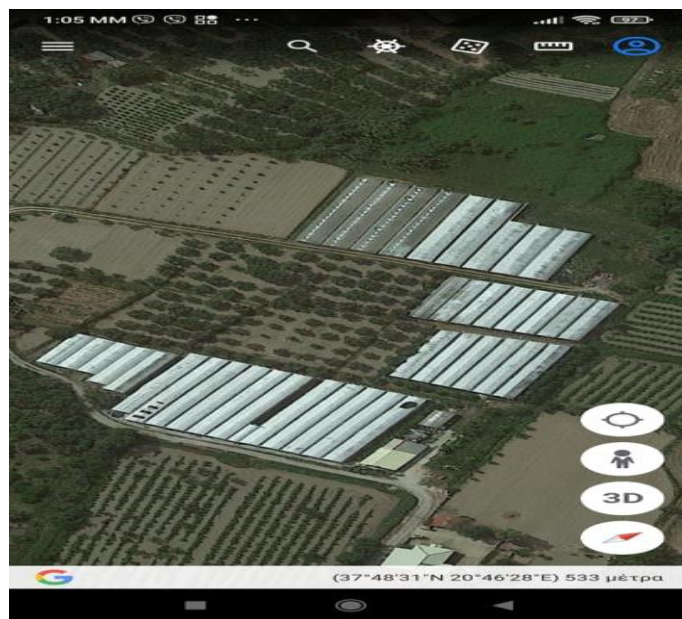


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ενεργειακή Ανάλυση Θερμοκηπίου Στην Ζάκυνθο**



**ΜΥΛΩΝΑΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ-  
ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ 7520**

**ΜΠΑΝΤΙΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ 7526**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ Ι.Δ.**

**ΠΑΤΡΑ 2022**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Γενική Περιγραφή Θερμοκηπίου.....	1
1.2 Ιστορική Αναδρομή-Σημερινή Κατάσταση.....	1
2 ΦΩΤΙΣΜΟΣ - ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	4
2.1 Φωτισμός.....	4
2.2 Ηλιακή Ακτινοβολία.....	5
2.3 Τρόποι Μεταφοράς Θερμότητας σε θερμοκήπιο.....	6
2.4 Ταξινόμηση Υλικών Κάλυψης.....	6
3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.....	8
3.1 Κλιματικές Συνθήκες.....	11
3.2 Λίπανση-Άρδευση.....	13
3.3 Καλλιέργεια Σε Θερμοκήπιο.....	13
3.4 Συγκομιδή.....	14
4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	15
4.1 Τυποποιημένα Θερμοκήπια.....	16
4.1.1 Αμφικλινές Θερμοκήπιο.....	16
4.1.2 Τοξωτό Θερμοκήπιο.....	17
4.2 Υλικά Κάλυψης Θερμοκηπίου.....	17
4.3 Οικονομική Θεώρηση των υλικών κάλυψης.....	18
5 ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	19
5.1 Φυσικός Αερισμός.....	20
5.2 Δυναμικός αερισμός.....	21
5.3 Μηχανισμοί των ανοιγμάτων.....	22
6 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ.....	24
6.1 Υπολογισμοί Παραμέτρων.....	25
6.2 Υπολογισμός Ισχύος Θέρμανσης Θερμοκηπίου.....	26
6.3 Υπολογισμός Συνολικής Απαιτούμενης Ενέργειας Θέρμανσης.....	28
6.4 Υπολογισμός Ποσότητας Καυσίμου-Κόστος.....	30
6.5 Επιλογή Οικονομικότερου Καυσίμου.....	34
7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	35
8 ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	36
9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	38

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα μηχανολόγων μηχανικών του πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στην ενεργειακή ανάλυση όλου του έτους θερμοκηπίου καλλιέργειας κηπευτικών στην περιοχή της Ζακύνθου. Ειδικότερα, θα ασχοληθούμε με την καλλιέργεια της τομάτας.

Αναλυτικότερα, θα ασχοληθούμε με τον υπολογισμό των ενεργειακών φορτίων όλου του έτους με τις απαιτούμενες κάθε εποχή εσωτερικές συνθήκες. Θα μελετήσουμε το σύστημα παραγωγής ενέργειας με σκοπό τη μείωση του ενεργειακού κόστους.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους του καθηγητές μας για την πολύτιμη βοήθεια και τις γνώσεις που μας πρόσφεραν. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή Καλογήρου Ι. για τις συμβουλές του και τη συμπαράσταση του για τη διεξαγωγή της πτυχιακής εργασίας.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για την στήριξη και την υπομονή τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μας.

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

Ο σπουδαστής

(Ονοματεπώνυμο)

.....

Υπογραφή

Ο σπουδαστής

(Ονοματεπώνυμο)

.....

Υπογραφή

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση των ενεργειακών φορτίων του θερμοκηπίου όλου του έτους σε σχέση με τις απαιτούμενες κάθε εποχή εσωτερικές συνθήκες. Θα μελετηθεί το σύστημα παραγωγής ενέργειας για μείωση του ενεργειακού κόστους. Αναλυτικότερα, η δομή της εργασίας υποδιαιρείται στα ακόλουθα κεφάλαια ως εξής:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια γενική περιγραφή του θερμοκηπίου και μια ιστορική αναδρομή από τις πρώτες εφαρμογές τους μέχρι και τη σημερινή εποχή. Αναφέρονται στοιχεία που δείχνουν την αυξανόμενη κάλυψη εδάφους με καλλιέργειες σε θερμοκήπια οι οποίες τις περισσότερες φορές είναι συμφέρουσες σε εποχές που η παραγωγή ενός καρπού είναι εκτός εποχής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο φωτισμό και την ηλιακή ακτινοβολία που είναι ο κυρίαρχος μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας σε μια θερμοκηπιακή καλλιέργεια. Ακόμη, αναλύονται όλοι οι τρόποι μεταφοράς θερμότητας που υπάρχουν στα θερμοκήπια ενώ γίνεται και μία ταξινόμηση των υλικών κάλυψης ως προς τη διαπερατότητά τους στο φως.

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνονται και αναλύονται τα βασικά στοιχεία της καλλιέργειας που πρόκειται να εφαρμοστεί στο υπό μελέτη θερμοκήπιο που είναι η τομάτα. Γίνεται αναφορά στις κλιματικές συνθήκες που θα πρέπει το φυτό να αναπτύσσεται ενώ συζητούνται και θέματα ανάπτυξης του φυτού όπως για παράδειγμα είναι η σπορά, η λίπανση η άρδευση και συγκομιδή.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται τα κατασκευαστικά στοιχεία του θερμοκηπίου. Αναφέρονται τα κατασκευαστικά στοιχεία για τα τυποποιημένα θερμοκήπια που χωρίζονται σε αμφικλινή και τοξωτά. Γίνεται επίσης αναφορά στα υλικά κάλυψης, καθώς και στο κόστος εγκατάστασης και συντήρησής τους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο δίνονται κάποιες βασικές αρχές για τον αερισμό ενός θερμοκηπίου ο οποίος είναι χρήσιμος και απαραίτητος κυρίως για την καλοκαιρινή περίοδο. Ειδικότερα περιγράφονται λύσεις για το φυσικό αερισμό του θερμοκηπίου ο οποίος είναι και η πιο συνήθης περίπτωση αερισμού κατά τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες. Επισημαίνονται τα είδη φυσικού αερισμού (πλευρικός, οροφής) και δίνονται γεωμετρικά χαρακτηριστικά των ανοιγμάτων σύμφωνα με τις απαιτούμενες εναλλαγές αέρα.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνονται οι υπολογισμοί των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του θερμοκηπίου καθώς και για την απαιτούμενη θέρμανση ισχύος όλων των μηνών του έτους. Έπειτα υπολογίζεται η συνολική απαιτούμενη ενέργεια που θα χρειαστεί να καλύψει ο λέβητας για τους μήνες λειτουργίας του καθώς και η συνολική ποσότητα του εκάστοτε καυσίμου που θα χρειαστεί ο αντίστοιχος λέβητας για να επιτευχθεί η ιδανική θερμοκρασία για την καλλιέργεια της τομάτας. Τέλος βρίσκουμε το συνολικό κόστος λειτουργίας του λέβητα για το κάθε καύσιμο και συγκρίνοντας τα αντίστοιχα κόστη επιλέγουμε το καύσιμο του ξυλοπυρήνα ως την οικονομικότερη λύση για την κάλυψη της απαιτούμενης ενέργειας.

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

Τέλος στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις βιβλιογραφίες όπου χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της συγκεκριμένης εργασίας και στο ένατο κεφάλαιο δίνονται σε παράρτημα οι πίνακες από τους οποίους αντλήθηκαν στοιχεία για τον υπολογισμό της μελέτης των θερμικών αναγκών του υπό μελέτη θερμοκηπίου.

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Γενική Περιγραφή Θερμοκηπίου.

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

Οι παράγοντες ανάπτυξης των φυτών όπως κυρίως φως, θερμοκρασία, υγρασία και CO<sub>2</sub>, μπορούν να παρέχονται εντός του θερμοκηπίου και να διατηρούνται σε βέλτιστα επίπεδα. Ένα σωστά σχεδιασμένο θερμοκήπιο πρέπει να εξασφαλίζει και να διατηρεί τους παραπάνω σημαντικούς κλιματολογικούς παράγοντες, όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις προκαθορισμένες βέλτιστες. Συνεπώς απαιτείται κατά το σχεδιασμό του θερμοκηπίου ένα υψηλό ποσοστό διερχόμενης ακτινοβολίας, χαμηλή κατανάλωση θερμότητας, ικανοποιητική αποδοτικότητα αερισμού, επαρκής κατασκευαστική αντοχή και καλή μηχανική συμπεριφορά, χαμηλό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος .

Με αναφορά το κλίμα, στην νότια Ευρώπη όπου ανήκει και η Ελλάδα, οι χειμώνες είναι ήπιοι και τα καλοκαίρια θερμά (Μεσογειακό κλίμα). Η ηλιακή ακτινοβολία στις Μεσογειακές χώρες έχει δυο έως τρεις φορές μεγαλύτερη ένταση σε σχέση με τις βορειότερες περιοχές.

Αφού η Ελλάδα βρίσκεται στην περιοχή της Μεσογείου δηλαδή έχει μεσογειακό κλίμα τα κύρια προβλήματα των θερμοκηπίων σε αυτό το κλίμα είναι :

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

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

- ✓ Υψηλή διαπερατότητα ακτινοβολίας,
- ✓ Καλή θερμική μόνωση και σύστημα θέρμανσης για αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύκτας (κατά τη χειμερινή περίοδο).

## 1.2 Ιστορική Αναδρομή – Σημερινή Κατάσταση.

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

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

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

Ειδικότερα για την Ελλάδα η θερμοκηπιακή καλλιέργεια άρχισε να επεκτείνονται μετά το 1955, στις περιοχές Αθήνας και Σκάλας Λακωνίας. Τα πρώτα ήταν γυάλινα και προορίζονταν για ανθοκομικές καλλιέργειες. Τα θερμοκήπια που σκεπάζονταν με πλαστικό άρχισαν να διαδίδονται μετά το 1960 και αφού πέρασαν ένα δοκιμαστικό στάδιο που κράτησε γύρω στα 4-5 χρόνια, παρουσίασαν μια θεαματική επέκταση. Η εξέλιξη των θερμοκηπίων στη χώρα μας φαίνεται στον **πίνακα 1**. Τα πιο αξιόλογα κέντρα όπου αναπτύχθηκαν τα θερμοκήπια, είναι ορισμένες περιοχές της Κρήτης, της νοτιοδυτικής Πελοποννήσου, της Πρέβεζας και της Κ. Μακεδονίας.

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

**Πίνακας 8.1** Η εξέλιξη των θερμοκηπίων στη χώρα μας.

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

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

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

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

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

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



Εικόνα 1.1:Εξωτερική όψη τροποποιημένου τοξωτού θερμοκηπίου

## 2 ΦΩΤΙΣΜΟΣ – ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

### 2.1 Φωτισμός.

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

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

Λόγω ακριβώς των παραπάνω ιδιαίτερων στοιχείων ενός θερμοκηπίου, η θερμοκρασία του ανέρχεται σε πολύ υψηλά επίπεδα και τις ψυχρές νύχτες η θερμοκρασία πέφτει σε πολύ χαμηλά επίπεδα δεδομένου ότι η θερμοκρασία και ο φωτισμός είναι παράγοντες του θερμοκηπίου ισχυρά αλληλένδετοι μεταξύ τους. Πρωταρχικός στόχος μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας όπου δεν τίθενται περιορισμοί από την αντοχή του φυτού, είναι η προσφορά της βέλτιστης ηλιακής ακτινοβολίας για άριστες αποδόσεις. Η διάρκεια και η ποιότητα του φωτισμού επηρεάζουν πολύ σημαντικά στην ποσότητα και ποιότητα των προϊόντων. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια του φωτισμού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαθέσιμη ενέργεια για φωτοσύνθεση και τόσο μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση .

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

Η θερμοκρασία του χώρου εντός του θερμοκηπίου εξαρτάται ισχυρά από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία με αποτέλεσμα άλλοτε τη δημιουργία συνθηκών υπερθέρμανσης και άλλοτε την ανάγκη πρόσθετης θέρμανσης. Επίσης ο συνδυασμός των ως άνω παραγόντων επηρεάζει άμεσα και την υγρασία του θερμοκηπίου.

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

- ✓ **Ο απλός σκελετός.** Όσο απλούστερος είναι, τόσο περισσότερο φως περνάει στο θερμοκήπιο. Σκελετοί με μεγάλες διατομές ή με πολλά στοιχεία μειώνουν κατά 4-12% το φωτισμό, ενώ τα δευτερεύοντα στοιχεία κατά 2-5%.
- ✓ **Το υλικό κάλυψης.** Ο καθαρός υαλοπίνακας μειώνει κατά 10% το φωτισμό που περνάει εντός, ενώ ο ακάθαρτος μέχρι και 70%. Η μείωση του φωτισμού στα πλαστικά φύλλα και στα σκληρά πλαστικά είναι μεγαλύτερη από του υαλοπίνακα και αυξάνει με την πάροδο του χρόνου.
- ✓ **Οι εναέριες εγκαταστάσεις.** Αυτού του είδους οι εγκαταστάσεις μειώνουν σημαντικά



- το φωτισμό στο χώρο του θερμοκηπίου και αν δυνατόν θα πρέπει να αποφεύγονται.
- ✓ **Το πλήθος των θερμοκηπίων.** Τα απλά θερμοκήπια είναι πιο φωτεινά από τα πολλαπλά, γιατί δέχονται περισσότερο διάχυτο φωτισμό από τα πλευρικά τοιχώματα, όμως παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας και μικρότερη εκμετάλλευση εδάφους.
  - ✓ **Η πυκνότητα των φυτών στο χώρο του θερμοκηπίου.** Η πυκνότητα θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε το φως που φθάνει στα φυτά να καλύπτει τις απαιτήσεις τους ως προς την της φωτοσυνθετική λειτουργία.

Ο **τεχνητός φωτισμός** καλύπτει διαφορετικά τις απαιτήσεις των φυτών. Σε σχέση με αυτού του είδους φωτισμό, τα θερμοκηπιακά είδη έχουν διαφορετικές απαιτήσεις φωτισμού και ανάλογα, αντιδρούν θετικά όταν η διάρκεια της νύχτας είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη (φαινόμενο φωτοπεριόδισμού). Συνεπώς, όταν δεν επαρκεί ο φυσικός φωτισμός, όπως συμβαίνει τον χειμώνα που η διάρκεια της ημέρας είναι μικρότερη, χρησιμοποιείται συχνά συμπληρωματικός φωτισμός με λαμπτήρες. Ο τεχνητός φωτισμός για την αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας θεωρείται οικονομικά μάλλον ασύμφορος (κόστος εγκατάστασης, καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια), για αυτό χρησιμοποιείται μόνο, σε περιπτώσεις που οικονομικά αποδίδει.

## 2.2 Ηλιακή Ακτινοβολία.

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

Η ακτινοβολία που φτάνει σε μια επιφάνεια αποτελείται από την άμεση και την διαχεόμενη ακτινοβολία, καθώς και από την ακτινοβολία που ανακλάται στο έδαφος. Η άμεση ακτινοβολία είναι αυτή που φτάνει σε μια επιφάνεια σε κατευθείαν γραμμή από τον ήλιο και μπορεί να εστιαστεί από επιπέδους η κυρτούς φακούς και κοίλα κάτοπτρα. Η διαχεόμενη είναι αυτή που έχει διαχυθεί κατά την δίοδο της μέσα από την ατμόσφαιρα λόγω σκέδασης που οφείλεται στα μόρια του αέρα, στους υδρατμούς, στα σωματίδια της σκόνης και λόγω απορροφήσεως από τα μόρια  $O_3$ ,  $H_2O$ , και  $CO_2$ , δεν μπορεί να εστιαστεί, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί από επίπεδους αλλά όχι εστιακούς ηλιοσυλλέκτες.

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

Η ηλιακή ακτινοβολία όχι μόνο παρέχει ενέργεια στο σύστημα του θερμοκηπίου κατά την διάρκεια της ημέρας (ένα τμήμα αυτής επίσης αποθηκεύεται στο σύστημα και απελευθερώνεται κατά την διάρκεια της νύχτας), αλλά προάγει την φωτοσύνθεση.

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

## 2.3 Τρόποι Μεταφοράς Θερμότητας Σε Θερμοκήπιο.

Η ηλιακή ακτινοβολία κατά την εισαγωγή στο θερμοκήπιο, απορροφάτε από τμήματα της καλλιέργειας όπως τα φυτά και το έδαφος καθώς επίσης και από κατασκευαστικά στοιχεία του θερμοκηπίου – εγκατάσταση. Σε επόμενο βήμα η ηλιακή ακτινοβολία μεταδίδεται στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα τη θέρμανση του αέρα εντός του θερμοκηπίου.

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

- Η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά το υλικό κάλυψης, φθάνει στο έδαφος το οποίο και θερμαίνει. Με ανάκλαση κάποιου ποσοστού θερμαίνεται στη συνέχεια και η εσωτερική ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου.
- Ο αέρας της ατμόσφαιρας του θερμοκηπίου ανταλλάσσει θερμότητα με το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου με μεταφορά – συναγωγή. Το υλικό κάλυψης παγιδεύει τμήμα της ανακλώμενης ακτινοβολίας με αποτέλεσμα τη θέρμανση του ατμοσφαιρικού αέρα εντός του θερμοκηπίου.
- Το θερμοκήπιο ανταλλάσσει θερμότητα με ακτινοβολία και συναγωγή ενώ το έδαφος θερμαίνεται στα διαφορετικά υποστρώματα με αγωγή. Τμήμα της θερμότητας της ατμόσφαιρας του θερμοκηπίου καταναλώνεται ως λανθάνουσα θερμότητα κατά την εξάτμιση.
- Η φυτική μάζα και το έδαφος ανταλλάσσει επίσης θερμότητα με τα υπόλοιπα τμήματα της μονάδας καθώς και με το υλικό κάλυψης. Κατά την ανταλλαγή αυτή συμμετέχει και η διαδικασία της διαπνοής, όπως και η διαδικασία της εξάτμισης της περιεχόμενης υγρασίας εντός του θερμοκηπίου.
- Η άρδευση συμβάλλει στη μεταφορά θερμότητας λόγω της μεταβολής της περιεχόμενης υγρασίας του εδάφους καθώς και της μεταβολής της σχετικής υγρασίας του αέρα εντός του θερμοκηπίου.

## 2.4 Ταξινόμηση Υλικών Κάλυψης.

Το κάλυμμα όχι μόνο θα πρέπει να παρέχει ένα καταφύγιο κατά την διάρκεια δυσμενών καιρικών συνθηκών αλλά θα πρέπει επίσης να προάγει την μετατροπή του μικροκλίματος για διασφάλιση βέλτιστης ανάπτυξης της καλλιέργειας. Είναι επιθυμητό ένα υλικό κάλυψης να έχει καλά μονωτικά(θερμικά) χαρακτηριστικά, αλλά επειδή τα καλύμματα είναι γενικά λεπτά-μικρού πάχους έχουν μικρή θερμοχωρητικότητα και δείχνουν φτωχή μονωτική συμπεριφορά.

Στον ελλαδικό χώρο κυρίαρχα τα υλικά κάλυψης αναζητούνται τους διάφορους τύπους πλαστικών για τα οποία στη συνέχεια δίνονται κάποια χαρακτηριστικά ως προς τη συμπεριφορά τους.

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



Εικόνα 2.1:Εσωτερική απεικόνιση υλικών κάλυψης θερμοκηπίου

### 3 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ.

Η καλλιέργεια της τομάτας είναι εξαιρετικά ενδιαφέρουσα, αφού καταλαμβάνει σπουδαίο μέρος στην καθημερινή διατροφή του ανθρώπου και αποτελεί ένα είδος θρεπτικό και υγιεινό.

Αναφορικά με το κλίμα και την εποχή φύτευσης γενικότερα οι τομάτες είναι αρκετά ευαίσθητες στο κρύο. Ακόμα και συνθήκη της μικρότερης παγωνιάς μπορεί να εμποδίσει τη βλάστηση και την ανάπτυξη. Κατά αυτή την έννοια η σπορά πρέπει να γίνεται πολύ αργά την άνοιξη και εφόσον έχει περάσει ο κίνδυνος από τις παγωνιές της άνοιξης. Στα πιο ζεστά κλίματα, η σπορά μπορεί να ξεκινάει κατά τους μήνες Απρίλιο – Μάιο ενώ στις ορεινές και ψυχρότερες περιοχές η σπορά θα πρέπει να ξεκινάει αρχές Ιουνίου.

Ως προς το πότισμα αυτό πρέπει να γίνεται τακτικά και άφθονα από τις πρώτες μέρες της βλάστησης μέχρι και το τέλος της συγκομιδής. Για την ομαλή ανάπτυξη της βλάστησης προτιμάται η χρήση πλαστικού νάιλον στο έδαφος για την συγκράτηση της υγρασίας. Μετά το δέσιμο των καρπών, το πότισμα πρέπει να εξακολουθεί τακτικά και συχνά κάθε 2-3 μέρες, σύμφωνα με την κατάσταση και του εδάφους, της εποχής αλλά ακόμα και της καλλιεργούμενης ποικιλίας. Σε σχέση με τη συγκομιδή, για τις τομάτες πρέπει να πραγματοποιείται μετά από 2-3 μήνες από τη σπορά, ανάλογα πάντα με το τοπικό κλίμα και την πρωιμότητα των καλλιεργούμενων ποικιλιών. Οι τομάτες είναι ετήσιο φυτό που φτάνει τα 3-4 ή 5 μ. ύψος, αλλά δεν έχει αρκετά ανθεκτικό βλαστό και στηρίζεται σε άλλα φυτά. Τα φύλλα έχουν μήκος 10-25 εκ. και είναι σύνθετα, αποτελούμενα από 5-9 μικρότερα φύλλα το καθένα μέχρι και 8 εκ. μακρύ με πριονοειδή περιφέρεια. Τόσο ο βλαστός του φυτού όσο και τα φύλλα φέρουν τρίχωμα. Τα λουλούδια έχουν διάμετρο 1-2 εκ., είναι κίτρινα με πέντε μυτερούς λοβούς και μεγαλώνουν σε ομάδες αποτελούμενες από 3-12.

Υπάρχουν τομάτες θερμοκηπίου (αναρριχώμενες) και υπαίθριες τομάτες (ημιαναρριχώμενες και αυτοκλαδευόμενες). Οι αναρριχώμενες και οι ημιαναρριχώμενες χρειάζονται στήριξη, η οποία γίνεται είτε με σπάγκο (θερμοκήπιο από οριζόντιο σύρμα) είτε σε καλάμια όταν πρόκειται για υπαίθρια καλλιέργεια. Οι αυτοκλαδευόμενες τομάτες δεν χρειάζονται στήριξη, διότι τυφλώνουν μόνες τους την κορυφή τους και δεν αυξάνονται προς τα πάνω.

Τέλος ο καρπός, που επίσης λέγεται τομάτα, είναι σφαιρικός ή μακρόστενος, είναι εδώδιμος, και όταν είναι ώριμος είναι ζουμερός και έχει έντονο κόκκινο χρώμα. Πριν ωριμάσει, η τομάτα έχει πράσινο χρώμα. Στα άγρια φυτά ο καρπός έχει διάμετρο 1-2 εκ., αλλά στα περισσότερα ήμερα είναι αρκετά μεγαλύτερος, από 5-10 εκ. Η τομάτα είναι ιδανική για σαλάτες και είναι το κύριο συστατικό της χωριάτικης σαλάτας.

Στο υπό μελέτη θερμοκήπιο η καλλιέργεια της τομάτας γίνεται με δύο μεθόδους, την συμβατική και την υδροπονική.

Υδροπονία (ή υδροπονική καλλιέργεια) καλείται η καλλιέργεια φυτών απουσία χώματος. Τα φυτά μεγαλώνουν στο νερό στο οποίο προστίθενται τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά. Οι ρίζες του φυτού πλέουν μόνο σε νερό ή εναλλακτικά σε περλίτη, βοτσαλάκι ή άλλο μέσο από το οποίο διέρχεται διαρκώς νερό. Πρόκειται, λοιπόν, ουσιαστικά για υδατοκαλλιέργεια.

#### **Υδροπονία (υδροπονική καλλιέργεια): τα κυριότερα πλεονεκτήματα**

Η υδροπονία κερδίζει διαρκώς έδαφος. Σαν μέθοδος καλλιέργειας, απαιτεί **ως και 90% λιγότερο νερό** από τη συμβατική καλλιέργεια. Η τεράστια αυτή οικονομία στο νερό την κάνει άκρως οικονομικότερη της καλλιέργειας σε χώμα και φυσικά περισσότερο οικολογική.

Επιπλέον, τα φυτά μπορούν να “φυτεύονται” σε πολύ κοντινότερη απόσταση το ένα από το άλλο και ο καλλιεργητής έχει μεγάλη απόδοση σε μικρή έκταση γης.

Ένα σύστημα της υδροπονίας (θερμοκήπιο, φίλτρα, αγωγοί νερού και συστήματα ψύξης ή/και θέρμανσης) μπορούν να εγκατασταθούν σε οποιαδήποτε οριζόντια έκταση, όσο άγονη και πετρώσης και αν είναι αυτή. Αφού δεν χρησιμοποιείται η γη (το χώμα) για την καλλιέργεια, η γονιμότητα του εδάφους είναι παντελώς αδιάφορη.

### **Υδροπονική καλλιέργεια: μέθοδος**

Στην υδροπονία απαιτείται άριστος έλεγχος της ποιότητας του νερού της καλλιέργειας. Το νερό λιπαίνεται (προστίθενται δηλαδή σ' αυτό τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία ανάλογα με το φυτό). Καθώς περνάει από τα φυτά, οι ρίζες τους απορροφούν τα συστατικά αυτά και το νερό επιστρέφει σε φίλτρα πριν ξεκινήσει πάλι τον κύκλο του προς τα φυτά. Το νερό πρέπει να ελέγχεται διαρκώς ως προς το ΡΗ του. Οποιαδήποτε μεταβολή του ΡΗ κάτω από το 6,0 ή πάνω από το 7,5 θα οδηγήσει το σύστημα σε αστάθεια αν δεν αντιμετωπιστεί έγκαιρα.

Η υδροπονία (υδροπονική) είναι καλλιέργεια θερμοκηπίου. Τα φυτά δεν πρέπει να είναι εκτεθειμένα σε καιρικές συνθήκες όπως βροχή, χιόνι και αέρα. Η βροχή και το χιόνι θα χαλάσουν την ισορροπία νερού και θρεπτικών συστατικών.

Τα φυτά βρίσκονται συνήθως στον αέρα ή μάλλον στο νερό. Χωρίς άλλο μέσο στήριξης, η στήριξη των φυτών γίνεται συνήθως με νήματα που δένονται από οριζόντιες δοκούς που διατρέχουν το θερμοκήπιο σε ύψος 3 ως 4 μέτρα από τη βάση του.

### **Είναι η υδροπονία βιολογική μέθοδος καλλιέργειας;**

Η υδροπονία (υδροπονική) **ΔΕΝ θεωρείται βιολογική μέθοδος καλλιέργειας** σε καμία χώρα του κόσμου. Ο κύριος λόγος είναι ότι πρόκειται για καλλιέργεια χωρίς χώμα, η ύπαρξη του οποίου είναι (για την ώρα) απαραίτητος όρος για την πιστοποίηση μιας καλλιέργειας ως βιολογική. Επιπλέον, στις περισσότερες υδροπονικές καλλιέργειες γίνεται προσθήκη χημικών και όχι βιολογικών λιπασμάτων στο νερό. Τα λιπάσματα αυτά αποτελούν την τροφή των φυτών και έχουν άμεση επίπτωση στην υφή και τη γεύση των λαχανικών. Παρά ταύτα, ήδη στο εξωτερικό γίνονται προσπάθειες ένταξης της υδροπονίας στις βιολογικές καλλιέργειες, υπό αυστηρές προϋποθέσεις φυσικά, ανάμεσα στις οποίες είναι και η χρήση βιολογικού λιπάσματος και μόνο.

Να τονίσουμε ότι, λόγω της φύσης της καλλιέργειας, πολύ σπάνια αναπτύσσονται ζιζάνια και αν γίνει αυτό θα είναι ελάχιστα. Επίσης, η ανάπτυξη μιας υδροπονικής μονάδας σε πολλά και ανεξάρτητα μεταξύ τους θερμοκήπια έχει δείξει ότι καθυστερεί ή και αποτρέπει τη μετάδοση ασθενειών των φυτών. Με άλλα λόγια, τα φυτά έχουν λιγότερους εχθρούς και σαφώς μικρότερες ανάγκες σε εντομοκτόνα.

### **Υδροπονία: η ιστορία της εν συντομία**

Οι πρώτες καταγραφές για υδροπονία σε πειραματικό επίπεδο χρονολογούνται από τις αρχές του 17ου αιώνα. Παρ' όλα αυτά, θεωρείται ότι η υδροπονία ξεκίνησε εδώ και χιλιάδες χρόνια ως εξέλιξη μιας απόλυτα φυσικής μεθόδου καλλιέργειας που παρατηρείται στην φύση. Από τις πρώτες αναφορές που έχουμε για ένα τέτοιο σύστημα είναι από τον W. F. Gericke (θα βρείτε το σχετικό απόσπασμα στο περιοδικό Science) που μας ενημερώνει ότι το 1935, κάποιοι καλλιεργητές δοκίμασαν σε

συγκεκριμένα λαχανικά και λουλούδια την καλλιέργεια σε υγρό μέσο και διέθεσαν τα προϊόντα τους στην αγορά για 2 συνεχόμενες καλλιεργητικές περιόδους.

### **Υδροπονία, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα**

Η Υδροπονική καλλιέργεια καλείται να δώσει λύση στα τεράστια προβλήματα που προκύπτουν από την καλλιέργεια στο χώμα. Καλείται να παράγει λαχανικά και φρούτα με ελάχιστο νερό και ελάχιστη επιβάρυνση στο περιβάλλον. Υπάρχουν πολλοί λόγοι που προτρέπουν νέους καλλιεργητές να επενδύσουν στην υδροπονία και στα παράγωγά της (αεροπονία και ακουαπονική ή αλλιώς ενυδρειοπονία). Γεγονός είναι ότι είναι κυρίως η νέα γενιά καλλιεργητών / επενδυτών που στρέφεται με πάθος στην καλλιέργεια με βάση το νερό.

Ας δούμε λοιπόν πόσο πετυχημένη είναι αυτή η μορφή καλλιέργειας:

#### **Πλεονεκτήματα υδροπονικής καλλιέργειας**

Η Υδροπονία είναι αναμφισβήτητα επαναστατική μέθοδος καλλιέργειας για τους παρακάτω λόγους:

1. Δεν χρειάζεται χώμα
2. Απαιτεί μικρή ποσότητα νερού (το νερό ανακυκλώνεται φιλτραρισμένο)
3. Ύψιστη παραγωγικότητα
4. Ελάχιστοι εχθροί για τα φυτά
5. Κανένα ζιζάνιο λόγω απουσίας χώματος
6. Εύκολη συντήρηση
7. Εύκολη συγκομιδή
8. Ελάχιστος απαιτούμενος χώρος για καλλιέργεια
9. Ταχύτατη ανάπτυξη των φυτών και μεγάλη απόδοση
10. Δεν απαιτούνται πολλές εργατοώρες και μεγάλος αριθμός εργαζομένων για την συντήρηση ενός τέτοιου συστήματος
11. Δεν χρειάζονται μεγάλα μηχανήματα για την προετοιμασία του εδάφους ή για πότισμα
12. Τα φυτά μπορούν να συγκομιστούν με τις ρίζες ώστε να έχουν πολύ μεγαλύτερο χρόνο ζωής στο ράφι.

#### **Μειονεκτήματα υδροπονικής καλλιέργειας**

1. Απαιτεί θερμοκήπιο
2. Πολύ ακριβή κατασκευή ολοκληρωμένου συστήματος υδροπονίας
3. Απαιτεί συστηματική παρακολούθηση
4. Γίνεται εύκολη μετάδοση των ασθενειών από φυτό σε φυτό λόγω της μικρής μεταξύ τους απόστασης
5. Πολλά έξοδα για λίπασμα
6. Σημαντική απαιτούμενη ενέργεια λειτουργίας ακόμα και για σχετικά μικρά συστήματα
7. Μέτρια γεύση των καρπών και φύλων σε σχέση με τη βιολογική καλλιέργεια



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση υδροπονικής καλλιέργειας

### 3.1 Κλιματικές Συνθήκες.

Η τομάτα είναι γενικά φυτό θερμής εποχής, ευπαθές στο ψύχος και καταστρέφεται όταν η θερμοκρασία είναι κάτω από τους  $-1^{\circ}\text{C}$  έως  $2^{\circ}\text{C}$ . Επίσης, οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες δεν είναι ευνοϊκές, όπως και η ξηρασία που προκαλούν ανθόρροια την περίοδο της καρποφορίας.

Έχει διαπιστωθεί ότι οι θερμοκρασίες στο θερμοκήπιο δεν πρέπει να πέσουν κάτω από  $13,5^{\circ}\text{C}$  την νύκτα, γιατί μειώνεται η ανάπτυξη του φυτού και η φυσιολογική καρπόδεση, έστω και αν την ημέρα οι θερμοκρασίες είναι υψηλές. Επίσης δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερες των  $27^{\circ}\text{C}$  γιατί μειώνεται η ζωηρότητα του φυτού, συνεπώς και η παραγωγή. Το επίπεδο θερμοκρασίας είναι στενά συνδεδεμένο με τη ένταση φωτισμού, δηλαδή ποικίλει ανάλογα με την εποχή του έτους. Κατά τους μήνες Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο που η ένταση φωτισμού είναι γενικά μειωμένη συνιστώνται τις ηλιόλουστες ημέρες θερμοκρασία

ημέρας 23°C και νύκτας 17°C, ενώ τις νεφοσκεπείς μέρες θερμοκρασία ημέρας 20°C και νύκτας 14°C. Κατά τους μήνες με αυξημένη ηλιοφάνεια (Σεπτέμβριο, Οκτώβριο, Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο και Ιούνιο) συνιστάται τις ηλιόλουστες ημέρες, θερμοκρασία ημέρας 27°C και νύκτας 20°C ενώ τις νεφοσκεπείς ημέρες, θερμοκρασία ημέρας 21°C και νύκτας 15°C. Η θερμοκρασία είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για τα θερμοκήπια γιατί το χειμώνα βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα και το καλοκαίρι σε υψηλά. Και στις δύο περιπτώσεις απαιτούνται ειδικοί χειρισμοί και πολλά έξοδα για να διατηρηθεί η θερμοκρασία των θερμοκηπίων σε ανεκτά επίπεδα.

**Θανατηφόρος θερμοκρασία:** Ελάχιστη 0 - 2°C, μέγιστη 48 - 50°C. Όταν η θερμοκρασία διατηρηθεί κάτω από την ελάχιστη και πάνω από τη μέγιστη για μεγάλο χρονικό διάστημα το φυτό εξασθενεί ή καταστρέφεται.

**Βιολογική θερμοκρασία:** Ελάχιστη 8 - 10°C, μέγιστη 30 - 35°C. Μικρότερες ή μεγαλύτερες αντίστοιχα θερμοκρασίες από αυτές για πολύ χρονικό διάστημα δημιουργούν διαταραχές στο φυτό χωρίς να το καταστρέφουν.

**Θερμοκρασία Φυτρώματος:** Ελάχιστη 9 - 10°C, μέγιστη 35 - 40°C και άριστη 20 - 30°C. Όσο απομακρύνεται από τα άριστα επίπεδα, τόσο καθυστερεί το φύτεμα και αυξάνει το ποσοστό των σπόρων που δε φυτρώνουν.

**Θερμοκρασία ανάπτυξης και καρπόδεσης:** Ημέρας 20 - 28°C και νύκτας 13 - 18°C. Είναι οι ιδανικές θερμοκρασίες για την καλή ανάπτυξη των φυτών. Όσο απομακρύνονται από τις κανονικές, τόσο αυξάνουν τα προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών, στη γονιμοποίηση και καρπόδεση και στην ανάπτυξη των καρπών. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρείται επιβράδυνση ή διακοπή της ανάπτυξης του φυτού, πρόωρη γήρανση, μείωση του μεγέθους των καρπών, μείωση της συνεκτικότητας του καρπού, πρόωμη και ακανόνιστη ωρίμαση, πρόωρη πτώση φύλλων, ανθέων και νεαρών καρπών και εγκαύματα φύλλων και καρπών. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρείται μεταχρωματισμός των βλαστών και των φύλλων, ανωμαλίες στο έλασμα των φύλλων (πτυχώσεις, καρούλιασμα) ή και νέκρωση αυτών μερικώς ή ολικώς, ανθόπτωση (δεν γίνεται γονιμοποίηση), ξυλοποίηση διαφόρων οργάνων του φυτού, μικροκαρπία, παραμόρφωση καρπών, ανομοιόμορφος και ανεπαρκής χρωματισμός και σημαντική καθυστέρηση ωρίμασης.

**Θερμοκρασία εδάφους:** Ελάχιστη 13 - 14°C και άριστη 18 - 22°C. Μικρότερες ή μεγαλύτερες θερμοκρασίες δυσχεραίνουν την ανάπτυξη των φυτών, την ανανέωση του ριζικού συστήματος και την απορρόφηση νερού και θρεπτικών στοιχείων. Οι απαιτήσεις της ντομάτας σε θερμοκρασία αυξάνονται με την ηλικία του φυτού. Για την ανάπτυξη απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες απ' ό,τι για την άνθηση.

Η σχετική υγρασία επιδρά στο φυτό και στην παραγωγή, όπως περίπου και το νερό. Επιδρά στο άνοιγμα και στο κλείσιμο των στοματίων των φύλλων. Σε φυσιολογικά επίπεδα (55 - 70%) παραμένουν ανοικτά. Το άνοιγμά τους δραστηριοποιεί τους μηχανισμούς εφοδιασμού του φυτού με νερό, θρεπτικά στοιχεία από το έδαφος, διοξείδιο του άνθρακα από τον αέρα κ.τ.λ., είναι προϋπόθεση και για την εξατμισοδιαπνοή, χάρη στην οποία διατηρείται η θερμοκρασία του φυτού σταθερή σε κανονικά επίπεδα. Υψηλότερη σχετική υγρασία στο χώρο του θερμοκηπίου, δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες για



την ανάπτυξη και εξάπλωση πολλών ασθενειών και δε μπορεί να απελευθερωθεί η γύρη από τους ανθήρες. Σε χαμηλή σχετική υγρασία ξηραίνεται το στίγμα. Όταν η χαμηλή σχετική υγρασία συνοδεύεται από υψηλές θερμοκρασίες και κακή κυκλοφορία του αέρα, ξηραίνεται η γύρη και δε μπορεί να βλαστήσει.

### 3.2 Λίπανση - Άρδευση.

Η λίπανση χωρίζεται σε δύο βασικές κατηγορίες, στη βασική και στην επιφανειακή λίπανση. Κατά τη βασική λίπανση και πιο συγκεκριμένα κατά την προετοιμασία του εδάφους πριν από τη σπορά ή τη φύτευση, προτείνονται 3 – 4 τόνοι ανά στρέμμα καλά χωνεμένης κοπριάς, 30 – 50 κιλά ανά στρέμμα λίπασμα 0-48-0. Κατά την επιφανειακή λίπανση συνίσταται η χορήγηση του λιπάσματος μαζί με το νερό ποτίσματος. Δίνονται τα δύο κύρια στοιχεία δηλ. άζωτο και κάλιο σε αναλογία 1:1. Τα στοιχεία αυτά χορηγούνται με τη διάλυση νιτρικού καλίου και νιτρικής αμμωνίας στις πιο κάτω αναλογίες:

- 120gr/l νερού  $\text{KHNO}_3$
- 110gr/l νερού  $\text{NH}_4\text{NO}_3^{\dagger}$

Η τομάτα με την αζωτοδέσμευση δεν μπορεί να καλύψει τις ανάγκες του σε N, για το λόγο αυτό γίνεται προσθήκη αζώτου ανάλογα με τη γονιμότητα του εδάφους. Επίσης γίνεται προσθήκη φωσφόρου  $\text{P}_2\text{O}_5$ , καλίου K, μαγνησίου Mg και ασβεστίου Ca. Η λίπανση γίνεται πριν ή κατά τη σπορά χωρίς να έρθει σε επαφή με το σπόρο το λίπασμα.

Τα εδάφη θα πρέπει να έχουν καλή στράγγιση και καλό αερισμό. Επίσης, κατάλληλα είναι και αυτά τα οποία θερμαίνονται νωρίς την άνοιξη. Καταλληλότερα όμως είναι τα αμμώδη και τα αργιλώδη. Τα φυτά αναπτύσσονται χωρίς προβλήματα σε εδάφη των οποίων το pH είναι 5.8-6.5.

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

### 3.3 Καλλιέργεια Σε Θερμοκήπιο.

Η σπορά της τομάτας γίνεται συνήθως απευθείας στο έδαφος του θερμοκηπίου. Η προετοιμασία φυτών σε σπορείο και η εν συνεχεία μεταφύτευση βρίσκει περιορισμένη πρακτική εφαρμογή, γιατί η προετοιμασία μεγάλου αριθμού φυτών που απαιτούνται στην περίπτωση της τομάτας είναι κοπιαστική και το κόστος είναι υψηλό. Όμως υπάρχουν περιπτώσεις, όπως το ενδιαφέρον για πρώιμη παραγωγή, η απασχόληση του θερμοκηπίου με άλλη καλλιέργεια σε συνδυασμό με την εποχή κατά την οποία προγραμματίζεται η συγκομιδή κλπ, καταστάσεις δηλαδή που συνηγορούν υπέρ της μεταφύτευσης. Αντίθετα η απευθείας σπορά διευκολύνει κατά πολύ και δεν παρουσιάζει απαγορευτικά μειονεκτήματα, γιατί η βλάστηση, ανάπτυξη και καρποφορία γίνονται σε σύντομα χρονικά διαστήματα, υπό την προϋπόθεση ότι η θερμοκρασία εδάφους και ατμόσφαιρας, κατά και μετά την απευθείας σπορά, είναι σε κατάλληλα επίπεδα.

### 3.4 Συγκομιδή.

Η συγκομιδή αρχίζει περίπου δύο μήνες μετά τη σπορά. Ο χρόνος που μεσολαβεί από τη σπορά μέχρι την έναρξη της συγκομιδής είναι αποτέλεσμα της εποχής φύτευσης και της περιοχής που γίνεται η καλλιέργεια. Σε θερμαινόμενο θερμοκήπιο (ελάχιστη θερμοκρασία νύχτας 13 - 14°C) χρειάζονται περίπου 50 μέρες ενώ σε μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο χρειάζονται περίπου 70 ημέρες μετά τη σπορά .

Σε θερμαινόμενο θερμοκήπιο η παραγωγή υπολογίζεται περίπου σε 9 τόνοι/στρέμμα, ενώ σε μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο περίπου 7 τόνοι/στρέμμα. Η συγκομιδή επαναλαμβάνεται 1 φορά την εβδομάδα το χειμώνα ενώ τις άλλες εποχές του χρόνου 2-3 φορές την εβδομάδα , ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν.



Εικόνα 3.2: Απεικόνιση καλλιέργειας τομάτας

## 4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.

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

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

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

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

- Τα θερμοκήπια ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους χωρίζονται σε δύο κατηγορίες.
- Θερμοκήπια χωρικού τύπου.
  - Τυποποιημένα θερμοκήπια.

Χωρικού τύπου ονομάζονται τα θερμοκήπια που κατασκευάζονται από τον ίδιο τον παραγωγό. Τα περισσότερα από αυτά τα θερμοκήπια έχουν ξύλινο σκελετό και κάλυμμα μαλακό πλαστικό. Τα θερμοκήπια αυτού του είδους σχεδιάζονται εμπειρικά και δεν στηρίζονται σε ερευνητικά δεδομένα. Αποτέλεσμα είναι να παρουσιάζονται πολλά μειονεκτήματα και ατέλειες, όπως δυσκολία στην εκτέλεση των καλλιεργητικών εργασιών, μικρή διάρκεια ζωής του σκελετού, ανεπαρκής αερισμός κ.ά.

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

## 4.1 Τυποποιημένα Θερμοκήπια.

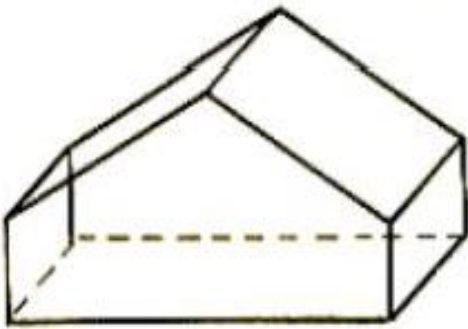
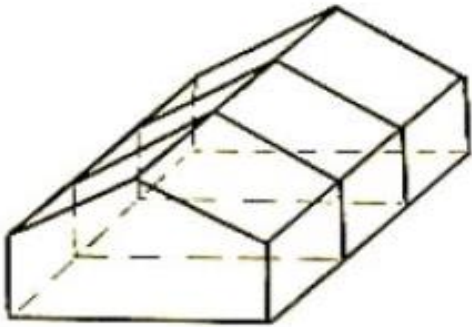
Τα θερμοκήπια διαφέρουν μεταξύ τους, από κατασκευαστικής πλευράς, στο σχήμα και στις διαστάσεις της βασικής κατασκευαστικής τους μονάδας, καθώς και στα χρησιμοποιούμενα υλικά σκελετού και κάλυψης. Βασική κατασκευαστική μονάδα ενός θερμοκηπίου είναι το μικρότερο πλήρες τμήμα του, το οποίο επαναλαμβανόμενο κατά μήκος και κατά πλάτος σχηματίζει το σύνολο. Ανάλογα με το σχήμα των θερμοκηπίων αυτά διακρίνονται σε αμφικλινή, απλά τοξωτά και σε τροποποιημένα τοξωτά(τοξωτή στέγη και στύλοι).

Στα επόμενα δίνονται τα βασικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των τυποποιημένων θερμοκηπίων.

### 4.1.1 Αμφικλινές Θερμοκήπιο.

Ο τύπος αυτός θερμοκηπίου έχει τη μορφή του σχήματος 4.1. Με καταμήκος επανάληψη του μοναδιαίου αμφικλινούς τμήματος (κατασκευαστική μονάδα) γίνεται η προσαρμογή στην επιλεγμένη περιοχή καλύψης από τον παραγωγό (Σχήμα 4.2).

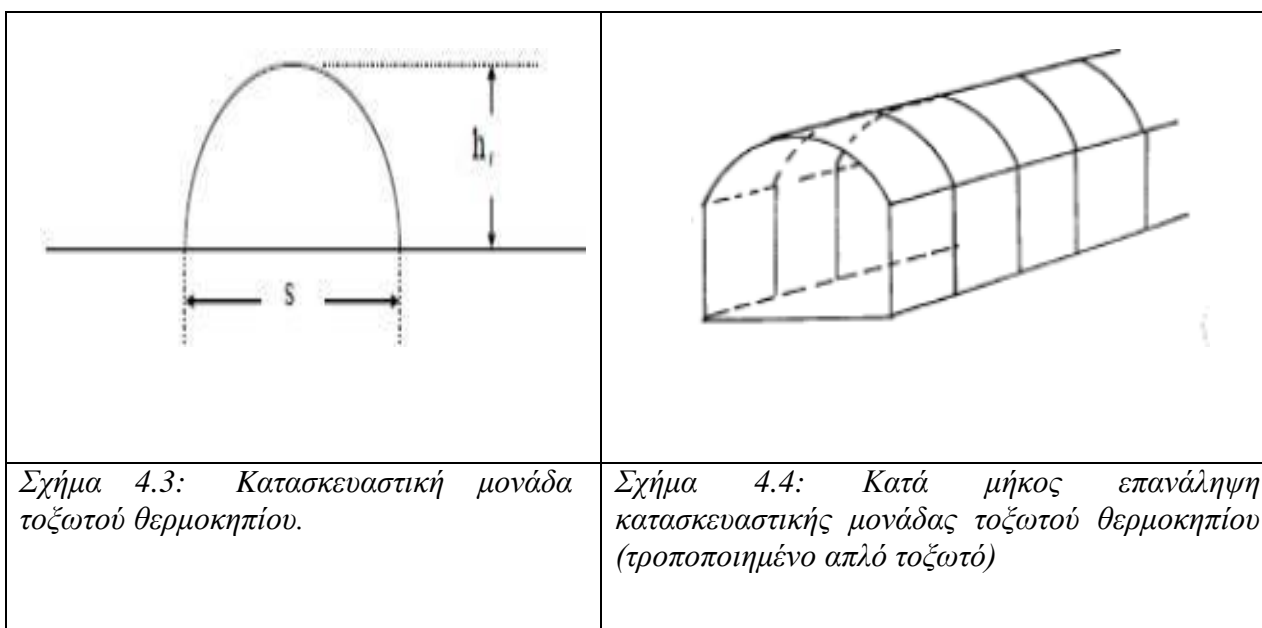
Επίσης το θερμοκήπιο που σχηματίζεται με κατά μήκος και πλάτος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας λέγεται αμφικλινές πολλαπλό.

	
<p>Σχήμα 4.1: Μοναδιαίο τμήμα αμφικλινούς τύπου θερμοκηπίου.</p>	<p>Σχήμα 4.2: Κατά μήκος επανάληψη κατασκευαστικής μονάδας αμφικλινούς τύπου θερμοκηπίου.</p>

### 4.1.2 Τοξωτό Θερμοκήπιο.

Τοξωτό λέγεται ο τύπος θερμοκηπίου που η πρόσθια όψη του έχει τη μορφή τόξου όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3. Με την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας δημιουργείται το λεγόμενο τροποποιημένο απλό τοξωτό θερμοκήπιο στο σχήμα 4.4.

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



### 4.2 Υλικά Κάλυψης Θερμοκηπίου.

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

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

Όλα τα μήκη κύματος του φωτός ανακλώνται, απορροφώνται ή διέρχονται μέσω των διαφόρων υλικών κατά διαφορετικό τρόπο. Το γεγονός αυτό επιδρά στην ποιότητα του φωτισμού που εισέρχεται μέσα στο θερμοκήπιο. Γενικά θα πρέπει όλα τα μήκη κύματος του

φωτός, που είναι αναγκαία για την ανάπτυξη των φυτών, να διέρχονται μέσω του καλύμματος στο χώρο του θερμοκηπίου στο μέγιστο βαθμό και όχι να ανακλώνται ή να απορροφώνται, από το υλικό του καλύμματος.

### 4.3 Οικονομική Θεώρηση των υλικών κάλυψης

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

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



Εικόνα 4.1: Πρόσοψη θερμοκηπίου

## 5 ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Ο αερισμός του θερμοκηπίου αποτελεί πολύ σημαντικό παράγοντα αφού οι ανταλλαγές αέρα μεταξύ του εσωτερικού χώρου ενός θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος αυτού αποτελούν διαδικασία που επιδρά ισχυρά στο κλίμα του θερμοκηπίου. Η ανανέωση του αέρα επιδρά όχι μόνο στο ενεργειακό ισοζύγιο (θερμοκρασία και υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου) αλλά και στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και άλλων αερίων που ίσως υπάρχουν. Ο όρος «αερισμός» του θερμοκηπίου περιλαμβάνει δύο έννοιες:

- Την ανάδευση του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου, με σκοπό τη δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών σε όλη την έκταση του θερμοκηπίου, και
- Την ανταλλαγή του θερμού αέρα του θερμοκηπίου με τον εξωτερικό αέρα, που ονομάζεται ειδικότερα εξαερισμός. Στόχος του εξαερισμού είναι η ρύθμιση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά τη θερμή περίοδο, η μείωση της σχετικής υγρασίας και η ρύθμιση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub>.

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

Ένα αποτελεσματικό σύστημα εξαερισμού πρέπει:

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

Διακρίνονται δύο τύποι αερισμού

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

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

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

## 5.1 Φυσικός Αερισμός

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

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

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

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

$$Q = EAV \quad (5.1)$$

όπου Q είναι ο ρυθμός ροής του ανέμου σε όρους ογκομετρικής παροχής ( $m^3/s$ ),  
E είναι η αποτελεσματικότητα των ανοιγμάτων (μη διαστασοποιημένη),  
A είναι το μέγεθος του εσωτερικού ανοίγματος σε  $m^2$  και  
V είναι η ταχύτητα του ανέμου σε  $m/sec$ .

Η εναλλαγή αέρα μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου επιδρά στις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως θερμοκρασία, υγρασία συγκέντρωση  $CO_2$  που με την σειρά τους επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή της καλλιέργειας. Κατά την διάρκεια του χειμώνα, ο εξαερισμός πρέπει να αναιρεί την υπερβολική υγρασία και να παρέχει μια καλή ατμόσφαιρα εντός του θερμοκηπίου, ενώ κατά την διάρκεια του καλοκαιριού οι κύριες αιτίες για αερισμό είναι για δροσισμό και για αφαίρεση υγρασίας, αιτίες που εξαρτώνται από τις εσωτερικές συνθήκες.

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



1. Δυνάμεις άνωσης που δημιουργούνται λόγω θερμοκρασιακών διαφορών (φαινόμενο καμινάδας) μεταξύ εξωτερικού περιβάλλοντος και εσωτερικού χώρου. Ως γνωστό ο θερμός αέρας μέσα στο θερμοκήπιο γίνεται ελαφρύτες, (μείωση της πυκνότητας) ανεβαίνει προς τα άνω ως αποτέλεσμα της επιβολής ανωστικών δυνάμεων και βγαίνει από τα ανοίγματα της οροφής. Κατά αυτό τον τρόπο δημιουργείται υποπίεση και από τα πλευρικά ανοίγματα εισέρχεται στο θερμοκήπιο ψυχρός αέρας ο οποίος λόγω του ότι είναι βαρύτερος (μεγαλύτερη πυκνότητα) παραμένει χαμηλά μέχρι να ζεσταθεί οπότε ανέρχεται και έτσι ο κύκλος ανανέωσης του αέρα συνεχίζεται.
2. Ταχύτητα ανέμου αφού ο αέρας εισέρχεται από τα πλευρικά παράθυρα με τη μεγαλύτερη πίεση και βγαίνει από εκείνα της απέναντι πλευράς που έχει μικρότερη πίεση Τα ανοίγματα τυπικά θα πρέπει να καλύπτουν μια επιφάνεια ίση με το 25 -30% της επιφάνειας του εδάφους, ώστε ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα να είναι ικανοποιητικός. Η ελάχιστη σχετική επιφάνεια των ανοιγμάτων εξαερισμού, εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες τις περιοχής και από το είδος των φυτών που καλλιεργούνται. Η έκταση και το γεωμετρικό σχήμα των ανοιγμάτων του θερμοκηπίου επηρεάζει σημαντικά την αντίσταση της ροής και επομένως το ρυθμό αερισμού.

Ο καλύτερος τρόπος φυσικού εξαερισμού είναι ο συνδυασμός πλευρικών ανοιγμάτων με παράθυρα οροφής, σε διάφορες διαστάσεις ή συνεχή σε όλο το μήκος του θερμοκηπίου. Αυτός ο συνδυασμός ανοιγμάτων έχει ως αποτέλεσμα καλό εξαερισμό, ιδιαίτερα τις θερμές περιόδους του έτους. Η αυτοματοποίηση των ανοιγμάτων γίνεται με ηλεκτροκινητήρες που η εκκίνηση τους γίνεται με την βοήθεια θερμοστάτη χώρου. Το χειμώνα η θερμοκρασία πρέπει να ρυθμίζεται μόνο από τα ανοίγματα της οροφής, ώστε να προφυλάσσονται τα φυτά από τα ψυχρά ρεύματα. Την άνοιξη και το φθινόπωρο υπολογίζεται ότι στις ελληνικές συνθήκες απαιτούνται περίπου 40 αλλαγές του αέρα του θερμοκηπίου, την ώρα. Το καλοκαίρι όμως, συχνά δεν επαρκούν τα ανοίγματα για τη μείωση της υψηλής θερμοκρασίας, οπότε είναι απαραίτητη η εφαρμογή δυναμικού εξαερισμού, σε συνδυασμό ίσως και με σύστημα δροσισμού.

## 5.2 Δυναμικός Αερισμός

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

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

Με τον δυναμικό αερισμό είναι δυνατόν να επιτευχθούν ρυθμοί ανανέωσης του αέρα μεγαλύτεροι των 40 ανά ώρα (  $h^{-1}$  ) κάτι που δεν επιτυγχάνεται με τα συστήματα φυσικού αερισμού. Για το λόγο αυτό γίνεται χρήση ανεμιστήρων που τοποθετούνται στο τοίχωμα του θερμοκηπίου. Ιδιαίτερα στις θερμές περιοχές, όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι υψηλή, για να

επιτευχθεί μια διαφορά θερμοκρασιών μέσα-έξω  $6^{\circ}\text{C}$ , απαιτούνται 60 αλλαγές του αέρα την ώρα. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί μόνο με μηχανικά μέσα, δεδομένου ότι συχνά επικρατούν και χαμηλές ταχύτητες ανέμων. Είναι γνωστό ότι όταν το ποσοστό ανοιγμάτων φυσικού αερισμού ξεπερνά το 30% η επίδραση του αερισμού στην διάφορα θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) καθίσταται αμελητέα .

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

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

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

### 5.3 Μηχανισμοί των ανοιγμάτων.

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

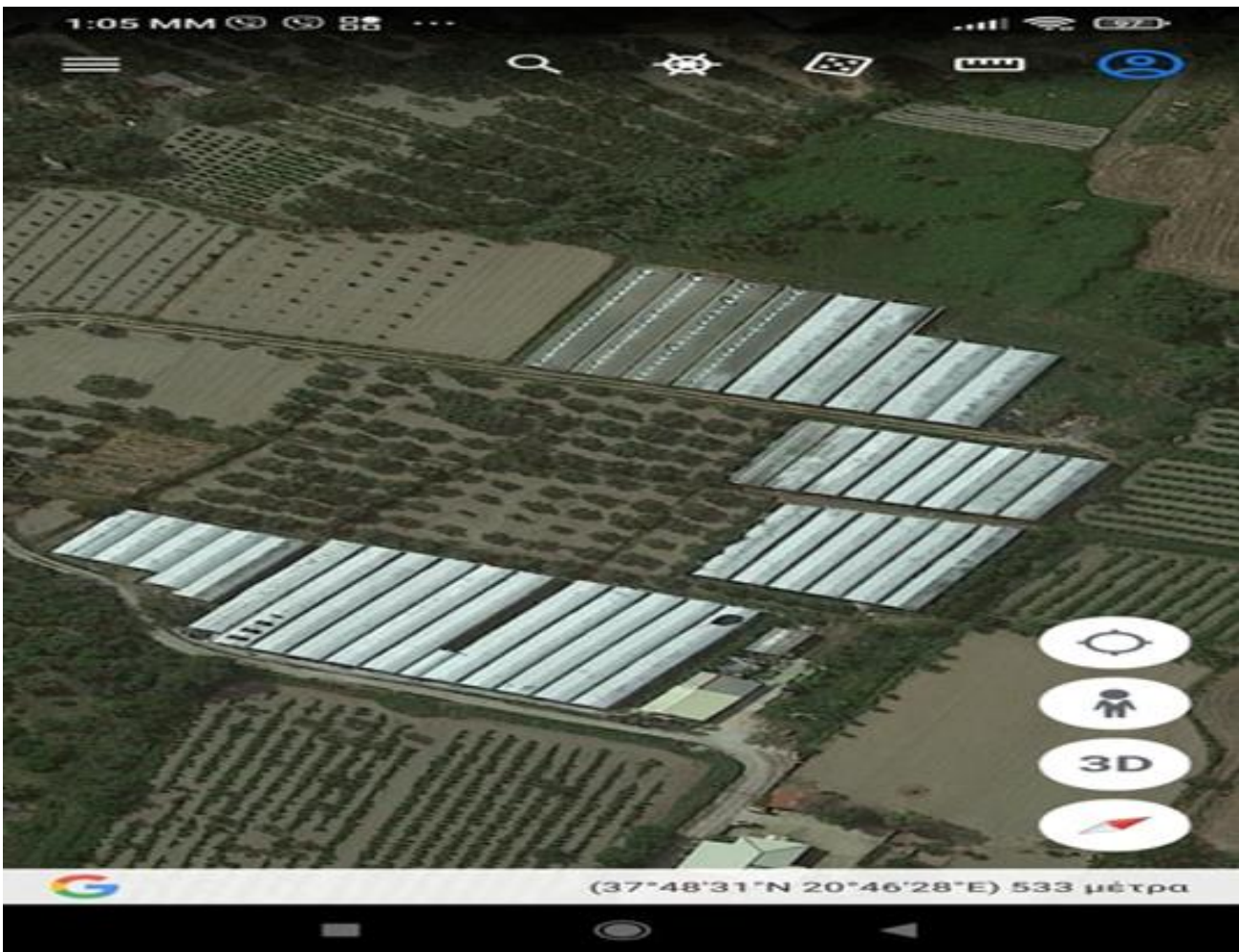


Εικόνα 5.1: Απεικόνιση ανοιγμάτων θερμοκηπίου

## 6 ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ

Το υπό μελέτη θερμοκήπιο βρίσκεται στην περιοχή Καλλιθέα της Ζακύνθου και είναι τροποποιημένο τοξωτό. Η συνολική καλυπτόμενη επιφάνεια εδάφους που τοποθετούνται τα θερμοκήπια είναι 5000 m<sup>2</sup>, αλλά για την καλλιέργεια της τομάτας που θα μελετήσουμε η έκταση είναι 2000 m<sup>2</sup>. Η καλλιέργεια της τομάτας γίνεται όλους τους μήνες του έτους και οι μέθοδοι είναι η συμβατική και υδροπονική. Το ύψος του θερμοκηπίου είναι 4.5m . Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η θέση του.

Για τους χειμερινούς μήνες καλλιέργειας, απαιτείται αρχικά η μελέτη θέρμανσης του θερμοκηπίου προκειμένου να εκτιμηθούν οι θερμικές ανάγκες που πρέπει να καλύψει ο υπάρχων λέβητας πυρηνόξυλου. Στη συνέχεια θα γίνει σύγκριση με λέβητα πετρελαίου και υγραερίου ώστε να δειχτεί ότι ο οικονομικότερος τρόπος κάλυψης των θερμικών αναγκών είναι ο λέβητας πυρηνόξυλου.



Εικόνα 6.1: Τοπογραφία περιοχής θερμοκηπίων

## 6.1 Υπολογισμός παραμέτρων

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

Γνωρίζουμε ότι η επιφάνεια του καλλιεργήσιμου εδάφους είναι  $A_g=2000 \text{ m}^2$ . Στη περίπτωση που μελετάμε έχουμε 10 στοιχειώδη τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια που συγκροτούν την καλλιέργεια της τομάτας και έχουν τα εξής γεωμετρικά χαρακτηριστικά:

Πλάτος=5m

Μήκος=40m

Ύψος πλαϊνών=3m

Ακτίνα οροφής=1.5m

Για να υπολογίσουμε την πλευρική επιφάνεια του καλύμματος θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω τύπο:

$$A_{c,s}=2*\Pi\Lambda*Y+2*M*Y+2*\pi*R^2 \quad (6.1)$$

$$A_{c,s} = 2*10*5*3+2*40*3+2*10*\pi*1.5^2 \Rightarrow A_{c,s} = 681 \text{ m}^2$$

Για να υπολογίσουμε την επιφάνεια του καλύμματος της οροφής θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω τύπο:

$$A_{c,R}=\pi*R*M \quad (6.2)$$

$$A_{c,R} = \pi*1.5*40*10 \Rightarrow A_{c,R} = 1885 \text{ m}^2$$

Η συνολική επιφάνεια του καλύμματος ισούται με το άθροισμα της πλευρικής επιφάνειας του καλύμματος και της επιφάνειας της οροφής:

$$A_c = A_{c,s} + A_{c,R} \quad (6.3)$$

$$A_c = 681 + 1885 \Rightarrow A_c = 2566 \text{ m}^2$$

Ο συνολικός όγκος του θερμοκηπίου θα υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$V_0 = \Pi\Lambda*Y*M + (1/2)*\pi*R^2*M \quad (6.4)$$

$$V_0 = 5*3*40*10 + (1/2)*\pi*1.5^2*40*10 \Rightarrow$$

$$V_0 = 7413 \text{ m}^3$$

## 6.2 Υπολογισμός Ισχύος Θέρμανσης Θερμοκηπίου

πίνακας 6.1:θερμοκρασίες και γεωμετρικά χαρακτηριστικά

			ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Μέγεθος	Σύμβολο	Μονάδα												
Μέση θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος	$T_0$	°C	10,5	10,5	11,8	14,8	19,7	24,3	27,2	27,1	23,6	19,1	14,8	11,7
Μέση επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού του θερμοκηπίου	$T_i$	°C	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Μέση μηνιαία ελάχιστη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος	$T_{min}$	°C	6,3	6,2	7,3	9,0	12,5	15,9	18,6	19,2	16,7	14,1	10,8	7,8
Μέση μηνιαία μέγιστη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος	$T_{max}$	°C	14,4	14,3	15,8	18,8	24,0	28,6	31,9	31,9	28,5	23,6	18,8	15,4
Γεωγραφικό πλάτος	$\phi$	°	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5
Πλευρική επιφάνεια του καλύμματος	$A_{c,s}$	m <sup>2</sup>	681											
Επιφάνεια του καλύμματος οροφής	$A_{c,R}$	m <sup>2</sup>	1885											
Συνολική επιφάνεια του καλύμματος	$A_c$	m <sup>2</sup>	2566											
Συνολική επιφάνεια του εδάφους	$A_g$	m <sup>2</sup>	2000											
Όγκος θερμοκηπίου	$V_0$	m <sup>3</sup>	7413											

Για το κάλυμμα του θερμοκηπίου από τον πίνακα Α βρίσκουμε ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας των πλαινών για διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου είναι  $U_{c,s}=2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

Για το κάλυμμα του θερμοκηπίου από τον πίνακα Α βρίσκουμε ότι ο συντελεστής θερμοπερατότητας της οροφής για απλό φύλλο πολυαιθυλενίου είναι  $U_{c,R}=6,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Για τα χαρακτηριστικά της κατασκευής από τον πίνακα Β βρίσκουμε ότι για παλαιά κατασκευή (4-10 έτη) υαλόφρακτου με καλή συντήρηση έχουμε  $n=1,5$  αλλαγές ανά ώρα

**πίνακας 6.2:** Συνολικές Απώλειες

			ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
			31	28	31	30	31	30	31	30	31	30	31	30	
Μέγεθος	Σύμβολο	Μονάδες													
Μέση Απολύτως Ελάχιστη Εξωτερική Θερμοκρασία	$T_o$	$C^\circ$	6,3	6,2	7,3	9,0	12,5	15,9	18,6	19,2	16,7	14,1	10,8	7,8	
Συνολικές Απώλειες	$q$	$W/m^2$	92,9	94	82,2	64,1	26,7	-9,6	-38,4	-44,9	-18,2	9,6	44,9	76,9	
Συνολικές Απώλειες	$Q$	$KW$	186	188	164	128	53	-19	-77	-90	-36	19	90	154	
Συντελεστής Θερμοπερατότητας Πλαινών	$U_{c,s}$	$W/m^2 K$	2,9												
Συντελεστής Θερμοπερατότητας Οροφής	$U_{c,R}$	$W/m^2 K$	6,3												
Εναλλαγές αέρα	$n$		1,5												

Η ισχύς θέρμανσης θερμοκηπίου για τον μήνα Ιανουάριο θα υπολογιστεί από το παρακάτω τύπο:

$$Q=[(U_{c,s} \times A_{c,s} + U_{c,R} \times A_{c,R}) \times DT + 0,36 \times V \times n \times DT] \times 1,20 \quad (6.5)$$

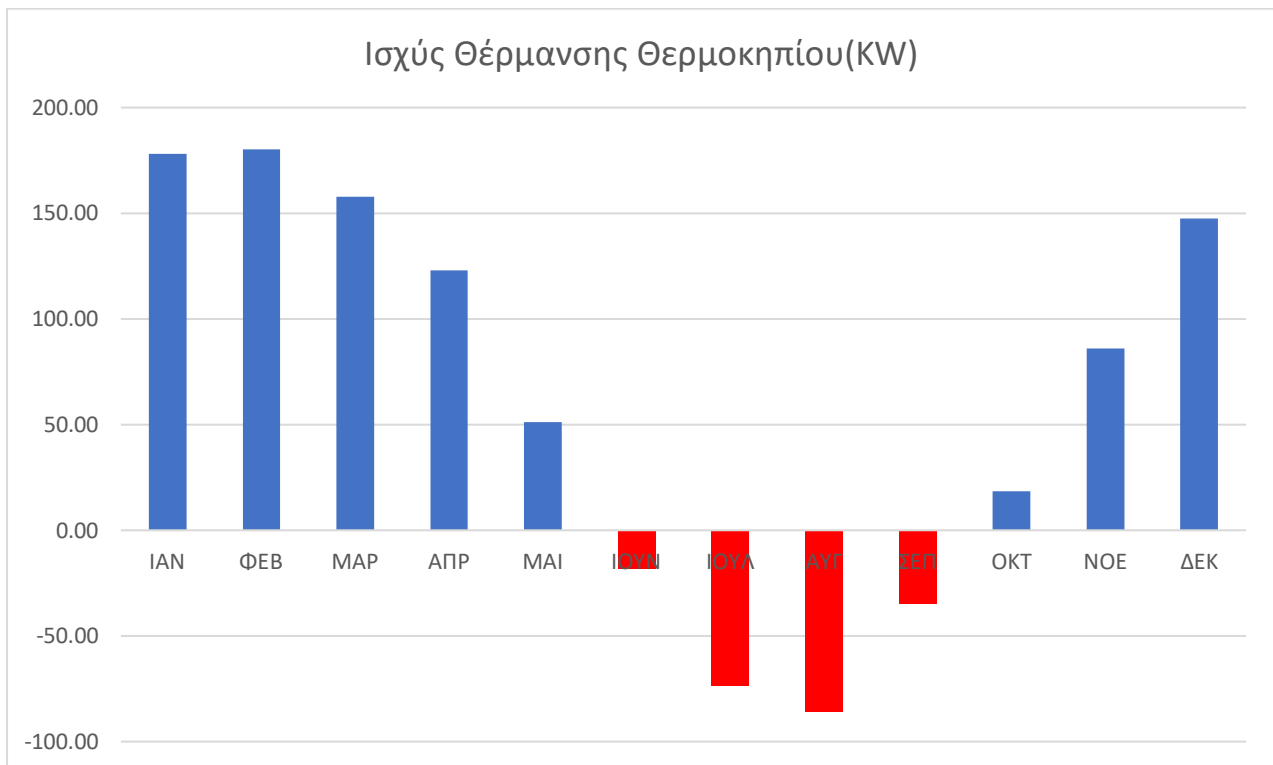
$$Q=[(2,9 \times 681 + 6,3 \times 1885) \times (15 - 6,3) + 0,36 \times 7314 \times 1,5 \times (15 - 6,3)] \times 1,2 \Rightarrow Q = 185,8 \text{ KW}$$

Η ισχύς θέρμανσης θερμοκηπίου ανά  $m^2$  για τον μήνα Ιανουάριο θα υπολογιστεί από το παρακάτω τύπο:

$$q = Q / A_g \quad (6.6)$$

$$q = 185800 / 2000 \Rightarrow q = 92,9 \text{ W/m}^2$$

Αντίστοιχα υπολογίζονται και οι υπόλοιποι μήνες του έτους.



### 6.3 Υπολογισμός Συνολικής Απαιτούμενης Ενέργειας Θέρμανσης

Η απόκλιση της γης σε μοίρες υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \eta \mu(360 \cdot (284 + I) / 365) \quad (6.7)$$

Για τον μήνα Ιανουάριο η αντιπροσωπευτική ημέρα είναι η 17<sup>η</sup>, άρα ο παραπάνω τύπος γίνεται:

$$\delta = 23,45^\circ \cdot \eta \mu(360 \cdot (284 + 17) / 365) \Rightarrow \delta = -20,92^\circ$$

Η διάρκεια της ημέρας σε ώρες (h) υπολογίζεται με τον τύπο:

$$DL = 0.133 \cdot \sin^{-1}(-\epsilon \phi(\varphi) \cdot \epsilon \phi(\delta)) \quad (6.8)$$

Για τον μήνα Ιανουάριο για  $\delta = -20,92^\circ$  και γεωγραφικό πλάτος  $\varphi = 37,5^\circ$  έχουμε:

$$DL = 0.133 \cdot \sin^{-1}(-\epsilon \phi(37,5) \cdot \epsilon \phi(-20,92)) \Rightarrow DL = 9,70h$$



Γνωρίζοντας το DL θα υπολογίσουμε την διάρκεια της νύχτας σε ώρες σύμφωνα με τον τύπο:

$$NL=24-DL \quad (6.9)$$

Για τον μήνα Ιανουάριο έχουμε  $NL=24-9,7 \Rightarrow NL=14,3h$

Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης υπολογίζεται απο τον τύπο:

$$E_H = q_H \times NL \times N \times A_g \quad (6.10)$$

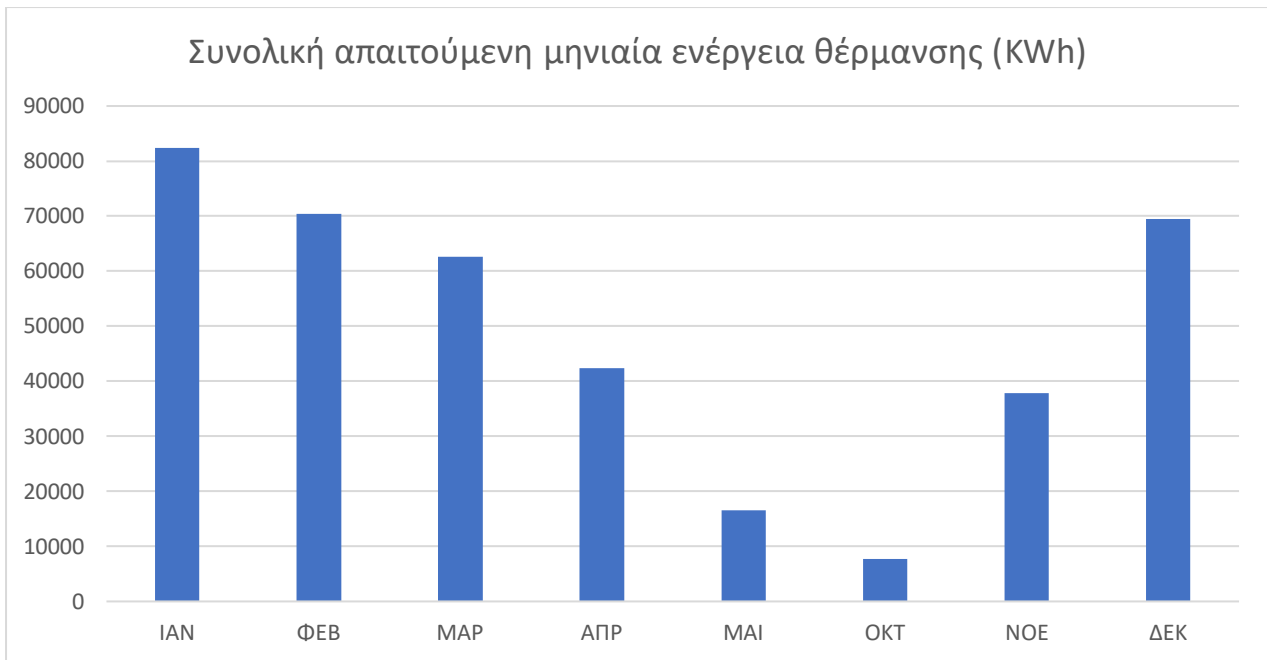
Για τον μήνα Ιανουάριο έχουμε υπολογίσει ότι οι συνολικές απώλειες είναι  $q_H=92,9 \text{ W/m}^2$  ,η διάρκεια της νύχτας σε ώρες είναι  $NL=14,3h$  ,οι μέρες του μήνα είναι  $N=31$  και από τα δεδομένα της εγκατάστασης η καλλιεργήσιμη επιφάνεια του εδάφους είναι  $A_g=2000 \text{ m}^2$ .

Άρα  $E_H=(92,9 \times 14,3 \times 31 \times 2000)/1000 \Rightarrow E_H=82365 \text{ KWh}$

Αντίστοιχα υπολογίζονται και οι υπόλοιποι μήνες του έτους

**πίνακας 6.3:** Συνολική απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης

			ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αριθμός Ημερών			31	28	31	30	31	31	30	31
Μέγεθος	Σύμβολο	Μονάδες								
Αντιπροσωπευτική Ημέρα	I		17	47	75	105	135	288	318	344
Γεωγραφικό πλάτος	φ	°	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5	37,5
Απόκλιση γης	δ	°	-20,92	-12,95	-2,42	9,41	18,79	-9,60	-18,91	-23,05
Διάρκεια ημέρας	DL	h	9,70	10,62	11,72	12,97	13,98	10,98	9,94	9,44
Διάρκεια νύχτας	NL	h	14,30	13,38	12,28	11,03	10,02	13,02	14,06	14,56
Συνολικές Απώλειες	$q_h$	$\text{W/m}^2$	92,9	94	82,2	64,1	26,7	9,6	44,9	76,9
Συνολική απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης	$E_h$	KWh	82365	70432	62584	42421	16587	7750	37878	69441



## 6.4 Υπολογισμός Ποσότητας Καυσίμου-Κόστος

**πίνακας 6.4:** χαρακτηριστικά και τιμές καυσίμων

Συντελεστής Απόδοσης Καυστήρα Ξυλοπυρήνα	$\eta_{\text{pellet}}$	%	75
Τιμή μονάδας Ξυλοπυρήνα	$k_{\text{pellet}}$	€/kg	0,16
Θερμογόνος δύναμη ξυλοπυρήνα	$H_{\text{pellet}}$	kWh/kg	5.29
Συντελεστής Απόδοσης Καυστήρα LPG	$\eta_{\text{LPG}}$	%	95
Τιμή μονάδας LPG	$k_{\text{LPG}}$	€/kg	1
Θερμογόνος δύναμη LPG	$H_{\text{LPG}}$	kWh/kg	12,24
Συντελεστής Απόδοσης Καυστήρα Diesel	$\eta_{\text{Diesel}}$	%	95
Τιμή μονάδας Diesel	$k_{\text{Diesel}}$	€/lit	1,15
Θερμογόνος δύναμη Diesel	$H_{\text{Diesel}}$	kWh/lit	10,3

**πίνακας 6.5:**κατανάλωση και κόστος καυσίμων

			ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	
Μέγεθος	Σύμβολο	Μονάδες	Τιμές								Σύνολο
Συνολική απαιτούμενη ενέργεια Θέρμανσης	$E_H$	KWh	82365	70432	62584	42421	16587	7750	37878	69441	389458
K1-Μηνιαία ποσότητα καυσίμου (ξυλοπυρήνας)	$M_{\text{pellet}}$	kg	20760	17752	15774	10692	4181	1953	9547	17502	98162
K1-Λειτουργικό Κόστος (ξυλοπυρήνας)	$K_{\text{pellet}}$	€	3322	2840	2524	1711	669	313	1528	2800	15706
K2-Μηνιαία ποσότητα καυσίμου (LPG)	$M_{\text{LPG}}$	kg	7083	6057	5382	3648	1426	666	3257	5972	33493
K2-Λειτουργικό Κόστος (LPG)	$K_{\text{LPG}}$	€	7083	6057	5382	3648	1426	666	3257	5972	33493
K3-Μηνιαία ποσότητα καυσίμου (Diesel)	$V_{\text{diesel}}$	lit	8417	7198	6396	4335	1695	792	3871	7097	39802
K3-Λειτουργικό Κόστος (Diesel)	$K_{\text{diesel}}$	€	9680	8278	7355	4986	1949	911	4452	8161	45772

Για να υπολογίσουμε την μηνιαία ποσότητα καυσίμου για ξυλοπυρήνα θα διαιρέσουμε την συνολική απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης του εκάστοτε μήνα με την θερμογόνο δύναμη του καυσίμου επι τον συντελεστή απόδοσης του λέβητα.

Οπότε για τον μήνα Ιανουάριο έχουμε:

$$M_{\text{pellet}} = E_H / (H_{\text{pellet}} * \eta_{\text{pellet}}) \quad (6.11)$$

$$M_{\text{pellet}} = 82365 / (5,29 * 0,75) \Rightarrow M_{\text{pellet}} = 20760 \text{ kg}$$

Αντίστοιχα υπολογίζεται η ποσότητα καυσίμου για τον εκάστοτε μήνα και το άθροισμα αυτών μας δίνει την ετήσια ποσότητα καυσίμου που χρειαζόμαστε.

Για να υπολογίσουμε το λειτουργικό κόστος του ξυλοπυρήνα θα πολλαπλασιάσουμε τη μηνιαία ποσότητα καυσίμου με τη τιμή μονάδας ανά κιλό του ξυλοπυρήνα.

Άρα, για τον μήνα Ιανουάριο έχουμε:

$$K_{\text{pellet}} = M_{\text{pellet}} * k_{\text{pellet}} \quad (6.12)$$

$$K_{\text{pellet}} = 20760 * 0,16 \Rightarrow K_{\text{pellet}} = \mathbf{3322\text{€}}$$

Αντίστοιχα υπολογίζεται το λειτουργικό κόστος του καυσίμου για τον εκάστοτε μήνα και το άθροισμα αυτών μας δίνει το ετήσιο λειτουργικό κόστος.

Για να υπολογίσουμε την μηνιαία ποσότητα καυσίμου για υγραέριο (LPG) θα διαιρέσουμε την συνολική απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης του εκάστοτε μήνα με την θερμογόνο δύναμη του καυσίμου επί τον συντελεστή απόδοσης του λέβητα.

Οπότε για τον μήνα Ιανουάριο έχουμε:

$$M_{\text{LPG}} = E_H / (H_{\text{LPG}} * \eta_{\text{LPG}}) \quad (6.13)$$

$$M_{\text{LPG}} = 82365 / (12,24 * 0,95) \Rightarrow M_{\text{LPG}} = \mathbf{7083 \text{ kg}}$$

Αντίστοιχα υπολογίζεται η ποσότητα καυσίμου για τον εκάστοτε μήνα και το άθροισμα αυτών μας δίνει την ετήσια ποσότητα καυσίμου που χρειαζόμαστε.

Για να υπολογίσουμε το λειτουργικό κόστος του υγραερίου (LPG) θα πολλαπλασιάσουμε τη μηνιαία ποσότητα καυσίμου με τη τιμή μονάδας ανά κιλό του υγραερίου.

Άρα, για τον μήνα Ιανουάριο έχουμε:

$$K_{\text{LPG}} = M_{\text{LPG}} * k_{\text{LPG}} \quad (6,14)$$

$$K_{\text{LPG}} = 7083 * 1 \Rightarrow K_{\text{LPG}} = \mathbf{7083\text{€}}$$

Αντίστοιχα υπολογίζεται το λειτουργικό κόστος του καυσίμου για τον εκάστοτε μήνα και το άθροισμα αυτών μας δίνει το ετήσιο λειτουργικό κόστος.

Για να υπολογίσουμε την μηνιαία ποσότητα καυσίμου του πετρελαίου (Diesel) θα διαιρέσουμε την συνολική απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης του εκάστοτε μήνα με την θερμογόνο δύναμη του καυσίμου επί τον συντελεστή απόδοσης του λέβητα.

Οπότε για τον μήνα Ιανουάριο έχουμε:

$$V_{\text{Diesel}} = E_H / (H_{\text{Diesel}} * \eta_{\text{Diesel}}) \quad (6.15)$$

$$V_{\text{Diesel}} = 82365 / (10,3 * 0,95) \Rightarrow V_{\text{Diesel}} = \mathbf{8417 \text{ lit}}$$

Αντίστοιχα υπολογίζεται η ποσότητα καυσίμου για τον εκάστοτε μήνα και το άθροισμα αυτών μας δίνει την ετήσια ποσότητα καυσίμου που χρειαζόμαστε.

Για να υπολογίσουμε το λειτουργικό κόστος του πετρελαίου (Diesel) θα πολλαπλασιάσουμε τη μηνιαία ποσότητα καυσίμου με τη τιμή μονάδας ανά λίτρο του Diesel .

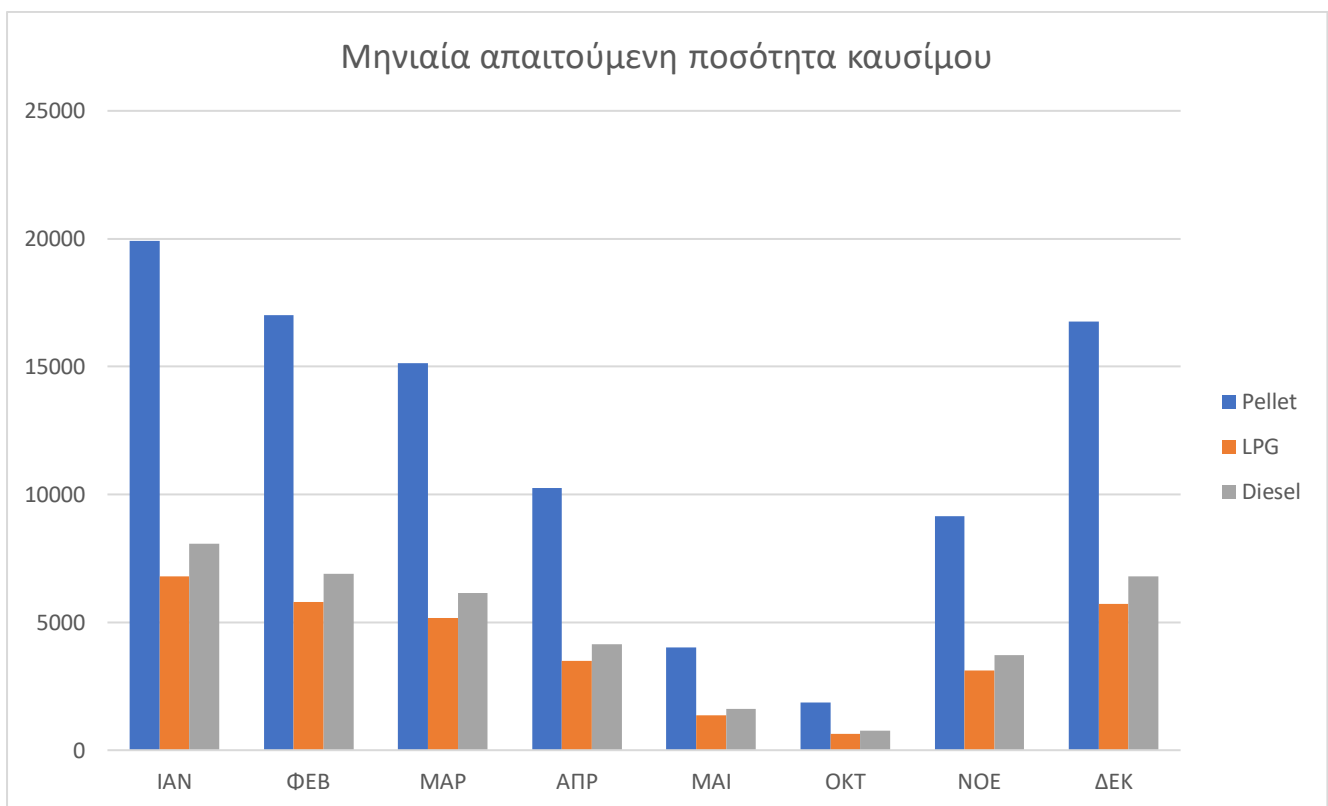
Άρα, για τον μήνα Ιανουάριο έχουμε:

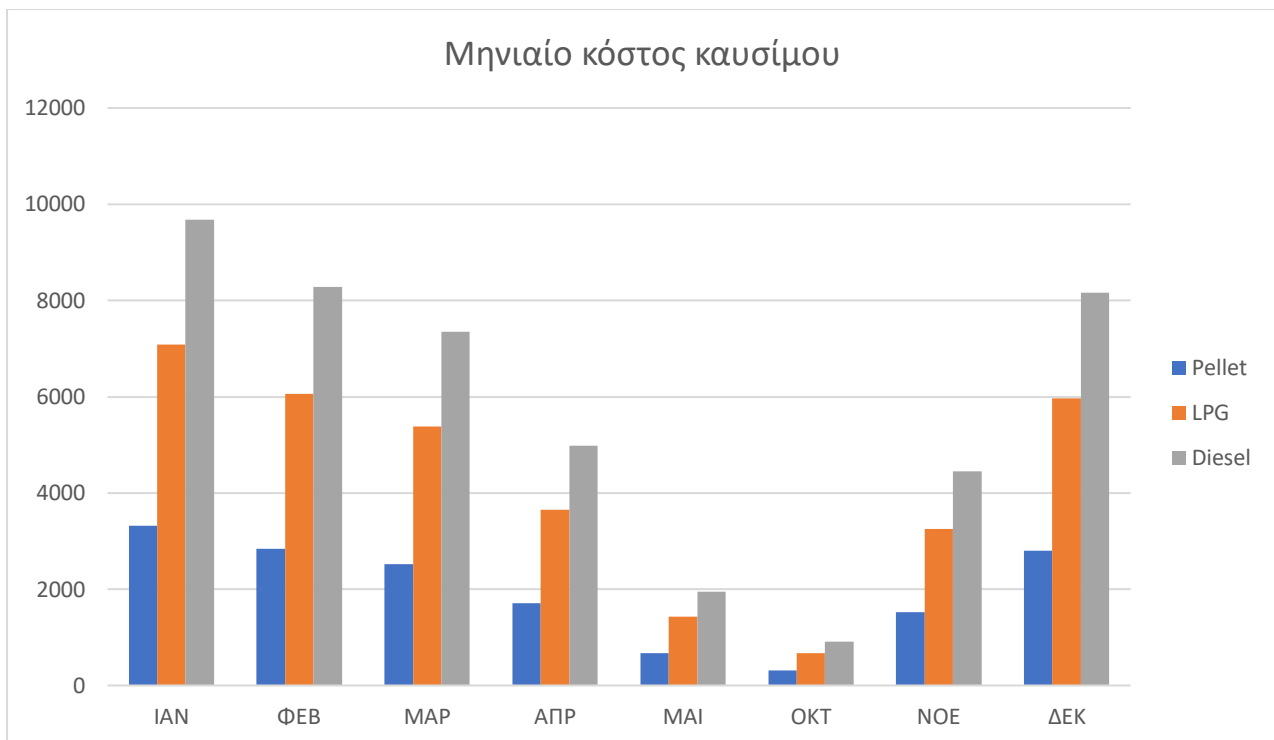
$$K_{\text{Diesel}} = M_{\text{Diesel}} * k_{\text{Diesel}}$$

(6.16)

$$K_{\text{Diesel}} = 8417 * 1,15 \Rightarrow K_{\text{Diesel}} = 9680\text{€}$$

Αντίστοιχα υπολογίζεται το λειτουργικό κόστος του καυσίμου για τον εκάστοτε μήνα και το άθροισμα αυτών μας δίνει το ετήσιο λειτουργικό κόστος





## 6.5 Επιλογή Οικονομικότερου Καυσίμου

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς συμπεραίνουμε ότι η οικονομικότερη λύση για την κάλυψη της απαιτούμενης ενέργειας ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία για την καλλιέργεια της τομάτας είναι το καύσιμο του ξυλοπυρήνα.



Εικόνα 6.2: Λέβητας ξυλοπυρήνα(pellet)

## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

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

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

Στη συγκεκριμένη εργασία μελετήθηκε αναλυτικά η μέθοδος υπολογισμού των θερμικών απωλειών μια θερμοκηπιακής μονάδας προς εγκατάσταση στην περιοχή της Ζακύνθου , όπου πρόκειται να καλλιεργηθεί τομάτα όλους τους μήνες του έτους. Δόθηκαν αναλυτικά τα μεγέθη για τον υπολογισμό των θερμικών αναγκών. Επιπρόσθετα το συμβατικό πετρέλαιο και το υγραέριο κρίθηκαν ασύμφωρα ως ακριβή πηγή θέρμανσης για αυτό και οι ενεργειακές ανάγκες θα καλύπτονται από λέβητα βιομάζας (καύση πυρηνόξυλου).

Έπειτα έγινε μια σύντομη περιγραφή των τρόπων μεταφοράς θερμότητας που διέπουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Κεφάλαιο 2). Δόθηκαν εν συντομία στοιχεία για την καλλιέργεια της τομάτας (Κεφάλαιο 3) και στη συνέχεια δόθηκαν τα κατασκευαστικά στοιχεία των θερμοκηπίων ενώ αναφέρθηκαν και οι τυποποιημένοι τύποι των θερμοκηπίων (Κεφάλαιο 4).

Αναπόσπαστο τμήμα της μελέτης μιας θερμοκηπιακής καλλιέργειας είναι και το κομμάτι του αερισμού – δροσισμού, που όμως στην περίπτωση χειμερινής καλλιέργειας σπάνια εφαρμόζεται. Παρ' όλα αυτά περιεγράφηκαν τα είδη αερισμού και οι κρίσιμες παράμετροι καθώς επίσης συζητήθηκαν οι μηχανισμοί των ανοιγμάτων με την απαιτούμενη κατανομή και έκταση που πρέπει να καλύπτουν σε ένα θερμοκήπιο (Κεφάλαιο 5).

Αφού δόθηκαν όλα τα χαρακτηριστικά που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εγκατάσταση μια θερμοκηπιακής καλλιέργειας στο κεφάλαιο 6 γίνεται η ανάλυση για μια συγκεκριμένη μελέτη περίπτωσης που αναφέρεται σε καλλιέργεια τομάτας εντός θερμοκηπίου έκτασης 2000 τ.μ.

Το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την επιλογή καυσίμου του λέβητα σύμφωνα με το κόστος λειτουργίας του κάθε καυσίμου για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου.

## 8 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Von Elsner B., Briassoulis D., Waaijenberg D., Mistriotis A., von Zabeltitz C., Graatraud J., Russo G., Suay- Cortes R., (2000a). Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouse in European Union Countries: Part I, Design Requirements. *Journal of Agriculture Engineering Research*, Vol. 75, pp. 1-16
2. Von Elsner B., Briassoulis D., Waaijenberg D., Mistriotis A., von Zabeltitz C., Graatraud J., Russo G., Suay- Cortes R., (2000b). Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouse in European Union Countries: Part II, Typical Designs. *Journal of Agriculture Engineering Research*, Vol. 75, pp. 111-126
3. Μαυρογιαννόπουλος Ν. Γ., *Θερμοκήπια, Περιβάλλον – Υλικά – Κατασκευή -Εξοπλισμός*, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε, Αθήνα 2001
4. Bakker J.C., Bot G.P.A., Challa H., Van de Braak N.J., *Greenhouse climate control*, Wageningen Pers, 1995
5. Rozakis S., Soldatos P., Papadakis G., Kyritsis S., Papantonis D., (1997). Evaluation of an Integrated Renewable energy System for Electricity Generation in Rural Areas. *Energy Policy*, Vol. 25 (3), pp. 337-347
6. Papadakis G., Briassoulis D., Scarascia Mygnozza G, Vox G., Feuilloley P., Stffers A.J., (2000). Radiometric and Thermal Properties of, and Testing Methods for, Greenhouse Covering Materials. *Journal of Agriculture Engineering Research*, Vol.77(1), pp.7-38,
7. Kittas C., Katsoulas N., Baille A. (2001). Influence of Greenhouse Ventilation Regime on the Microclimate and Energy Partitioning of a Rose Canopy during Summer Conditions. *J.agric. Engng Res.*, Vol. 79 (3), pp. 349-360
8. Γιαννούλης Π., *Νέες Πηγές Ενέργειας*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2001
9. Briassoulis D., Waaijenberg D., Graatraud J., von Elsner B., (1997). Mechanical Properties of Covering Materials for Greenhouses: Part 1, General Overview. *Journal of Agriculture Engineering Research*, Vol. 67, pp.81-96



10. Dilara, P.A., Briassoulis, D., 2000. Degradation and stabilization of lowdensity polyethylene films used as greenhouse covering materials, *Journal of Agricultural Engineering Research* 76, 309–321
11. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%BF%CE%BC%CE%AC%CF%84%CE%B1>
12. [http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%9A%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82\\_%CF%83%CF%85%CE%BD%CE%B8%CE%AE%CE%BA%CE%B5%CF%82\\_%CE%BD%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%AC%CF%84%CE%B1%CF%82\\_%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%AF%CE%BF%CF%85](http://www.gaiapedia.gr/gaiapedia/index.php/%CE%9A%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82_%CF%83%CF%85%CE%BD%CE%B8%CE%AE%CE%BA%CE%B5%CF%82_%CE%BD%CF%84%CE%BF%CE%BC%CE%AC%CF%84%CE%B1%CF%82_%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CE%B7%CF%80%CE%AF%CE%BF%CF%85)
13. <https://proplant.gr/2021/03/tomato-fertilization>
14. <https://wikifarmer.com/el/epaggelmatiki-kalliergeia-tomatas/>
15. <https://www.viologika.gr/blog/nees-kalliergeies/ydroponiki-kalliergeia/>
16. Θεοχάρης Μ.:" Θερμοκηπιακές Κατασκευές", Άρτα 2000
17. Γραφιαδέλης Μ., 1987, Σύγχρονα θερμοκήπια. Εκδόσεις Γαρταγάνη.
18. Baille A, 1988. Greenhouse microclimate and its management in mild winter climates
19. Μηχανολογικός Σχεδιασμός Θερμοκηπίων (1).pdf
20. TOTEE\_20701-3\_2010\_TEE\_3nd\_Edition.pdf

## 9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 9.1: Μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου [°C]

Περιοχή/μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αθήνα (Ελληνικό)	10,3	10,6	12,3	16,0	20,7	25,4	28,1	28,0	24,3	19,6	15,4	12,0
Αθήνα (Φιλαδέλφεια)	8,7	9,3	11,2	15,4	20,7	25,7	28,1	27,5	23,4	18,2	13,8	10,3
Αγρίνιο	8,3	9,2	11,5	15,2	20,4	24,8	27,2	27,0	23,0	18,0	13,2	9,6
Αγχίαλος	6,6	7,7	10,0	14,3	19,6	24,6	26,9	26,3	22,2	17,0	12,1	8,1
Αλεξανδρούπολη	5,0	5,9	8,3	13,2	18,4	23,2	25,9	25,6	21,1	15,7	10,8	7,0
Αλιάρτος	7,1	8,2	10,6	15,2	20,6	25,7	27,2	26,2	22,6	16,9	12,0	8,6
Ανδραβίδα	9,4	9,9	11,8	14,8	19,5	23,7	25,9	26,0	22,9	18,3	14,1	10,9
Άραξος	10,2	10,5	12,2	15,2	19,8	24,1	26,6	26,8	23,4	19,0	14,7	11,6
Άργος (Πυργέλα)	8,1	8,4	10,6	14,7	20,0	24,9	27,3	26,5	22,6	17,8	12,9	9,5
Αργασσόλι	11,4	11,5	12,8	15,3	19,5	23,5	25,7	26,1	23,4	19,8	15,8	12,8
Άρτα	8,0	9,0	11,5	14,6	19,6	23,6	25,7	25,6	22,0	17,8	12,5	9,1
Δράμα	4,7	6,5	10,0	14,7	20,2	24,7	26,7	25,9	22,3	16,4	9,9	6,0
Έδεσσα	4,5	6,2	9,6	13,4	18,6	23,8	25,2	24,5	20,7	15,6	9,4	5,8
Ζάκυνθος	10,5	10,5	11,8	14,8	19,7	24,3	27,2	27,1	23,6	19,1	14,8	11,7
Ηράκλειο	12,1	12,2	13,5	16,5	20,3	24,4	26,2	26,1	23,6	20,1	16,7	13,7
Θεσσαλονίκη	5,3	6,8	9,8	14,3	19,7	24,5	26,8	26,2	21,9	16,3	11,1	6,9
Ιεράπετρα	12,9	12,9	14,2	17,0	20,9	25,4	27,8	27,7	24,9	21,0	17,5	14,5
Ιωάννινα	4,7	6,0	8,8	12,4	17,5	22,0	24,9	24,5	20,1	15,0	9,7	5,8
Καλαμάτα	10,2	10,6	12,3	15,2	19,8	24,2	26,5	26,3	23,2	19,0	14,8	11,6
Καρδίτσα	4,5	6,9	10,4	13,9	18,0	24,2	26,3	25,6	22,1	16,1	10,1	4,3
Καρπενήσι	3,8	3,1	5,4	10,6	14,7	18,9	21,6	20,9	17,6	12,4	6,8	4,8
Κάρυστος	10,4	10,3	12,4	15,7	19,5	24,2	26,8	26,4	23,6	19,4	14,9	11,7
Καστοριά	2,2	3,4	6,9	11,5	16,4	21,4	24,0	23,2	18,9	13,4	7,2	3,0
Κέρκυρα	9,7	10,3	12,0	15,0	19,8	24,0	26,5	26,5	22,7	18,5	14,3	11,1
Κοζάνη	2,3	3,7	6,9	11,6	16,8	21,5	24,1	23,6	19,3	13,5	8,0	3,9
Κομοτηνή	4,8	6,2	8,6	13,1	18,4	23,0	25,5	25,0	20,6	15,2	10,8	7,0
Κόνιτσα	5,2	6,5	9,5	12,2	17,2	21,7	24,4	24,0	20,3	15,4	9,8	6,4
Κόρινθος (Βέλο)	8,8	9,3	11,5	15,4	20,7	25,8	28,3	27,8	23,4	18,6	13,4	10,1
Κύθηρα	10,9	10,9	11,9	14,6	18,9	23,2	25,7	25,7	22,9	19,1	15,8	12,7
Κως	11,0	10,5	12,1	15,4	19,5	23,8	25,9	25,4	23,2	19,4	15,0	12,4
Λαμία	7,1	8,1	10,7	15,0	20,2	25,4	27,0	26,0	22,5	17,0	11,9	8,2
Λάρισα	5,2	6,8	9,5	14,0	19,7	25,2	27,3	26,3	21,9	16,3	10,9	6,5
Λευκάδα	10,2	10,6	12,7	15,2	19,4	23,1	25,4	25,5	23,0	19,3	14,6	11,5
Λήμνος	7,4	7,8	9,7	13,8	18,5	23,6	25,9	25,1	21,5	16,8	12,3	9,0
Μεθώνη	11,3	11,5	12,9	15,4	19,0	22,6	24,8	25,7	23,6	19,8	16,0	12,9
Μήλος	10,7	10,8	11,9	15,0	19,4	23,6	25,2	24,9	22,3	18,8	15,3	12,4
Μυτιλήνη	9,5	9,9	11,6	15,6	20,2	24,7	26,6	26,1	22,9	18,5	14,3	11,3
Νάξος	12,1	12,2	13,3	16,1	19,5	23,3	24,9	24,8	22,8	19,6	16,3	13,6
Ξάνθη	5,6	6,8	9,6	14,3	19,8	24,1	26,6	26,0	22,4	16,5	11,0	6,9
Πάρος	11,2	11,2	12,9	16,2	19,8	24,0	25,5	25,0	22,8	19,1	15,2	12,3
Πάτρα	10,0	10,6	12,5	15,6	20,1	24,1	26,4	26,7	23,5	19,0	14,5	11,4
Πολύγυρος	4,9	4,7	8,7	12,4	16,3	22,4	24,0	24,1	21,3	15,1	10,7	6,8
Πύργος	9,6	10,1	12,2	15,2	19,7	23,9	26,4	26,3	23,0	18,7	14,1	11,0
Ρέθυμνο	12,8	12,9	14,2	17,1	20,7	24,9	26,9	26,8	24,2	20,6	17,3	14,5
Ρόδος	12,0	12,2	13,7	16,6	20,6	24,8	26,9	27,1	24,7	20,9	16,7	13,5
Σάμος	10,4	10,2	12,2	16,1	20,8	25,7	28,6	28,2	24,4	19,6	14,7	12,0
Σέρρες	4,0	6,3	9,7	14,4	19,7	24,4	26,5	25,6	21,7	15,7	9,4	4,8

**Πίνακας 9.2: Μέση μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία [°C].**

Περιοχή/μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αθήνα * (Ανάβρυτα)	12,0	13,0					31,9	32,1				
Αθήνα * (Αστεροσκοπείο)	13,9	15,0					33,0	33,0				
Αθήνα (Ελληνικό)	13,6	14,2	15,8	19,5	24,2	28,9	31,9	31,9	28,3	23,4	18,8	15,2
Αθήνα (Φιλαδέλφεια)	12,5	13,6	15,7	20,4	26,1	31,2	33,6	33,3	29,2	23,5	18,2	14,2
Αργίτιο	13,6	14,5	16,9	20,6	26,0	30,5	33,4	33,7	29,8	24,5	18,9	14,8
Αρχιάλοσ	11,1	12,3	14,4	18,9	24,0	29,0	31,1	30,8	27,1	21,8	16,8	12,5
Άγιο*	13,1	14,0					32,8	32,7				
Αλεξανδρούπολη	8,6	9,8	12,2	17,2	22,4	27,2	30,3	30,5	26,3	20,4	14,8	10,6
Αλιάρτος	11,5	12,7	15,4	20,2	25,8	30,8	32,2	31,7	28,5	22,3	17,1	12,9
Ανδραβίδα	14,0	14,4	16,4	19,3	24,0	28,1	30,4	31,1	28,1	23,8	19,1	15,3
Αντίπαρος*	13,9	14,8					27,1	27,2				
Ανώγεια*(Κρήτης)	11,5	10,6					27,6	27,2				
Άραξος	13,8	14,2	16,0	19,1	24,0	28,3	31,1	31,4	28,1	23,4	18,7	15,2
Άργος (Πυργέλα)	14,5	14,8	17,0	21,2	26,2	31,1	33,8	33,5	29,9	24,6	19,0	15,5
Αργοστόλι	14,3	14,3	15,8	18,3	22,6	26,5	28,8	29,5	26,8	23,1	18,8	15,5
Άρτα	13,8	14,5	16,9	19,9	25,0	28,8	31,4	31,8	28,5	24,3	18,4	14,5
Αστυπάλαια*	14,6	14,8					28,6	28,7				
Βόλος*	11,3	13,0					31,1	31,0				
Δομοκός*	6,5	7,5					29,3	23,5				
Δράμα	8,2	10,5	14,5	19,6	25,2	29,9	31,9	31,1	28,0	21,3	13,6	9,0
Έδεσσα	9,4	10,5	13,6	17,5	23,0	28,3	29,8	29,4	25,9	20,0	13,9	10,0
Ελευσίνα*	13,4	14,1					32,9	32,9				
Ζάκυνθος	14,4	14,3	15,8	18,8	24,0	28,6	31,9	31,9	28,5	23,6	18,8	15,4
Ηράκλειο	15,2	15,5	16,8	20,1	23,5	27,3	28,8	28,6	26,5	23,4	20,1	17,0
Θάσος*	10,0	10,8					30,5	30,5				
Θεσσαλονίκη	9,3	11,0	14,3	19,2	24,5	29,3	31,6	31,3	27,2	21,3	15,4	10,9
Θήρα*	13,4	13,6					28,5	28,1				
Ιεράπετρα	16,1	16,2	17,6	20,4	24,5	29,2	31,8	31,8	28,8	24,9	21,1	17,7
Ικαρία*	15,0	15,3					31,0	31,1				
Ιωάννινα	10,0	11,4	14,4	17,7	23,1	27,7	30,9	31,0	26,6	21,3	15,4	10,9
Καβάλα*	8,6	10,2					29,8	29,8				
Καλάβρυτα*	8,4	9,7					28,8	28,8				
Καλαμάτα	15,2	15,5	17,1	20,0	24,4	28,9	31,2	31,4	28,7	24,8	20,5	16,6
Καλαμπάκα*	9,2	10,8					33,3	33,0				
Καρδίτσα	8,8	11,7	16,1	19,7	24,3	30,8	32,6	31,8	28,4	21,9	14,5	8,4
Κάρπαθος*	16,5	16,5					30,4	30,6				
Καρπενήσι	7,8	6,9	9,3	15,5	19,5	23,8	26,4	26,2	23,2	17,5	11,3	8,7
Κάρυστος	13,7	13,5	15,9	19,4	23,3	28,0	30,4	30,1	27,6	23,2	18,3	14,8
Καστοριά	6,8	8,1	12,0	16,9	21,8	27,1	29,7	29,6	25,4	19,2	11,9	7,1
Κέρκυρα	13,9	14,3	16,0	19,1	23,9	28,1	31,0	31,4	27,6	23,3	18,7	15,3
Κοζάνη	6,1	8,0	11,4	16,3	21,7	26,5	29,3	29,2	25,0	18,8	12,7	8,0
Κομοτηνή	8,8	10,4	12,8	17,5	22,9	27,7	30,2	30,4	26,4	21,0	16,0	11,2
Κόνιτσα	10,0	11,4	14,6	17,4	22,7	27,6	30,8	30,7	27,1	21,1	14,6	10,5
Κόρινθος (Βέλο)	13,3	14,0	16,2	20,2	25,3	30,4	32,9	32,7	28,5	23,6	18,0	14,4
Κύθηρα	12,8	13,0	14,1	17,0	21,6	26,2	28,7	28,7	25,5	21,7	17,8	14,6
Κύμη*	11,6	12,6					28,6	28,5				

**Πίνακας 9.3: Μέση ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία [°C].**

Περιοχή/μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αθήνα * (Ανάβρυτα)	3,0	3,2					18,2	18,7				
Αθήνα * (Αστεροσκοπείο)	6,7	7,3					23,4	23,3				
Αθήνα (Ελληνικό)	7,0	7,2	8,4	11,5	15,8	20,2	22,9	22,9	19,7	15,6	12,1	8,8
Αθήνα (Φιλαδέλφεια)	5,2	5,4	6,7	9,7	14,0	18,3	20,9	20,8	17,4	13,5	9,9	6,8
Αγρίνιο	3,3	3,9	5,5	8,3	12,4	15,7	17,6	17,8	15,1	11,6	8,0	4,9
Αγχιάλος	2,8	3,5	4,9	7,8	12,2	16,4	18,8	18,7	15,7	12,2	8,2	4,5
Αίγιο*	5,9	6,4					20,8	21,0				
Αλεξανδρούπολη	1,3	1,8	3,5	7,1	11,3	15,1	17,7	17,6	14,2	10,3	6,6	3,2
Αλιάρτος	3,2	3,6	4,9	7,9	12,1	15,9	17,8	17,3	14,4	10,9	7,1	4,3
Ανδραβίδα	5,1	5,4	6,8	9,0	12,6	16,0	17,8	18,4	16,3	12,8	9,7	6,9
Αντίπαρος*	9,8	10,1					22,2	22,5				
Ανώγεια*	4,7	4,9					19,4	19,2				
Άραξος	6,3	6,4	7,5	9,6	13,0	16,5	18,7	19,5	17,0	14,1	10,5	7,7
Άργος (Πυργέλα)	2,9	2,9	4,1	6,4	10,4	13,8	16,5	16,7	14,0	11,3	7,7	4,6
Αργαστόλι	8,4	8,4	9,4	11,4	14,8	18,1	20,3	21,1	19,1	16,1	12,6	9,8
Άρτα	3,3	4,0	5,8	8,3	12,6	15,5	17,4	17,9	15,0	11,9	7,9	4,8
Αστυπάλαια*	9,7	10,1					22,5	22,9				
Βόλος*	4,4	5,3					21,7	21,5				
Δομοκός*	1,3	1,9					18,5	15,0				
Δράμα	0,4	1,5	4,2	8,0	12,8	16,9	19,0	17,6	15,0	10,4	5,5	2,0
Έδεσσα	1,1	2,4	5,1	8,4	13,1	17,2	18,7	18,8	15,5	11,3	6,1	2,6
Ελευσίνα*	5,5	5,5					22,1	22,2				
Ζάκυνθος	6,3	6,2	7,3	9,0	12,5	15,9	18,6	19,2	16,7	14,1	10,8	7,8
Ηράκλειο	9,1	9,0	9,7	11,9	15,1	19,1	21,7	21,9	19,4	16,6	13,5	10,8
Θάσος*	2,6	2,4					18,6	18,8				
Θεσσαλονίκη	1,4	2,3	4,6	7,6	12,3	16,5	18,8	18,6	15,1	11,0	6,9	3,0
Θήρα*	8,6	8,5					21,6	21,7				
Ιεράπετρα	8,9	8,7	9,7	11,8	15,2	19,4	22,7	22,9	20,2	16,7	13,5	10,6
Ικαρία*	8,9	9,2					23,2	23,3				
Ιωάννινα	0,2	1,0	3,2	6,0	9,7	12,8	15,0	15,1	12,2	8,5	4,8	1,7
Καβάλα*	0,9	1,3					17,9	17,1				
Καλάβρυτα*	0,6	1,1					14,5	14,6				
Καλαμάτα	5,6	5,7	6,7	8,9	12,4	16,0	18,2	18,5	16,2	13,2	9,9	7,2
Καλαμπάκα*	1,7	2,7					19,9	19,8				
Καρδίτσα	0,0	1,7	4,9	7,9	11,4	16,1	18,4	17,2	14,3	9,5	5,1	0,3
Κάρπαθος*	9,9	10,4					23,6	23,9				
Καρπενήσι	0,4	-0,2	1,7	5,3	8,9	12,1	14,9	14,6	11,9	7,9	3,4	1,7
Κάρυστος	7,4	7,4	8,9	11,8	15,3	19,6	22,4	22,3	19,6	15,9	12,1	8,9
Καστοριά	-1,9	-1,3	1,1	4,6	8,7	12,0	14,4	14,3	10,8	7,4	2,9	-0,7
Κέρκυρα	5,2	5,7	6,9	9,4	13,1	16,6	18,6	19,1	16,7	13,6	10,0	6,8
Κοζάνη	-1,2	-0,5	1,8	5,2	9,5	13,2	15,7	15,7	12,5	8,1	3,9	0,4
Κομοτηνή	1,4	2,3	3,9	7,3	11,7	15,2	17,6	17,1	13,6	10,0	6,9	3,2
Κόνιτσα	0,6	1,6	3,7	6,2	10,2	13,9	16,0	15,9	13,1	9,4	5,3	2,1
Κόρινθος (Βέλο)	5,1	4,8	6,1	8,5	12,6	16,3	18,9	19,2	16,5	13,5	9,5	6,5
Κύθηρα	9,0	8,9	9,9	12,3	16,1	20,0	22,4	22,6	20,2	17,0	13,8	10,8

**Πίνακας 9.4:** Σταθμοί μέτρησης της ΕΜΥ

Πόλη	Περιοχή (Νομός)	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Υψόμετρο Βαρομέτρου (m)
Αθήνα (Ελληνικό)	Αττικής	37° 54'	23° 45'	15,0
Αθήνα (Ν. Φιλαδέλφεια)	Αττικής	38° 03'	23° 40'	138,0
Αγρίνιο	Αιτωλοακαρνανίας	38° 37'	21° 23'	25,0
Αγχιάλος	Μαγνησίας	39° 13'	22° 48'	15,3
Αλεξανδρούπολη	Έβρου	40° 51'	25° 56'	3,5
Αλιάρτος	Βοιωτίας	38°23'	23° 06'	110,0
Ανδραβίδα	Ηλείας	37° 55'	21° 17'	15,1
Άραξος	Αχαΐας	38° 09'	21° 25'	11,5
Άργος (Πυργέλα)	Αργολίδας	37° 36'	22° 47'	11,2
Αργοστόλι	Κεφαλληνίας	38° 11'	20° 29'	22,0
Άρτα	Άρτας	39° 10'	21° 00'	10,5
Βέλος	Κορινθίας	37° 58'	22° 45'	20,0
Δράμα	Δράμας	41° 09'	24° 09'	104,0
Έδεσσα	Πέλλας	40° 58'	22° 03'	30,0
Ζάκυνθος	Ζακύνθου	37° 47'	20° 54'	7,9
Ηράκλειο	Ηρακλείου	35° 20'	25° 11'	39,3
Θεσσαλονίκη (Μίκρα)	Θεσσαλονίκης	40° 31'	22° 58'	4,8
Ιεράπετρα	Λασιθίου	35° 00'	25° 44'	10,0
Ιωάννινα	Ιωαννίνων	39° 42'	20° 49'	484,0
Καλαμάτα	Μεσσηνίας	37° 04'	22° 00'	11,1
Καρδίτσα	Καρδίτσας	39° 22'	20° 48'	111,1
Καρπενήσι	Ευρυτανίας	38° 54'	21° 47'	1001,0
Κάρυστος	Εύβοιας	38° 01'	24° 25'	10,0
Καστοριά	Καστοριάς	40°27'	21° 17'	660,9
Κέρκυρα	Κερκύρας	39° 37'	19° 55'	4,0
Κοζάνη	Κοζάνης	40° 18'	21° 47'	625,0
Κομοτηνή	Ροδόπης	41° 07'	25° 24'	30,0
Κόνιτσα	Ιωαννίνων	40° 03'	20° 45'	542,0
Κύθηρα	Αττικής	36° 17'	23° 10'	316,6
Κως	Δωδεκανήσου	36° 47'	27° 04'	129,0
Λαμία	Φθιώτιδας	38° 51'	22° 24'	17,4

**Πίνακας 9.5:** Πίνακας Α συντελεστών θερμοπερατότητας U με βάση το κάλυμμα του θερμοκηπίου

Πίνακας Β αλλαγών ανά ώρα n με βάση τα χαρακτηριστικά κατασκευής

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ Α</b>	
<b>Κάλυμμα θερμοκηπίου</b>	<b>Τιμή U σε W/m<sup>2</sup>/°C</b>
Απλό τζάμι	5,8
Απλό φύλλο πολυαιθυλενίου	6,3
Υαλοϋφάσματα (με ίνες υάλου) / Fiberglass	4,0
Διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου	2,9
Απλό τζάμι και θερμοκουρτίνα	2,4
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ Β</b>	
<b>Χαρακτηριστικά κατασκευής</b>	<b>Αλλαγές ανά ώρα (n)</b>
Νέα κατασκευή (1-3 έτη) υαλόφρακτο	0,8 - 1,8
Νέα κατασκευή (1-3 έτη) με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου	0,8 - 2,5
Νέα κατασκευή (1-3 έτη) με διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου	0,5 - 1,2
Παλαιά κατασκευή (4-10 έτη) υαλόφρακτου με καλή συντήρηση	1,5
Παλαιά κατασκευή (4-10 έτη) υαλόφρακτου και κακή συντήρηση	2,5

**Πίνακας 9.6:**Τυπικές ελάχιστες ανεκτές νυκτερινές θερμοκρασίες για τις κυριότερες θερμοκηπιακές καλλιέργειες στην Ελλάδα

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