώνεται ο πίνακας 5:

Πίνακας 5
Θερμοκρασίες Διπλής Καλλιέργειας Τομάτας

Πρώτη Καλλιέργεια	Θερμοκρασία °C	Περίοδος	Διάρκεια
Φύτευση-Ανάπτυξη Βλαστού	20	Αρχές Μαρτίου-Μέσα Μαρτίου	2 εβδομάδες
Ανθοφορία-Επικονίαση-Γονιμοποίηση	24	Μέσα Μαρτίου-Τέλη Μαρτίου	2 εβδομάδες
Καρπόδεση-Ωρίμανση Καρπού	20	Τέλη Μαρτίου-Τέλη Απριλίου	4 εβδομάδες
Συγκομιδή	27	Τέλη Απριλίου-Τέλη Ιουνίου	8 εβδομάδες

Δεύτερη Καλλιέργεια	Θερμοκρασία °C	Περίοδος	Διάρκεια
Φύτευση- Ανάπτυξη Βλαστού	20	Αρχές Σεπτεμβρίου- Μέσα Σεπτεμβρίου	2 εβδομάδες
Ανθοφορία- Επικονίαση- Γονιμοποίηση	24	Μέσα Σεπτεμβρίου- Τέλη Σεπτεμβρίου	2 εβδομάδες
Καρπόδεση- Ωρίμανση Καρπού	20	Τέλη Σεπτεμβρίου- Τέλη Οκτωβρίου	4 εβδομάδες
Συγκομιδή	27	Τέλη Οκτωβρίου- Τέλη Δεκεμβρίου	8 εβδομάδες

Οπότε σχηματίζεται το διάγραμμα θερμοκρασιών που ακολουθεί, έχοντας δύο κενές περιόδους, τους μήνες Ιανουάριο-Φεβρουάριο και Ιούλιο-Αύγουστο.



1.2. Σχετική Υγρασία

Στο περιβάλλον του θερμοκηπίου θεωρούμε σαν υγρασία αέρα την σχετική υγρασία (RH), η οποία παίζει σημαντικό ρόλο για τη διατήρηση της υδατικής ισορροπίας των φυτών. Οι ιδανικές τιμές της σχετικής υγρασίας κυμαίνονται μεταξύ 50-80%^[13].

Σε τιμές μικρότερες από 50% τα φυτά, μέσω της διαπνοής, χάνουν περισσότερη ποσότητα νερού από αυτή που προσλαμβάνουν από το έδαφος, κινδυνεύουν δηλαδή από υπέρμετρη απώλεια νερού (υδατικό στρες).

Από την άλλη μεριά, σε τιμές μεγαλύτερες από 80% τα φυτά καθίστανται επιρρεπή σε μυκητιάσεις και ασθένειες, με την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών, εντόμων και ακάρεων, λόγω της συμπύκνωσης των υδρατμών στα φύλλα.

Γενικά, στο θερμοκήπιο παρατηρούνται υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας, καθώς διαμορφώνεται από την δημιουργία και την απώλεια υδρατμών. Η διαπνοή των φυτών είναι αυτή που κατά κύριο λόγο συντελεί στην παραγωγή υδρατμών, όπως και η εξάτμιση του νερού από διάφορα σημεία του θερμοκηπίου (αύξηση σχετικής υγρασίας).

Ο εξαερισμός από την άλλη μεριά, συντελεί στη μείωση των υδρατμών, όπως και η επιφανειακή συμπύκνωση που εμφανίζεται πρωτίστως στο σκελετό και στο κάλυμμα, και σε δεύτερη φάση στα στελέχη των φυτών^[14] (μείωση σχετικής υγρασίας).

Η ημερήσια πορεία της σχετικής υγρασίας ακολουθεί αντίστροφη πορεία από αυτή της θερμοκρασίας του αέρα. Για σταθερή πίεση η σχετική υγρασία είναι ανάλογη της ποσότητας των υδρατμών (r) και αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας (T). Δηλαδή:

$$RH=f(r) / f(T) \quad (1)$$

Επομένως, η σχετική υγρασία αυξάνεται είτε με προσθήκη υδρατμών σε σταθερή θερμοκρασία, είτε με μείωση της θερμοκρασίας, διατηρώντας την ποσότητα των υδρατμών σταθερή^[15].

1.2.1. Ρύθμιση Σχετικής Υγρασίας στο Θερμοκήπιο

Η ρύθμιση της σχετικής υγρασίας είναι απαραίτητη για την παρεμπόδιση των ασθενειών, την αποφυγή της συμπύκνωσης και για τον σωστό προγραμματισμό της άρδευσης. Για την κατάλληλη ρύθμιση της από τον καλλιεργητή, σημαντική παράμετρο αποτελεί η επίγνωση του σημείου δρόσου (σημείο κορεσμού, Dew Point ή DP).

Το σημείο δρόσου σε μία δεδομένη θερμοκρασία, είναι το σημείο εκείνο της θερμοκρασίας στο οποίο υγροποιούνται οι υδρατμοί. Το σημείο δρόσου σχετίζεται με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία με την παρακάτω εξίσωση:

$$(DP+C)^{-1} = (T+C)^{-1} + B^{-1} \log (RH)^{-1} \quad (2)$$

Όπου: $B = 319 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{F} = -17.8^\circ\text{C}$ (σταθερά στην εξίσωση Antoine)

$C = 391 \text{ } ^\circ\text{F} = 199.4 \text{ } ^\circ\text{C}$ ^[15] (σταθερά στην εξίσωση Antoine)

T, η επικρατούσα θερμοκρασία ($^\circ\text{C}$)

Όταν βρισκόμαστε στο σημείο δρόσου προφανώς είναι $RH=100\%$ και $DP=T$.

Ο παραπάνω τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του DP είτε απευθείας, είτε με τη χρήση ειδικού λογισμικού.

Στόχος του παραγωγού είναι ο περιορισμός της συμπύκνωσης των υδρατμών, για αυτό επιδιώκεται το σημείο δρόσου να είναι σε χαμηλά επίπεδα και σίγουρα μικρότερο από την επικρατούσα θερμοκρασία ($DP < T$). Διατηρώντας, επομένως, τη θερμοκρασία κάθε χρονική στιγμή σταθερή στο άριστο επίπεδο, ρυθμίζεται η σχετική υγρασία με τέτοιο τρόπο ώστε να ισχύει η ανισότητα $DP < T$ μέσω της σχέσης 2. Ακόμα, σε σταθερή θερμοκρασία, όσο αυξάνεται η σχετική υγρασία τόσο αυξάνεται το σημείο δρόσου. Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψιν, μαζί με το κόστος που μπορεί να επιφέρει η παρέμβαση αυτή, επιλέγεται ο πιο αποδοτικός συνδυασμός θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.

Ο πλέον οικονομικός τρόπος για την μείωση της σχετικής υγρασίας είναι η λειτουργία του εξαερισμού, με την προϋπόθεση ο εξωτερικός αέρας να έχει χαμηλότερη σχετική υγρασία από τον εσωτερικό. Ο εξαερισμός για παράδειγμα πρέπει να παραμένει κλειστός όταν υπάρχει έξω από το θερμοκήπιο ομίχλη. Έτσι, το άνοιγμα του εξαερισμού βοηθάει στη μείωση της σχετικής υγρασίας και αποτρέπει τις υψηλές θερμοκρασίες.

Άλλοι πρακτικοί τρόποι είναι το σωστό πότισμα (αναμονή για στράγγιση του εδάφους, αποφυγή τις νυχτερινές ώρες), η σωστή απόσταση φύτευσης μεταξύ των φυτών και η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης. Παράλληλα έχουν αναπτυχθεί σύγχρονα συστήματα μείωσης της σχετικής υγρασίας, όπως οι αφυγραντές με υγροσκοπική απορρόφηση που αναλύονται στο κομμάτι του εξοπλισμού.

Από την άλλη μεριά, όταν ζητείται η αύξηση της σχετικής υγρασίας, μπορεί να εφαρμοστεί ο καλλιεργητής ορισμένες οικονομικά φιλικές τεχνικές, όπως είναι το κλείσιμο του εξαερισμού

ή το σύστημα της υδρονέφωσης, που διαβρέχει τα φυτά με νερό, αλλά και το σύστημα εμπλουτισμού του αέρα με CO₂.

Στη συνέχεια, παρατίθεται πίνακας με τις κατάλληλες τιμές σχετικής υγρασίας για ορισμένες καλλιέργειες κηπευτικών, όπως έχουν καταγραφεί βιβλιογραφικά.

Πίνακας 6				
Βέλτιστη Σχετική Υγρασία				
Καλλιέργεια	Σχετική Υγρασία %	Μέση Τιμή	Μέσος Όρος	Πηγή
Τομάτα	60-70	65	72	Ολύμπιος (2015) ^[4]
	70	70		Harel et al. (2014) ^[16]
	76-87	81		Eden et al. (1996) ^[17]
	75-80	77		Harmanto et al. (2005) ^[18]
	65-80	72		Fölster (1986) ^[19]
	60-70	65		Mississippi State University
Πιπεριά	70-75	72	74	Ολύμπιος (2015) ^[4]
	65-85	75		Sweet & Hot Pepper Production Guideline (2014) ^[20]
Αγγούρι	65-85	75	75	Ολύμπιος (2015) ^[4]
	65-85	75		Nabeel Gnayem- Extension specialist, Ministry of Agriculture- Israel

Παρατηρούνται διαφορές στις τιμές σχετικής υγρασίας για το εκάστοτε φυτό, και αυτό συμβαίνει διότι οι υπόλοιποι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του φυτού έχουν πιθανώς ρυθμιστεί διαφορετικά στην κάθε περίπτωση μελέτης.

Στον πίνακα 7 υπολογίζονται οι τιμές του σημείου δρόσου ανά στάδιο ανάπτυξης για την καλλιέργεια της τομάτας με βάση την εξίσωση 2, θέτοντας όπου RH τον μέσο όρο της σχετικής υγρασίας που προσδιορίστηκε βιβλιογραφικά στον πίνακα 6 και όπου T τις τιμές της θερμοκρασίας από τον πίνακα 4.

Παρατηρείται ότι ο συνδυασμός των βέλτιστων συνθηκών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας διατηρεί το σημείο δρόσου σε χαμηλά επίπεδα, τηρώντας την ανισότητα DP<T.

Έτσι, επαληθεύονται σαν βέλτιστες τιμές λειτουργίας του συστήματος ρύθμισης των συνθηκών καλλιέργειας.

Στάδιο Ανάπτυξης	Σχετική Υγρασία %	Θερμοκρασία °C	Σημείο Δρόσου °C
Φύτευση-Ανάπτυξη Βλαστού	71,9	20,0	14,8
Ανθοφορία-Επικονίαση- Γονιμοποίηση	71,9	24,0	18,6
Καρπόδεση-Ωρίμανση Καρπού	71,9	20,0	14,8
Συγκομιδή	71,9	27,0	21,5

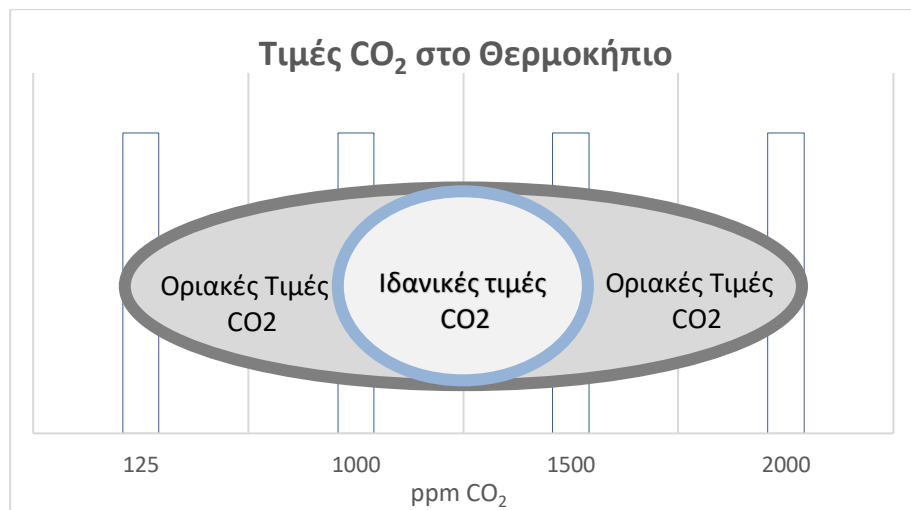
1.3. Διοξείδιο του Άνθρακα

Ο εμπλουτισμός του αέρα του θερμοκηπίου με διοξείδιο του άνθρακα είναι πολύ σημαντικός για την βελτίωση της παραγωγικότητας των φυτών, καθώς αυξάνει το ρυθμό της φωτοσύνθεσης. Τα προϊόντα κατορθώνουν να φτάσουν σε εμπορικό μέγεθος σε συντομότερο χρονικό διάστημα, συνεισφέροντας στην αύξηση της παραγωγής και στον έγκαιρο προγραμματισμό της.

Γενικά, στον ατμοσφαιρικό αέρα το διοξείδιο του άνθρακα βρίσκεται σε συγκέντρωση 0.03% (300ppm), τιμή η οποία είναι πολύ χαμηλή για την επίτευξη της μέγιστης καθαρής φωτοσύνθεσης^[21]. Στον αέρα του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας (εξαιτίας της φωτοσύνθεσης) πέφτει κάτω από 0.02% (200 ppm), ενώ τη νύχτα (απουσία φωτοσύνθεσης) αυξάνεται έως και 0.06% (600 ppm)^[5].

Εντός του θερμοκηπίου τα όρια CO₂ στα πλαίσια των οποίων τα φυτά μπορούν να είναι παραγωγικά είναι 125-2000 ppm. Έτσι, τα περισσότερα φυτά αυξάνουν την παραγωγή τους σε συγκέντρωση μέχρι 2000ppm, ενώ την σταματούν τελείως στην τιμή των 125ppm^[22]. Τα ιδανικά επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα είναι μεταξύ 1000 και 1500ppm^[5] με τα 1.300ppm να κρίνονται η ιδανικότερη τιμή.(εικόνα 2).

Αύξηση του CO₂ στο θερμοκήπιο κατά 0,1% καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγής της τομάτας και του αγγουριού κατά 45%^[5].



Εικόνα 2: Οριακές και Ιδανικές Τιμές Διοξειδίου του Άνθρακα στο Θερμοκήπιο

Οι ροές αέρα που επηρεάζουν την ποσότητα του CO₂ στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου είναι:

- Οι ανταλλαγές με το εξωτερικό περιβάλλον από διαφυγές αέρα ή τον εξαερισμό
- Οι ανταλλαγές με το φυτό μέσω της φωτοσύνθεσης και της αναπνοής
- Απελευθέρωση CO₂ από το έδαφος
- Προσθήκη με τεχνητά μέσα στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου
- Αναπνοή των εργαζομένων

1.3.1. Ρύθμιση περιεκτικότητας CO₂ στο Θερμοκήπιο

Οι επικρατούσες τιμές CO₂ στο θερμοκήπιο είναι αρκετά χαμηλές σε σχέση με τα ιδανικά επίπεδα, επομένως είναι επιτακτικός ο εμπλουτισμός της ατμόσφαιρας με περίσσεια CO₂, για την αύξηση της παραγωγικότητας. Ο εμπλουτισμός ωστόσο δεν πρέπει να είναι υπερβολικός για να μην δηλητηριαστούν τα φυτά.

Βασική προϋπόθεση αποτελεί η σωστή καταμέτρηση του διαθέσιμου CO₂ στον αέρα του θερμοκηπίου και έπειτα ο κατάλληλος εμπλουτισμός του, ο οποίος πραγματοποιείται πάντα με κλειστό εξαερισμό. Ενδείκνυται η αύξηση του CO₂ κατά τη διάρκεια της ημέρας (χαμηλά ποσοστά CO₂), ιδιαίτερα όταν έχει συνεφιασμένο καιρό και κυρίως τους χειμερινούς μήνες, λόγω της περιορισμένης ανάγκης για αερισμό.

Ο όγκος CO₂ (m³) που πρέπει να προστεθεί μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο, με τον αριθμό αλλαγών αέρα ανά ώρα να παίρνει τιμές από 45 έως 60.

$$CO_2 = \frac{(\text{Συγκέντρωση } CO_2 \text{ σε ppm}) \times (\text{Όγκος θερμοκηπίου σε m}^3) \times (\text{Αριθμός αλλαγών αέρα την ώρα})}{1.000.000} \quad (3)$$

1.4. Άρδευση

Τα φυτά λαμβάνουν από το έδαφος την ποσότητα του νερού που χάνουν με τη διαπνοή, ώστε να διατηρείται η υδατική τους ισορροπία. Με την άρδευση φροντίζεται να υπάρχει διαθέσιμο νερό στο έδαφος για να ισοσταθμιστούν οι απώλειες νερού από την διαπνοή.

Η χρήση αισθητήρων εδαφικής υγρασίας αποτελεί την πιο διαδεδομένη λύση, για την κατάλληλη ρύθμιση της άρδευσης σε προκαθορισμένα επίπεδα (set points), ώστε να αποφεύγεται η υπερβολική άρδευση ή αντίθετα η παρατεταμένη λειψυδρία, αλλά και για μία πιο οικονομική και φιλική προς το περιβάλλον χρήση του νερού.

Ορισμένες απαραίτητες έννοιες για την σωστή άρδευση είναι η υδατοϊκανότητα, το σημείο μόνιμου μαρασμού και η διαθέσιμη υγρασία του εδάφους.

Η υδατοϊκανότητα (FC) αποτελεί μέτρο για το μέγιστο ποσό υγρασίας (άνω όριο διαθέσιμης υγρασίας), που μπορεί να συγκρατήσει ένα κορεσμένο σε νερό έδαφος. Το έδαφος πρέπει να ποτίζεται όταν βρίσκεται στο 50% της υδατοϊκανότητας του, ενώ μετά από κάθε πότισμα πρέπει να φτάνει στην πλήρη υδατοϊκανότητα(100%).

Το σημείο μόνιμου μαρασμού (PWP) αντιστοιχεί στο κάτω όριο της διαθέσιμης υγρασίας, στο οποίο τα φύλλα δεν μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες της διαπνοής τους με απορρόφηση νερού από το έδαφος, με αποτέλεσμα το μόνιμο μαρασμό.

Η υδατοϊκανότητα και το σημείο μόνιμου μαρασμού θεωρούνται σταθερά για κάθε έδαφος και αρκεί να προσδιοριστούν μία φορά, λαμβάνοντας δείγμα από το έδαφος του θερμοκηπίου και δίνοντας το για έλεγχο σε ειδικό εργαστήριο.

Η εδαφική ανάλυση είναι πολύ σημαντική πριν την εγκατάσταση της καλλιέργειας ώστε να γνωρίζει ο παραγωγός τις ιδιότητες του εδάφους όπως και τα θρεπτικά συστατικά του, για την σωστή άρδευση και την κατάλληλη προσθήκη των λιπασμάτων.

Η διαδικασία για την μέτρηση της υδατοϊκανότητας στο εργαστήριο περιλαμβάνει μία πλάκα πίεσης, όπου ασκείται πίεση στο δείγμα (0,1 - 0,3 atm) και έπειτα μετριέται η εναπομένουσα υγρασία, η οποία αποτελεί την τιμή της υδατοϊκανότητας. Για τον

προσδιορισμό του σημείου μάρανσης χρησιμοποιείται μία συσκευή μεμβράνης πίεσης, η οποία ασκεί πιο υψηλή πίεση στο δείγμα (15atm).

Η διαθέσιμη υγρασία (ASM) είναι η υγρασία που επικρατεί μεταξύ της υδατοϊκανότητας και του σημείου μόνιμου μαρασμού και μπορεί να μετρηθεί με τη χρήση τενσιόμετρου. Ισχύει ότι:

$$PWP \leq ASM \leq FC \quad (4)$$

Έτσι, σε ότι αφορά το έδαφος, δεν εστιάζουμε στο ολικό ποσό της εδαφικής υγρασίας, αλλά στην διαθέσιμη υγρασία μεταξύ αυτών των δύο σημείων. Με την άρδευση επιδιώκεται η συνεχής διατήρηση της διαθέσιμης υγρασίας του εδάφους στο επίπεδο της υδατοϊκανότητας του, με συχνές και μικρές ποσότητες νερού άρδευσης, ώστε να εξασφαλίζεται η ανανέωση του αέρα στο έδαφος και η συνεχής διατήρηση της συγκέντρωσης των θρεπτικών στοιχείων.

Η διαθέσιμη υγρασία (mm πάχους υδάτινου στρώματος ή m³/στρέμμα) υπολογίζεται από τον τύπο που ακολουθεί^[23]:

$$ASM = \frac{FC (\% \kappa.β.) - PWP (\% \kappa.β.)}{100} \times ASW \times RD \text{ (mm) , mm ή m}^3/\text{στρέμμα} \quad (5)$$

Όπου: ASW, φαινόμενο ειδικό βάρος (αδιάστατο)

RD, βάθος ριζοστρώματος (mm)

Σε ότι αφορά το φαινόμενο ειδικό βάρος (ASW), πρόκειται για το πραγματικό ειδικό βάρος (SWS) του στερεού τμήματος του εδάφους (έπειτα από διαδικασία ξήρανσης), στο οποίο έχουν συνυπολογιστεί οι πόροι που είναι κατειλημμένοι με αέρα. Έτσι, φαινόμενο και πραγματικό ειδικό βάρος σχετίζονται με τη σχέση:

$$ASW = (1-n) \times SWS \quad (6)$$

Όπου: n, το πορώδες του εδάφους

Η διαθέσιμη υγρασία που μπορεί τελικά να αντληθεί από ένα φυτό, χωρίς να υποστεί καταπόνηση, είναι η ωφέλιμη υγρασία (USM):

$$USM = F \times ASM \quad (7)$$

Το F αποτελεί το συντελεστή ωφελιμότητας με τιμές όπως φαίνονται στον Πίνακα 8:

Πίνακας 8
Συντελεστής Ωφελιμότητας

Καλλιέργεια	F
Τομάτα	0,40
Πιπεριά	0,25
Αγγούρι	0,50

1.4.1. Ποιότητα Νερού

Το κυριότερο κριτήριο που λαμβάνεται υπόψη για την ποιοτική κατάταξη του νερού είναι η αλατότητα (TDS). Η αλατότητα στο θερμοκήπιο αυξάνεται με την υπέρμετρη λίπανση, με την άρδευση με νερό υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα, όπως και με την λάθος στράγγιση του εδάφους. Η αυξημένη αλατότητα μπορεί να οδηγήσει σε μείωση έως αναστολή της καλλιέργειας.

Ένα άλλο κριτήριο είναι αυτό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του νερού (EC_w). Η υψηλή αγωγιμότητα στο νερό άρδευσης είναι απαγορευτική, καθώς έτσι τα φυτά δυσκολεύονται να απορροφήσουν το απαιτούμενο νερό.

Σύμφωνα με τον Χ. Ολύμπιο^[4] οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στα κηπευτικά επηρεάζουν την παραγωγικότητα, σύμφωνα με τον πίνακα 9 που ακολουθεί:

Πίνακας 9		
Τιμές Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας Νερού		
Καλλιέργεια	EC_w (dS/m)	Παρατηρήσεις
Αγγούρι	< 1,7	Μέγιστη Παραγωγικότητα
Πιπεριά	1.5, 2.2, 3.4	Μείωση Παραγωγικότητας κατά 10, 25, 50% αντίστοιχα
	1	Μέγιστη Παραγωγικότητα
Τομάτα	4, 6, 8	Μείωση Παραγωγικότητας κατά 10, 25, 50% αντίστοιχα
	8.4 - 13	Καταστροφή καλλιέργειας
	< 3	Μέγιστη Παραγωγικότητα

Ακόμα, η αλατότητα έχει άμεση σύνδεση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, καθώς όσο μεγαλύτερη είναι συγκέντρωση αλάτων στο νερό άρδευσης, τόσο μεγαλύτερη είναι ικανότητα του να μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα.

Ο υπολογισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC_w) πραγματοποιείται με τη χρήση ειδικών αισθητήρων στο έδαφος που διαθέτουν ηλεκτρικά αγωγιμόμετρα. Ηλεκτρικά αγωγιμόμετρα μπορούν να είναι ενσωματωμένα και στους αισθητήρες άρδευσης. Έτσι μετράται η EC_w και στη συνέχεια υπολογίζεται η αλατότητα (TDS), μέσω των σχέσεων που ακολουθούν:

$$TDS \text{ (ppm)} = 640 \cdot EC_w \text{ (dS/m)} \quad \text{για } EC_w < 5 \text{ dS/m σε θερμοκρασία } 25^\circ\text{C} \text{ (8)}$$

$$TDS \text{ (ppm)} = 800 \cdot EC_w \text{ (dS/m)} \quad \text{για } EC_w > 5 \text{ dS/m σε θερμοκρασία } 25^\circ\text{C} \text{ (9)}$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- [1] Effect of tillage system on soil temperature in a rainfed Mediterranean Vertisol, Veronica Muñoz-Romero*, Luis Lopez-Bellido, and Rafael J. Lopez-Bellido (2014)
- [2] Hourly soil temperature and moisture content variations within a concrete pipe container for planting lime trees in Eastern Thailand, Sriboon, W., Tuntiwaranuruk, U., & Sanoamuang, N. (2017)
- [3] Lipids of ripening tomato fruit and its mitochondrial fraction, Phytochemistry Kalra, S. K., & Brooks, J. L. (1973)
- [4] Η τεχνική της καλλιέργειας των υπαίθριων κηπευτικών, Χρίστος Ολύμπιος
- [5] Σύγχρονα Θερμοκήπια, Μαυριανός Γραφιαδέλλης
- [6] Vegetable production in a nutshell, L. Allemann and B.W. Young KwaZulu-Natal (1998)
- [7] Seniz, M., 1992. Cultivation of tomato, T. Is Bank Journal
- [8] SWEET & HOT PEPPERS PRODUCTION GUIDELINE, STARKE AYRES
- [9] Nutritional recommendations for PEPPER in open-field, tunnels and greenhouse, C. Guerrero Ayala
- [10] Vegetable production in a nutshell, L. Allemann and B.W. Young KwaZulu-Natal (1998)
- [11] CUCUMBER PRODUCTION GUIDELINE, STARKE AYRES
- [12] CROP TECHNOLOGIES: Cucumber, Nazim Gruda, Astrit Balliu, Glenda Sallaku (2017)
- [13] All about Greenhouses, Ortho Books
- [14] Ανάπτυξη συστήματος μείωσης της σχετικής υγρασίας στο θερμοκήπιο με τη χρήση αντλίας θερμότητας και υγροσκοπικών υλικών , Διδακτορική Διατριβή του Ιωάννη Λυκοσκούφη (2011)
- [15] Μετεωρολογία-Κλιματολογία ,Ενότητα 6α: Ατμοσφαιρική υγρασία-Νέφη-Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα , Καθηγήτρια Αγγελική Φωτιάδη
- [16] The Effect of Mean Daily Temperature and Relative Humidity on Pollen, Fruit Set and Yield of Tomato Grown in Commercial Protected Cultivation, Harel, D., Fadida, H., Slepoy, A., Gantz, S., & Shilo, K. (2014)
- [17] The influence of inoculum concentration, relative humidity, and temperature on infection of greenhouse tomatoes by *Botrytis cinerea*, EDEN, M. A., HILL, R. A., BERESFORD, R., & STEWART, A. (1996)
- [18] Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment, Harmanto, Salokhe, V. M., Babel, M. S., & Tantau, H. J. (2005).
- [19] Gemüseproduktion. Ein Lehr- und Nachschlagewerk für Studium und Praxis, Fölster E. (1986)
- [20] Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας – Χριστοφής Ι Κορωναίος (Διδακτικές σημειώσεις)
- [21] Review: CO₂ enrichment in greenhouses. Crop responses, Mortensen, L. M. (1987)
- [22] Τεχνολογία Θερμοκηπίων, Γεώργιος Ν. Μαυρογιαννόπουλος
- [23] Αποδοτική χρήση νερού στη γεωργία: μέθοδοι άρδευσης, ελλειμματική άρδευση και κίνδυνοι για το περιβάλλον, Ν. Β. Παρανυχιανάκης
- [24] Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops Principles for Mediterranean climate areas, FAO PLANT PRODUCTION AND PROTECTION PAPER
- [25] Spatial and Temporal Analysis of Pan Evaporation in Greece, Kitsara, Floros, Papaioannou, Kerkides

2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Ο εξοπλισμός του θερμοκηπίου περιλαμβάνει τα υλικά κατασκευής όπως και τα συστήματα, τα οποία συντελούν στην κατάλληλη ρύθμιση των συνθηκών καλλιέργειας. Ο καλλιεργητής στην επιλογή του εξοπλισμού και των υλικών κατασκευής πρέπει να υπολογίσει το μέγεθος και τις ανάγκες του θερμοκηπίου του ώστε στην έρευνα αγοράς να περιορίσει τις επιλογές του και να καταλήξει σε αυτά που είναι πιο κατάλληλα. Έπειτα, για την τελική επιλογή, βασικά κριτήρια είναι το κόστος αγοράς και εγκατάστασης, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης (συνολική ετήσια επιβάρυνση), τα οποία πρέπει να ισοσταθμίζουν με το ετήσιο όφελος που θα προκύψει από τη χρήση τους (πιο οικονομικά ωφέλιμη αγορά).

2.1. Υλικά Κατασκευής

Στο πρώτο στάδιο πρέπει να γίνει η μελέτη και επιλογή των υλικών κατασκευής ώστε να χτιστεί ο βασικός κορμός του θερμοκηπίου. Τα υλικά της κατασκευής αφορούν τα υλικά για τον σκελετό και τα υλικά κάλυψης, τα οποία είναι κρίσιμα για την καλή μηχανική αντοχή του θερμοκηπίου, την πρόσβαση της ακτινοβολίας και τη δημιουργία του επιθυμητού περιβάλλοντος για τα φυτά. Η κατασκευή είναι επομένως καθοριστική για την πορεία της καλλιέργειας και πρέπει να λειτουργήσει σαν βάση για ένα αποδοτικό θερμοκήπιο.

2.1.1. Υλικά Σκελετού

Για την επιλογή των υλικών του σκελετού πρέπει να ληφθεί υπόψη το κόστος, η μηχανική αντοχή, όπως και η ανθεκτικότητα του υλικού σε μεταγενέστερη διάβρωση από το περιβάλλον του θερμοκηπίου. Για την εγκατάσταση του σκελετού το αγροτεμάχιο δεν πρέπει να είναι οργανωμένο, με το βάθος θεμελίωσης των πασσάλων να είναι τουλάχιστον ογδόντα εκατοστά από την επιφάνεια της γης.

Τα υλικά της κατασκευής μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό μεταξύ τους, για την επίτευξη μικρότερου κόστους.

2.1.1.1. Ξύλο

Το ξύλο σαν υλικό κατασκευής αποτελεί την πιο οικονομική επιλογή, με ευκολία στη συναρμολόγηση και τοποθέτηση. Τα θερμοκήπια από ξύλο είναι χαμηλά σε ύψος, το οποίο λειτουργεί θετικά σε συνθήκες με έντονους ανέμους.

Στα πλεονεκτήματα του επίσης είναι ότι δεν υπερθερμαίνεται τόσο όσο το μέταλλο με αποτέλεσμα να μην προκαλεί αντίστοιχες φθορές στο πλαστικό υλικό κάλυψης, ενώ είναι πολύ καλός μονωτής βοηθώντας στη διατήρηση της θερμοκρασίας.

Σημαντικό μειονέκτημα του είναι ότι φθείρεται πολύ εύκολα (σήψη, προσβολή από βιολογικούς εχθρούς), έχει μικρότερη μηχανική αντοχή, είναι εύφλεκτο και περιορίζει τον καλλιεργητή καθώς δεν μπορεί να τοποθετήσει παράθυρα οροφής, λόγω του χαμηλού ύψους της κατασκευής, με αποτέλεσμα ένα όχι καλά αεριζόμενο θερμοκήπιο.

Για την κατασκευή ενός στρέμματος θερμοκηπίου χρειάζονται 200 περίπου πάσσαλοι, επομένως για τα δέκα στρέμματα θα χρειαστούμε 2.000 πασσάλους ξύλου.

Για την καλύτερη απόδοση του ξύλινου σκελετού χρησιμοποιείται εμποτισμένη ξυλεία, η οποία επεξεργάζεται με ειδικά συντηρητικά, με αποτέλεσμα να διαρκεί το ξύλο πολύ περισσότερο από τη φυσική ζωή του.

2.1.1.2. Μέταλλα

Ο χάλυβας και το αλουμίνιο είναι τα πιο διαδεδομένα μέταλλα στην κατασκευή του θερμοκηπίου. Τα μέταλλα είναι πιο ακριβά σαν υλικά, δημιουργούν ψηλότερα και μηχανικά σταθερότερα θερμοκήπια σε σχέση με το ξύλο. Ακόμα, διαθέτουν μεγάλη ανθεκτικότητα στις απαιτητικές συνθήκες του θερμοκηπίου και μεγάλη διάρκεια ωφέλιμης χρήσης

Ο χάλυβας διακρίνεται για την υψηλή αντοχή του και θεωρείται βαρύς σαν σκελετός. Είναι κατάλληλος για την κατασκευή υψηλότερων και φαρδύτερων θερμοκηπίων και ενδείκνυται σε περιοχές με έντονα καιρικά φαινόμενα. Στα αρνητικά του είναι η επιφανειακή οξείδωση που δημιουργείται, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο, η οποία μπορεί να αποφευχθεί εάν προηγουμένως έχει γαλβανιστεί. Έτσι, οι ανοξείδωτοι χάλυβες αντέχουν κατά πολύ περισσότερο στη διάβρωση και διαθέτουν υψηλότερη μηχανική αντοχή.

Το αλουμίνιο αντέχει στην επιφανειακή διάβρωση περισσότερο από το χάλυβα, οπότε δεν χρειάζεται κάποια συντήρηση ή ειδική κατεργασία. Θεωρείται ελαφρύς σαν σκελετός με το πλεονέκτημα ότι οι διατομές των στηλών είναι σχετικά μικρές και δεν προκαλούν περεταιίρω

σκίαση στο θερμοκήπιο. Προτιμάται ιδιαίτερα στην οροφή του θερμοκηπίου λόγω του μικρού του βάρους.

Ακόμα, όταν συνδυάζεται με χάλυβα ή τσιμέντο, στα σημεία ένωσης τους δημιουργούνται προβλήματα διάβρωσης λόγω ηλεκτρόλυσης του αλουμινίου. Για το λόγο αυτό πρέπει να τοποθετείται διαχωριστική μεμβράνη (για παράδειγμα πισόχαρτο)^[1] στα σημεία σύνδεσης, ώστε να αποφεύγεται η οποιαδήποτε σκουριά.

2.1.1.3. Σύγκριση των Υλικών Κατασκευής

Σε σχέση με το ξύλο τα μέταλλα παρουσιάζουν σαφώς περισσότερα πλεονεκτήματα, για αυτό στην πλειονότητα τους τα ήδη υπάρχοντα ξύλινα θερμοκήπια αντικαθίστανται με μεταλλικά, ενώ οι νέες θερμοκηπιακές κατασκευές είναι αποκλειστικά μεταλλικές. Διαφορές όμως παρουσιάζονται και μεταξύ των μετάλλων. Έτσι, ακολουθεί ο πίνακας 10 με στοιχεία από το Aluminium Federation of South Africa σχετικά με τις ιδιότητες των τριών αυτών υλικών για την καλύτερη σύγκριση τους:

Πίνακας 10			
Ιδιότητες Υλικών Σκελετού			
Χαρακτηριστικά	Υλικό		
	Ξύλο	Ανοξείδωτος Χάλυβας	Αλουμίνιο
Ειδικό Βάρος Υλικών kg/dm ³	0,65	7,90	2,70
Θερμική Αγωγιμότητα W/(m×K)	0,14 - 0,17	204,00	230,00
Αντοχή στην ηλιακή ακτινοβολία (UV)	Καλή	Άριστη	Άριστη
Ρωγμάτωση	Ναι	Όχι	Όχι
Αντοχή στη διάβρωση	Μέτρια	Πολύ καλή	Πολύ καλή
Απορρόφηση Υγρασίας	Ναι	Όχι	Όχι
Διόγκωση από την έκθεση του στη φύση	Όχι	Ναι	Όχι
Αντοχή σε διαδικασία σήψης και αποσάθρωσης	Κακή	Άριστη	Άριστη

Πολυμερισμός κατά τη διάρκεια ζωής του	Δεν πολυμερίζεται, αλλά σήπτεται και αποσαθρούται	Όχι	Όχι
Θερμική διαστολή	Μέτρια/μικρή	Μικρή	Μικρή
Αντοχή σε παρατεταμένη θέρμανση	Κακή	Άριστη	Πολύ καλή
Αντοχή σε χαμηλές θερμοκρασίες	Καλή	Πολύ καλή	Πολύ καλή
Ποικιλία διατομών	Περιορισμένη	Πολύ μικρή	Πολύ μεγάλη
Αφομοίωση από το περιβάλλον / οικολογική συμπεριφορά	Πολύ καλή	Δεν αφομοιώνεται εύκολα (συνήθως συλλέγεται)	Μικρή-αρνητική επίπτωση (συνήθως συλλέγεται και ανακυκλώνεται)
Ανώτατη Τιμή €/ στρ	3.100,00 - 3.600,00	5.200,00- 6.000,00	4.300,00- 5.300,00
Μέση Ανώτατη Τιμή €/ στρ	3.400,00	5.600,00	4.800,00

Διαπιστώνουμε ότι τα μέταλλα είναι σαφώς πιο ακριβά από το ξύλο, αυτό όμως αντισταθμίζεται από τα πλεονεκτήματά τους. Λόγω του χαμηλού κόστους του ξύλου συχνά συναντάται να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με το μέταλλο και πιο συγκεκριμένα, το ξύλο χρησιμοποιείται στους στύλους που βρίσκονται στο εσωτερικό, ενώ το μέταλλο στους περιμετρικούς στύλους (ορθοστάτες).

Το σημείο στο οποίο υπερτερεί μία ξύλινη κατασκευή είναι οι μικρότερες απώλειες θερμότητας, αφού το ξύλο σαν υλικό έχει πολύ μικρότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας.

Αξιοσημείωτη είναι η διαφορά που εμφανίζουν τα μέταλλα μεταξύ τους ως προς το βάρος τους, με το αλουμίνιο να είναι τρεις φορές πιο ελαφρύ, όπως και στην ποικιλία των διατομών που παρουσιάζουν, με το αλουμίνιο να πλεονεκτεί.

Σε σχέση με τα χαρακτηριστικά της κατασκευής ακολουθεί ο πίνακας 11:

Πίνακας 11

Χαρακτηριστικά Υλικών Κατασκευής

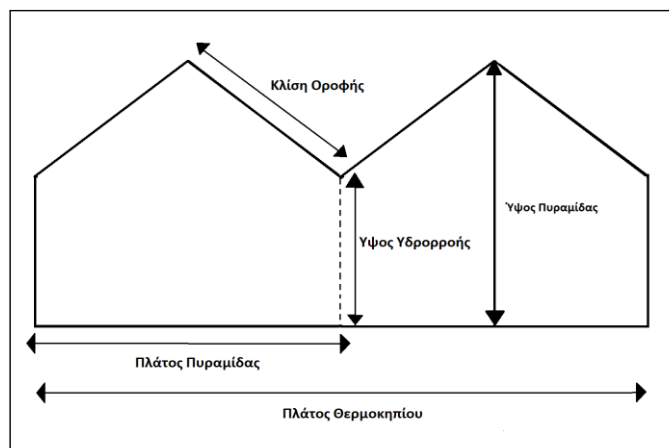
Υλικό Κατασκευής	Ύψος υδρορροής (m)	Πλάτος πυραμίδας (m)	Κλίση Οροφής %
Ξύλο	2-3	< 5	20
Μέταλλο	> 3	> 5	22

Το ύψος του θερμοκηπίου είναι πολύ σημαντικό, καθώς όσο ψηλότερο είναι τόσο μεγαλύτερος όγκος αναλογεί στη μονάδα επιφάνειας του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη αδράνεια στις αλλαγές της θερμοκρασίας που συμβαίνουν εξωτερικά του θερμοκηπίου, όπως και καλύτερη θέρμανση. Η καλύτερη θέρμανση συμβαίνει, γιατί παρά το ότι αργεί να θερμανθεί, διατηρεί τη θερμοκρασία θέρμανσης για πολύ περισσότερη ώρα. Έτσι, τα ψηλά θερμοκήπια προτείνονται σε περιοχές με μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές μεταξύ ημέρας και νύχτας.

Το μεγάλο πλάτος πυραμίδας βοηθάει στη καλύτερη μετακίνηση στο χώρο του θερμοκηπίου καθώς και στη βελτιωμένη φωτεινότητα, ενώ το μικρό πλάτος δυσκολεύει την κίνηση και τη διαχείριση της καλλιέργειας.

Σχετικά με την κλίση της οροφής, όσο μεγαλύτερη είναι τόσο καλύτερα, διότι βοηθάει εξωτερικά στην καλύτερη διαφυγή του βρόχινου νερού προς την υδρορροή και εσωτερικά απομακρύνεται ευκολότερα το νερό που μένει στην επιφάνεια του υλικού κάλυψης λόγω της συμπύκνωσης των υδρατμών. Επίσης, αυξημένη κλίση σημαίνει αυξημένη διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Ακολουθεί η εικόνα 4 με την απεικόνιση των παραπάνω χαρακτηριστικών σε αμφίρρικτο πολλαπλό θερμοκήπιο:



Εικόνα 4: Χαρακτηριστικές Διαστάσεις στο Θερμοκήπιο

2.1.2. Υλικά Κάλυψης

Το υλικό κάλυψης παίζει σημαντικό ρόλο για την διέλευση της ακτινοβολίας, την μόνωση του θερμοκηπίου και τη μηχανική αντοχή του. Στα κριτήρια για την επιλογή του συγκαταλέγονται η αρχική τιμή αγοράς, η περατότητα του ηλιακού φωτός, η καλή μόνωση του θερμοκηπίου, όπως και η διάρκεια ωφέλιμης χρήσης.

Υπάρχει ποικιλία υλικών κάλυψης στο εμπόριο με τα πιο δημοφιλή να είναι ο υαλοπίνακας, τα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα και οι επιφάνειες σκληρού πλαστικού.

Κάθε φύλλο κάλυψης μπορεί να τοποθετηθεί είτε μονό, είτε διπλό, αφήνοντας κενό μεταξύ των δύο φύλλων, το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα μικρότερες απώλειες θερμότητας και αύξηση του συνολικού κόστους.

2.1.2.1. Υαλοπίνακας

Ο υαλοπίνακας χαρακτηρίζεται ως μόνιμο υλικό κάλυψης, αφού έχει διάρκεια ωφέλιμης χρήσης τουλάχιστον είκοσι πέντε έτη. Έχει το συγκριτικό πλεονέκτημα ότι είναι πολύ διαφανής και στεγανός, χωρίς φθορές με την πάροδο του χρόνου, με αποτέλεσμα τη μεγάλη διάρκεια ζωής, την καλή περατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας (82-92%) και την πολύ καλή μόνωση του θερμοκηπίου.

Συντελεί στην μείωση των ενεργειακών απωλειών με τη δημιουργία ενός στεγανού θερμοκηπίου το οποίο διατηρεί τη θερμοκρασία θέρμανσης/ψύξης για πολύ περισσότερη ώρα.

Στα μειονεκτήματα του είναι η ευθραυστότητα, με την επικινδυνότητα που αυτό συνεπάγεται (δεν συνίσταται σε περιοχές με έντονες χαλαζοπτώσεις), η ακαμψία και το αυξημένο βάρος του, που απαιτούν σκελετό υψηλής αντοχής και ακαμψίας, με το ειδικό βάρος του ενός υαλοπίνακα να είναι $245,25 \text{ g/cm}^3$.

Στην οροφή του θερμοκηπίου συνηθίζεται να τοποθετούνται υαλοπίνακες με κυματοειδή ή φολιδωτή μορφή εσωτερικά και επίπεδη μορφή εξωτερικά για καλύτερη διάχυση του φωτός (τυπικό πάχος 5mm). Στα πλάγια του θερμοκηπίου οι υαλοπίνακες έχουν επίπεδη μορφή και στις δύο μεριές τους (τυπικό πάχος 4mm).

Το γυαλί σαν υλικό είναι αρκετά ακριβό και σε συνδυασμό με την κοστοβόρο κατασκευή που χρειάζεται καταλήγουμε σε μία πολυδάπανη επένδυση.

2.1.2.2. Εύκαμπτα Πλαστικά Φύλλα

Στα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα το φύλλο πολυαιθυλενίου (PE) είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο. Άλλα πλαστικά είναι το φύλλο πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) και το φύλλο πολυεστέρα. Το μεγάλο πλεονέκτημα τους είναι αρχικά η χαμηλή τιμή τους και στη συνέχεια το μικρό τους βάρος και η ευελιξία προσαρμογής και τοποθέτησης σε οποιοδήποτε σημείο της κατασκευής. Επιπλέον, δεν έχουν απαιτήσεις για συγκεκριμένο σκελετό, οπότε μπορούν να εφαρμοστούν σε πιο φθινό σκελετό, μειώνοντας σημαντικά το κόστος της συνολικής εγκατάστασης.

Από την άλλη μεριά, μειονεκτούν καθώς φθείρονται πολύ εύκολα και έχουν διάρκεια ωφέλιμης χρήσης από ένα έως πέντε έτη. Είναι επιρρεπή σε ακραία καιρικά φαινόμενα όπως είναι ο άνεμος και οι έντονες χαλαζοπτώσεις, ενώ η έντονη ακτινοβολία και η υψηλή θερμοκρασία σε βάθος χρόνου τα καταστρέφουν. Απαιτούν, επομένως, συγκεκριμένη μεταχείριση στην τοποθέτηση και χρήση τους για την παράταση της διάρκειας ζωής τους.

Σε ότι αφορά το πολυαιθυλένιο (PE), στο θερμοκήπιο χρησιμοποιείται χαμηλής πυκνότητας φύλλο πολυαιθυλενίου (LDPE). Προτιμάται λόγω της καλής μηχανικής αντοχής του, έχει καλή περατότητα στο φως (80%), ενώ είναι αδιαπέραστο στο νερό και τους υδρατμούς. Μειονεκτεί όμως καθώς είναι υδρόφοβο υλικό.

Έτσι, στο εσωτερικό του θερμοκηπίου οι υδρατμοί συμπυκνώνονται πάνω του με τη μορφή σταγόνων, με αποτέλεσμα σε οποιαδήποτε διαταραχή να πέφτουν πάνω στα φυτά, αυξάνοντας τη σχετική υγρασία και τον κίνδυνο μόλυνσης των φυτών.

Με την πρόοδο της τεχνολογίας γίνονται προσπάθειες για την βελτίωση των χαρακτηριστικών του πολυαιθυλενίου. Μελέτες γίνονται για τη δημιουργία φύλλου PE με υδρόφιλη εσωτερική επιφάνεια, όπου οι υδρατμοί θα συμπυκνώνονται υπό μορφή μεμβράνης και το νερό θα προωθείται σε δεξαμενή για περαιτέρω αξιοποίηση του. Ως προς την ακτινοβολία έχει αναπτυχθεί και εφαρμόζεται ήδη στο θερμοκήπιο πολυαιθυλένιο στο οποίο έχει προηγηθεί επεξεργασία με την προσθήκη ειδικών ενώσεων προκειμένου να μην είναι περατό στην UV-b ακτινοβολία, καθιστώντας το ανθεκτικό στην υπεριώδη ακτινοβολία (LDPE-UV).

Ωστόσο, ως προς το οικολογικό του αποτύπωμα, θεωρείται αρκετά επιβλαβές, καθώς έχει βλαβερές επιπτώσεις στο περιβάλλον σε όλο τον κύκλο ζωής του και δεν είναι βιοδιασπώμενο.

Η διάρκεια ζωής του πολυαιθυλενίου είναι ανάλογη του πάχους του, όπως φαίνεται από τον πίνακα 12^[2]:

Πίνακας 12	
Πολυαιθυλένιο Ανθεκτικό στην UV	
Πάχος Φύλλου (mm)	Διάρκεια Ωφέλιμης Χρήσης (μήνες)
0,10	12 - 22
0,15	18 - 28
0,20	20 - 32

2.1.2.3. Επιφάνειες Σκληρού Πλαστικού

Οι επιφάνειες σκληρού πλαστικού έχουν μεγαλύτερο πάχος και διαθέτουν μικρότερη ευκαμψία σε σχέση με τα πλαστικά φύλλα. Πλεονεκτούν καθώς μπορούν να τοποθετηθούν σε θερμοκήπιο είτε με ελαφρύ είτε με βαρύ σκελετό.

Στην κατηγορία του σκληρού πλαστικού περιλαμβάνονται οι ακρυλικές επιφάνειες, οι πολυανθρακικές επιφάνειες (PC), το σκληρό πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) και ο ενισχυμένος πολυεστέρας, ο οποίος είναι ο πιο δημοφιλής.

Ο ενισχυμένος πολυεστέρας γνωστός ως fiberglass είναι πολυεστέρας ενισχυμένος με 20-34% ίνες γυαλιού^[2]. Διαθέτει έτσι καλύτερη μηχανική αντοχή, μεγαλύτερη αποφυγή κυρτώσεων και αυξημένη διάχυση του φωτός στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Το ειδικό βάρος του είναι 1,3-1,6 g/cm³ έναντι 245,25 g/cm³ του γυαλιού, έτσι μπορεί να καλύψει θερμοκήπια με πολύ ελαφρύ σκελετό αλλά και θερμοκήπια με βαρύ σκελετό που προορίζονται για κάλυψη από υαλοπίνακες.

Στο θερμοκήπιο τοποθετείται διαφανής ενισχυμένος πολυεστέρας για περισσότερη περατότητα του φωτός. Πιο συγκεκριμένα στην οροφή του θερμοκηπίου τοποθετείται πολυεστέρας με αυλακωτές επιφάνειες και στα πλαϊνά τοιχώματα με επίπεδες επιφάνειες.

Στα αρνητικά χαρακτηριστικά του είναι ότι είναι εύφλεκτο σαν υλικό και υδρόφοβο συμπυκνώνοντας τους υδρατμούς από το θερμοκήπιο στην επιφάνεια του με τη μορφή σταγόνων. Ακόμα έχει μικρότερη περατότητα στο διάχυτο φως (78%) σε σχέση με τον υαλοπίνακα.

2.1.2.4. Σύγκριση των Υλικών Κάλυψης

Τα υλικά κάλυψης παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους έτσι παρουσιάζεται ο πίνακας 13, για την άμεση σύγκριση τους με βάση τα χαρακτηριστικά τους:

Πίνακας 13			
Σύγκριση Υλικών Κάλυψης			
Χαρακτηριστικά	Υλικά		
	Υαλοπίνακας	LDPE-UV	Ενισχυμένος Πολυεστέρας
Ειδικό Βάρος g/cm ³	245,25	0,91 – 0,94	1,30 - 1,60
Πάχος m	> 4,00×10 ⁻³	1,80×10 ⁻⁴	1,00×10 ⁻³
Θερμική Αγωγιμότητα W/(m×K)	0,80	0,50	0,04
Ποσοστό Διέλευσης Φωτεινής Ακτινοβολίας (Διάχυτο Φως) %	82-92	81	78
Μείωση της Περαιτότητας στο φως	0%	6% σε 3-4 έτη	έως 6% σε 10 έτη
Διάρκεια Ωφέλιμης Χρήσης (έτη)	25	1 - 5	10
Τιμή €/στρ	4.100,00- 6.000,00	620,00- 1.700,00	5.800,00- 9.400,00
Μέση Τιμή €/στρ	5.100,00	1.200,00	7.600,00

Παρατηρούμε ότι το γυαλί είναι πολύ πιο βαρύ από τα πλαστικά υλικά, γεγονός που δικαιολογεί την ανάγκη για στιβαρό σκελετό, αυξάνοντας το κόστος της κατασκευής. Παρόλα αυτά η μεγάλη διάρκεια ζωής και η μηδενική αλλοίωση της περαιτότητας στο φως το κάνουν πολύ ανταγωνιστικό.

Ακόμα, ο ενισχυμένος πολυεστέρας έχει πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, που μεταφράζεται σε μικρότερες απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον. Σε ένα θερμοκήπιο καλυπτόμενο από fiberglass, το χειμώνα καταναλώνεται για θέρμανση ίδια ή μικρότερη ενέργεια σε σχέση με ένα θερμοκήπιο από γυαλί, όπως και το καλοκαίρι, η ανάγκη για ψύξη είναι πιο μικρή. Ωστόσο, η τιμή του είναι έξι φορές πιο υψηλή από το πολυαιθυλένιο και μιάμιση φορά πιο υψηλή από το γυαλί, γεγονός που το κάνει μία επιφυλακτική επιλογή.

2.2. Εξοπλισμός Θερμοκηπίου

Ο εσωτερικός εξοπλισμός αποτελεί το αυτόματο σύστημα ελέγχου του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου και να λειτουργεί στοχευμένα με βάση το φυτό που καλλιεργείται.

Το σύστημα αυτοματισμού που εφαρμόζεται είναι ψηφιακό. Δέχεται σήματα από τους αισθητήρες καταγραφής της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, του διοξειδίου του άνθρακα και της διαθέσιμης υγρασίας του εδάφους, που βρίσκονται στο χώρο του θερμοκηπίου, καταγράφει και αποθηκεύει τα δεδομένα σε κεντρικό υπολογιστή-ελεγκτή και σε ειδική εφαρμογή στο κινητό τηλέφωνο, μέσω ειδικού λογισμικού.

Στη συνέχεια, ανάλογα με το πρότυπο ενεργειακής συμπεριφοράς που έχει ορίσει ο καλλιεργητής ελέγχει και ρυθμίζει αυτόματα το περιβάλλον του θερμοκηπίου με τον κατάλληλο εξοπλισμό που έχει εγκατασταθεί καταλήγοντας σε μία ολοκληρωμένη διαχείριση του συστήματος παραγωγής.

Πολύ σημαντική είναι η εγκατάσταση εξωτερικά του θερμοκηπίου ενός πλήρους μετεωρολογικού σταθμού, καθώς οι συνθήκες εσωτερικά είναι άμεσα εξαρτώμενες και αδιαχώριστες από τις συνθήκες εξωτερικά. Ο μετεωρολογικός σταθμός καταγράφει την εξωτερική θερμοκρασία και υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, την ηλιακή ακτινοβολία, ενώ ανιχνεύει την πιθανότητα βροχής ή χιονόπτωσης. Συνδέεται με τον υπολογιστή παρέχοντας πλήρη εικόνα των εξωτερικών συνθηκών για την κατάλληλη ρύθμιση των συνθηκών εσωτερικά.

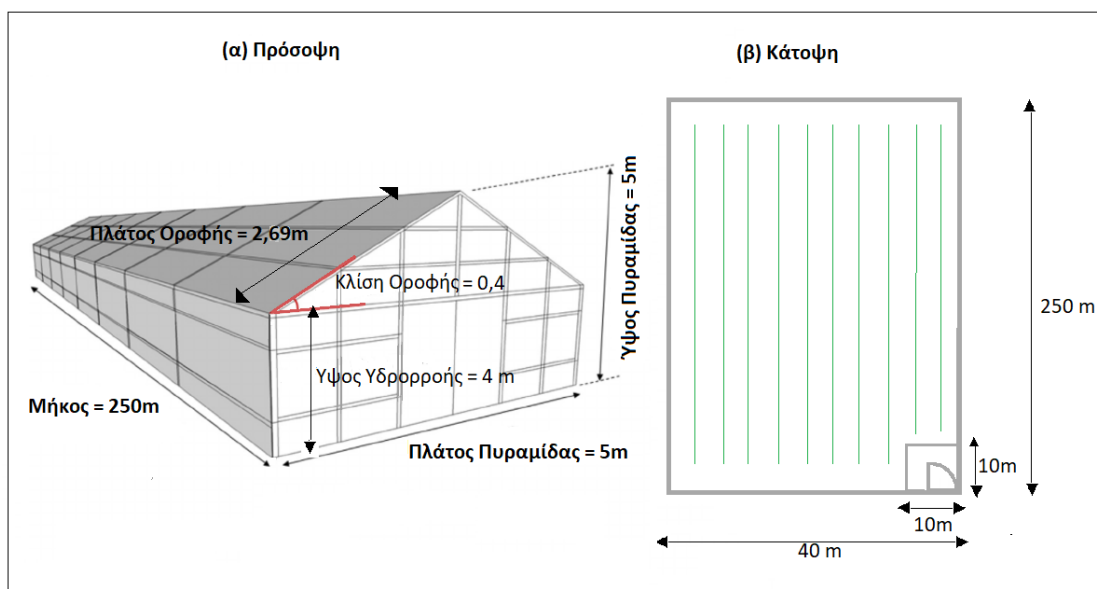
Η επιλογή του εξοπλισμού για κάθε συνθήκη εξαρτάται από τα υλικά κατασκευής της θερμοκηπιακής μονάδας, τις διαστάσεις και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της, όπως και από την τοποθεσία στην οποία εγκαθιστάται.

Το θερμοκήπιο που μελετάμε θα κατασκευαστεί στην περιοχή της Ιεράπετρας και είναι αμφίρρικτο (αμφικλινές) πολλαπλό, δηλαδή η οροφή του έχει σχήμα πυραμίδας και επαναλαμβάνεται κατά μήκος. Καταλαμβάνει καλυπτόμενη έκταση 10.000 τ.μ. με ωφέλιμη καλλιεργούμενη έκταση 9.900 τ.μ., ενώ το συνολικό αγροτεμάχιο είναι 15.000 τ.μ. Η καλυπτόμενη επιφάνεια καταλαμβάνει έτσι τα $\frac{2}{3}$ ^[1] του συνόλου του αγροτεμαχίου, αφήνοντας λειτουργικό χώρο εξωτερικά του θερμοκηπίου.

Η πρόσοψη του θερμοκηπίου έχει πλάτος 40 m, το μήκος του είναι 250 m και το ύψος πυραμίδας 5m. Ο χώρος των 100 τ.μ. θα χρησιμοποιηθεί ως μηχανοστάσιο-αποθήκη όπου θα εγκατασταθούν η δεξαμενή νερού, ο λέβητας και ο καυστήρας, η δεξαμενή ή φιάλη υγρού CO₂, η δεξαμενή καυσίμων, το σύστημα διανομής του νερού και των χημικών ουσιών στο

αρδευτικό δίκτυο. Ακόμα, απαραίτητη είναι η εγκατάσταση μίας εφεδρικής γεννήτριας πετρελαίου, ώστε σε περίπτωση βλάβης του δικτύου ηλεκτροδότησης να μπορεί να λειτουργήσει ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός.

Το σχέδιο πρόσοψης και κάτοψης του θερμοκηπίου παρουσιάζεται στην εικόνα 5:



Εικόνα 5: Διαστασιολόγηση Θερμοκηπίου Δέκα Στρεμμάτων

Γενικά σε μία συμβατική καλλιέργεια οι αποστάσεις φύτευσης είναι τέτοιες ώστε ο παραγωγός μπορεί να φυτέψει 1.600-1.700 φυτά/στρέμμα, ενώ σε μία υδροπονική καλλιέργεια 2.000-2.200 φυτά/στρέμμα. Επομένως στο θερμοκήπιο που σχεδιάζουμε απαιτούνται 16.000 φυτά, ενώ για καλλιέργεια υδροπονίας 20.000.

Η φύτευση των κηπευτικών γίνεται σε σειρές φύτευσης, οι οποίες είναι διπλές παραπλεύρως του καναλιού άρδευσης και έχουν πλάτος 1,5m. Ενδιάμεσα στις σειρές αφήνεται απαραίτητα κενός χώρος περίπου 1m, ο οποίος χρησιμοποιείται ως διάδρομος για να γίνονται οι εργασίες καλλιέργειας και συγκομιδής. Επομένως, συνολικά υπάρχουν 15 σειρές φύτευσης.

Επιπλέον, οι σειρές των φυτών έχουν κατεύθυνση από το βορρά προς το νότο όπως και ο προσανατολισμός του θερμοκηπίου (υδρορροή), για την καλύτερη πρόσβαση της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.

2.2.1. Θέρμανση

Η θέρμανση του θερμοκηπίου ενδείκνυται τους μήνες από Νοέμβριο μέχρι Απρίλιο, ιδιαίτερα τις συνεφιασμένες ημέρες και κατά τη διάρκεια της νύχτας, δηλαδή σε συνθήκες με πολύ χαμηλή εξωτερική θερμοκρασία και ανεπαρκή ηλιακή ακτινοβολία.

Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης στο θερμοκήπιο, η πορεία του θερμού αέρα ξεκινάει από χαμηλά και καταλήγει να συσσωρεύεται ψηλά στην οροφή. Στη συνέχεια ψύχεται από το υλικό κάλυψης όταν η θερμοκρασία εξωτερικά είναι χαμηλή, αυξάνοντας έτσι το ειδικό βάρος του με συνέπεια την επιστροφή στο επίπεδο των φυτών.

Η θερμοκρασία του θερμοκηπίου ρυθμίζεται στα επιθυμητά επίπεδα με στόχο την αύξηση της παραγωγής και την βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων.

Για την επιλογή του κατάλληλου συστήματος θέρμανσης στο θερμοκήπιο των δέκα στρεμμάτων βασικό κριτήριο είναι η θερμική ισχύς (kw) που απαιτείται. Για τον υπολογισμό των αναγκών σε θέρμανση χρησιμοποιούμε τον τύπο σύμφωνα με το Υπουργείο Γεωργίας:

$$Q = (K \times A_s \times \Delta T_{tot} + 0,36 \times V_g \times n \times \Delta T_{tot}) \times 1,20 \quad , (W) \quad (12)$$

Όπου: Q, μέγιστη απαίτηση σε θερμότητα [W]

K, ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του καλύμματος ($W/m^2\text{°C}$)

A_s , συνολικό εμβαδόν επιφάνειας καλύμματος (m^2)

ΔT_{tot} , η διαφορά μεταξύ της εξωτερικής θερμοκρασίας T_{out} και της επιθυμητής εσωτερικής θερμοκρασίας T_{in} (°C)

V_g , όγκος θερμοκηπίου (m^3)

n, αριθμός αλλαγών αέρα ανά ώρα (h^{-1})

Οι τιμές των K και n αντλούνται από τον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 14		
Συντελεστής Θερμοπερατότητας- Αριθμός Αλλαγών Αέρα		
Κάλυμμα	K ($W/m^2\text{°C}$)	Μέση Τιμή n (h^{-1})
Απλό τζάμι	5,80	1,30
Μονό PE	6,30	1,65
Διπλό PE	2,90	0,85

Για τον υπολογισμό του εμβαδού του καλύμματος αθροίζουμε το εμβαδό της περιμέτρου της βάσης και έπειτα το εμβαδόν των πυραμίδων. Άρα είναι:

$$As = A_{pe} + A_{pyr} \rightarrow As = [(250+250+40+40) \times 4] + [16 \times (\frac{5 \times 1}{2}) + 16 \times (250 \times 2,69)]$$

$$\rightarrow As = 2.320 + 10.8000 \rightarrow As = 13.120 \text{ m}^2$$

Για τον υπολογισμό του ΔT_{tot} τους μήνες που θερμαίνεται το θερμοκήπιο κατασκευάζεται ο πίνακας 16 που ακολουθεί. Καταγράφεται η μέση μηνιαία θερμοκρασία για την Ιεράπετρα σύμφωνα με την ΕΜΥ και στη συνέχεια αντλείται η βέλτιστη θερμοκρασία της μονής καλλιέργειας τομάτας από τον πίνακα 4, καταλήγοντας στη μηνιαία διαφορά ΔT και στον μέσο όρο ΔT_{tot} .

Πίνακας 15			
Διαφορά Υπάρχουσας και Επιθυμητής Θερμοκρασίας °C			
Μήνας	Tout	Tin	$\Delta T = T_{in} - T_{out}$
Nov	17,5	20,0	2,5
Dec	14,5	27,0	12,5
Jan	12,9	27,0	14,1
Feb	12,9	27,0	14,1
Mar	14,2	27,0	12,8
Apr	17,0	27,0	10,0
May	20,9	27,0	6,1

Παρατηρούμε ότι η διαφορά θερμοκρασίας το Νοέμβριο είναι πολύ μικρή, συνεπώς δεν συμφέρει η λειτουργία του συστήματος θέρμανσης αυτόν τον μήνα (μπορεί να λειτουργεί το σύστημα αφύγρανσης). Επομένως, υπολογίζουμε τον μέσο όρο της διαφοράς θερμοκρασίας για του υπόλοιπους έξι μήνες, που είναι ίσος με $\Delta T_{tot} = 11,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Για τον υπολογισμό του όγκου του θερμοκηπίου υπολογίζουμε τον όγκο του παραλληλογράμμου V_1 και έπειτα τον όγκο της μίας πυραμίδας V_2 και την πολλαπλασιάζουμε με το σύνολο των πυραμίδων που είναι οχτώ. Στη συνέχεια τα προσθέτουμε όπως φαίνεται στον τύπο 13:

$$V_g = V_1 + (V_2 \times 8), \text{ m}^3 \quad (13)$$

$$\text{Είναι } V_1 = 250\text{m} \times 40\text{m} \times 4\text{m} \rightarrow V_1 = 40.000\text{m}^3$$

$$\text{Και } V_2 = 1/3 \times (5\text{m} \times 250\text{m}) \times 1\text{m} \rightarrow V_2 = 417\text{m}^3$$

$$\text{Άρα } V_g = 40.000\text{m}^3 + (417\text{m}^3 \times 8) \rightarrow V_g = 40.417\text{m}^3$$

Έτσι η εξίσωση (12) διαμορφώνεται ως εξής:

$$Q = (K \times A_s \times \Delta T_{tot} + 0,36 \times V_g \times n \times \Delta T) \times 1,20$$

- Για θερμοκήπιο από γυαλί είναι:

$$\rightarrow Q = (5,80 \times 13.120 \times 11,6 + 0,36 \times 40.417 \times 1,3 \times 11,6) \times 1,20$$

$$\rightarrow Q = 1.322.535,75 \text{ W} = 1.322,54 \text{ Kw}$$

Άρα η ονομαστική (μέγιστη θερμική) ισχύς του συστήματος που απαιτείται για βαθμό απόδοσης 85% είναι:

$$P = (1.322,54) / 0,85 \rightarrow P = 1.555,92 \text{ kW} = 1.338.091,2 \text{ kcal/h}$$

- Για θερμοκήπιο από πλαστικό είναι:

$$\rightarrow Q = (6,3 \times 13.120 \times 11,6 + 0,36 \times 40.417 \times 1,65 \times 11,6) \times 1,20$$

$$\rightarrow Q = 1.484.758,67 \text{ W} = 1.484,75 \text{ Kw}$$

Άρα η ονομαστική ισχύς του συστήματος που απαιτείται για βαθμό απόδοσης 85% είναι:

$$P = (1.484,75) / 0,85 \rightarrow P = 1.746,77 \text{ kW} = 1.502.222,2 \text{ kcal/h}$$

2.2.1.1. Κεντρικό Σύστημα Θέρμανσης με Νερό ή Ατμό

Το κεντρικό σύστημα θέρμανσης περιλαμβάνει τον λέβητα, τον καυστήρα, την καπνοδόχο, τον ηλεκτρικό πίνακα αυτοματισμών, τον ηλεκτρικό θερμοστάτη και τις σωληνώσεις. Ο θερμοστάτης και τμήμα των σωληνώσεων τοποθετούνται στο χώρο του θερμοκηπίου και ο υπόλοιπος εξοπλισμός στο μηχανοστάσιο-αποθήκη.

Το συγκεκριμένο σύστημα κατορθώνει να θερμάνει ομοιόμορφα το θερμοκήπιο, ενώ παράλληλα εμφανίζει μεγάλη θερμική αδράνεια. Αυτό σημαίνει ότι διατηρεί τη θερμότητα μετά το πέρας της θέρμανσης, αλλά υπάρχει μεγάλη καθυστέρηση από τη στιγμή που θα ενεργοποιηθεί μέχρι να θερμανθεί πλήρως το θερμοκήπιο.

Οι καυστήρες που χρησιμοποιούνται είναι παντός τύπου και αναλόγως το χρησιμοποιούμενο καύσιμο διαχωρίζονται σε καυστήρες υγρού καυσίμου (πετρέλαιο ή μαζούτ), φυσικού αερίου ή υγραερίου, διπλού καυσίμου (πετρέλαιο-αέριο), στερεών καυσίμων (ξυλεία, βιομάζα, pellets)^[5]. Οι λέβητες στερεών καυσίμων έχουν το χαμηλότερο κόστος χρήσης, καθώς χρησιμοποιούν την πιο οικονομική καύσιμη ύλη, αλλά το κόστος αγοράς τους είναι υψηλό.

Η θερμότητα παράγεται από το λέβητα με φορέα θερμότητας θερμό νερό ή ατμό. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί λέβητας θερμού νερού (θέρμανση νερού) ή ατμού (θέρμανση νερού και μετατροπή σε ατμό) και στη συνέχεια εάν ο επιθυμητός φορέας θερμότητας διαφέρει, υπάρχει μεταλλάκτης για την αλλαγή φάσης. Παρόλο που αποδοτικότεροι θεωρούνται οι

λέβητες ατμού, στα περισσότερα θερμοκήπια εφαρμόζονται λέβητες νερού, καθώς είναι πιο οικονομικοί και δεν χρειάζονται συντήρηση από εξειδικευμένο προσωπικό.

Ακόμα, οι λέβητες κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με το υλικό κατασκευής τους σε χυτοσίδηρους και χαλύβδινους. Οι χυτοσίδηροι είναι πιο ανθεκτικοί στη διάβρωση και απαιτούν πιο μικρή ποσότητα νερού κατά τη λειτουργία τους. Από την άλλη μεριά οι χαλύβδινοι είναι πιο ελαφρείς, έχουν καλύτερη αντοχή στις πιέσεις και στις απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας, είναι πιο οικονομικοί και εμφανίζουν ευελιξία στις διαστάσεις τους.

Ως φορέας θέρμανσης συνηθίζεται στη χώρα μας αλλά και στη Βόρεια Ευρώπη να χρησιμοποιείται το θερμό νερό, το οποίο διαχωρίζεται σε σύστημα υψηλής (95 °C) και χαμηλής πίεσης (85 °C). Στο υψηλής πίεσης επιτρέπονται υψηλότερες θερμοκρασίες και κατά συνέπεια μεγαλύτερη θερμική απόδοση, για αυτό βρίσκουν μεγαλύτερη εφαρμογή.

Συνεπώς, η θερμότητα στο θερμοκήπιο προωθείται υπό μορφή θερμού νερού ή ατμού μέσω ενός δικτύου χαλύβδινων σωληνώσεων, το οποίο πρέπει να είναι ανθεκτικό στις χημικές ουσίες με τις οποίες έρχεται άμεσα σε επαφή (φυτοφάρμακα, λιπάσματα), όπως και να είναι ελαφρύ για ευκολία στην μετακίνηση.

Οι σωλήνες τοποθετούνται 10 cm πάνω από το έδαφος, παράλληλα με τα φυτά σε απόσταση 15-30 cm από τη ρίζα για ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας στο θερμοκήπιο. Η μικρή απόσταση από το έδαφος οφείλεται στο γεγονός ότι η μεταφορά θερμότητας είναι ελαφρώς υψηλότερη στις σωληνώσεις που αιωρούνται (ελεύθερη μεταγωγή) σε σχέση με τις σωληνώσεις που ακουμπούν στο έδαφος, η οποία είναι 0.67–1.6 W/(mK) ανά μέτρο σωλήνα^[7]. Ακόμα, λόγω της μικρή απόστασης από το έδαφος κατορθώνουν ταυτόχρονα να θερμαίνουν τη ρίζα του φυτού.

Η επιδαπέδια τοποθέτηση των σωληνώσεων μπορεί να αξιοποιηθεί σε δεύτερο επίπεδο ως ράγες για την μετακίνηση των μηχανημάτων περισυλλογής των καρπών και ψεκασμού των φυτών. Με αυτό τον τρόπο διευκολύνεται η εργασία του ανθρώπινου δυναμικού βελτιώνοντας την απόδοση του.

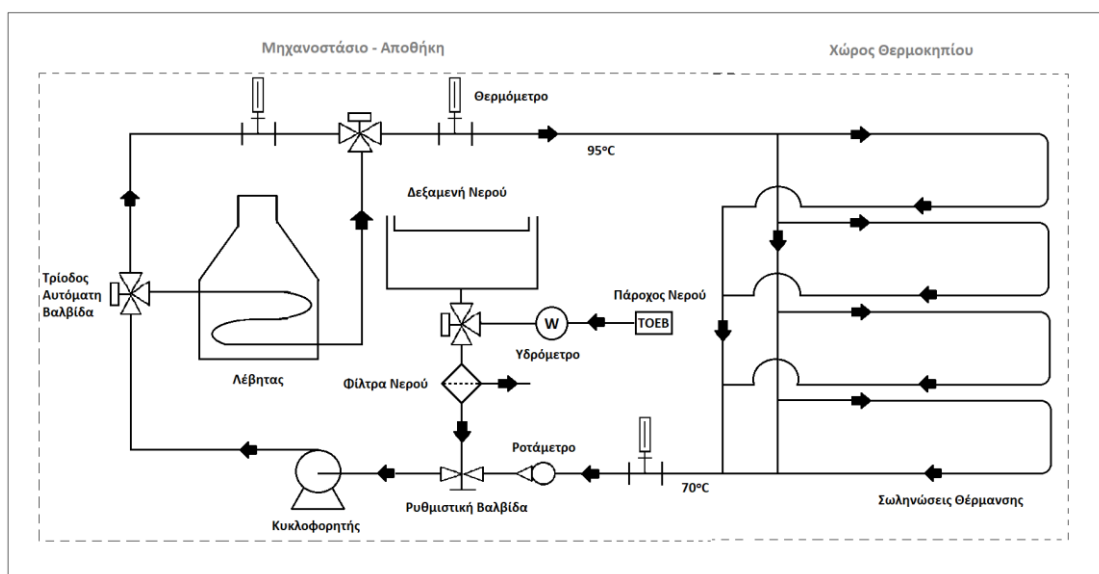
Στην καλλιέργεια της τομάτας, του αγγουριού και της πιπεριάς, όπου τα φυτά καλλιεργούνται σε διπλές σειρές φύτευσης, προτείνεται η τοποθέτηση σωλήνων θέρμανσης ανάμεσα στις διπλές σειρές. Το ύψος τοποθέτησης είναι στη μέση του ύψους των φυτών και μεταβάλλεται ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης τους. Διαθέτει ακόμα αυτόνομη ρύθμιση της θερμοκρασίας, για την μείωση της σχετικής υγρασίας στα φύλλα και αύξηση της διαπνοής.

Οι κεντρικές σωληνώσεις που παραλαμβάνουν το θερμό νερό από το λέβητα (νερό προσαγωγής σε θερμοκρασία 85°C ή 95°C) και εκείνες που το επιστρέφουν πίσω (νερό

επιστροφής σε θερμοκρασίας $\approx 70^{\circ}\text{C}$) τοποθετούνται περιμετρικά του θερμοκηπίου. Η τοποθέτηση τους είναι σημαντική για την ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας στο χώρο, διότι οι μεγαλύτερες απώλειες του θερμοκηπίου είναι περιφερειακά (διαφυγές από τον σκελετό και το υλικό κάλυψης). Έτσι πρέπει να καταλαμβάνουν το 1/3 του μήκους των δευτερεύουσων σωληνώσεων, που μεταφράζεται σε δύο έως έξι σειρές σωληνώσεων τοποθετημένες η μία πάνω στην άλλη, με κενό ανάμεσα τους μεγαλύτερο από 5 cm.

Ο έλεγχος της παραγόμενης θερμότητας γίνεται με θερμοστάτη στο χώρο του θερμοκηπίου. Όταν δεν χρειάζεται θέρμανση το νερό μετακινείται μέσα στους σωλήνες με τη βοήθεια του κυκλοφορητή χωρίς να περνάει από το λέβητα. Σε αντίθετη περίπτωση ο θερμοστάτης δίνει οδηγία να ανοίξει η τρίοδος αυτόματη βαλβίδα αναμειξέως, ώστε να γίνει διέλευση μίας ποσότητας ή όλου του νερού από το λέβητα, για να πραγματοποιηθεί θέρμανση και έπειτα η επανακυκλοφορία του στο δίκτυο σωληνώσεων του θερμοκηπίου.

Το νερό στις σωληνώσεις προέρχεται από το ήδη υπάρχον νερό που ρέει κυκλικά και αναλόγως προστίθεται νερό από τη δεξαμενή αποθήκευσης ή από τον ΤΟΕΒ (τοπικός πάροχος νερού στην περιοχή της Ιεράπετρας). Η ταχύτητα ροής κυμαίνεται από 0,2 έως 1,0 m/s. Το ολοκληρωμένο δίκτυο θέρμανσης φαίνεται στην εικόνα 6.



Εικόνα 6: Διάγραμμα Ροής Κεντρικού Συστήματος Θέρμανσης

Στο θερμοκήπιο των δέκα στρεμμάτων για την καλύτερη απόδοση του συστήματος θέρμανσης, θα χωριστεί ο χώρος του θερμοκηπίου σε τρεις κάθετες αυτόνομες ζώνες θέρμανσης. Κάθε ζώνη περιλαμβάνει πέντε σειρές φύτευσης και ρυθμίζεται με δικό της θερμοστάτη. Η συνολική ωφέλιμη ισχύς θα μοιραστεί σε τρεις λέβητες με ισχύ 500.000 kcal/h

έκαστος. Αντίστοιχα το θερμοκήπιο εξοπλίζεται με τρεις καυστήρες και τρεις ηλεκτρικούς πίνακες αυτοματισμών.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται ορισμένα μοντέλα λέβητα σε αύξουσα τιμή πώλησης (€/unit).

Πίνακας 16

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Λέβητα

Θερμική Ισχύς P		Καυστήρας	Υλικό Κατασκευής	Τιμή €/ unit	Units	Κόστος Αγοράς €	Κατ/στής	Μοντέλο
kW/ h	kcal/ h							
581	500.000	Αερίου-Πετρελαίου	Χαλύβδινος	3.200,00	3	9.600,00	Enersave ThermoStahl	EN500
600	515.900	Αερίου-Πετρελαίου	Χυτοσίδηρος	8.200,00	3	24.600,00	Oscar	H8
600	516.000	Αερίου-Πετρελαίου	Χαλύβδινος	8.900,00	3	26.700,00	Buderus Logano	SK755
600	515.907	Αερίου-Πετρελαίου	Χυτοσίδηρος	10.000,00	3	30.000,00	Torrent Megastar	MS-8
605	520.000	Βιομάζας (Πυρήνα, Πέλλετ, Ξύλο, Κάρβουνο)	Χαλύβδινος	12.100,00	3	36.300,00	Werstahl Hercules	HS520

Από τις προτάσεις του πίνακα 16 προτιμάται λέβητας ο οποίος είναι χυτοσίδηρος καθώς είναι πιο ανθεκτικός στο αρκετά διαβρωτικό περιβάλλον του θερμοκηπίου. Έτσι ανάμεσα στους δύο χυτοσίδηρους θα επιλεγεί ο πιο οικονομικός της εταιρείας Oscar.

Στη συνέχεια, πρέπει να επιλεγεί ο κατάλληλος καυστήρας. Ο καυστήρας επιλέγεται βάση ορισμένων χαρακτηριστικών του λέβητα. Τα χαρακτηριστικά που μας ενδιαφέρουν είναι η θερμική (ωφέλιμη) ισχύς, η υποπίεση του θαλάμου και το είδος του καυσίμου (βαθμός απόδοσης, θερμογόνος δύναμη). Τα τεχνικά στοιχεία για τον λέβητα Oscar/H8 είναι:

- Ωφέλιμη Ισχύς P = 515.900 kcal/ h
- Υποπίεση Θαλάμου Καύσεως (Αντίθλιψη Λέβητα) $p = 15 \text{ mmH}_2\text{O} = 1,47 \text{ mbar}$
- Καύσιμο Φυσικό Αέριο ή Πετρέλαιο

Γενικά, ο κατάλληλος καυστήρας πρέπει να έχει κατάθλιψη 1,2 φορές μεγαλύτερη από την αντίθλιψη του λέβητα, δηλαδή στην περίπτωση μας κατάθλιψη ίση με 1,76 mbar.

Για τον υπολογισμό της παροχής καυσίμου που απαιτείται (ικανότητα λέβητα) χρησιμοποιείται ο τύπος που ακολουθεί:

$$F_{\text{καυσίμου}} = P / (n \times LHV) \quad (14)$$

- Για καυστήρα με καύσιμη ύλη το πετρέλαιο ισχύει:

- Βαθμός Απόδοσης $n = 0,90$
- Μέση Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη LHV = 10.100 kcal/ kg

Άρα είναι $F_{\text{pet}} = 56,75 \text{ kg/ h}$ και κατάθλιψη 1,76 mbar. Θα επιλεγεί ο καυστήρας της εταιρείας Olymp και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο HL2 100D/2R με ισχύ μοτέρ 2,2Kw, θερμική ισχύ 375.000-986.000 kcal/ h, παροχή πετρελαίου 37,0-105,0 kg/h, τιμή 4.000,00€.

- Για καυστήρα με καύσιμη ύλη φυσικό αέριο ισχύει:

- Βαθμός Απόδοσης $n = 0,95$
- Μέση Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη LHV = 10.140 kcal/ kg

Άρα είναι $F_{\text{aer}} = 53,56 \text{ kg/ h}$ και κατάθλιψη 1,76 mbar. Θα επιλεγεί ο καυστήρας της εταιρείας Baltur και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο TBG 60P + MB 412, με ισχύ μοτέρ 0,75Kw, θερμική ισχύ 120-600kW, παροχή αερίου 12,0-60,0 kg/h, τιμή 2.400,00€.

- Για την εύρεση του κατάλληλου κυκλοφορητή γίνεται χρήση του τύπου 15:

$$Cp = \Delta Q / \Delta T \quad (15)$$

Όπου: Cp, η θερμοχωρητικότητα του νερού (1 cal/ °C kg)

ΔQ , θερμική ροή

ΔT , η διαφορά του νερού προσαγωγής με το νερό επιστροφής (25°C)

Άρα (15) $\rightarrow \Delta Q = Cp \times \Delta T \rightarrow \Delta Q = 25 \text{ cal/ kg} = 25 \text{ cal/ lt} = 25 \text{ kcal/ m}^3$

Ακόμα υπολογίζεται η παροχή:

$$F_{\text{κυκλ}} = P / (Cp \times \Delta T) \quad (16)$$

Άρα $F_{\text{κυκλ}} = 20.636 \text{ kg/h} = 20.636 \text{ lt/h} = 20,6 \text{ m}^3/\text{h}$. Έτσι θα επιλεγεί ο κυκλοφορητής της εταιρείας Lowara (μοντέλο Ecocirc XL 50-80 F) με τιμή 1.200,00€ και ισχύ 16-377W.

Επομένως το συνολικό κόστος εγκατάστασης του κεντρικού συστήματος θέρμανσης είναι:

Πίνακας 17

Κόστος Εγκατάστασης Κεντρικού Συστήματος Θέρμανσης

Εξοπλισμός	Τιμή €/ unit	Units	Κόστος Αγοράς €
Λέβητας (Oscar)	8.200,00	3	24.600,00
Καυστήρας Πετρελαίου (Olymp)	4.000,00	3	12.000,00
Καυστήρας Αερίου (Baltur)	2.400,00	3	7.200,00
Κυκλοφορητής (Lowara)	1.200,00	3	3.600,00

Σωλήνα Γαλβανιζέ Ελαφριού Τύπου (Κίτρινη)	Κεντρικές (50mm)	4,25€/m	2.500m	10.600,00
	Δευτερεύουσες (25mm)	2,05€/m	7.500m	15.400,00
Λοιπός Εξοπλισμός				1.000,00
Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης	Καύσιμη Ύλη Πετρέλαιο			67.200,00
	Καύσιμη Ύλη Αέριο			62.400,00

2.2.1.2. Θέρμανση με Αερόθερμα

Η θέρμανση με αερόθερμα κατηγοριοποιείται σε δύο βασικά συστήματα θέρμανσης, σε πρωτεύον και δευτερεύον. Στο πρωτεύον συναντώνται αερόθερμα φυσικού αερίου, πετρελαίου ή στερεών καυσίμων και στο δευτερεύον αερόθερμα θερμού νερού ή ατμού.

2.2.1.2.1. Κύριο Σύστημα Αερόθερμων

Το κύριο (πρωτεύον) σύστημα θέρμανσης αποτελείται από αυτοματοποιημένα επιδαπέδια αερόθερμα. Πρόκειται είτε για αερόθερμα μικρής απόδοσης, που καταναλώνουν αέριο, είτε για μεγαλύτερης δυναμικότητας, που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα ή βιομάζα. Αυτού του είδους τα αερόθερμα διαθέτουν ενσωματωμένο κλειστό θάλαμο καύσης μαζί με καυστήρα, μεταλλάκτη θερμότητας και ανεμιστήρα.

Η λειτουργία τους ξεκινάει με εντολή του θερμοστάτη. Έτσι, ο ανεμιστήρας οδηγεί τον κρύο αέρα του θερμοκηπίου στον μεταλλάκτη, τον θερμαίνει με συναγωγή και τον επιστρέφει θερμότερο στο χώρο του θερμοκηπίου. Η θερμότητα στο αερόθερμο παράγεται από την καύση της πρώτης ύλης παρουσία οξυγόνου.

Στο συνηθισμένο τύπο αερόθερμου το οξυγόνο μεταφέρεται από το εξωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου στον καυστήρα με ειδικό εύκαμπτο σωλήνα (αεραγωγό), ο οποίος τοποθετείται κάτω από το έδαφος για να μην σκιάζει τα φυτά. Τα παραγόμενα καυσαέρια από την άλλη μεριά απορρίπτονται από την καπνοδόχο η οποία διαπερνά το κάλυμμα της οροφής και έχει τέτοιο ύψος ώστε να μην επιστρέφει ο καπνός στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Για την καλύτερη κατανομή του ζεστού αέρα στο θερμοκήπιο τοποθετούνται στην έξοδο του θερμού αέρα από το αερόθερμο πολύ λεπτοί διάτρητοι σωλήνες πολυαιθυλενίου

διαμέτρου 30-60cm, οι οποίοι εκτείνονται κατά μήκος των διαδρόμων, ψηλά από τις γραμμές των φυτών και καταλήγουν τυφλά (δεν έχουν έξοδο).

Οι σωλήνες αυτοί είναι διαφανείς και διαθέτουν οπές από όπου διοχετεύεται ο ζεστός αέρας. Οι οπές βρίσκονται από την κάτω πλευρά των σωλήνων, έχουν απόσταση μεταξύ τους 30-100cm και διάμετρο 5-7,5 cm. Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές ANSI/ASAE (2003) οι σωληνώσεις πρέπει να τοποθετούνται κατά μήκος των φυτών σε απόσταση εννιά μέτρα μεταξύ τους.

Ο θερμός αέρας διαχέεται από τις οπές με μεγάλη ταχύτητα και αναμειγνύεται ταχύτατα με τον υπάρχον αέρα. Για την ομοιόμορφη θέρμανση του χώρου και την γρήγορη ανάμειξη των στρωμάτων αέρα πρέπει ταυτόχρονα με το σύστημα θέρμανσης να λειτουργούν οι ειδικοί ανεμιστήρες που βρίσκονται περιμετρικά στο θερμοκήπιο.

Στο αερόθερμο τύπου κανόνι το οξυγόνο που απαιτείται για την καύση αντλείται από το χώρο του θερμοκηπίου, ενώ τα καυσαέρια που παραγόνται διοχετεύονται πίσω στο θερμοκηπίο. Το αποτέλεσμα είναι η εξάντληση του οξυγόνου, οδηγώντας σε ατελή καύση. Τα τοξικά υποπροϊόντα της ατελούς καύσης (μονοξείδιο του άνθρακα, αιθυλένιο) είναι βλαβερά για τα φυτά και προκαλούν μαρασμό. Για το λόγο αυτό καλό είναι να αποφεύγεται η συνεχής λειτουργία του συστήματος και να ελέγχεται συχνά η σύσταση του αέρα. Παρόλα αυτά, η χρήση τους είναι αρκετά διαδεδομένη διότι έχουν οικονομική και ευέλικτη εγκατάσταση (διαθέτουν ρόδες για μετακίνηση σε οποιοδήποτε σημείο) και συμφέρει ιδιαίτερα η εφαρμογή τους σε μικρές θερμοκηπιακές μονάδες.

Γενικά, στα θετικά του συστήματος θέρμανσης με αερόθερμα είναι ο πολύ γρήγορος χρόνος ανταπόκρισης, από τη στιγμή που ο θερμοστάτης δίνει εντολή για ενεργοποίηση, έως ότου θερμανθεί ο αέρας του θερμοκηπίου. Το ίδιο γρήγορα όμως ψύχεται όταν σταματήσει η λειτουργία του, γεγονός αρνητικό για τα φυτά. Παράλληλα, ο θερμοστάτης δεν κατορθώνει να θερμάνει το έδαφος και κατά συνέπεια τη ρίζα του φυτού, ενώ σε περίπτωση βλάβης του συστήματος η θερμοκρασία πέφτει ακαριαία στρεσάροντας τα φυτά.

Έτσι, η χρήση τους ενδείκνυται σε περιοχές με ήπιο κλίμα, όπου οι ανάγκες για θέρμανση είναι πιο μικρές, καθώς η απόδοση τους είναι πολύ μικρότερη από αυτή του κεντρικού συστήματος θέρμανσης, όπως και η ομοιομορφία θέρμανσης που επιτυγχάνουν. Επιπλέον, συγκριτικά με το κεντρικό σύστημα θέρμανσης καταναλώνουν περισσότερο ηλεκτρικό ρεύμα (έως 10% περισσότερο)^[6].

Για την κάλυψη των θερμιδικών αναγκών του θερμοκηπίου των δέκα στρεμμάτων, οι οποίες υπολογίστηκαν σε περίπου 1.500.000 kcal/h αναζητούνται κατάλληλα αερόθερμα, τα οποία παρουσιάζονται στον πίνακα 18.

Πίνακας 18							
Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αερόθερμων							
Κατ/στής	Ισχύς kW	Τύπος Αερόθερμου	Καυστήρας	Κατανάλωση Καυσίμου	Τιμή €/unit	Units	Κόστος Αγοράς €
Colorato	30	Κανόνι	Αερίου	2,34 kg/h	300,00	58	17.400,00
Trotec	100	Κανόνι	Πετρελαίου	9,5 lt/h	1.100,00	17	18.700,00
Raider	50	Κανόνι	Πετρελαίου	0,75 lt/h	500,00	35	17.500,00
Sealey	30	Κανόνι	Αερίου	1.3-2.18kg/hr	300,00	58	17.400,00
Kraft&Dele	55	Κανόνι	Πετρελαίου	4,73 lt/h	700,00	32	22.400,00
Master	111	Κανόνι	Πετρελαίου	10,45 lt/h	2.400,00	16	38.400,00
Alfa Therm	190	Με καμινάδα & παροχή οξυγόνου	Πετρελαίου	-	6.000,00	9	54.000,00
Alfa Therm	200	Με καμινάδα & παροχή οξυγόνου	Βιομάζας	-	12.300,00	9	110.700,00

Παρατηρούμε ότι η αγορά του συστήματος θέρμανσης με αερόθερμα στην πλειονότητα του είναι πολύ πιο οικονομική από το σύστημα της κεντρικής θέρμανσης. Ωστόσο δεν παύει να παρουσιάζει μειονεκτήματα όπως είναι ο μεγάλος όγκος αερόθερμων που πρέπει να τοποθετηθούν στο χώρο της καλλιέργειας, δημιουργώντας τεχνικά προβλήματα όπως είναι η σκίαση των φυτών, μεγάλη έκταση καλωδίωσης για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, εμπόδιο στην μετακίνηση των εργαζομένων, κακή διανομή της θερμότητας.

Ακόμα, τα περισσότερα αερόθερμα που διατίθενται στην αγορά είναι τύπου κανονιού, τα οποία εγκυμονούν κινδύνους για τα φυτά.

Συμπερασματικά, στο θερμοκήπιο των δέκα στρεμμάτων που σχεδιάζουμε θα επιλεγεί για όλους τους παραπάνω λόγους η εγκατάσταση ενός κεντρικού συστήματος θέρμανσης, για την διασφάλιση της υγείας των φυτών.

2.2.1.2.2. Δευτερεύον Σύστημα Αερόθερμων

Στο δευτερεύον σύστημα θέρμανσης τα αερόθερμα θερμού νερού ή ατμού μπορούν να προστεθούν στο ήδη εγκατεστημένο κεντρικό σύστημα θέρμανσης. Αναφέρονται ως αξονικά αερόθερμα και λειτουργούν σαν εναλλάκτες θερμότητας.

Είναι αερόθερμα κατακόρυφης μετακίνησης του αέρα, καθώς μετακινούν τον αέρα από επάνω προς τα κάτω. Έτσι, τοποθετούνται ψηλά στην οροφή και συνδεούνται μεταξύ τους με σωλήνες θερμού νερού ή ατμού, τηρώντας μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Στο τελείωμα κάθε σειράς αερόθερμων συνδέονται μέσω βαλβίδας με το υπόλοιπο δίκτυο σωληνώσεων θερμού νερού ή ατμού της κεντρικής θέρμανσης.

Έτσι ο φορέας θέρμανσης οδηγείται στο αερόθερμο, το οποίο μέσω του ηλεκτροκίνητου ανεμιστήρα τραβάει τον ψυχρό αέρα από το χώρο του θερμοκηπίου, τον φέρει σε επαφή με τον εναλλάκτη (βεβιασμένη συναγωγή) και επιστρέφει πίσω θερμότερος. Η τοποθέτηση των αξονικών αερόθερμων θεωρείται δευτερεύον σύστημα θέρμανσης και λειτουργεί συμπληρωματικά με το κεντρικό (επιδαπέδια και περιμετρική θέρμανση) δημιουργώντας ένα πλήρως ελεγχόμενο θερμοκρασιακά περιβάλλον, για την ανάπτυξη του φυτού και της ρίζας.

Τα δύο συστήματα λειτουργούν ταυτόχρονα, με το δευτερεύον να δρα πιο γρήγορα, καθώς τα αερόθερμα εμφανίζουν μικρότερη θερμική αδράνεια. Έτσι, όταν χρειάζεται αύξηση της θερμοκρασίας σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο του θερμοκηπίου, το δευτερεύον σύστημα θα λειτουργήσει άμεσα, πριν το κεντρικό σύστημα καταφέρει να φτάσει στη μέγιστη ροή θερμότητας.

2.2.2. Συστήματα Κλιματισμού - Ψύξης

Οι τεχνικές ψύξης του θερμοκηπίου πραγματοποιούνται για την μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του. Ενδείκνυνται ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες και νωρίς το φθινόπωρο (Ιούνιο-Οκτώβρη), νωρίς το πρωί και λίγο πριν βραδιάσει, καθώς ο εξωτερικός αέρας είναι πιο δροσερός.

2.2.2.1. Φυσικός - Παθητικός Εξαερισμός

Ο φυσικός εξαερισμός είναι η πιο οικονομική επιλογή για μία μικρή μείωση της θερμοκρασίας και αύξηση της σχετικής υγρασίας, αλλά και για να ανανεωθεί ο αέρας του θερμοκηπίου ικανοποιητικά.

Πραγματοποιείται με την εγκατάσταση παραθύρων στην οροφή και στα πλάγια του θερμοκηπίου. Η τοποθέτηση και το μέγεθος τους είναι στρατηγικής σημασίας ώστε να ευνοείται ο φυσικός εξαερισμός ακόμα και σε συνθήκες άπνοιας. Η επιφάνεια που καταλαμβάνουν είναι ανάλογη της συνολικής έκτασης του θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα τα πλαϊνά μαζί με τα παράθυρα στην οροφή πρέπει να καλύπτουν το 22-30% της συνολικής θερμοκηπιακής έκτασης.

Η λειτουργία τους γίνεται αυτόματα με εντολή του υπολογιστή, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν εσωτερικά και εξωτερικά. Καταναλώνουν ηλεκτρικό ρεύμα και ο χειρισμός τους είναι αρκετά απλός. Μειονεκτούν ωστόσο γιατί αδυνατούν να ρυθμίσουν την θερμοκρασία σε μία ακριβή τιμή, δημιουργούν παρόλα αυτά ένα ευνοϊκές συνθήκες προς την κατεύθυνση αυτή.

Με ανοιχτό το φυσικό εξαερισμό η ροή αερίων μάζας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου δημιουργείται εξαιτίας της διαφοράς πίεσης μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα, λόγω είτε της διαφοράς θερμοκρασίας, είτε της διαφοράς στην ταχύτητα του αέρα.

Η ταχύτητα του αέρα επηρεάζει την διαφορά πίεσης όταν η ταχύτητα του ανέμου εξωτερικά ξεπεράσει τα 2m/s. Αυτό σημαίνει ότι σε συνθήκες με υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλές ταχύτητες ανέμου το σύστημα δεν είναι αποτελεσματικό.

Για τον υπολογισμό της επιφάνειας των παραθύρων στο θερμοκήπιο των δέκα στρεμμάτων χρησιμοποιείται η εξίσωση 16:

$$S = Ar \% \times Ag / 100 \quad (16)$$

Όπου: S, επιφάνεια ανοιγμάτων (m²)

Ar, σχετική επιφάνεια %

Ag, η καλυπτόμενη επιφάνεια του θερμοκηπίου (m²)

Η τιμή της καλυπτόμενης επιφάνειας του θερμοκηπίου είναι Ag=1.000m². Η τιμή της σχετικής επιφάνειας βρίσκεται από τον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 19

Σχετική Επιφάνεια Παραθύρων Φυσικού Εξαερισμού Ar%

Περιοχή Θερμοκηπίου	Επιφάνεια Ανοίγματος %		
	Οροφή	Πλαϊνά	Μόνο Οροφής ή Μόνο Πλαϊνά
Ορεινή Περιοχή Βόρειας Ελλάδος	18	4	22
Πεδινή Περιοχή Βόρειας Ελλάδος	22	5	25
Πεδινή Περιοχή Κεντρικής και Νότιας Ελλάδος	24	6	30

Άρα για την πόλη της Ιεράπετρας είναι:

$Ar_1=24\%$ για τα ανοίγματα οροφής και $Ar_2=6\%$ για τα πλαϊνά ανοίγματα

Αντίστοιχα:

$S_1 = Ar_1 \times Ag / 100 = 24\% \times 10.000 / 100 \rightarrow S_1 = 2.400 \text{ m}^2$ ανοιγμάτων οροφής

$S_2 = Ar_2 \times Ag / 100 = 6\% \times 10.000 / 100 \rightarrow S_2 = 600 \text{ m}^2$ πλαϊνών ανοιγμάτων

Για τον υπολογισμό του πλάτους των παραθύρων, χρησιμοποιείται ο τύπος 17:

$$S = N \times L \times W \rightarrow W = S \div (N \times L) \quad (17)$$

Όπου: S, επιφάνεια ανοιγμάτων (m^2)

N, αριθμός ανοιγμάτων

L, μήκος ανοίγματος (m)

W, πραγματικό μέγιστο πλάτος (m)

Τα ανοίγματα της οροφής εκτείνονται κατά μήκος της κορυφής κάθε πυραμίδας. Ο αριθμός των ανοιγμάτων-πυραμίδων είναι $N_1 = 8$, με μήκος $L_1 = 250\text{m}$ το κάθε ένα, άρα το πλάτος τους W_1 θα είναι:

$$W_1 = 2.400 \div (8 \times 250) \rightarrow W_1 = 1,20\text{m}$$

Τα πλαϊνά ανοίγματα εκτείνονται περιμετρικά του θερμοκηπίου. Η περίμετρος του θερμοκηπίου είναι 580 m, άρα το πλάτος τους W_2 θα είναι:

$$W_2 = 600 \div (1 \times 580) \rightarrow W_2 = 1,03\text{m}.$$

Για τον αυτόματο χειρισμό των παραθύρων χρειάζεται ειδικό μοτέρ-μειωτήρας, ο οποίος για το θερμοκήπιο μας έχει συνολική ισχύ 14kW.

2.2.2.2. Μηχανικός - Δυναμικός Εξαερισμός

Ο μηχανικός εξαερισμός ρυθμίζει με ακρίβεια τον όγκο του εισερχόμενου αέρα, επιτυγχάνοντας καλύτερη κατανομή της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας και του διοξειδίου του άνθρακα. Ηλεκτροκίνητοι ανεμιστήρες εξαεριστήρες τοποθετούνται στην μία πλευρά του θερμοκηπίου, ενώ στην ακριβώς απέναντι πλευρά εγκαθίστανται πτερυγικά πλάγια παράθυρα. Οι δύο μεριές είναι συγχρονισμένες και ανοίγουν και κλείνουν ταυτόχρονα.

Η λειτουργία τους βασίζεται στη ροή αέρα μέσω των ανοιγμάτων από το περιβάλλον στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, ο οποίος στη συνέχεια μετακινείται έως ότου φτάσει στην απέναντι πλευρά των ανεμιστήρων, όπου αναρροφάται και διοχετεύεται εκτός θερμοκηπίου. Η κίνηση του αέρα προκαλείται, όπως και στο παθητικό σύστημα, εξαιτίας της τεχνητής διαφοράς πίεσης που δημιουργείται (υποπίεση) με την εξαγωγή του αέρα από το θερμοκήπιο. Η ταχύτητα ροής του αέρα δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 0,2-1,2m/ sec για την αποφυγή της μάρανσης των φυτών.

Η τοποθέτηση των ανεμιστήρων στα μεγάλα θερμοκήπια γίνεται στην μεγαλύτερη κατά μήκος πλευρά και σε πλευρά η οποία δεν είναι εκτεθειμένη σε ισχυρούς ανέμους. Κατανέμονται ανά 7,5 μέτρα, έχουν διάμετρο 0,75-1,25m, ταχύτητα περιστροφής 380-725 στροφές το λεπτό και απορροφητική δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας 30-50Pa. Εξωτερικά τους δεν πρέπει να υπάρχουν αντικείμενα που εμποδίζουν τη διοχέτευση του αέρα, για απόσταση τουλάχιστον δύο μέτρων. Στην απέναντι μεριά σε κάθε ανεμιστήρα αναλογεί ένα παράθυρο.

Το δυναμικό σύστημα εξαερισμού σε σύγκριση με το παθητικό είναι πολύ πιο αποδοτικό αφού επιτυγχάνει αριθμό αλλαγών αέρα ανά ώρα μεγαλύτερο από 50, κάτι που είναι αδύνατο για το παθητικό σύστημα. Το αποτέλεσμα του υψηλού ρυθμού ανανέωσης του αέρα είναι η μεγαλύτερη μείωση της θερμοκρασίας και η πιο ομοιόμορφη κατανομή της. Υστερεί παρόλα αυτά λόγω του υψηλού κόστους αγοράς, εγκατάστασης και λειτουργίας του. Ακόμα, δεν κατορθώνει να ρίξει την θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε τιμή χαμηλότερη από αυτή που επικρατεί εξωτερικά.

Στην Ιεράπετρα η μέση μηνιαία διεύθυνση του ανέμου είναι από το βορρά, για αυτό οι ανεμιστήρες θα τοποθετηθούν είτε στην ανατολική είτε στη δυτική πλευρά του θερμοκηπίου (με απόσταση πλευρών 40m). Με την επιλογή ανεμιστήρων διαμέτρου ενός μέτρου, μήκος πλαισίου 1,25m, τοποθετημένοι ανά 6,33 μέτρα θα χρειαστούν περίπου 33 ανεμιστήρες για να καλύψουν μήκος πλευράς 250m.

Ο απαιτούμενος ρυθμός ανανέωσης αέρα υπολογίζεται από τη σχέση 18:

$$R = \frac{0,87 \times tp \times (1 - 0,67 \times tp) \times Ro}{\Delta Ti} \quad (18)$$

Όπου: R, απαιτούμενος ρυθμός ανανέωσης αέρα (h^{-1})

Ro, ολική ηλιακή ακτινοβολία στο εξωτερικό του θερμοκηπίου W/m_2

tp, συντελεστής διαπερατότητας υλικού κάλυψης

ΔTi , διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα

Θεωρούμε τα $Ro = Ro_{max} = 842 \text{ W/m}^2$ και $tp=0,7$ (Μαυρογιαννόπουλος). Η διαφορά θερμοκρασίας θεωρούμε ότι είναι η μέγιστη αναπτυσσόμενη μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού αέρα και είναι για παραθαλάσσιες περιοχές ίση με

$$\Delta Ti = 0,008 \times Ro \rightarrow \Delta Ti = 0,008 \times Ro_{max} = 0,008 \times 842 \rightarrow \Delta Ti = 6,736 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Επομένως, } R = \frac{0,87 \times 0,7 \times (1 - 0,67 \times 0,7) \times 842}{6,736} \rightarrow R = 40,42 \text{ h}^{-1}$$

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης παροχής Q πολλαπλασιάζουμε την παροχή R (h^{-1}) με τον όγκο του θερμοκηπίου $Vg = 40.417 \text{ m}^3$, άρα $Q = 40,42 \times 40.417 \rightarrow Q = 1.633.655,14 \text{ m}^3/\text{h}$
 $\rightarrow Q = 453,79 \text{ m}^3/\text{s}$

Άρα ο ένας ανεμιστήρας πρέπει να παρέχει $Q_{ανεμ.} = Q \div 33 \rightarrow Q_{ανεμ.} = 49.504,70 \text{ m}^3/\text{h}$
 $\rightarrow Q_{ανεμ.} = 13,75 \text{ m}^3/\text{s}$

Στο εμπόριο το κόστος ενός τριφασικού ανεμιστήρα με παροχή $49.200 \text{ m}^3/\text{h}$ είναι $2.400\text{€}/\text{unit}$, ισχύς $P = 9.227 \text{ W}$ και στροφές 1.440rpm (Κατασκευαστής SOLER & PALAU, σειρά S&P Compact). Επομένως για 33 ανεμιστήρες το κόστος ανέρχεται στα 79.200€ .

Σε παροχή αέρα $12.000 \text{ m}^3/\text{h}$ αντιστοιχεί άνοιγμα ενός τετραγωνικού μέτρου. Άρα σε κάθε ανεμιστήρα αντιστοιχεί άνοιγμα μεγέθους:

$$\text{Εανοίγματος} = Q_{ανεμ.} \div 12.000 \rightarrow \text{Εανοίγματος} = 4,13 \text{ m}^2$$

$$\text{Δηλαδή απαιτούνται ανοίγματα συνολικού εμβαδού } E_{ολ} = 136,14 \text{ m}^2$$

2.2.2.3. Σύστημα Δροσισμού Υγρής Παρείας (Pad & Fan)

Για την περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας σε επίπεδα χαμηλότερα από την εξωτερική θερμοκρασία είναι απαραίτητο ένα σύστημα ψύξης. Με το σύστημα δροσισμού υγρής παρείας κατορθώνεται η μείωση της θερμοκρασίας και η ταυτόχρονη αύξηση της σχετικής

υγρασίας σε ποσοστό απόδοσης 80-90%. Σε περίπτωση που επιλεγεί από τον παραγωγό ως σύστημα ψύξης αντικαθιστά το σύστημα δυναμικού εξαερισμού.

Πρόκειται για αυτοματοποιημένο σύστημα με τη συνδυαστική χρήση υγρού τοιχώματος-πάνελ και ανεμιστήρων-εξαεριστήρων, το οποίο μπορεί να χαμηλώσει τη θερμοκρασία κατά 3-12°C. Όσο πιο ξηρός είναι ο εξωτερικός αέρας, δηλαδή όσο λιγότερους υδρατμούς περιέχει, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση του συστήματος. Για αυτό το λόγο το σύστημα της υγρής παρείας συστήνεται σε περιοχές που επικρατεί χαμηλή σχετική υγρασία. Η αποτελεσματικότητα της υγρής παρείας σε σχέση με τις εξωτερικές συνθήκες φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί (απόδοση συστήματος 85%). Τα στοιχεία δημοσιεύτηκαν από το Πανεπιστήμιο της Γεωργίας (UGA).

Πίνακας 20				
Ψυκτική Ικανότητα Υγρής Παρείας				
Εξωτερική Θερμοκρασία °C	Σχετική Υγρασία Εξωτερικού Αέρα %			
	30	50	70	90
Εσωτερική Θερμοκρασία Δροσισμού °C				
37,8	26,1	30,0	32,8	35,6
32,2	21,1	25,0	28,3	30,6
26,7	17,2	20,6	23,3	25,0
21,1	12,2	15,6	17,8	20,0

Το πάνελ που συνήθως επιλέγεται είναι από κυτταρίνη με κάθετες αυλακώσεις, μεγάλη διάρκεια ζωής (> 10 χρόνια) και απόδοση 97%. Στο εμπόριο διατίθεται σε πάχος από 5-30cm, ύψος 0,3-1,8m και επιφάνεια εξατμίσης ανά τετραγωνικό μέτρο 40-60 m²/m². Η εγκατάσταση του γίνεται 60cm πάνω από το έδαφος και καλύπτει όλο το μήκος της πλευράς στην οποία βρίσκεται. Ο αέρας που διέρχεται δια μέσω της υγρής παρείας έχει ανώτερο επιτρεπτό όριο ταχύτητας $U_{max} = 1,5m/s$. Έτσι, υπολογίζονται τα απαιτούμενα τετραγωνικά ανά θερμοκήπιο διαιρώντας τη συνολική παροχή του αέρα (Q σε m³/s) με το όριο των 1,5m/s.

Οι ανεμιστήρες που χρησιμοποιούνται είναι ηλεκτροκίνητοι, μεγάλου όγκου και μικρής ταχύτητας και βρίσκονται στο επίπεδο των φυτών με μεταξύ τους απόσταση μικρότερη από εφτάμιση μέτρα. Η κατανάλωση του ρεύματος είναι περίπου 8-12 kW/m².

Η δομή και η λειτουργία του συστήματος υγρής παρείας μοιάζει αρκετά με το δυναμικό σύστημα εξαερισμού. Το υγρό πάνελ τοποθετείται στην πλευρά του θερμοκηπίου που επικρατούν οι πιο ισχυροί άνεμοι και στην ακριβώς απέναντι τοποθετούνται οι ανεμιστήρες.

Αυτό ισχύει για μικρού τύπου θερμοκήπια, στα μεγαλύτερης έκτασης τοποθετούνται αντικρυστά στις πιο στενές μεριές.

Με την ενεργοποίηση του συστήματος ο εσωτερικός αέρας του θερμοκηπίου αναρροφάται από τους ανεμιστήρες και βγαίνει έξω. Συνέπεια αυτού είναι η δημιουργία υποπίεσης εσωτερικά, η οποία εξαναγκάζει τον εξωτερικό αέρα να εισέλθει παίρνώντας από την υγρή παρεία. Όταν περνάει με μικρή ταχύτητα από τα τοιχώματα της υγρής παρείας λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του εξατμίζει ένα μέρος του νερού που την διαβρέχει. Στη συνέχεια διοχετεύεται στο θερμοκήπιο με μικρότερη θερμοκρασία και υψηλότερη σχετική υγρασία, κατορθώνοντας να το ψύξει.

Σε όλη τη διάρκεια του δροσισμού με το σύστημα της υγρής παρείας ο φυσικός εξαερισμός παραμένει κλειστός, ώστε ο αέρας να εξαναγκάζεται να περνάει μόνο μέσα από την παρεία.

Η διαβροχή της παρείας πραγματοποιείται μέσω ενός ειδικά σχεδιασμένου συστήματος διανομής νερού. Το νερό βρίσκεται σε ειδική δεξαμενή εξωτερικά της παρείας και κινείται με αντλία απόδοσης 700-1.000 lit/h, φιλτράρεται για την αποφυγή σχηματισμού αλάτων και στη συνέχεια ψεκάζεται από ψηλά σε όλη την έκταση της από έναν σωλήνα με οπές. Η απόσταση των οπών είναι τέτοια ώστε να πραγματοποιείται 80% εξάτμιση για ταχύτητα του εξωτερικού αέρα 0,8m/s. Έπειτα, το νερό ανακυκλώνεται μέσω υδρορροής και επιστρέφει με υψηλότερη θερμοκρασία πίσω στη δεξαμενή. Είναι πολύ σημαντικό η διαβροχή να είναι συνεχής και σε όλο το μήκος της παρείας, χωρίς κενά και διακοπές. Τυχόν δυσλειτουργία σε ένα σημείο έστω α μέτρα πλάτους, θα δημιουργήσει έναν κώνο στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μήκους $8 \times a$ m, το οποίο δεν θα ψύχεται σωστά.

Κατά συνέπεια στο θερμοκήπιο που σχεδιάζουμε το εμβαδόν επιφάνειας της υγρής παρείας είναι ίσο με:

$$Awet = Q \div U_{max} = 453,79 \div 1,5 \rightarrow Awet = 302,53 \text{ m}^2$$

$$\text{Η αντίστοιχη επιφάνεια εξάτμισης θα είναι } A_{vap} = 12.101,2 - 18.151,8 \text{ m}^2.$$

Το σύστημα τοποθετείται στη στενή μεριά του θερμοκηπίου με απόσταση 40 μέτρα. Άρα η παρεία έχει μήκος όσο και το μήκος του θερμοκηπίου, δηλαδή $L_{wet} = 250\text{m}$ και πλάτος $W_{wet} = Awet \div L_{wet} \rightarrow W_{wet} = 1,21 \text{ m}$.

Το κόστος της υγρής παρείας είναι περίπου 50€/m², άρα το συνολικό κόστος αγοράς της ανέρχεται στα 15.000,00€.

Για την εύρεση της παροχής νερού που απαιτείται γίνεται χρήση του τύπου 19:

$$Q_{νερό} = \frac{Q_{ψύξης}}{L} \quad (19)$$

Όπου: Qνερό, παροχή νερού στην παρεία (l/h)

Qψύξης, θερμότητα ψύξεως εξωτερικού αέρα (MJ/h)

L, λανθάνουσα θερμότητα νερού ίση με 2,5 MJ/h

Για τον υπολογισμό του Qψύξης ισχύει ο τύπος που ακολουθεί:

$$Q_{\psi\upsilon\chi\eta\varsigma} = Q \times C_p \times \rho \times \Delta T_i \quad (20)$$

Όπου: C_p, ειδική θερμότητα αέρα ίση με 1.012 J/ kg/ K

ρ, πυκνότητα αέρα ίση με 1,25 kg/m³

ΔT_i, διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα ίση με 6,736 K

Επομένως, Qψύξης = 497 MJ/h και Qνερό = 198,8 l/h = 0,1988 m³/h

Τέλος, ο αριθμός των ανεμιστήρων είναι ίδιος με το δυναμικό εξαερισμό δηλαδή 33. Έχουν διάμετρο 1m, μήκος πλαισίου 1,25m και τοποθετούνται ανά 6,33m με ισχύ P = 687,5 W.

2.2.3. Εξοπλισμός Για Μείωση Απωλειών Θέρμανσης-Ψύξης

Η μείωση των απωλειών της θέρμανσης και της ψύξης μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον εξοπλισμό που ακολουθεί:

2.2.3.1. Θερμοκουρτίνα Σκίασης

Η θερμοκουρτίνα είναι η πιο αποτελεσματική μέθοδος μόνωσης του θερμοκηπίου. Κατασκευάζεται από ειδικά φύλλα αλουμινίου πάχους 40μm, τα οποία διαθέτουν πολύ υψηλή διαφάνεια. Τοποθετείται εσωτερικά του θερμοκηπίου, παράλληλα στο έδαφος, ανάμεσα στην οροφή και την καλλιέργεια, ενώ έχει σπές για την διαφυγή των υδρατμών προς την οροφή. Μπορεί να τοποθετηθεί και στα πλαϊνά τοιχώματα του θερμοκηπίου για μεγαλύτερη μόνωση, ενώ η χρήση της πραγματοποιείται με αυτοματοποιημένο σύστημα στηριζόμενο σε ηλεκτροκινητήρες. Το κόστος αγοράς επίπεδης θερμοκουρτίνας είναι 160,00€ για διαστάσεις 2,5m×420m και πάχος 40μm (πλαστικά Κρήτης), άρα για δέκα στρεμματα θερμοκηπίου το κόστος της φτάνει τα 1.400€.

Χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι (ιδιαίτερα τις μεσημβρινές ώρες) ώστε να αντανakλάται το φως του ήλιου και να παραμένει η θερμοκρασία εσωτερικά χαμηλή και κατά τη διάρκεια της νύχτας το χειμώνα, για τη διατήρηση της θερμοκρασίας κατά τη θέρμανση. Κατορθώνει έτσι το χειμώνα να περιορίσει τις θερμικές απώλειες (έως 50% σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος), να μειώσει

το χώρο θέρμανσης στο θερμοκήπιο και να αποφευχθεί η συμπύκνωση υδρατμών και η μετέπειτα πτώση τους στα φύλλα των φυτών.

2.2.3.2. Διπλή Στρώση Υλικού Κάλυψης

Η τοποθέτηση της διπλής στρώσης από το υλικό κάλυψης πραγματοποιείται εξαρχής, όταν τοποθετείται το υλικό κάλυψης στο πρώιμο στάδιο κατασκευής του θερμοκηπίου. Είτε πρόκειται για πλαστικό είτε για γυάλινο υλικό κάλυψης η διπλή στρώση κατορθώνει να εξοικονομήσει έως 40% θερμότητα στο θερμοκήπιο, καθώς υπάρχει μειωμένη θερμοπερατότητα. Η μεταξύ απόσταση των δύο στρώσεων κυμαίνεται από 3 έως 10 εκατοστά και επιτυγχάνεται διοχετεύοντας αέρα υπό πίεση με τη χρήση αεραντλίας μικρής ισχύος. Στα αρνητικά της χρήσης αυτής της μεθόδου είναι η μείωση της περατότητας του φωτός έως 10% στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

2.2.4. Εξοπλισμός για Ρύθμιση Σχετικής Υγρασίας

Η σχετική υγρασία πρέπει να διατηρείται σε συγκεκριμένα επίπεδα αναλόγως το φυτό, ώστε να μένει σταθερή η λειτουργία της διαπνοής και για να αποφευχθεί η ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών. Η μέτρηση της αυτοματοποιείται με ψηφιακό υγρόμετρο στο χώρο του θερμοκηπίου, το οποίο διαθέτει ειδικούς αισθητήρες και μπορεί να δείχνει άμεσα την υπάρχουσα υγρασία στον υπολογιστή.

2.2.4.1. Ρύθμιση χαμηλής σχετικής υγρασίας

Η αύξηση της σχετικής υγρασίας πραγματοποιείται με σύστημα υδρονέφωσης υψηλής πίεσης, το οποίο κατορθώνει να επαναφέρει τη σχετική υγρασία στα επιθυμητά επίπεδα. Το σύστημα λειτουργεί ψεκάζοντας νερό σε μορφή πολύ μικρών σταγονιδίων (5microns) στο χώρο του θερμοκηπίου δημιουργώντας τεχνητή ομίχλη. Το μέγεθος των σταγόνων επιδιώκεται να είναι αμελητέο, καθώς έτσι προλαβαίνουν να εξατμιστούν έως ότου φτάσουν το φυτό, αποφεύγοντας με αυτόν τον τρόπο την υγραποίηση στις επιφάνειες των φύλλων.

Το αποτέλεσμα είναι η απορρόφηση της θερμότητας καθώς τα σταγονίδια εξατμίζονται και η αύξηση της σχετικής υγρασίας με παράλληλη μείωση της θερμοκρασίας. Ακόμα, βοηθάει στην απομάκρυνση των εντόμων, στην καλή κυκλοφορία του αέρα και στον περιορισμό της

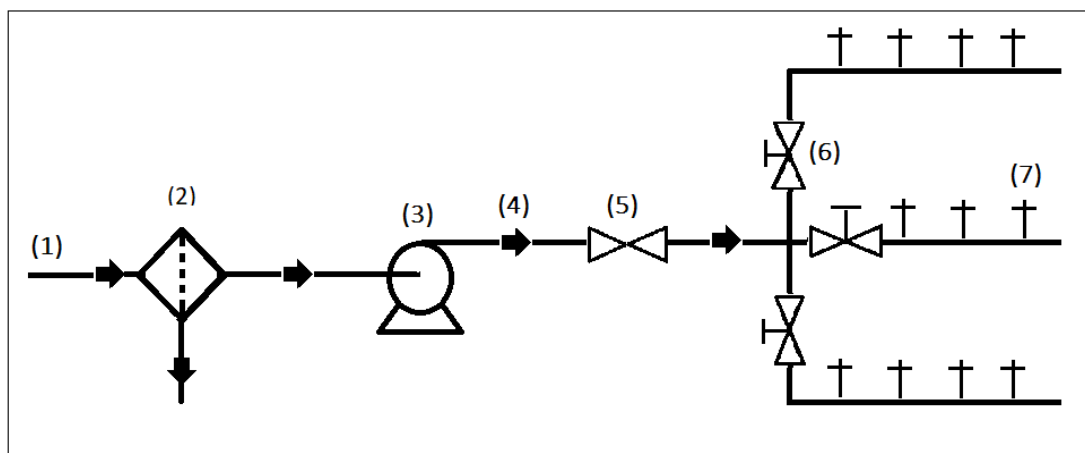
σκόνης, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την λίπανση προσθέτοντας στο νερό που ψεκάζεται τα απαραίτητα χημικά.

Βασικό πλεονέκτημα του συστήματος υδρονέφωσης είναι η οικονομική του τιμή και η εύκολη εγκατάσταση σε κάθε τύπο θερμοκηπίου, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα τη ρύθμιση δύο παραγόντων, τη μείωση της θερμοκρασίας και την αύξηση της σχετικής υγρασίας.

Η λειτουργία του ξεκινάει με την εισαγωγή νερού το οποίο πρώτα περνάει από ειδικά φίλτρα επεξεργασίας νερού, ώστε να απαλλαγεί από το ασβέστιο και τα άλατα για την αποφυγή συσσώρευσης αλάτων στους σωλήνες και τα ακροφύσια. Έπειτα, προωθείται με σωλήνα σε αντλία υψηλής πίεσης, που το θέτει υπό πίεση και μέσω ειδικού σωλήνα υψηλής πίεσης τροφοδοτεί τα ακροφύσια (μπεκ), τα οποία είναι διασκορπισμένα σε απόσταση ενός μέτρου μεταξύ τους κατά μήκος του σωλήνα.

Στο ενδιάμεσο μεταξύ της αντλίας και των μπεκ τοποθετείται βαλβίδα αποστράγγισης για την αποφυγή διαρροής νερού, όταν το σύστημα είναι απενεργοποιημένο, ενώ όλη η διαδικασία μπορεί να ελεγχθεί μέσω κεντρικού υπολογιστή.

Οι σωλήνες με τα ακροφύσια τοποθετούνται εναερίως πάνω από τις σειρές της καλλιέργειας και απλώνονται κατά μήκος του θερμοκηπίου, στηριζόμενοι στους στύλους από το σκελετό. Τα μπεκ έχουν μεταξύ τους. Η ταυτόχρονη λειτουργία του συστήματος εξαερισμού είναι απαραίτητη κατά τη διάρκεια του ψεκασμού.



Εικόνα 7: Διάγραμμα Ροής Συστήματος Υδρονέφωσης Υψηλής Πίεσης

Ο βασικός εξοπλισμός ενός συστήματος υδρονέφωσης υψηλής πίεσης φαίνεται στο διάγραμμα ροής της εικόνας 7 και είναι:

1. Σωλήνας τροφοδοσίας νερού
2. Φίλτρα καθαρισμού νερού
3. Αντλία υψηλής πίεσης (70-100bar)

4. Σωλήνας υψηλής πίεσης αντοχής έως 120bar
5. Βαλβίδα αποστράγγισης
6. Ρυθμιστική βαλβίδα
7. Ακροφύσια ψεκασμού (μπεκ)

Το κόστος εγκατάστασης, συντήρησης και λειτουργίας είναι μικρό και πολύ πιο οικονομικό από τη χρήση ανεμιστήρα ή κάποιου άλλου συστήματος ύγρανσης.

Μία μέση τιμή στην αγορά είναι 40€/10m σωλήνα (10 μπεκ), άρα στο θερμοκήπιο που σχεδιάζουμε θα χρειαστούμε 3.750m σωληνώσεων μπεκ με τελικό κόστος 15.000€. Η αντλία υδρονέφωσης υψηλής πίεσης κοστίζει 1.200€ με παροχή νερού 6lt/sec (21,6 m³/h) και ισχύς 1,25kW (κατασκευαστής Hydrocooling). Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης υπολογίζεται 18.000€.

2.2.4.2. Ρύθμιση Υψηλής Σχετικής Υγρασίας

Ο παραδοσιακός και πιο οικονομικός τρόπος ρύθμισης της υψηλής σχετικής υγρασίας είναι είτε με χρήση του συστήματος θέρμανσης, είτε με το σύστημα εξαερισμού, είτε με συνδυασμό των δύο. Η επιλογή της εκάστοτε μεθόδου εξαρτάται από την θερμοκρασία που επικρατεί στο εξωτερικό του θερμοκηπίου. Έτσι, όταν επικρατεί ζέστη ανοίγει ο εξαερισμός, ενώ όταν επικρατεί κρύο επιλέγεται η λύση της θέρμανσης.

Ωστόσο οι παραπάνω μέθοδοι δεν επιτυγχάνουν την ακριβή ρύθμιση της υγρασίας και την μείωση της στα επιθυμητά επίπεδα, ενώ η εξάρτηση της από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες είναι αρκετά δεσμευτική.

Για αυτό έχουν αναπτυχθεί προηγμένα συστήματα αφύγρανσης με χρήση αφυγραντήρων οι οποίοι καταφέρνουν να χαμηλώσουν την τιμή της σχετικής υγρασίας στα επιθυμητά επίπεδα. Η λειτουργία τους βασίζεται στην απορρόφηση αέρα από την ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου, τον οποίο υγροποιούν σε υδρατμούς. Στη συνέχεια επιστρέφουν θερμό αέρα στο χώρο του θερμοκηπίου και αποβάλλουν νερό, το οποίο μπορεί να προωθηθεί με σωλήνα στη δεξαμενή αποθήκευσης για επαναχρησιμοποίηση του.

Συμβάλλουν με αυτόν τον τρόπο πέρα από τη μείωση της σχετική υγρασίας και στην θέρμανση του θερμοκηπίου. Έτσι, το χειμώνα μπορούν να λειτουργούν παράλληλα με το σύστημα θέρμανσης για καλύτερα αποτελέσματα.

Το καλοκαίρι από την άλλη μεριά, προτείνεται η ταυτόχρονη λειτουργία των ανεμιστήρων, για την ομαλότερη κυκλοφορία του αέρα και την καλύτερη τροφοδοσία του

αφυγραντήρα, με τον φυσικό αερισμό κλειστό καθ'όλη τη διάρκεια (παράθυρα οροφής και πλαϊνά).

Πίνακας 21			
Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αφυγραντήρων			
Λειτουργία	Πρότυπη Μονάδα	Μονάδα Θερμού Κλίματος	Μονάδα Μικρής Έκτασης
Ροή Αέρα (m ³ /min)	0,37	0,40	0,12
Συμπύκνωση Νερού (lit/hr)	45	49	11
Συμπύκνωση Νερού ανά kw (lit/kw)	4,54	4,09	4,05
Κατανάλωση Ρεύματος (kw/h)	10	12	2,8
Έκταση Θερμοκηπίου (στρ)	≤ 3,7	≤ 3,7	≤ 1
Διαστάσεις Μονάδα (m × m)	0.93 × 2.32	0,97 × 2,35	0.92 × 1.37
Θερμοκρασία Λειτουργίας (°C)	10 – 25	10 – 40	10 – 25

Όπως φαίνεται από τον πίνακα 21 με στοιχεία από την εταιρεία Bellpark Horticulture υπάρχουν διάφοροι τύποι αφυγραντήρων με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Τα πιο σημαντικά κριτήρια για την επιλογή από τον παραγωγό είναι το κόστος αγοράς, τα στρέμματα που πρέπει να καλύψει και η κατανάλωση ρεύματος.

Ακόμα, προσοχή πρέπει να δοθεί στο σημείο τοποθέτησης τους ώστε να καλύπτει όλο τον χώρο του θερμοκηπίου. Σε μικρού τύπου θερμοκήπια που δεν απαιτείται παραπάνω από μία μονάδα, το ιδανικό σημείο τοποθέτησης είναι στο κέντρο του θερμοκηπίου, ώστε να καλύπτει περιμετρικά τον χώρο, ενώ αν απαιτούνται περισσότερες τοποθετούνται σε ίση απόσταση μεταξύ τους στο μέσο και κατά μήκος του θερμοκηπίου.

Στο θερμοκήπιο στην Ιεράπετρα θα εγκατασταθούν αφυγραντήρες της εταιρείας Puredry με δυνατότητα αφύγρανσης 210lt/24h και κατανάλωση ρεύματος 1.830W έκαστος. Για την κάλυψη των 10 στρεμμάτων θα εξοπλιστούν 12 αφυγραντήρες με συνολικό κόστος 28.000€.

2.2.5. Εμπλουτισμός με CO₂

Ο εμπλουτισμός με CO₂ είναι μία διαδικασία αερολίπανσης. Πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της ημέρας και ιδιαίτερα τις πρωινές ώρες. Ο φυσικός εξαερισμός κατά τη διάρκεια

του εμπλουτισμού πρέπει να είναι κλειστός, ενώ το σύστημα των ανεμιστήρων καλό είναι να είναι ανοιχτός για την καλύτερη κίνηση του αέρα.

Έτσι, ο χειμώνας αποτελεί ιδανική περίοδο για τον εμπλουτισμό του θερμοκηπίου, καθώς ο φυσικός εξαερισμός μένει κλειστός για μεγάλο χρονικό διάστημα, με τους μήνες από Νοέμβριο μέχρι Απρίλιο να κρίνονται οι πιο αποτελεσματικοί για την εφαρμογή του.

Η ιδανικότερη τιμή CO₂ στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι τα 1.300ppm. Για να επιτευχθεί έχει υπολογιστεί ότι απαιτείται παροχή 5,0-6,0 kg CO₂/ ώρα/ στρ. σε ένα γυάλινο θερμοκήπιο και αντιστοίχως 2,5-3,5 kg CO₂/ ώρα/ στρ. σε ένα θερμοκήπιο με διπλή κάλυψη πολυαιθυλενίου. Τα υψηλότερα όρια απαιτούνται σε ηλιόλουστες ημέρες ή σε καλλιέργεια που υπάρχει πλήρης ανάπτυξη των φυτών, ενώ τα κατώτερα σε νεφοσκεπείς.

Οι δύο πιο διαδεδομένοι τρόποι εμπλουτισμού του θερμοκηπίου με CO₂ είναι με εξάτμιση υγρού CO₂ ή με καύση υδρογονανθράκων.

2.2.5.1. Εξάτμιση υγρού CO₂

Σε αυτή τη μέθοδο το CO₂ είναι αποθηκευμένο σε ειδική δεξαμενή εξωτερικά του θερμοκηπίου και σε πίεση 2.100 KPa. Η δεξαμενή που απαιτείται είναι είτε οριζόντιου τύπου με μικρή χωρητικότητα που κυμαίνεται από 6.000-30.000kg διοξείδιο του άνθρακα είτε κατακόρυφου τύπου με μεγάλη χωρητικότητα 50.000kg.

Το υγρό διοξείδιο του άνθρακα μετατρέπεται σε αέριο προτού διοχετευτεί στο δίκτυο διανομής με εγκατεστημένο εξαερωτήρα στην έξοδο της δεξαμενής. Στη συνέχεια μέσω βαλβίδας εκτόνωσης πίεσης προωθείται στο χώρο του θερμοκηπίου μέσω δικτύου σωληνώσεων. Κατά μήκος του δικτύου σε κάθε διακλάδωση τοποθετούνται μετρητές παροχής και πίεσης, ρυθμιστικές βαλβίδες ροής, αισθητήρες αυτόματης διακοπής της παροχής (σε περίπτωση βλάβης).

Το δίκτυο σωληνώσεων μπορεί να τοποθετηθεί είτε επιδαπέδια παράλληλα στις σειρές φύτευσης, είτε σε μεταβαλλόμενο ύψος ανάμεσα στα φυτά, είτε εναερίως στην οροφή του θερμοκηπίου (το CO₂ είναι κατά 53% πιο βαρύ από τον ατμοσφαιρικό αέρα). Οι σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται είναι από πλαστικό υλικό (πολυαιθυλένιο ή PVC) με διάμετρο 6 – 12 mm. Σε διαστήματα 30-50cm έχουν οπές διαμέτρου 0,1 – 1mm από όπου διοχετεύεται το CO₂ στο θερμοκήπιο. Το συνολικό κόστος εγκατάστασης για θερμοκήπιο δέκα στρεμμάτων εκτιμάται στα 20.000€.

Για την σωστή ανθρακολίπανση προηγείται η ασφαλής καταμέτρηση του διαθέσιμου CO₂ με έναν ειδικό μετρητή-αναλυτή που ονομάζεται IRGAs (Infrared Gas Analyzers), ο οποίος

καταγράφει με μεγάλη ακρίβεια το υπάρχον CO₂. Λειτουργεί με αισθητήρα υπέρυθρου, διπλού μήκους κύματος. Τοποθετείται κοντά στην καλλιέργεια και πιο συγκεκριμένα σε μέρη όπου τα φυτά φωτίζονται περισσότερο από τον ήλιο. Στη συνέχεια συνδέεται με το σύστημα παροχής CO₂ ρυθμίζοντας άμεσα το διαθέσιμο CO₂, αυτοματοποιώντας τη διαδικασία.

2.2.5.2. Καύση Υδρογονανθράκων

Η καύση υδρογονανθράκων πλεονεκτεί της εξάτμισης υγρού CO₂ καθώς είναι πιο οικονομική σαν μέθοδος και παράγει ταυτόχρονα θερμότητα. Αποτελεί έτσι την πιο διαδεδομένη μέθοδο ανθρακολίπανσης παγκοσμίως.

Μειονεκτεί ωστόσο καθώς δημιουργούνται τοξικά υποπροϊόντα (για τα φυτά και για τον άνθρωπο) είτε λόγω ατελούς καύσης είτε λόγω ύπαρξης τους στο καύσιμο και διοχέτευσης τους κατά τη διαδικασία της καύσης.

Για την καλύτερη δυνατή εξάλειψη των ανεπιθύμητων ρύπων πρέπει να επιλέγεται για την καύση καυστήρας κλειστού τύπου τέλειας καύσης. Αποτέλεσμα της τέλειας καύσης είναι το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό. Αυτού του τύπου ο καυστήρας διαθέτει ειδικό φίλτρων καυσαερίων και η παροχή του απαραίτητου οξυγόνου γίνεται από το εξωτερικό αέρα του θερμοκηπίου με ειδικό σωλήνα. Σημαντικό σε αυτή την περίπτωση είναι η σωστή συντήρηση του καυστήρα για την αποφυγή δημιουργίας ατελούς καύσης.

Τα κυριότερα καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι φυσικό αέριο και προπάνιο. Η αποθήκευση των καυσίμων γίνεται σε ειδική δεξαμενή στο χώρο της αποθήκης και ο έλεγχος της παροχής γίνεται με ένα σύστημα σωλήνων και ρυθμιστικών βαλβίδων.

Οι καυστήρες τοποθετούνται απευθείας στο χώρο του θερμοκηπίου είτε ψηλά στην οροφή είτε σε βάσεις μισό μέτρο πάνω από το έδαφος. Διαθέτουν ενσωματωμένο μετρητή του διαθέσιμου CO₂ και αισθητήρα που ειδοποιεί για το άνοιγμα του εξαεριστήρα ή των παραθύρων, αυτοματοποιώντας τη λειτουργία τους. Ακόμα έχουν ανεμιστήρα στην έξοδο τους για τη διοχέτευση του διοξειδίου του άνθρακα στο θερμοκήπιο.

Ο αριθμός των καυστήρων που χρησιμοποιούνται είναι πάνω από ένας, καθώς το CO₂ δεν καλύπτει μεγάλη απόσταση μέσω της διάχυσης και εξαρτάται από το πλάτος και το μήκος του θερμοκηπίου. Ενδεικτικά για παραγωγή 60kg CO₂/h σε δέκα στρέμματα γυάλινου θερμοκηπίου απαιτείται κατανάλωση 33,33m³/h φυσικού αερίου ή 33,33L/h προπανίου (πίνακας 23). Προτείνεται ο καυστήρας αερίου της εταιρείας Joannes (JM 6) με ισχύ 66,6kW και κατανάλωση καυσίμου 2,86-7,05 m³/h. Επομένως χρειάζονται 5 τέτοιου είδους καυστήρες, με τιμή 600€/unit, δηλαδή συνολικό κόστος 3.000€.

Το παραγόμενο νερό από την τέλεια καύση αποβάλλεται με τη μορφή υδρατμών μαζί με τα καυσαέρια στο χώρο του θερμοκηπίου αυξάνοντας την σχετική υγρασία, για αυτό χρειάζεται προσεκτική εφαρμογή του εμπλουτισμού. Επίσης σημαντικός παράγοντας είναι η τιμή της κατώτερης θερμογόνου δύναμης του καυσίμου, η οποία αποδίδει θερμότητα στο θερμοκήπιο.

Σύμφωνα με στοιχεία του Υπουργείου Γεωργίας, Τροφίμων και Αγροτικών Υποθέσεων του Οντάριο του Καναδά, με βάση το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου παρουσιάζεται η αντίστοιχη κατανάλωση για την διατήρηση των επιπέδων CO₂ στα 1.300ppm. Ακόμα, παρουσιάζονται ορισμένα χαρακτηριστικά των δύο καυσίμων για την καλύτερη σύγκριση τους όπως φαίνεται στον πίνακα 22:

Πίνακας 22				
Ιδιότητες Καυσίμων για Παραγωγή CO₂				
Χαρακτηριστικά		Καύσιμο		
		Φυσικό Αέριο (m³)	Προπάνιο (L)	
Υλικό Κάλυψης	Γυαλί	KW/στρ.	30,00 - 36,00	20,00 - 24,00
		μ.μ./στρ./hr	2,80 - 3,40	2,80 - 3,40
	Πλαστικό	KW/στρ.	15,0 - 18,0	10,00 - 12,00
		μ.μ./στρ./hr	1,40 - 1,70	1,40 - 1,70
kg CO₂/ μ.μ. Καυσίμου			1,80	1,80
Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη MJ/kg			42,47	46,36
Αναλογία Παραγόμενης Ποσότητας CO₂ προς			1:2	3:4
Παραγόμενη Ποσότητα Υδρατμών				
Τιμή			0,17 €/m ³	0,68 €/L

Παρατηρούμε ότι η ωριαία κατανάλωση καυσίμου για τον εμπλουτισμό με CO₂ σε ένα γυάλινο θερμοκήπιο είναι σχεδόν η διπλάσια από ότι σε ένα θερμοκήπιο καλυμμένο με πλαστικό, ενώ παράλληλα απαιτούνται καυστήρες με υψηλότερα Kw. Η αυξημένη ποσότητα CO₂ που απαιτείται σε ένα θερμοκήπιο από γυαλί συμβαίνει καθώς τα επίπεδα CO₂ είναι χαμηλά λόγω των μειωμένων εναλλαγών αέρα (καλύτερη στεγανότητα γυαλιού).

Ακόμα, το προπάνιο συγκριτικά με το φυσικό αέριο φαίνεται πιο συμφέρον καθώς καταναλώνεται μικρότερη ποσότητα για την παραγωγή ίδιας ποσότητας CO₂, ενώ ταυτόχρονα χρειάζεται καυστήρα με χαμηλότερη κατανάλωση ρεύματος. Επιπλέον, έχει μεγαλύτερη

θερμογόνο δύναμη, δηλαδή αποδίδει περισσότερη θερμότητα στο θερμοκήπιο και δημιουργεί λιγότερους υδρατμούς. Το αρνητικό του είναι η υψηλή τιμή του.

2.2.5.3. Επιλογή Συστήματος Εμπλουτισμού CO₂

Για την επιλογή του πιο οικονομικά συμφέρον συστήματος θα υπολογίσουμε το ετήσιο κόστος παραγωγής CO₂ στο θερμοκήπιο που σχεδιάζουμε.

Θεωρούμε εφταήμερη και 4ώρη λειτουργία του συστήματος για το διάστημα από Νοέμβριο έως Απρίλιο, η οποία ξεκινάει στις 10 το πρωί και τελειώνει στις 2 το μεσημέρι (181 ημέρες, 724h/year).

Αρχικά διερευνούμε το ημερήσιο κόστος ανά στρέμμα για ένα γυάλινο θερμοκήπιο στην περίπτωση μίας ηλιόλουστης ημέρας και στην περίπτωση μίας συννεφιασμένης (Υπουργείο Γεωργίας, Τροφίμων και Αγροτικών Υποθέσεων Οντάριο Καναδά). Έτσι διαμορφώνεται ο πίνακας 23:

Πίνακας 23

Ημερήσιο Κόστος Παραγωγής CO₂ σε ένα Στρέμμα Γυάλινου Θερμοκηπίου

Πρώτη Υλη	Κόστος Πρώτης Υλης	Ηλιόλουστη Ημέρα				Νεφελώδης Ημέρα			
		Kg CO ₂ / ώρα/ στρ.	Ποσότητα Πρώτης Υλης	Κόστος Παραγωγής CO ₂ €/ hr	Ημερήσιο Κόστος (4h)	Kg CO ₂ / ώρα/ στρ.	Ποσότητα Πρώτης Υλης	Κόστος Παραγωγής CO ₂ €/ hr	Ημερήσιο Κόστος (4h)
Υγρό CO ₂	0,14 €/ kg	6,00	6,00 kg	0,83	3,32 €/day	5,00	5,00 kg	0,69	2,76 €/ day
Φυσικό Αέριο	0,17 €/m ³	6,00	3,34 m ³	0,55	2,2 €/ day	5,00	2,78 m ³	0,46	1,84 €/day
Προπάνιο	0,68 €/ L	6,00	3,34 L	2,25	9,00 €/ day	5,00	2,78 L	1,88	7,52 €/ day

Διαπιστώνεται ότι και στις δύο περιπτώσεις η πιο οικονομική επιλογή είναι το φυσικό αέριο, στη συνέχεια το υγρό διοξείδιο του άνθρακα και τελευταίο το προπάνιο. Έτσι, το φυσικό αέριο, σε συνδυασμό με την υψηλή θερμογόνο δύναμη που διαθέτει, αποτελεί την πιο ανταγωνιστική επιλογή. Μεταξύ ηλιόλουστης και συννεφιασμένης ημέρας το κόστος του εμπλουτισμού είναι υψηλότερο για την ηλιόλουστη, παρόλα αυτά η διαφορά τους δεν είναι πολύ σημαντική, αφού κυμαίνεται από 0,36 έως 1,48 ευρώ ημερησίως.

Στη συνέχεια με βάση τις ηλιόλουστες και συννεφιασμένες μέρες που παρατηρούνται τους μήνες από Νοέμβριο έως Απρίλιο σύμφωνα με τη βάση δεδομένων της ΕΜΥ για την

περιοχή της Ιεράπετρας, υπολογίζεται το ετήσιο κόστος εμπλουτισμού για τα δέκα στρέμματα θερμοκηπίου ανά καύσιμο. Το μηνιαίο κόστος διαμορφώνεται ως εξής:

Μηνιαίο Κόστος = (Ημερήσιο Κόστος Ηλιόλουστης Ημέρας × Αριθμός Ηλιόλουστων Ημερών) + (Ημερήσιο Κόστος Νεφελώδους Ημέρας × Αριθμός Νεφελώδων Ημερών) €/mo

Πίνακας 24

Ετήσιο Κόστος Παραγωγής CO₂ σε Γυάλινο Θερμοκήπιο στην Ιεράπετρα

		Μήνας						Κόστος Καυσίμων €/year /στρ	Κόστος Καυσίμων €/year /10στρ
		Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μάρ	Απρ		
Ηλιόλουστες Ημέρες		5,8	4,0	3,8	3,8	5,2	9,1		
Νεφελώδεις Ημέρες		24,2	27,0	27,2	24,4	25,8	20,9		
Μηνιαίο	Υγρό CO ₂	86,05	87,80	87,69	79,96	88,47	87,90	520,00	5.200,00
Κόστος €/mo	Φυσικό	57,29	58,48	58,41	53,26	58,91	58,48	340,00	3.400,00
	Αέριο Προπάνιο	234,18	239,04	238,74	217,69	240,82	239,07	1.400,00	14.000,00

Διαπιστώνεται ότι η πιο οικονομική επιλογή είναι η καύση φυσικού αερίου. Επομένως το σύστημα εμπλουτισμού που θα επιλεγεί είναι η καύση υδρογονανθράκων με καύσιμη ύλη το φυσικό αέριο, συνολική κατανάλωση καυσίμου 20.300m³/year και ετήσιο κόστος 3.400€/year. Θα εγκατασταθούν πέντε καυστήρες με κατανάλωση 66,6 kW έκαστος, άρα σύνολο 333kW. Για ετήσια λειτουργία 724 ωρών θα καταναλωθούν 241.092 kW.

2.2.6. Σύστημα Άρδευσης

Το πιο αξιόπιστο σύστημα άρδευσης είναι με στάγδην άρδευση μέσω κεντρικής εγκατάστασης. Περιλαμβάνει ένα κεντρικό σημείο παροχής νερού, μία αντλία, ένα σύστημα φίλτρων, βαλβίδες ελέγχου, δίκτυο σωληνώσεων και λειτουργεί σε χαμηλές ταχύτητες ροής του νερού και χαμηλή πίεση (<1,5-2 bar)^[10].

Η διαδικασία της άρδευσης ξεκινάει με την καταμέτρηση της διαθέσιμης υγρασίας στο έδαφος. Η καταμέτρηση αυτή πραγματοποιείται με καταγραφικό αισθητήρων εδαφικής υγρασίας, το οποίο πέρα από την υγρασία μπορεί να μετρήσει την θερμοκρασία και την αγωγιμότητα του εδάφους.

Οι αισθητήρες τοποθετούνται δίπλα στη ρίζα του φυτού, σε βάθος έως 60 εκατοστά και ιδανικά στο σημείο όπου οι ρίζες είναι πιο πυκνές. Τα δεδομένα που συλλέγουν

αποστέλλονται ασύρματα στον κεντρικό υπολογιστή, ο οποίος ενεργοποιεί ή όχι το σύστημα άρδευσης.

Τα δύο όρια στα οποία το σύστημα λειτουργεί είναι βάση της υδατοϊκανότητας του εδάφους, η οποία έχει υπολογιστεί εργαστηριακά. Όταν η διαθέσιμη υγρασία του εδάφους φτάσει στο 50% της υδατοϊκανότητας τότε το σύστημα άρδευσης ενεργοποιείται, ενώ όταν φτάσει στο 100% της υδατοϊκανότητας σταματάει τη λειτουργία του.

Το νερό ξεκινάει από το κεντρικό σημείο παροχής και οδηγείται μέσω κεντρικού σωλήνα μεγάλης διαμέτρου στο χώρο του θερμοκηπίου. Η κεντρική σωλήνωση είναι από PVC ή πολυαιθυλένιο, τοποθετείται υπογείως και οριζόντια στη νότια πλευρά του θερμοκηπίου. Οι δευτερεύουσες σωληνώσεις στις οποίες διακλαδίζεται τοποθετούνται υπέργεια κατά μήκος των φυτών ανάμεσα στις σειρές φύτευσης και είναι επίσης από PVC ή πολυαιθυλένιο με μικρότερη διάμετρο. Ανά διαστήματα, σε απόσταση όση έχουν τα φυτά μεταξύ τους, συνδέονται με ένα πολύ λεπτό και μικρό σε μήκος λάστιχο (0.15-0.20 mm) από LDPE (πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας) το οποίο καταλήγει στο ακροφύσιο, τον σταλάκτη ή τον ψεκαστή χαμηλής πίεσης. Ο σταλάκτης ή ο ψεκαστής κατευθύνουν το νερό απευθείας στη ρίζα του κάθε φυτού, ελαχιστοποιώντας τις απώλειες και κατορθώνοντας μία πιο αποτελεσματική άρδευση.

Για ομοιομορφία στην άρδευση πιο κατάλληλοι είναι σταλάκτες κλειστού τύπου αυτορυθμιζόμενης πίεσης (0,5 – 15,0 L/ hr), οι οποίοι κλείνουν αυτόματα στο τέλος της άρδευσης. Με αυτό τον τρόπο δεν συνεχίζουν να στάζουν μετά το πέρας της άρδευσης, δεν εξαντλείται το νερό που βρίσκεται στις σωληνώσεις, με αποτέλεσμα να έχουν μόνιμα νερό και να ποτίζουν αμέσως μόλις ενεργοποιηθεί το σύστημα.

Ακόμα, για την αποφυγή της απόφραξης των ακροφύσιων και των αντλιών τοποθετείται συσκευή φιλτραρίσματος του νερού πριν από το δίκτυο διανομής. Η χρήση ειδικών φίλτρων απομακρύνει τα άλατα και τις βλαβερές ουσίες από το νερό, εξασφαλίζοντας την διατήρηση του συστήματος άρδευσης σε καλή κατάσταση, αλλά και την υγιή ανάπτυξη των φυτών. Τα φίλτρα που εφαρμόζονται συνήθως είναι σακόφιλτρα, φίλτρα δίσκων και σίτας.

Το νερό που παρέχεται στο σύστημα προέρχεται από τον ΤΟΕΒ (Τοπικός Οργανισμός Εγγειών Βελτιώσεων) Ιεράπετρας. Η ετήσια κατανάλωση νερού που δικαιούται ο παραγωγός είναι 600 m³/ στρ με χρέωση 0,18€/ m³. Σε περίπτωση υπέρβασης έως 50% η χρέωση είναι 0,36 €/ m³ (διπλάσια), ενώ για υπέρβαση πάνω από 50% η χρέωση είναι 0,90 €/ m³ (πενταπλάσια). Επομένως, στο θερμοκήπιο των δέκα στρεμμάτων πρέπει να γίνει προσεκτική κατανάλωση έως 6.000 m³/ year.

Στις περισσότερες περιπτώσεις το νερό από το τοπικό δίκτυο είναι υποβαθμισμένης ποιότητας και διακόπτεται η παροχή του για μεγάλα διαστήματα σε ώρες αιχμής τους καλοκαιρινούς μήνες, λόγω παρατεταμένης λειψυδρίας. Για την αδιάκοπη παροχή νερού, για το σεβασμό προς το περιβάλλον αλλά και για το οικονομικό όφελος που θα προκύψει, τοποθετείται εξωτερικά από το θερμοκήπιο μεταλλική δεξαμενή αποθήκευσης νερού, στην οποία συγκεντρώνεται άπευθείας το βρόχινο νερό.

Ακόμα, τοποθετούνται στη στέγη του θερμοκηπίου στο τέλος κάθε υδροροής σωληνώσεις συλλογής νερού οι οποίες το οδηγούν στη δεξαμενή. Στην δεξαμενή επίσης καταλήγει το νερό από τους αφυγραντήρες που είναι εγκατεστημένοι στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

Η δεξαμενή είναι μεταλλική με αντιδιαβρωτική επικάλυψη και διαθέτει ειδική μεμβράνη κάλυψης των υδάτων, για προστασία από τις έντονες κλιματολογικές συνθήκες, την σκόνη και την υπεριώδη ακτινοβολία. Για εξοικονόμηση χώρου γίνεται εκσκαφή του εδάφους και τοποθέτηση ενός μέρους της κάτω από την επιφάνεια της γης με την δημιουργία ενός ειδικά διαμορφωμένου σκάμματος.

Το νερό της βροχής όπως και το νερό από τους αφυγραντήρες είναι πολύ καλής ποιότητας, καθώς είναι χαμηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, απαλλαγμένο από άλατα. Έτσι, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά κύριο λόγο στην άρδευση του θερμοκηπίου και έπειτα στο κεντρικό σύστημα θέρμανσης και στο σύστημα υδρονέφωσης.

Στην περιοχή της Ιεράπετρας η συνολική μέση μηνιαία βροχόπτωση για το έτος 2019 σύμφωνα με την εθνική μετεωρολογική υπηρεσία ήταν 494,1 mm. Σε μετεωρολογικούς όρους βροχή ύψους ενός χιλιοστού είναι ισοδύναμη με ένα κυβικό μέτρο ανά στρέμμα γης. Συνεπώς, στο θερμοκήπιο των δέκα στρεμμάτων το βρόχινο νερό που θα συγκεντρωθεί μόνο από την οροφή του θερμοκηπίου σε ένα έτος υπολογίζεται:

$$10.000 \text{ m}^2 \times 0,4941 \text{ m} = 4.941 \text{ m}^3 / \text{year}$$

Το νερό που θα συγκεντρωθεί κατευθείαν στην δεξαμενή (διαμέτρου 50m) από την βροχή είναι:

$$(3,14 \times 25^2) \text{ m}^2 \times 0,4941 \text{ m} = 970 \text{ m}^3 / \text{year}$$

Έτσι, αξιοποιώντας αποκλειστικά το νερό της βροχής μπορεί να συγκεντρωθεί ποσότητα $\approx 6.000 \text{ m}^3 / \text{year}$, η οποία αυξομειώνεται με βάση τις βροχοπτώσεις κάθε έτους.

Επομένως, στα δέκα στρέμματα θερμοκηπίου για την εγκατάσταση του συστήματος άρδευσης χρειάζεται η δεξαμενή αποθήκευσης χωρητικότητας 5.000 κυβικών διαμέτρου 50m, $\approx 200\text{m}$ κεντρική σωλήνωση μεγάλης διαμέτρου (PVC ή PE) από την παροχή του ΤΟΕΒ μέχρι το θερμοκήπιο και 150m εντός του χώρου του θερμοκηπίου, 3.750m δευτερευουσών

σωληνώσεων μικρής διάμετρου, 16.000 λεπτά σωληνάκια (διαμέτρου 0.15-0.20mm από LDPE) και αντίστοιχα 16.000 σταλάκτες αυτορυθμιζόμενης πίεσης.

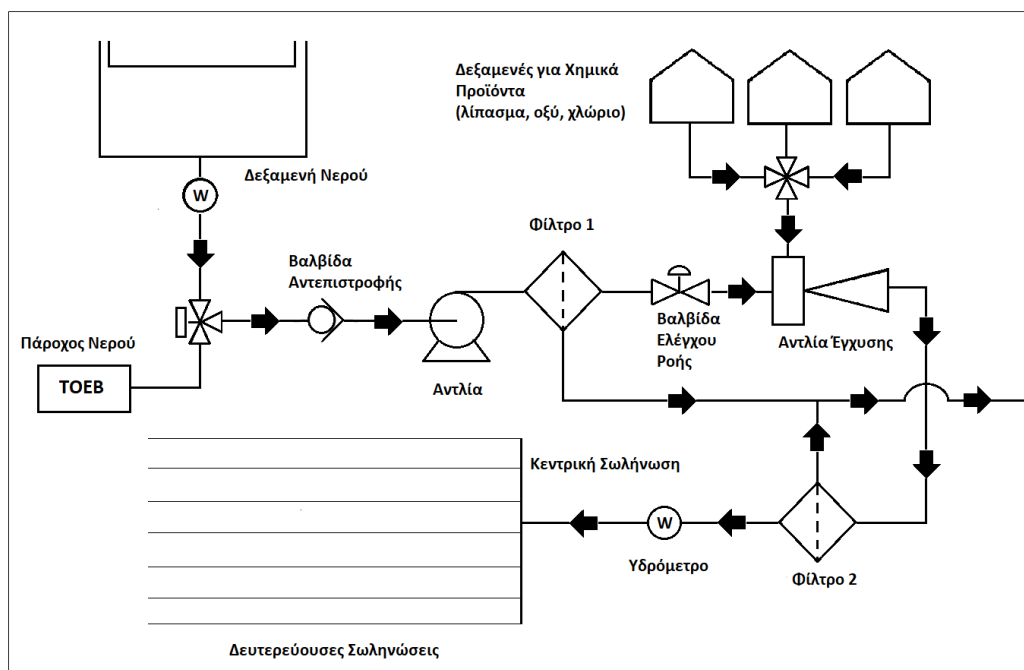
Ακόμα, απαιτούνται υδρόμετρα, τα οποία μετράνε τον όγκο του νερού που ρέει, βαλβίδα αντεπιστροφής στην αρχή του συστήματος, η οποία επιτρέπει την κίνηση του νερού μόνο προς μία κατεύθυνση, φίλτρα νερού, όπως και δεξαμενές με τα απαραίτητα χημικά προϊόντα τα οποία εισάγονται στο νερό με την αντλία έγχυσης. Η αντλία νερού που θα επιλεγεί είναι της εταιρείας Lowara με παροχή έως 72m³/h, ισχύς 2,2kW και κόστος 1.300 €.

Το συνολικό κόστος της αγορά και εγκατάστασης του αρδευτικού συστήματος σε δέκα στρέμματα θερμοκηπίου υπολογίζεται 20.000€.

Τα χημικά προϊόντα στις δεξαμενές είναι λίπασμα το οποίο προωθείται μέσω του συστήματος άρδευσης απευθείας στα φυτά, οξύ (νιτρικό και φωσφορικό) για ρύθμιση του pH του εδάφους και χλώριο για την απολύμανση του νερού από μικροοργανισμούς.

Η λίπανση του εδάφους με τα απαραίτητα ανόργανα θρεπτικά στοιχεία γίνεται μέσω του αρδευτικού συστήματος για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας και την καλύτερη κατανομή της στη ρίζα του φυτού. Η επικρατέστερη αναλογία είναι 0,5-1 gr λιπάσματος/ L αρδευτικού νερού. Η προσθήκη του λιπάσματος ξεκινάει λίγο μετά την ενεργοποίηση του συστήματος άρδευσης και διακόπτεται λίγο πριν το πέρας της λειτουργίας του.

Το πλήρες σύστημα άρδευσης στη θερμοκηπιακή μονάδα αποτυπώνεται διαγραμματικά στην εικόνα 8.



Εικόνα 8: Διάγραμμα Ροής Συστήματος Άρδευσης

2.2.6.1. Θεωρητική Εκτίμηση των Αναγκών Άρδευσης

Ένας θεωρητικός τρόπος να εκτιμηθούν οι καθαρές ανάγκες για νερό σε μία θερμοκηπιακή καλλιέργεια είναι με τον υπολογισμό της Εξατμισοδιαπνοής Καλλιέργειας ETc (Crop Evapotranspiration). Πρόκειται για τη μέγιστη ποσότητα εξατμισοδιαπνοής που μπορεί να φτάσει μια καλλιέργεια υπό ανάπτυξη, διατηρώντας παράλληλα τις υπόλοιπες συνθήκες στο βέλτιστο επίπεδο.

Γενικά, η εξατμισοδιαπνοή αφορά την συνολική ποσότητα των υδρατμών σε φυτοκαλυμμένες επιφάνειες, η οποία δημιουργείται από τη διαπνοή των φυτών και την εξάτμιση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους. Το επιφανειακό νερό στο εδάφος δημιουργείται είτε από τις βροχοπτώσεις (επιφανειακή απορροή) είτε από τον κορεσμό του εδάφους σε νερό, επιστρέφοντας το πάλι πίσω στην επιφάνεια (ενδορροή). Στο θερμοκήπιο ωστόσο δεν εισέρχεται το νερό της βροχής, ενώ το έδαφος δεν κινδυνεύει από κορεσμό καθώς ποτίζεται έως το επίπεδο της υδατοϊκανότητας του, για αυτό θεωρείται αμελητέο.

Συνεπώς, στο θερμοκήπιο η τιμή της εξατμισοδιαπνοής ταυτίζεται με την τιμή της διαπνοής των φυτών και έτσι μπορεί να υποτεθεί ότι οι απαιτήσεις σε νερό της καλλιέργειας είναι ισοδύναμες με την εξατμισοδιαπνοή.

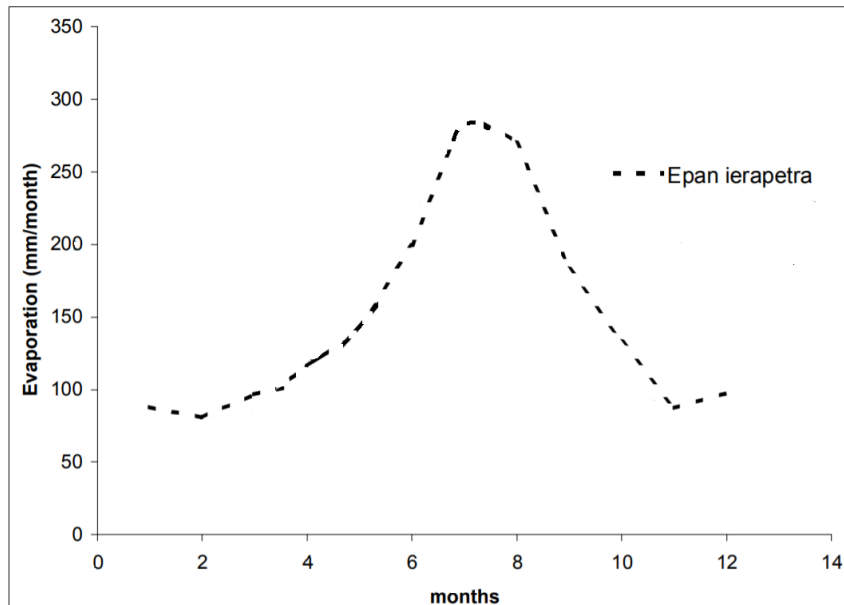
Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής ETc θα υπολογιστεί αρχικά η τιμή μίας άλλης παραμέτρου της ETc. Η ETr είναι η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας αναφοράς, δηλαδή μίας υποθετικής καλλιέργειας (με ύψος κατά προσέγγιση 0,50m), η οποία ποτίζεται επαρκώς. Προκύπτει από τον τύπο:

$$ETr = K_r \times E_{pan}, \text{ mm/ month} \quad (10)$$

Όπου: K_r , συντελεστής εξατμισιμέτρου

E_{pan} , εξάτμιση στην περιοχή που μελετάμε mm/ month

Η τιμή του συντελεστή K_r θεωρείται σταθερή και ίση με 0,85 για πεδινές περιοχές. Η μηνιαία τιμή εξάτμισης στην περιοχή της Ιεράπετρας για τους μήνες από Σεπτέμβριο μέχρι Ιούνιο αντλείται από το διάγραμμα της εικόνας 3 που ακολουθεί (Kitsara, Floros, Paraioannou, Kerkides)^[25]. Έτσι υπολογίζεται η ETr για κάθε μήνα και παρουσιάζονται αναλυτικά οι τιμές της στον πίνακα 10.



Εικόνα 3: Καμπύλη Μηνιαίας Εξάτμισης στην Ιεράπετρα

Στη συνέχεια, εφόσον βρεθεί η μηνιαία τιμή της ETr , μπορεί να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή της καλλιέργειας σύμφωνα με τον τύπο:

$$ETc = Kc \times ETr, \text{ mm/ month} \quad (11)$$

Όπου: Kc , φυτικός συντελεστής

ETr , εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας αναφοράς mm/ month

Ο συντελεστής Kc είναι ο φυτικός συντελεστής χαρακτηριστικός για κάθε καλλιέργεια και μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια ανάπτυξης του φυτού. Έχει προσδιοριστεί υπό κανονικές συνθήκες άρδευσης από τον οργανισμό FAO^[24] ότι για την καλλιέργεια της τομάτας παίρνει τις εξής τιμές: στην πρώτη φάση ανάπτυξης του φυτού $Kc_{ini}=0,2$, στην τρίτη φάση της ωρίμανσης $Kc_{mid}=1,4$ και στην τελική της συγκομιδής μετά το πέρας του χειμώνα $Kc_{end}=1$.

Η τιμή του Kc_{den} για το δεύτερο στάδιο της ανθοφορίας και οι τιμές του Kc_{end} κατά τη διάρκεια του χειμώνα θα προσδιοριστούν διαγραμματικά:

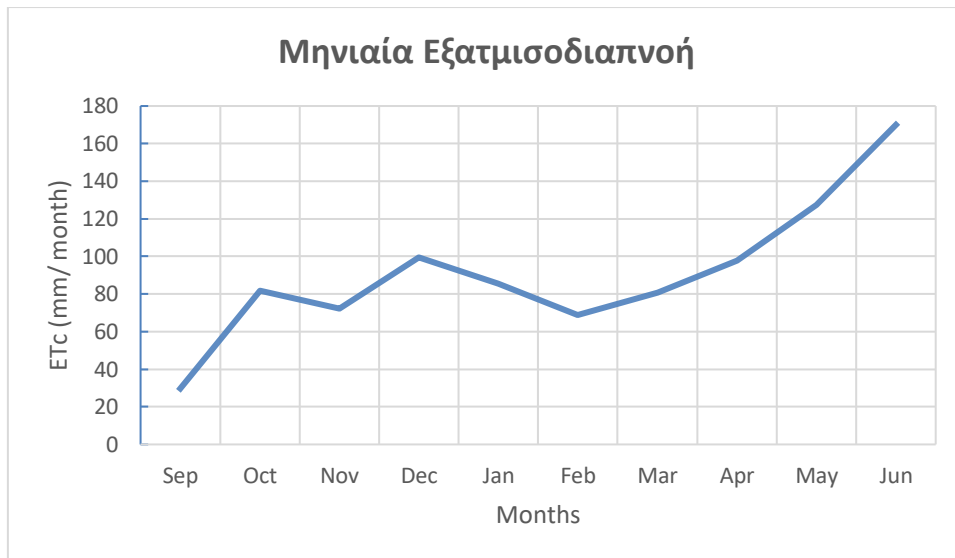


Άρα σύμφωνα με το διάγραμμα οι τιμές Kc διαμορφώνονται όπως φαίνεται στον πίνακα 10. Επομένως, γνωρίζοντας το Kc είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε την μηνιαία τιμή της εξατμισοδιαπνοής.

Πίνακας 25

Υπολογισμός Υδατικών Αναγκών για Δέκα Στρέμματα Τομάτας (Μονή Καλλιέργεια)

Περίοδος	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun
Kp	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Epan mm/ mo	175,00	130,00	85,00	95,00	90,00	80,00	95,00	115,00	150,00	200,00
ETr mm/ mo	148,75	110,50	72,25	80,75	76,50	68,00	80,75	97,75	127,50	170,00
Kc	0,2	0,74	1,4	1,23	1,12	1,01	1	1	1	1
ETc mm/ mo	29,75	81,77	72,25	99,32	85,68	68,68	80,75	97,75	127,50	170,00



Βιβλιογραφία:

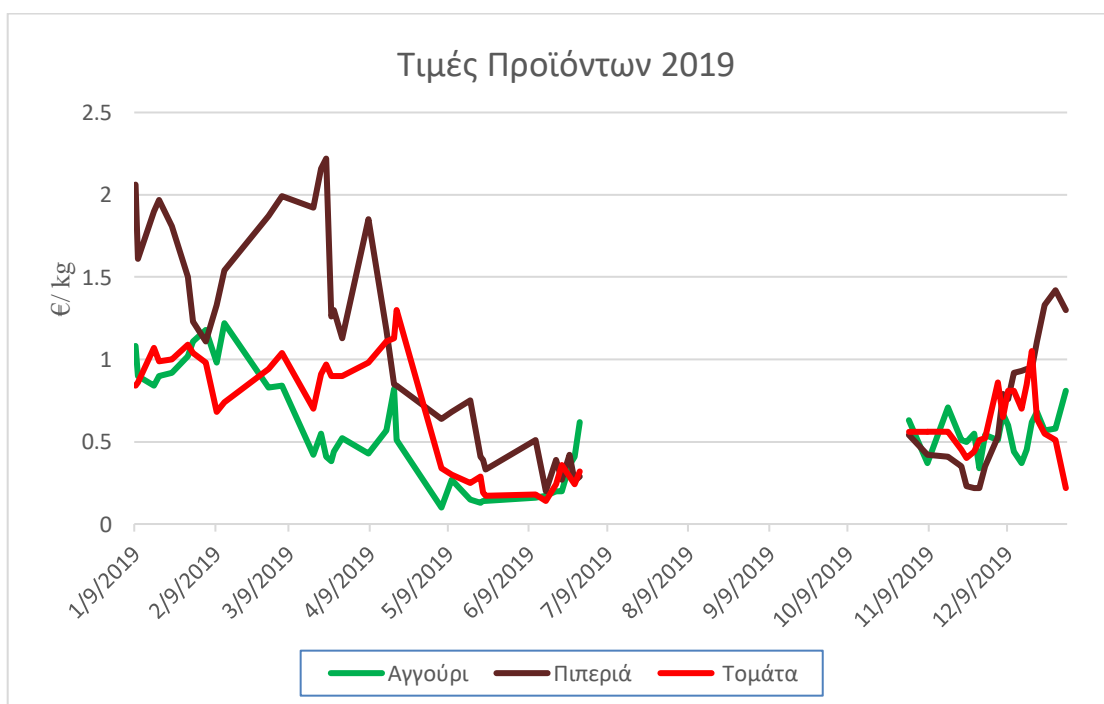
- [1] Τεχνικές Προδιαγραφές Θερμοκηπίων, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (1992)
- [2] Τεχνολογία Θερμοκηπίων, Γ. Ν. Μαυρογιαννόπουλος
- [3] Γεωργικές και Θερμοκηπιακές κατασκευές (Θεωρία), Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηπείρου
- [4] Εργαστηριακές Ασκήσεις Γεωργικών και Θερμοκηπιακών Κατασκευών, Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης, Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Σχολή Τεχνολογίας Γεωπονίας, Τμήμα Φυτικής Παραγωγής
- [5] Μελέτη και σχεδιασμός συστημάτων διανομής θερμότητας, Κατσαπρακάκης
- [6] Influence of the Heating Method on Greenhouse Microclimate and Energy Consumption T. Bartzanas¹ ; M. Tchamitchian² ; C. Kittas
- [7] Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates, Christian von Zabeltitz
- [8] Greenhouse Technology and Management, Nicolás Castilla
- [9] Εξοικονόμηση Ενέργειας Σε Θερμοκήπια Με Εμπλουτισμό CO₂
- [10] Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable crops Principles for Mediterranean climate areas, FAO PLANT PRODUCTION AND PROTECTION PAPER

3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει η οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης για τη λειτουργία του θερμοκηπίου τα πρώτα πέντε έτη. Στην αρχή θα εκτιμηθούν οι απαιτούμενες εισροές και στη συνέχεια οι εκροές, ώστε να κριθεί η βιωσιμότητα του εγχειρήματος. Στο τέλος θα γνωρίζουμε κατά πόσο ο σχεδιασμός είναι ρεαλιστικός και τι όφελος θα επιφέρει στον υποψήφιο παραγωγό.

3.1. Ταμακές Εισροές

Στο θερμοκήπιο των δέκα στρεμμάτων που σχεδιάζουμε καλλιεργούνται ένα εκ των τριών κηπευτικών: τομάτα, αγγούρι, πιπεριά. Οι τιμές των προϊόντων μας ενδιαφέρουν την περίοδο της συγκομιδής, η οποία διαδραματίζεται κατά τους μήνες από Νοέμβριο έως Ιούνιο. Οι τιμές δεν είναι σταθερές αλλά αλλάζουν βάση της προσφοράς και της ζήτησης που υπάρχει. Τις αντλούμε από το δημοπρατήριο Ιεράπετρας για το έτος 2019 και για Α ποιότητας προϊόντα. Έτσι σχηματίζεται το διάγραμμα που ακολουθεί:



Παρατηρούμε ότι η πιπεριά έχει σταθερά την υψηλότερη τιμή σε όλη τη διάρκεια του χρόνου, με δεύτερη την τομάτα και έπεται η παραγωγή του αγγουριού. Παρόλα αυτά οι τιμές

έχουν αισθητές διακυμάνσεις και στις τρεις περιπτώσεις, γεγονός που δημιουργεί ανασφάλεια στην επιλογή της ημέρας συγκομιδής και πώλησης του προϊόντος στον μεσάζοντα έμπορο. Η μέση ετήσια τιμή χονδρικής πώλησης υπολογίζεται 0,998€ για την πιπεριά, 0,668€ για την τομάτα και 0,562€ για το αγγούρι.

Για τον υπολογισμό της αναμενόμενης ετήσιας παραγωγής θα υπολογίσουμε την παραγωγικότητα των θερμοκηπίων στην Ελλάδα. Για την εύρεση της παραγωγικότητας και για πιο στοχευμένα αποτελέσματα, διαχωρίζεται η μελέτη στην παραγωγικότητα των θερμαινόμενων θερμοκηπίων και στην παραγωγικότητα των μη θερμαινόμενων. Παράλληλα, σε κάθε κατηγορία μετράται ξεχωριστά η παραγωγικότητα στην περίπτωση του γυάλινου και στην περίπτωση του πλαστικού θερμοκηπίου.

Στον πίνακα που ακολουθεί, παρατίθενται στατιστικά στοιχεία για το καλλιεργητικό έτος 2012^[1], ως προς την παραγωγή και την έκταση των θερμαινόμενων και μη θερμοκηπίων στην Ελλάδα. Υπολογίζεται σε κάθε περίπτωση η παραγωγικότητα για κάθε προϊόν ξεχωριστά και έπειτα στο σύνολο της.

Η παραγωγικότητα (mt/στρ) προκύπτει διαιρώντας τους τόνους (mt) που παρήχθησαν από το εκάστοτε κηπευτικό με τη συνολική έκταση (στρ) που αυτό καταλαμβάνει. Διαμορφώνεται επομένως ο πίνακας 26:

Πίνακας 26							
Παραγωγικότητα Θερμοκηπίων στην Ελλάδα							
Θέρμανση	Προϊόν	Γυαλί			Πλαστικό		
		Έκταση (στρ)	Παραγωγή (1.000mt)	Παρ/τα (mt/στρ)	Έκταση (στρ)	Παραγωγή (1.000mt)	Παρ/τα (mt/στρ)
Όχι	Αγγούρι	254	5,28	20,79	8.955	93,18	10,41
	Πιπεριά	83	0,72	8,63	6.269	71,13	11,35
	Τομάτα	239	2,51	10,50	13.930	164,16	11,78
Ναι	Αγγούρι	115	1,40	12,22	1.883	28,58	15,18
	Πιπεριά	119	1,57	13,19	789	4,94	6,25
	Τομάτα	622	11,20	18,01	4.252	41,17	9,68

Η πλειοψηφία των θερμοκηπίων στην Ελλάδα ωστόσο, θερμαινόμενα ή μη, δεν διαθέτουν ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου κλίματος. Πρόκειται δηλαδή είτε για μερικώς τεχνολογικά εξελιγμένα θερμοκήπια είτε για καθόλου προηγμένα. Επομένως οι τιμές

παραγωγικότητας που προέκυψαν δεν είναι ενδεικτικές για ένα πλήρως εξοπλισμένο θερμοκήπιο με πρώτης ποιότητας προϊόν, όπως αυτό που σχεδιάζουμε.

Για το λόγο αυτό θα γίνει η μελέτη της παραγωγικότητας των θερμοκηπίων στην Ολλανδία. Τα ολλανδικά θερμοκήπια είναι κατασκευασμένα από γυαλί και πλήρως προηγμένα, διαθέτοντας ελεγχόμενο μικροκλίμα, με ρυθμιζόμενες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και περιεκτικότητας σε διοξείδιο του άνθρακα.

Το κλίμα στην Ολλανδία είναι ψυχρότερο από αυτό της Ελλάδας καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Έτσι, διαθέτοντας ευνοϊκότερο κλίμα και κατασκευάζοντας εξίσου προηγμένα θερμοκηπία, η ελληνική παραγωγικότητα μπορεί να φτάσει, ακόμα και να ξεπεράσει την ολλανδική.

Επομένως, η παραγωγικότητα της Ολλανδίας είναι πιο αντιπροσωπευτική για το ύψος της παραγωγικότητας που μπορεί να επιτευχθεί, σε σχέση με τα υπάρχοντα ελληνικά δεδομένα.

Με στοιχεία από την Ευρωπαϊκή Στατιστική Υπηρεσία για την παραγωγή κηπευτικών στα θερμοκήπια και τις εκτάσεις που καταλαμβάνουν αντίστοιχα, υπολογίζεται η παραγωγικότητα για την καλλιέργεια του αγγουριού, της πιπεριάς και της τομάτας κατά τη διάρκεια του 2016 και του 2018, διαμορφώνοντας τον πίνακα 27:

Καλλιέργεια	2016			2018			Μέσος Όρος
	Έκταση (1000στρ)	Παραγωγή (1.000mt)	Παρ/τα (mt/στρ)	Έκταση (1000στρ)	Παραγωγή (1000mt)	Παρ/τα (mt/στρ)	
Αγγούρι	5,40	370,00	68,52	5,60	410,00	73,21	70,87
Πιπεριά	13,20	365,00	27,65	13,10	355,00	27,10	27,38
Τομάτα	17,80	890,00	50,00	17,90	910,00	50,84	50,42

Επομένως, με βάση τον μέσο όρο της παραγωγικότητας στην Ολλανδία υπολογίζεται η ετήσια παραγωγή ανά προϊόν για τα δέκα στρέμματα θερμοκηπίου. Στη συνέχεια η ποσότητα της παραγωγής πολλαπλασιάζεται με την τιμή χονδρικής πώλησης του προϊόντος και προκύπτουν οι καθαρές ταμιακές εισροές από τα έσοδα των πωλήσεων, με την παραδοχή ότι όλη η παραγόμενη ποσότητα διατίθεται στην αγορά.

Πίνακας 28

Ετήσιες Ταμιακές Εισροές - Παραγωγικότητα Ολλανδίας

Προϊόν	Ετήσια Παραγωγή Δέκα Στρεμμάτων (mt/ year)	Τιμή Χονδρικής Πώλησης (€/ kg)	Καθαρές Ταμιακές Εισροές (€/year)
Αγγούρι	708,700	0,562	398.000,00
Πιπεριά	273,800	0,998	273.000,00
Τομάτα	504,200	0,668	337.000,00

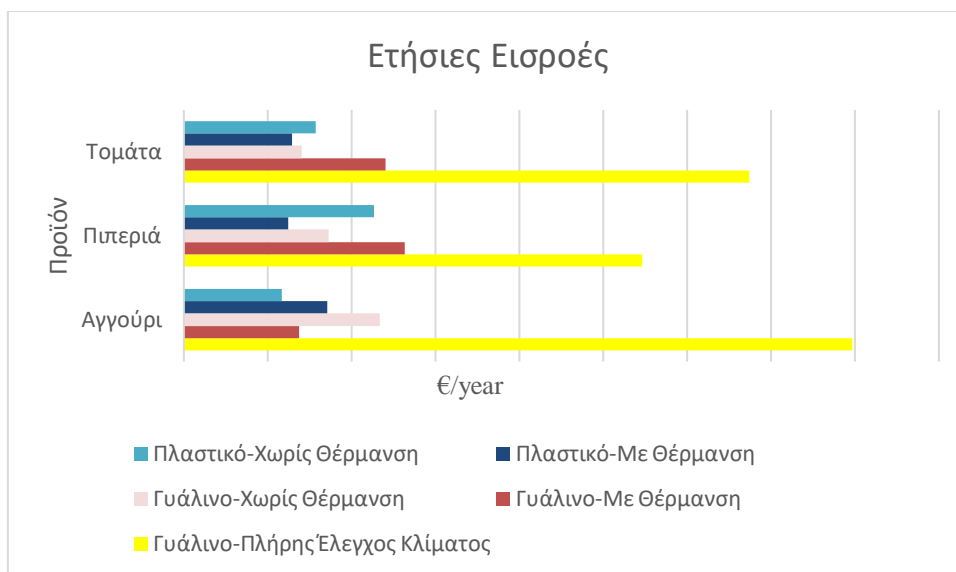
Ωστόσο, για να γίνει πιο πειστική η ανάγκη για πλήρη έλεγχο του κλίματος του θερμοκηπίου θα υπολογιστούν οι αντίστοιχες εισροές με τις τιμές παραγωγικότητας που επικρατούν στα θερμοκήπια στην Ελλάδα. Όπως φαίνεται η διαφορά είναι τεράστια, για αυτό τα καινούρια θερμοκήπια συστήνεται να είναι πλήρως εξοπλισμένα και τα παλιά να αναβαθμιστούν τεχνολογικά.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον πίνακα 29 και η διαφορά των εισροών με βάση το είδος του θερμοκηπίου φαίνεται στο διάγραμμα που ακολουθεί.

Πίνακας 29

Ετήσιες Ταμιακές Εισροές - Παραγωγικότητα Ελλάδας

Θέρ/ση	Προϊόν	Γυαλί		Πλαστικό	
		Ετήσια Παρ/γή 10στρ (mt/ year)	Καθαρές Ταμιακές Εισροές (€/year)	Ετήσια Παρ/γή 10στρ (mt/ year)	Καθαρές Ταμιακές Εισροές (€/year)
Όχι	Αγγούρι	207,9	117.000,0	104,1	59.000,0
	Πιπεριά	86,3	86.000,0	113,5	113.000,0
	Τομάτα	105,0	70.000,0	117,8	79.000,0
Ναι	Αγγούρι	122,2	69.000,0	151,8	85.000,0
	Πιπεριά	131,9	132.000,0	62,5	62.000,0
	Τομάτα	180,1	120.000,0	96,8	65.000,0



Συνεπώς, υπολογίζεται η παραγωγή σύμφωνα με την παραγωγικότητα της Ολλανδίας και εκτιμάται αύξηση της παραγωγής ανά έτος της τάξης του 5%, που συνεπάγεται προσαύξηση ετήσιων εισροών 5%. Επομένως σε βάθος πενταετίας τα έσοδα του θερμοκηπίου θα είναι:

Πίνακας 30
Εισροές Πέντε Πρώτων Ετών (€)

Προϊόν	Έτος				
	1 ^ο	2 ^ο	3 ^ο	4 ^ο	5 ^ο
Αγγούρι	398.000	418.000	439.000	461.000	484.000
Τομάτα	273.000	287.000	301.000	316.000	332.000
Πιπεριά	337.000	354.000	371.000	390.000	409.000

3.2. Συνολικό Κόστος Επένδυσης

Το συνολικό κόστος της επένδυσης (ΚΕ) ισούται με το άθροισμα του κεφαλαίου κίνησης (ΚΚΚ), της αρχικής ταμιακής εκροής (ΑΤΕ) και των υπόλοιπων εξόδων (ΛΕ). Ισχύει δηλαδή ο τύπος:

$$ΚΕ = ΚΚΚ + ΑΤΕ + ΛΕ \quad (21)$$

Το ποσό της ΚΕ πρέπει να είναι διαθέσιμο πριν την έναρξη της αγοράς και εγκατάστασης του απαραίτητου εξοπλισμού. Θεωρούμε ότι η αρχική ταμιακή εκροή και τα λοιπά έξοδα

χρησιμοποιούνται και εξαντλούνται πριν την έναρξη χρήσης του θερμοκηπίου, δηλαδή πριν τον πρώτο χρόνο λειτουργίας, σε χρόνο 0.

Το ποσό του ΚΚΚ αντίστοιχα που προστίθεται στο συνολικό ΚΕ αφορά τους καλλιεργητικούς μήνες από Σεπτέμβριο μέχρι Νοέμβριο, έως ότου δηλαδή αρχίσει η συγκομιδή και συνεπώς τα έσοδα από τις πωλήσεις των προϊόντων

Η παρούσα οικονομική μελέτη θα χρηματοδοτηθεί με ίδια κεφάλαια από τον ενδιαφερόμενο επενδυτή-παραγωγό κατά 80% και το υπόλοιπο ποσό του κόστους της επένδυσης 20% θα αποταμιευθεί από το Πρόγραμμα Αγροτικής Ανάπτυξης 2014-2020 (ΕΣΠΑ).

3.2.1. Καθαρό Κεφάλαιο Κίνησης

Το καθαρό κεφάλαιο κίνησης αφορά το χρηματικό ποσό (μετρητά, μη δεσμευμένες καταθέσεις) που πρέπει να είναι διαθέσιμο για να καλυφθούν όλα τα έξοδα έως ότου αρχίσουν να εισρέουν χρήματα από τις πωλήσεις.

Το ΚΚΚ υπολογίζεται ως το κυκλοφορούν ενεργητικό μείον το τρέχον παθητικό. Το κυκλοφορούν ενεργητικό είναι τα εύκολα ρευστοποιήσιμα περιουσιακά στοιχεία όπως μετρητά σε χαρτονομίσματα ή μη δεσμευμένες τραπεζικές καταθέσεις.

Το τρέχον παθητικό είναι όλες οι βραχυπρόθεσμες υποχρεώσεις που πρέπει να καλυφθούν, δηλαδή όλοι οι μηνιαίοι λογαριασμοί. Το ΚΚΚ επομένως υπολογίζεται για τους τρεις πρώτους μήνες Σεπτέμβριο-Οκτώβριο-Νοέμβριο.

Πρέπει να υπολογιστούν τα εξής κόστη: Λογαριασμοί, Πρώτες Ύλκες-Εφόδια, Εργατικά, Βοηθητικά Υλικά, Γενικά Έξοδα. Σε πρώτη φάση θα υπολογιστούν οι χρεώσεις του ρεύματος και του νερού και έπειτα των υπολοίπων.

Πριν από όλα όμως, θα γίνει μία επισταμένη διερεύνηση για το σύστημα εμπλουτισμού που θα χρησιμοποιηθεί, διότι είναι το μόνο σύστημα στο οποίο δεν έχουμε καταλήξει για το ποιο από τα δύο θα επιλεγθεί.

3.2.1.1. Απαιτήσεις σε Νερό

Οι απαιτήσεις σε νερό του θερμοκηπίου περιλαμβάνουν το νερό άρδευσης και το νερό που καταναλώνεται στο σύστημα υδρονέφωσης. Οι ανάγκες του θερμοκηπίου σε νερό υπολογίστηκαν στον πίνακα 25 και παρουσιάζονται στον πίνακα 31. Σημειώνεται ότι 1mm εξατμισοδιαπνοής αντιστοιχεί σε νερό άρδευσης 1m³/στρ.

Η υδρονέφωση θεωρούμε ότι λειτουργεί για 1,5h/day τους μήνες Μάιο, Ιούνιο και Σεπτέμβριο (75 ημέρες), δηλαδή για ένα σύνολο 112,5h, ώστε να μην γίνει υπέρβαση στο νερό. Η ροή του νερού είναι 21,6m³/h άρα 32,4 m³/day και η αντίστοιχη κατανάλωση ρεύματος του συστήματος είναι 140,63 kW/year (παράγραφος 2.2.4.1.).

Με βάση τον πίνακα 31 η ετήσια κατανάλωση υπολογίζεται περίπου 11.500 m³/year, εκ των οποίων τα 5.500 m³ θα αντληθούν από τη δεξαμενή αποθήκευσης που βρίσκεται εξωτερικά του θερμοκηπίου και τα υπόλοιπα 6.000 m³ θα καλυφθούν από το ΤΟΕΒ.

Πίνακας 31
Υπολογισμός Ετήσιας Κατανάλωσης Νερού

	Μήνας										Κατ/ση Νερού m ³ /year
	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	
Άρδευση m ³ /month	297,5	817,7	722,5	993,2	856,8	686,8	807,5	977,5	1.275,0	1.700,0	9.134,5
Υδρ/ση m ³ /month	486,0	-	-	-	-	-	-	-	972,0	972,0	2.430,0
Συνολική Ετήσια Κατανάλωση Νερού											11.564,5

3.2.1.2. Απαιτήσεις σε Ρεύμα

Όλα τα συστήματα που εγκαθιστούμε στο θερμοκήπιο καταναλώνουν ρεύμα για τη λειτουργία τους. Στον πίνακα 32 που ακολουθεί αναφέρονται οι ώρες λειτουργίας και η αντίστοιχη κατανάλωση, ώστε να υπολογιστεί η συνολική κατανάλωση ρεύματος της μονάδας.

Για το σύστημα θέρμανσης καταλήγουμε στον καυστήρα με καύσιμη ύλη το φυσικό αέριο, καθώς είναι πιο οικονομικό σαν πρώτη ύλη και ο ίδιος ο καυστήρας κοστίζει λιγότερο.

Οι ώρες χρήσης του κάθε συστήματος δεν είναι απαραίτητα συνεχόμενες, ενώ οι μήνες Ιούλιος και Αύγουστος είναι αδρανείς. Στην ουσία δηλαδή το καλλιεργητικό έτος ορίζεται σαν δεκάμηνο.

Πίνακας 32

Υπολογισμος Ετήσιας Κατανάλωσης Ρεύματος

Σύστημα	Κατανάλωση Ρεύματος kW/h	Περίοδος Χρήσης Days/year	Ώρες ανά Ημέρα h/day	Κατανάλωση Ρεύματος kW/year
Λέβητες	1.800,00	182-	4	1.300.000,00
Καυστήρες Θέρμανσης	2,25	Δεκέμβριος έως Μάϊος	4	1.600,00
Κυκλοφορητής	0,38		4	300,00
Μειωτήρας Παραθύρων	14,00	91-Ιούνιος, Σεπτέμβριος, Οκτώβριος	0,2	250,00
Ανεμιστήρες	304,50		4	93.000,00
Αντλία Υψηλής Πίεσης (Υδρονέφωση)	1,25		1,5	140,00
Αφυγρανήρες	21,96	212- Νοέμβριος έως Μάϊος	8	37.000,00
Καυστήρες CO ₂	333,00	181-Νοέμβριος έως Απρίλιος	4	9.000,00
Αντλία Νερού (Άρδευση)	2,20	303-Όλο το χρόνο εκτός Ιούλιο και Αύγουστο	1	700,00
Συνολική Ετήσια Κατανάλωση Ρεύματος				1.400.000,00 Kw/year

3.2.1.3. Συνολικό Λειτουργικό Κόστος Εγκατάστασης

Το συνολικό λειτουργικό κόστος το οποίο δεν είναι σταθερό, αλλά αλλάζει με το χρόνο υπολογίζεται στον πίνακα 33. Περιλαμβάνει το κόστος των λογαριασμών, των πρώτων υλών, των εργατικών, των βοηθητικών υλικών και ορισμένα γενικά έξοδα.

Πίνακας 33				
Ετήσιο Συνολικό Λειτουργικό Κόστος				
Είδος	Κόστος Μονάδας €/μ.μ.	Ποσότητα μ.μ./year	Κόστος €/10στρ/year	Σημειώσεις
Λογαριασμοί				
Ρεύμα	0,04431 €/kWh	1.400.000,00	62.000,00	Μειωμένο αγροτικό τιμολόγιο με μηδενικό πάγιο και ειδική τιμολόγηση
Νερό	0,18€/ m ³	5.500,0	990,00	Ισχύει η ελάχιστη χρέωση για κατανάλωση έως 600m ³ /στρ
Ίντερνετ	25€/month	12	300,00	Απεριόριστο
Αέριο	0,17 €/m ³	21.500,00	3.700,00	
Πρώτες Ύλες-Εφόδια				
Φυτά	Αγγούρι	0,60 €/unit	16.000	Φυτά, αναπτυγμένα ήδη για 4-6 εβδομάδες σε φυτώριο
	Πιπεριά	0,50 €/unit	16.000	
	Τομάτα	0,50 €/unit	16.000	
Υγρό Λίπασμα	2,70€/lt	5.664,5	15.000,00	1lt λίπασμα/1000lt νερού
Πλαστικά Τελάρα	0,8€/unit	1.500	1.200,00	Χωρητικότητα 40kg/unit
Γεωργικά Φάρμακα-Ζιζανιοκτόνα	223,00€/στρ	10	2.200,00	
Εργατικά				
Εργάτες	25€/day	300	75.000,00	10 εργάτες-300 ασφαλιστικές ημέρες
Γεωπόνος	50€/day	12	600,00	Επίβλεψη-Συμβούλευση μία φορά το μήνα
Βοηθητικά Υλικά				
Μικροεργαλεία	10 €/unit	30	300,00	Κλαδευτήρια, κοπίδια κ.α.
Γάντια	0,05€/unit	6.000	300,00	Απαραίτητα για να τηρούνται οι συνθήκες υγιεινής
Απολυμαντικά	0,30€/lt	3.000	900,00	Για τον καθαρισμό του εξοπλισμού
Γενικά Έξοδα				
Συντήρηση Μηχανημάτων	100/month	12	1.200,00	
Λοιπά Γενικά Έξοδα			1.000,00	
Συνολικό Κόστος ανά Έτος		Αγγούρι	174.300,00 €/year	
		Πιπεριά	172.700,00 €/year	
		Τομάτα	172.700,00 €/year	

Επομένως, το Καθαρό Κεφάλαιο Κίνησης το οποίο χρειάζεται να καλύψει τα έξοδα του θερμοκηπίου για τρεις μήνες είναι ίσο με τα 3/10 του συνολικού κόστους ανά έτος. Είναι δηλαδή για το αγγούρι $ΚΚΚ_1 = 52.300€$ και για την πιπεριά και την τομάτα $ΚΚΚ_2 = 51.800€$.

3.2.2. Αρχική Ταμειακή Εκροή

Η αρχική ταμιακή εκροή αφορά το κόστος της κατασκευής και του μηχανολογικού εξοπλισμού.

Το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου θα είναι σύμφωνα με τα ολλανδικά πρότυπα υαλοπίνακας και για τον σκελετό επιλέγεται ανοξειδωτος χάλυβας για την περίμετρο και αλουμίνιο για την οροφή. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κατασκευής αναλύονται στην παράγραφο 2.2.

Η μέση τιμή του χάλυβα ανά στρέμμα είναι 5.600€ ενώ για το αλουμίνιο 4.800€/ στρ (πίνακας 11). Έτσι το συνολικό κόστος του σκελετού ανέρχεται στα 49.000€. Η τιμή του υαλοπίνακα είναι 5.050€/στρ άρα συνολικό κόστος 50.500€. Επομένως το συνολικό κόστος της κατασκευής ανέρχεται στα 99.500€.

Το συνολικό κόστος του μηχανολογικού εξοπλισμού φαίνεται στον πίνακα 34 και για κάθε περίπτωση έχει επιλεγεί το πιο αποδοτικό σύστημα. Αθροίζοντας το κόστος των μηχανημάτων με το κόστος της κατασκευής έχουμε το συνολικό κόστος, δηλαδή την αρχική ταμιακή εκροή η οποία υπολογίζεται $ATE = 414.165,35€$.

Πίνακας 34 Κόστος Εξοπλισμού Δέκα Στρεμμάτων	
Εξοπλισμός	Κόστος €
Κεντρικό Σύστημα Θέρμανσης Αερίου	62.400
Αυτόματα Πλαϊνά Παράθυρα	23.200
Αυτόματα Παράθυρα Οροφής	50.000
Ανεμιστήρες	79.200
Υγρή Παρεία	15.000
Θερμοκουρτίνα	1.400
Υδρονέφωση Υψηλής Πίεσης	18.000
Αφυγραντήρες	28.000
Καυστήρες Παραγωγής CO ₂	3.000

Αρδευτικό Σύστημα	20.000
Εξωτερικός Μετεωρολογικός Σταθμός	300
Ηλεκτρολογικό Δίκτυο και Πίνακας	6.000
Γεννήτρια	2.000
Κατασκευή	99.500
Αρχική Ταμιακή Εκροή	408.000

3.2.3. Λοιπά Έξοδα

Τα υπόλοιπα έξοδα γίνονται μια φορά πριν την έναρξη της χρήσης του θερμοκηπίου και δεν επαναλαμβάνονται ξανά. Περιλαμβάνουν το όργανο του αγροτεμαχίου, τη σύνδεση με τον πάροχο νερού και το ρεύμα, την ανέγερση του θερμοκηπίου, το κόστος εγκατάστασης του μηχανολογικού εξοπλισμού, την απόκτηση άδειας (για κατασκευή εντός σχεδίου). Εκτιμούνται ΛΕ = 5.000€.

Κατά συνέπεια για το αγγούρι ισχύει:

$$(21) \rightarrow ΚΕ_1 = ΚΚΚ_1 + ΑΤΕ + ΛΕ = 52.300€ + 408.000€ + 5.000€ = 465.300€$$

Για την τομάτα και την πιπεριά ισχύει:

$$(21) \rightarrow ΚΕ_2 = ΚΚΚ_2 + ΑΤΕ + ΛΕ = 51.800€ + 408.000€ + 5.000€ = 464.800€$$

3.3. Υπολογισμός Καθαρών Ταμιακών Ροών

Οι καθαρές ταμιακές ροές τον χρόνο μηδέν, πριν την έναρξη φύτευσης των φυτών, είναι ίσες με το ΑΤΕ και τα ΛΕ, δηλαδή ίσες με 413.100€. Κατά τη λειτουργία του θερμοκηπίου οι ταμιακές εκροές είναι ίσες με το συνολικό κόστος ανά έτος (πίνακας 33). Οι ταμιακές εισροές αντλούνται από τον πίνακα 30.

Επιθυμούμε η επένδυση να έχει αποσβέσει έπειτα από πέντε χρόνια, έτσι υπολογίζονται οι αποσβέσεις ανά έτος ως: $(ΑΤΕ+ΛΕ)/5=82.600€$

Στην συνέχεια υπολογίζονται τα κέρδη χρήσεως προ φόρων (ΚΠΦ) για τα οποία ισχύει:

$$ΚΠΦ = ΕΙΣΡΟΗ - ΕΚΡΟΗ - ΑΠΟΣΒΕΣΕΙΣ (22)$$

Και τα κέρδη μετά από φόρους χρήσης (ΚΜΦ) 22%, δηλαδή:

$$ΚΜΦ = 0,78 \times ΚΠΦ (23)$$

Τέλος, για τις Καθαρές Ταμιακές Ροές (ΚΤΡ) ισχύει:

$$ΚΤΡ = Αποσβέσεις + ΚΜΦ (24)$$

Πίνακας 35					
Καθαρές Ταμειακές Ροές Πέντε Πρώτων Ετών (×1.000€)					
	Έτος				
	1 ^ο	2 ^ο	3 ^ο	4 ^ο	5 ^ο
Αγγούρι					
Εισροή	398,0	418,0	439,0	461,0	484,0
Εκροή	174,3	174,3	174,3	174,3	174,3
Αποσβέσεις	82,6	82,6	82,6	82,6	82,6
ΚΠΦ	141,1	161,1	182,1	204,1	227,1
ΚΜΦ	110,1	125,7	142,0	159,2	177,1
ΚΤΡ	192,7	208,3	224,6	241,8	259,7
Τομάτα					
Εισροή	273,0	287,0	301,0	316,0	332,0
Εκροή	172,7	172,7	172,7	172,7	172,7
Αποσβέσεις	82,60	82,6	82,6	82,6	82,6
ΚΠΦ	17,7	31,7	45,7	60,7	76,7
ΚΜΦ	13,8	24,7	35,6	47,3	59,8
ΚΤΡ	96,4	107,3	118,2	129,9	142,4
Πιπεριά					
Εισροή	337,0	354,0	371,0	390,0	409,0
Εκροή	172,7	172,7	172,7	172,7	172,7
Αποσβέσεις	82,6	82,6	82,6	82,6	82,60
ΚΠΦ	81,7	98,7	115,7	134,7	153,7
ΚΜΦ	63,7	77,0	90,2	105,1	119,9
ΚΤΡ	146,6	159,6	172,8	187,7	202,5

3.4. Καθαρή Παρούσα Αξία

Η καθαρή παρούσα αξία αποτελεί δείκτη αποτίμησης της βιωσιμότητας της επιχείρησης. Υπολογίζεται από τον τύπο 25 που ακολουθεί:

$$ΚΠΑ = ΣΠΑ - ΚΕ = \sum_{t=1}^N \frac{ΚΤΡ_t}{(1+r)^t} - ΚΕ \quad (25)$$

Όπου: ΣΠΑ, συνολική παρούσα αξία

KTP, οι καθαρές ταμειακές ροές την περίοδο t

t, χρόνος σε έτη

N, χρονική διάρκεια επένδυσης σε έτη

r, προεξοφλητικό επιτόκιο το οποίο είναι ίσο με την τιμή του πληθωρισμού στην Ελλάδα 1,70%

ΚΕ, συνολικό κόστος επένδυσης

Πίνακας 36

Υπολογισμός Καθαρής Παρούσας Αξίας (×1000€)

Προϊόν	Αγγούρι		Τομάτα		Πιπεριά	
	ΚΤΡ	ΣΠΑ	ΚΤΡ	ΣΠΑ	ΚΤΡ	ΣΠΑ
1 ^ο	192,7	189,5	96,4	94,8	146,6	144,1
2 ^ο	208,3	201,4	107,3	103,7	159,6	154,3
3 ^ο	224,6	213,5	118,2	112,4	172,8	164,3
4 ^ο	241,8	226,0	129,9	139,0	187,7	175,5
5 ^ο	259,7	238,7	142,4	130,9	202,5	186,1
Συνολική Παρούσα Αξία		1.069,1		580,8		824,3

Συνεπώς, για την καλλιέργεια του αγγουριού:

$KPA_{\alpha} = \Sigma PA - KE_1 = 1.069,1 - 465,3 = 603,8$ χιλ. € > 0, άρα η επένδυση κρίνεται ως συμφέρουσα.

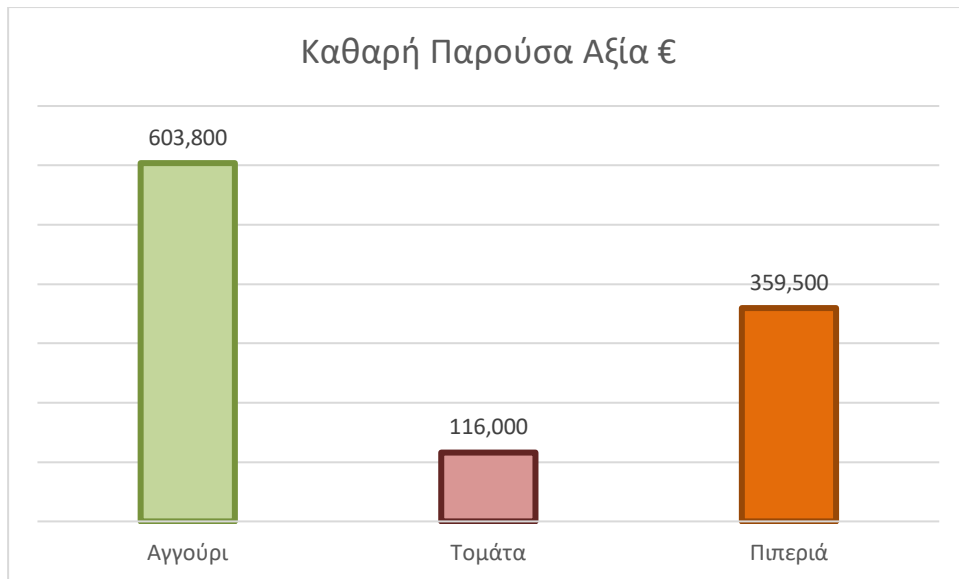
Για την καλλιέργεια της τομάτας:

$KPA_{\tau} = \Sigma PA - KE_2 = 580,8 - 464,8 = 116,0$ χιλ. € > 0, άρα η επένδυση κρίνεται ως συμφέρουσα.

Για την καλλιέργεια της πιπεριάς:

$KPA_{\pi} = \Sigma PA - KE_2 = 824,3 - 464,8 = 359,5$ χιλ. € > 0, άρα η επένδυση κρίνεται ως συμφέρουσα.

Τα τρία προϊόντα εμφανίζουν θετική καθαρή παρούσα αξία γεγονός που σημαίνει ότι τα έσοδα από το έργο αποπληρώνουν την αρχική επένδυση σε βάθος πενταετίας, εμφανίζοντας ταυτόχρονα όφελος για τον επενδυτή.



Βιβλιογραφία:

[1] Vegetables: Open-Field and Greenhouse Production, D. Savvas, K. Akoumianakis, I. Karapanos, K. Kontopoulou, G. Ntatsi, A. Liontakis, A. Sintori, A. Ropokis, A. Akoumianakis

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία εξέτασε τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να κατασκευαστεί ένα προηγμένο θερμοκήπιο δέκα στρεμμάτων στην Ιεράπετρα, με γνώμονα την μέγιστη απόδοση των φυτών αλλά και το χαμηλότερο δυνατό κόστος επένδυσης.

Τα φυτά που επιλέγονται να καλλιεργηθούν είναι αυτά με την μεγαλύτερη ζήτηση στον τομέα των κηπευτικών, δηλαδή το αγγούρι, η τομάτα και η πιπεριά. Μελετήθηκε για κάθε ένα από αυτά η ιδανική θερμοκρασία καλλιέργειας που είναι 24-26°C για το αγγούρι, 23-25 °C για την τομάτα και 22-28 °C για την πιπεριά, με μικρές διακυμάνσεις ανάλογα με την περίοδο ανάπτυξης που βρίσκεται το φυτό.

Η σχετική υγρασία επηρεάζει την υγεία του φυλλώματος και εν γένει του φυτού. Εξάρταται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμοκρασία, επομένως ρυθμίζεται αυτόματα βάση αυτής, με τις κατάλληλες τιμές να κυμαίνονται από 70-80%.

Τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα επιθυμείται να διατηρούνται σταθερά και περίπου ίσα με 1.300ppm, ώστε να γίνεται ταχύτερα η φωτοσύνθεση και κατ'επέκταση όλη η παραγωγική διαδικασία του φυτού.

Η άρδευση ρυθμίζεται ελέγχοντας την παράμετρο της υδατοϊκανότητας, η οποία είναι χαρακτηριστική για κάθε έδαφος. Έτσι, πραγματοποιείται όταν το έδαφος βρίσκεται στο 50% της υδατοϊκανότητας του και σταματάει όταν φτάσει στην πλήρη υδατοϊκανότητα. Προσοχή πρέπει να δοθεί στην ποιότητα του νερού ποτίσματος, ώστε να είναι απαλλαγμένο από άλατα και με χαμηλή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Στο κατασκευαστικό κομμάτι επιλέγεται υαλοπίνακας σαν υλικό κάλυψης, καθώς είναι αρκετά στεγανός και διαπερατός από την ηλιακή ακτινοβολία. Για το σκελετό επιλέγεται ανοξείδωτος χάλυβας για την περίμετρο, καθώς είναι πολύ ανθεκτικός και αλουμίνιο για την οροφή, που είναι πιο οικονομικό.

Στο εσωτερικό του θερμοκηπίου επιλέγεται κεντρικό σύστημα επιδαπέδιας θέρμανσης με τρεις καυστήρες αερίου, το οποίο πρέπει να καλύπτει τις θερμικές ανάγκες του θερμοκηπίου της τάξεως των 1.340.000 kcal/ h. Για τον δυναμικό αερισμό του θερμοκηπίου εγκαθίστανται 33 ανεμιστήρες, ενώ για το σύστημα δροσίσιμου τοποθετείται πάνελ υγρής παρείας εμβαδού 300 m².

Για τη ρύθμιση της υψηλής σχετικής υγρασίας τοποθετείται σύστημα υδρονέφωσης υψηλής πίεσης με συνολικό μήκος 3.750m σωληνώσεων μπεκ, ενώ για τη ρύθμιση της χαμηλής σχετικής υγρασίας θα εξοπλιστούν 12 αφυγράντηρες 1.830W κατά μήκος του θερμοκηπίου.

Ως προς τον εμπλουτισμό με διοξείδιο του άνθρακα διαπιστώθηκε ότι η πιο οικονομική επιλογή είναι η καύση υδρογονανθράκων με καύσιμη ύλη το φυσικό αέριο. Προτείνεται η εγκατάσταση πέντε καυστήρων με κατανάλωση 67 kW έκαστος.

Εξωτερικά τοποθετείται δεξαμενή νερού χωρητικότητας 5.000 κυβικών διαμέτρου 50m, όπου συλλέγεται το νερό της βροχής από την οροφή του θερμοκηπίου. Το δίκτυο σωληνώσεων εσωτερικά ρυθμίζει την άρδευση είτε από τη δεξαμενή απόθηκευσης είτε από τον τοπικό πάροχο. Η ποσότητα άρδευσης μπορεί να προβλεφθεί βάσει της μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής, η οποία και υπολογίζεται.

Στην οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης υπολογίζονται οι ετήσιες ταμιακές εισροές των πέντε πρώτων ετών με βάση την υψηλή παραγωγικότητα που έχουν τα αντίστοιχα προηγμένα ολλανδικά θερμοκήπια. Στη συνέχεια προσεγγίζεται το συνολικό κόστος της επένδυσης, το οποίο είναι για το αγγούρι $KKK_1 = 465.300\text{€}$ και για την πιπεριά και την τομάτα $KKK_2 = 464.800\text{€}$.

Προκειμένου να συμπεράνουμε εάν η επένδυση είναι κερδοφόρα ή όχι υπολογίζεται η καθαρή παρούσα αξία, όπου προκύπτει ότι και τα τρία προϊόντα αποσβένουν το κόστος επένδυσης έπειτα από πέντε χρόνια, με μεγαλύτερη κερδοφορία να εμφανίζει η καλλιέργεια

του αγγουριού $KPA_{\alpha} = 603.800\text{€}$, έπεται της πιπεριάς με $KPA_{\pi} = 359.500\text{€}$ και τελευταία η καλλιέργεια της τομάτας με $KPA_{\tau} = 116.000\text{€}$.

Η τελευταία θέση της τομάτας μπορεί να αιτιολογηθεί λόγω της αυξημένης ζήτησης του τοματίνι, το οποίο αγοράζεται έναντι της τομάτας. Άλλος λόγος είναι η ύπαρξη αρκετών υβριδίων τομάτας, δηλαδή διασταυρωμένων ποικιλιών νεαρών φυτών, τα οποία οδηγούν σε κακής ποιότητας προϊόντα.