

ΠΟΛΥΤΕΧΕΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



"Εκτίμηση ενεργειακού ισοζυγίου θερμοκηπιακών μονάδων
αμφίρρικτου τύπου"

"Energy balance assessment of greenhouses"

ΣΑΡΙΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Επιβλέπων: Παπαευθυμίου Σ.

Επίκουρος Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης

Χανιά 2021

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επίκουρο καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης Παπαευθυμίου Σπυρίδων ο οποίος μου ανέθεσε τη διπλωματική αυτή, για την πολύτιμη βοήθεια του και την καθοδήγησή του.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο υπολογισμός των θερμικών και ψυκτικών φορτίων ενός θερμοκηπίου αμφίρρικτου τύπου. Ο υπολογισμός των ενεργειακών φορτίων με βάση υπολογιστική εφαρμογή που θα αναπτυχθεί, στην οποία τιμές ως εισόδου θα εισάγονται η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα ανέμου και θα υπολογίζονται οι θερμικές απώλειες, τα θερμικά κέρδη, η θερμοαγωγιμότητα του υλικού κάλυψης και το θερμικό/ψυκτικό φορτίο του θερμοκηπίου. Επίσης σαν στόχο αυτή η εργασία εκτός από την εύρεση του ενεργειακού ισοζυγίου έχει την αξιολόγηση υλικών κάλυψης του περιβλήματος με ανάδειξη του πιο αποδοτικού.

Abstract

Subject of this thesis is the heating and cooling load calculation of a gable roof greenhouse. This calculation of thermal loads will be performed in a computer application, which is to be developed. The application is going to use temperature, solar radiation and wind speed input and thus calculate heat loss and gain, thermal conductivity of the greenhouse covering material and the heating and cooling load of the greenhouse. In addition, apart from inferring energy balance, this thesis also aims to assess the covering materials of greenhouses in order to find the most efficient one.

Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή στο θερμοκήπιο	6
1.1 Λίγα λόγια για τα θερμοκήπια	6
1.2 Ιστορική εξέλιξη του θερμοκηπίου	7
1.3 Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις παγκοσμίως και στον Ελλαδικό χώρο	8
2. Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίου	13
2.1. Είδη θερμοκηπίων	13
2.2 Κατασκευή σκελετού	20
2.3 Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων	21
3. Συστήματα Θέρμανσης	24
3.1 Συμβατικά συστήματα θέρμανσης	25
3.1.2 Κεντρικά συστήματα θέρμανσης	25
3.1.3 Τοπικά συστήματα θέρμανσης	26
3.2 Συστήματα θέρμανσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	29
3.3 Συστήματα συμπαραγωγής θερμότητας-ισχύος	34
3.3.1 Ορισμός συμπαραγωγής και βασικές αρχές	34
3.3.2 Τρόποι λειτουργίας συστημάτων συμπαραγωγής	35
3.3.3 Σύγχρονες τεχνολογίες συμπαραγωγής	36
4. Συστήματα Ψύξης	38
4.1 Δροσισμός	38
4.2 Συστήματα εξαερισμού	40
4.3 Εμπλουτισμός διοξειδίου του άνθρακα	41
5. Μοντέλο ενεργειακών ροών	43
5.1 Θερμικά κέρδη	43
5.2 Θερμικές απώλειες	45
5.2.1 Θερμικές απώλειες εδάφους	45
5.2.2 Θερμικές απώλειες καλύμματος	45
5.2.3 Θερμικές απώλειες λόγω αερισμού	48
6. Μελέτη περίπτωσης	49
6.1 Ανάλυση προγράμματος	49
6.2 Χανιά	49

6.3 Φαλάσαρνα.....	53
6.4 Ιεράπετρα.....	56
6.5 Κοζάνη	59
Συμπεράσματα	62
Βιβλιογραφία.....	64
Παράρτημα.....	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Εισαγωγή στο θερμοκήπιο

1.1 Λίγα λόγια για τα θερμοκήπια

Είναι μια κλειστή κατασκευή που καλύπτεται με υλικό διαπερατό από την ηλιακή ακτινοβολία έτσι ώστε να τροποποιούνται οι κλιματικές συνθήκες στο εσωτερικό του, για την ανάπτυξη καλλιεργειών ανεξάρτητα από τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Ταυτόχρονα το ύψος του είναι τέτοιο που να επιτρέπει την είσοδο και την εργασία ανθρώπων σε αυτό.

Στα θερμοκήπια οι κλιματικές συνθήκες που επηρεάζονται και τροποποιούνται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των φυτών είναι κυρίως η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η ατμοσφαιρική υγρασία. Αυτό οφείλεται στο διάφανο υλικό κάλυψης που επιτρέπει υψηλή διαπερατότητα στην υπεριώδη, την φωτεινή και την εγγύς υπέρυθη ακτινοβολία (700-2500 nm), η οποία απορροφάται από το έδαφος και τα άλλα στοιχεία του εσωτερικού του θερμοκηπίου. Έτσι θερμαίνονται και εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία η οποία παγιδεύεται εξαιτίας του υλικού κάλυψης και θερμαίνει το χώρο του θερμοκηπίου. Ταυτόχρονα το υλικό κάλυψης περιορίζει την ανταλλαγή του αέρα και διατηρεί τη διαφορά θερμοκρασίας, υγρασίας και συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος.

Στο θερμοκήπιο δημιουργείται ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη και παραγωγή φυτών, κυρίως κηπευτικών θερμής εποχής και λουλουδιών και εκτός εποχής τους, όταν η καλλιέργεια στην ύπαιθρο δεν είναι εφικτή.

Στα θερμοκήπια που δεν διαθέτουν εξειδικευμένο εξοπλισμό, επιτυγχάνεται η πρώιμη ή όψιμη παραγωγή φυτικών προϊόντων και αποφεύγονται οι ζημιές από βροχή, χαλάζι, αέρα και άλλα καιρικά φαινόμενα. Στα υψηλής τεχνολογίας θερμοκήπια ελέγχεται μέσω υπολογιστών, η θέρμανση, ο αερισμός, ο εμπλουτισμός του διοξειδίου του άνθρακα, ο δροσισμός και η αφύγρανση, το φως και έτσι επιτυγχάνεται χρονικός προγραμματισμός, ποιοτική βελτίωση και ποσοτική αύξηση της παραγωγής. Επίσης, μειώνονται, αλλά οπωσδήποτε δεν εξαλείφονται οι ζημιές από ασθένειες και έντομα. Ειδικότερα σε ένα θερμοκήπιο που παρέχει τη δυνατότητα ακριβούς ρύθμισης του περιβάλλοντος, οι ασθένειες των φυτών είναι

πάρα πολύ λιγότερες απ' ότι σε ένα θερμοκήπιο του οποίου ο εξοπλισμός δεν παρέχει τέτοια δυνατότητα.

Η σωστή κατασκευή του θερμοκηπίου, ο κατάλληλος εξοπλισμός και οι ικανότητες του καλλιεργητή, τροποποιούν το περιβάλλον στο χώρο του θερμοκηπίου με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας της καλλιέργειας με το μικρότερο δυνατό κόστος.[1],[6].

1.2 Ιστορική εξέλιξη του θερμοκηπίου

Η χρησιμότητα της κάλυψης των καλλιεργειών για να προστατευτούν από τις καιρικές συνθήκες (έντονες βροχοπτώσεις, παγετό, χιόνι, παρατεταμένη ξηρασία) εκτιμήθηκε από πολύ παλιά. Πριν από πολλές χιλιετίες στην αρχαία Κίνα αναφέρεται πως οι κινέζοι στη νότια πλευρά του τοίχους καλλιεργούσαν φυτά έξω από το φυσικό τους περιβάλλον. Στο νότιο τοίχος που ήταν κατασκευασμένο από τούβλο, τοποθετούσαν καλάμια σε γωνία 35° μοιρών που τα σκέπαζαν με λαδόχαρτο. Κάτω από αυτά τοποθετούσαν φυτά τα οποία αναπτύσσονταν ταχύτατα χρησιμοποιώντας την αποθηκευμένη θερμότητα του τοίχους.

Τον 5^ο αιώνα π. χ. υπάρχουν αναφορές στον Πλάτωνα, για ειδικούς προστατευμένους χώρους όπου σπόροι και μοσχεύματα παρουσίαζαν τεράστια ανάπτυξη, για τη χρήση λατρευτικών εκδηλώσεων, γνωστών ως 'κήποι του Άδωνη', χωρίς να υπάρχουν αναφορές στον τρόπο προστασίας τους. Αργότερα, επίσης, τον 1^ο αιώνα π.χ. οι Ρωμαίοι καλλιεργούσαν σε υποτυπώδη θερμοκήπια φρούτα και λαχανικά χρησιμοποιώντας μεγάλα δοχεία με μισοσβησμένη κοπριά που τα σκέπαζαν με μαρμαρυγία (mica), υλικό που χρησιμοποιούνταν στα παράθυρα, έτσι ώστε να επιτρέπεται η είσοδος του φωτός και να διατηρείται η ζέστη από τη ζύμωση της κοπριάς. Τα δοχεία αυτά τα τοποθετούσαν σε ηλιόλουστα μέρη τη διάρκεια της ημέρας και σε δωμάτια τη νύχτα. Σε ανασκαφές στην Πομπηία βρέθηκαν καλυμμένες κατασκευές όπου τοποθετούσαν δοχεία με φυτά πάνω σε τραπέζια με διάτρητη επιφάνεια, κάτω από τα οποία τοποθετούσαν αναμμένα κάρβουνα για να τα θερμαίνουν. Ακόμα, σε αναφορές του Θεόφραστου (372 – 287 π. χ) αναφέρονται καλλιέργειες φυτών σε δοχεία τα οποία κατά τη διάρκεια της νύχτας μεταφέρονται σε σκεπασμένα μέρη για προστασία.

Τα θερμοκήπια ξαναεμφανίζονται στον Ευρωπαϊκό χώρο τον 17^ο αιώνα μ.Χ. για τη διατήρηση εξωτικών φυτών που μεταφέρονται στην Ευρώπη. Τότε αρχίζει να αναπτύσσεται η βοτανική με την καλλιέργεια νέων φυτών που παρουσίαζαν φαρμακευτικό ενδιαφέρον και διακοσμητικό χαρακτήρα και να δημιουργούνται ειδικοί βοτανικοί κήποι σε Ολλανδία, Ιταλία και Αγγλία. Πολύ δημοφιλής ήταν η καλλιέργεια εσπεριδοειδών που απαιτούσε μόνο προστασία από τον παγετό και για

το λόγο αυτό προστατεύονταν σε μεγάλα δωμάτια κατά τους χειμερινούς μήνες και τους υπόλοιπους μεταφέρονταν με δοχεία στην ύπαιθρο.

Τα πράγματα άλλαξαν με την παραγωγή μεγάλων επιφανειών από διαφανές γυαλί που τα τοποθετούσαν στα νότια παράθυρα των αναγεννησιακών πορτοκαλεώνων.

Τον 18^ο αιώνα οι Ολλανδοί ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν στους χώρους των φυτών κεκλιμένα επίπεδα από γυαλί στη στέγη για να υπάρχει μεγαλύτερη ποσότητα φωτισμού και χρησιμοποίησαν θερμοκουρτίνα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Στους βοτανικούς κήπους των πανεπιστημίων του Leyden και του Clifford, η θέρμανση, όπου υπήρχε ανάγκη γινόταν με θερμάστρες. Στο τέλος του 18^{ου} αιώνα άρχισε να χρησιμοποιείται η θέρμανση με ατμό που έδωσε τη δυνατότητα επίτευξης υψηλότερης θερμοκρασίας και αποφυγής των αερίων καύσης από το χώρο των φυτών. Τον 19^ο αιώνα μπήκε σε λειτουργία ο πρώτος αυτόματος μηχανικός θερμοστάτης για τον εξαερισμό των θερμοκηπίων και κατασκευάστηκαν πολλαπλά θερμοκήπια με κορυφές και υδρορροές. Τον 19^ο αιώνα άρχισε και η κατασκευή γυάλινων θερμοκηπίων στην Ευρώπη. Το πρώτο διαφανές πλαστικό φύλλο που προτάθηκε για να αντικαταστήσει το γυαλί, ήταν το flex-o-glass που κατασκευάστηκε το 1925 από τον Αμερικανό Warp.

Τον 20^ο αιώνα υπάρχει συνεχής εξέλιξη του θερμοκηπίου, όσον αφορά τα υλικά κατασκευής, κάλυψης και τον κλιματισμό των θερμοκηπίων. Σήμερα κατασκευάζονται θερμοκήπια με σκελετό από ξύλο, γαλβανισμένο σίδηρο και αλουμίνιο. Επίσης εκτός από το γυαλί, χρησιμοποιούνται τα εύκαμπτα και σκληρά φύλλα πλαστικού για υλικά κάλυψης. Η χρησιμοποίηση αυτών των υλικών έδωσε την δυνατότητα κατασκευής φθηνών θερμοκηπίων γεγονός που επέτρεψε την γρήγορη εξάπλωσή τους.

Στον κλιματισμό των θερμοκηπίων μερικές από τις πιο χαρακτηριστικές τεχνικές βελτιώσεις είναι τα αερόθερμα, το σύστημα δροσισμού με υγρή παρειά, το σύστημα μείωσης της θερμοκρασίας με εξάτμιση νερού (fog-system), η χρησιμοποίηση του τεχνητού φωτισμού, η θέρμανση με ηλιακή, γεωθερμική ενέργεια και βιομάζα. Η επιθυμητή ρύθμιση του περιβάλλοντος των φυτών και η χρησιμοποίηση βελτιωμένων ποικιλιών, βοήθησε σε σημαντική αύξηση την παραγωγή.[1],[7].

1.3 Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις παγκοσμίως και στον Ελλαδικό χώρο

Αξιοσημείωτες στατιστικές για την έκταση που καταλαμβάνει η καλλιέργεια υπό κάλυψη παγκοσμίως είναι δύσκολο να βρεθούν, γιατί αυξάνονται συνεχώς οι καλλιεργούμενες εκτάσεις λόγω της αυξανόμενης ζήτησης σε κηπευτικά προϊόντα υψηλής ποιότητας.

Όπως προσδιόρισε η Robobank(2000) ευνοϊκοί παράγοντες για την ανάπτυξη θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων παγκοσμίως είναι το κλίμα (πλούσια ηλιοφάνεια, ήπιοι χειμώνες για μειωμένο κόστος θέρμανσης και παραγωγής), το κόστος των πόρων και μέσων παραγωγής, η απόσταση από τις κύριες αγορές, το κόστος του εργατικού δυναμικού, οι υποδομές (παροχή ενέργειας, ύδρευσης, μεταφορές), το επενδυτικό κλίμα, η απορρόφηση της εσωτερικής παραγωγής, πρόσβαση στη γνώση.

Πίνακας 1: Εκτιμώμενη έκταση παγκοσμίως για την παραγωγή λαχανικών σε εκτάρια ha(1 εκτάριο = 10 στρέμματα)

Σήμερα οι καλλιεργούμενες εκτάσεις σε θερμοκήπια στον κόσμο καταλαμβάνουν έκταση 5.000.000 στρεμμάτων περίπου από τα οποία μόνο τα 400.000 στρέμματα καλύπτονται από γυαλί.

Η καλλιέργεια υπό κάλυψη, αν και καλύπτει ένα μικρό μέρος της συνολικής γεωργικής έκτασης, αυξάνει υπερβολικά την παραγωγή και τα κέρδη ανά μονάδα επιφάνειας εδάφους. Αξιοσημείωτο το παράδειγμα της Αλμερίας στη νοτιοδυτική Ισπανία με 300.500 στρέμματα πλαστικών θερμοκηπίων, που ευθύνεται για ταχύτατη οικονομική ανάπτυξη της περιοχής τα τελευταία είκοσι χρόνια.

Στην Ολλανδία, επίσης, αν και οι καλλιέργειες σε θερμοκήπια κατείχαν το 2016 το 0,7% της συνολικής γης αντιπροσώπευαν το 20% του ετήσιου ακαθάριστου εισοδήματος από τη γεωργία.

Την πρώτη θέση παγκοσμίως σε εκτάσεις θερμοκηπίων κατέχει η Κίνα, που με εκτιμήσεις του 2011, έχει 2.760.000 ha , ενώ τη δεύτερη θέση κατέχει η Κορέα με 57.444 ha.

Πίνακας 1.1: Παγκόσμια έκταση θερμοκηπίων

ΧΩΡΑ	ΕΚΤΑΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ(ΣΕ ΕΚΤΑΡΙΑ)
Κίνα	2760000
Κορέα	57444
Ισπανία	52170
Ιαπωνία	49049
Τουρκία	33515
Ιταλία	26500
Μεξικό	11759
Ολλανδία	10370
Γαλλία	9620

Στην Ευρώπη την πρώτη θέση κατέχει η Ισπανία με 52.170 ha , ενώ δεύτερη είναι η Τουρκία με 33.515 ha, η οποία πρωταγωνιστεί στην Ανατολική Μεσόγειο.

Πίνακας 1.2 Έκταση θερμοκηπίων στην Ευρώπη

ΧΩΡΑ	ΕΚΤΑΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ(ΣΕ ΕΚΤΑΡΙΑ)
Ισπανία	52170
Τουρκία	33515
Ιταλία	26500
Ολλανδία	10370
Γαλλία	9620
Πολωνία	7560
Ελλάδα	5342
Γερμανία	3430

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες παρουσιάζεται ιδιαίτερη αύξηση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών στις Μεσογειακές χώρες. Η μεγαλύτερη αύξηση σημειώθηκε στην Ισπανία, την Τουρκία, την Αίγυπτο και το Μαρόκο. Εκτός από το Ισραήλ, που η καλλιέργεια ανθοκομικών και καλλωπιστικών φυτών αντιστοιχεί στο 45% του συνόλου των θερμοκηπιακών καλλιεργειών, στις υπόλοιπες χώρες της Μεσογείου τα λαχανικά αποτελούν τις κυρίαρχες καλλιέργειες. Καλύπτουν το 84% των θερμοκηπίων στην Ιταλία, το 90% στην Ισπανία, το 92% στην Ελλάδα και το 95% στην Τουρκία. Από τα λαχανικά, πρώτη σε όλες της χώρες είναι η καλλιέργεια της τομάτας, και ακολουθούν η πιπεριά στο Ισραήλ και την Ισπανία, το αγγούρι στην Ελλάδα και την Τουρκία και οι φράουλες στην Ιταλία και το Μαρόκο.

Πίνακας 1.3 Θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις στην Μεσόγειο[19].

Χώρα	Θερμοκήπια (μεγάλα πλαστικά tunnel)	Υαλόφρακτα θερμοκήπια	Σύνολο	Χαμηλά tunnel	Σύνολο προστατευόμενης επιφάνειας	Υδροπονική καλλιέργεια
Αλγερία	5000		5000	800	5800	
Κύπρος	285	—	285	300	585	
Αίγυπτος	1350		1350	50000	51350	10
Γαλλία	9000	2300	11300	16000	27300	
Ελλάδα	3000	2000	5000	4500	9500	200
Ισραήλ	4530	150	4680	15000	19680	1200
Ιταλία	61900	5800	67700	24000	91700	700
Μαρόκο	10000	550	10550	-	10550	
Ισπανία	51000	4800	55800	17500	73300	4000
Τυνησία	1300		1300	11000	12300	30
Τουρκία	20900	6200	27100	1500	28600	
Σύνολο	168265	21800	190065	140600	330665	

Στην Ελλάδα οι πρώτες συστηματικές εγκαταστάσεις θερμοκηπίων ξεκίνησαν το 1955 και ήταν υαλόφρακτα θερμοκήπια για παραγωγή καλλωπιστικών φυτών. Με τη χρήση των πλαστικών φύλλων πολυαιθυλενίου, μετά το 1961, τα θερμοκήπια εξαπλώθηκαν. Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί αύξηση των θερμοκηπίων κατά 12.8% με κυρίαρχη την παραγωγή κηπευτικών και λαχανικών.

Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, το 2018, το 10% των κηπευτικών που παράγονται στη χώρα μας καλλιεργούνται σε θερμοκήπια. Συνολικά καλλιεργούνται 59.983 στρέμματα κηπευτικών σε όλες τις περιφέρειες της Ελλάδας. Ταυτόχρονα, από 6.017 καλλιεργήσιμα στρέμματα ανθέων και καλλωπιστικών φυτών, το 28% καλλιεργούνται σε θερμοκήπια.

Τα περισσότερα θερμοκήπια κηπευτικών βρίσκονται στις περιφέρειες της Κρήτης και της Δυτικής Ελλάδας. Στην Κρήτη καλλιεργούνται εντός θερμοκηπίου το 30% των λαχανικών, κυρίως σε Ηράκλειο και Λασιθί, ενώ στη Δυτική Ελλάδα το 22.4% των λαχανικών, κυρίως στην Ηλεία. Ακολουθεί η περιφέρεια της Πελοποννήσου με 6.017 στέμματα θερμοκήπια, συγκεντρωμένα σε Αργολίδα και Λακωνία και μετά η Κεντρική Μακεδονία με 5.015 στρέμματα θερμοκηπιακών λαχανικών που βρίσκονται σε Ημαθία και Πέλλα κυρίως.



Εικόνα 1.1 Κατανομή θερμοκηπιακών μονάδων από την ΕΛΣΤΑΤ το 2018.

Τα κηπευτικά που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια είναι η ντομάτα, το αγγούρι, η πιπεριά και η μελιτζάνα. Το 2018 καλλιεργήθηκαν πανελλαδικά στα θερμοκήπια 24.246 στρέμματα με ντομάτες, από τα οποία το 48% βρίσκονταν στην Κρήτη.

Η καλλιέργεια αγγουριών στα θερμοκήπια είναι μεγαλύτερη από την υπαίθρια. Καλλιεργούνται 11.090 στρέμματα με το μισό των καλλιεργειών να βρίσκονται στην Κρήτη.

Καλλιεργούνται ακόμα 9.839 στρέμματα με πιπεριές, με το 70% της παραγωγής στην Κρήτη, και 3.343 στρέμματα με καλλιέργεια μελιτζάνας, όπου τα μισά περίπου βρίσκονται στην Κρήτη και το ένα πέμπτο στην Πελοπόννησο.

Πίνακας 1.4 Θερμοκηπιακές καλλιέργειες κηπευτικών στην Ελλάδα

Είδος κηπευτικού	Θερμαινόμενα θερμοκήπια		Μη θερμαινόμενα θερμοκήπια		ΣΥΝΟΛΟ
	Υαλόφρακτα θερμοκήπια	Καλυμμένα με πλαστικό	Υαλόφρακτα θερμοκήπια	Καλυμμένα με πλαστικό	
	ΕΚ (στρ.)	ΕΚ (στρ.)	ΕΚ (στρ.)	ΕΚ (στρ.)	
Τομάτα	622	4.252	239	13.930	19.043
Αγγούρι	115	1.883	254	8.955	11.206
Κολοκύθι	9	150	30	574	763
Μελιτζάνα	7	160	30	1.558	1.756
Πιπεριά	119	789	83	6.269	7.259
Φασόλι	20	622	75	1.044	1.761
Μαρούλι	18	224	30	1.158	1.430
Πεπόνι	1	21	10	20	52
Καρπούζι	2	16	60	145	223
Φράουλα	0	0	0	11.630	11.630
Διάφορα	20	169	10	421	621
ΣΥΝΟΛΟ	933	8.286	821	45.704	55.744

Στην Ελλάδα οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν, η εντατικοποίηση των καλλιεργειών αλλά και τα επενδυτικά επιδοτούμενα προγράμματα που έχει θεσπίσει η πολιτεία ευνοούν την ανάπτυξη των θερμοκηπίων. Για την περαιτέρω ανάπτυξη των θερμοκηπίων, πρέπει να δοθούν περισσότερα οικονομικά κίνητρα, να γίνει εκπαίδευση των παραγωγών και να εκσυγχρονιστεί ο τεχνολογικός εξοπλισμός των θερμοκηπίων, να υιοθετηθούν νέες καλλιεργητικές τεχνικές, όπως η υδροπονία, να αξιοποιηθούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κ.λ.π. [2],[3],[4].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

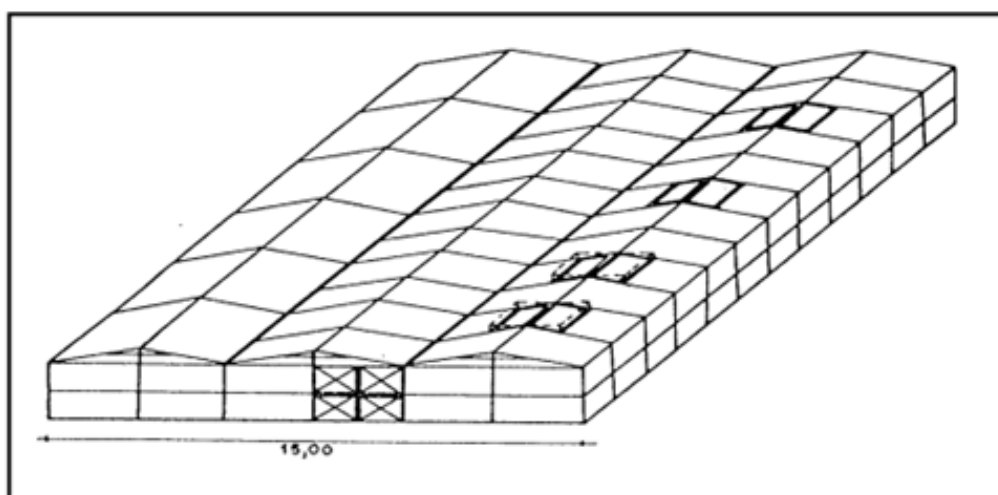
2. Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίου

2.1. Είδη θερμοκηπίων

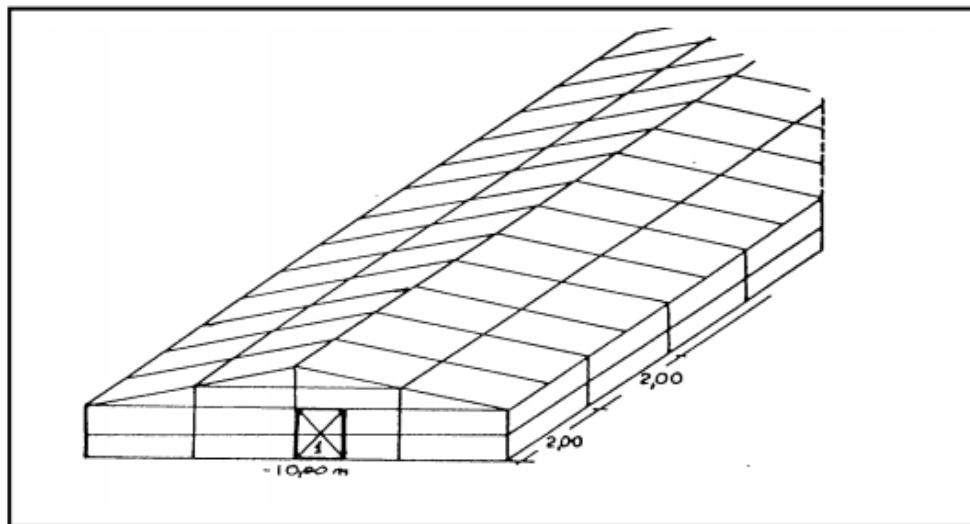
Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής :

Τα θερμοκήπια, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους, διακρίνονται σε χωρικού τύπου και τυποποιημένα.

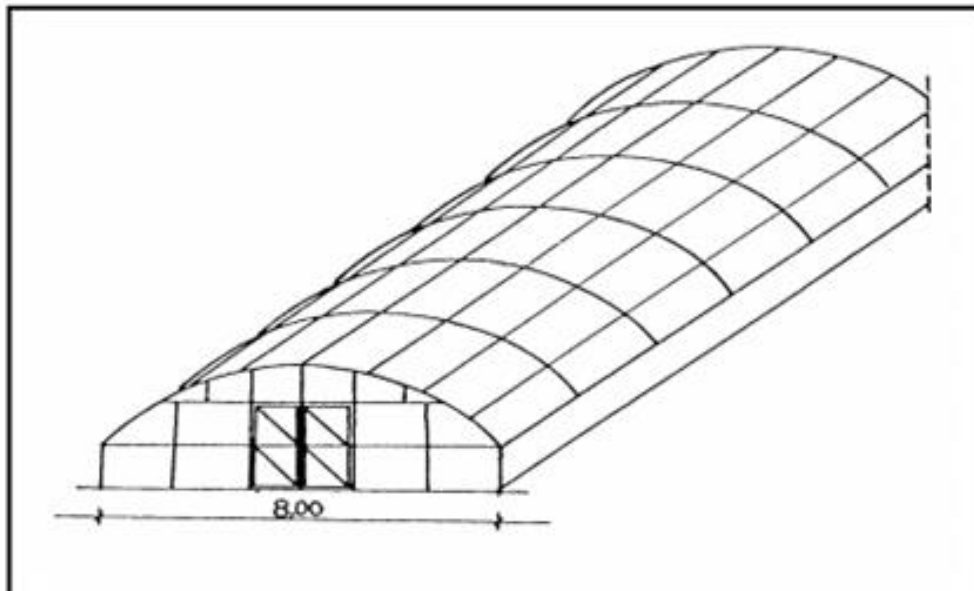
Τα **χωρικού τύπου** κατασκευάζονται από τους ίδιους τους παραγωγούς. Τα περισσότερα έχουν ξύλινο σκελετό και κάλυψη από πλαστικό. Τα θερμοκήπια αυτά έχουν χαμηλό κόστος κατασκευής αλλά λόγω του χαμηλού ύψους δυσχεραίνουν την ανθρώπινη εργασία, δε διαθέτουν επαρκή φυσικό εξαερισμό λόγω έλλειψης παραθύρων οροφής και δεν έχουν τεχνικό εξοπλισμό θέρμανσης, δροσισμού, ψύξης για τη μέγιστη τροποποίηση των περιβαλλοντικών παραγόντων. Μόνο το 5% των θερμοκηπίων χωρικού τύπου στην Ελλάδα διαθέτουν εξοπλισμό θέρμανσης. Με την πάροδο των χρόνων τα θερμοκήπια χωρικού τύπου απέκτησαν ονομασίες και τύπους ανάλογα με τον τόπο εγκατάστασης τους.



Εικόνα 2.1 Θερμοκήπιο τύπου Ιεράπετρας [3].



Εικόνα 2.2 Βελτωμένος τύπος Μακεδονίας [3].



Εικόνα 2.3 Τύπος Φιλιατρών [3].

Τυποποιημένα Θερμοκήπια: Τα τυποποιημένα κατασκευάζονται από βιοτεχνίες και βιομηχανίες σε μαζική παραγωγή. Ο σκελετός τους είναι από εμποτισμένη ξυλεία ή γαλβανισμένο εν θερμώ χάλυβα και η κάλυψη τους είναι με μαλακό ή σκληρό πλαστικό ή γυαλί. Διακρίνονται σε μεταλλικά τοξωτά και μεταλλικά ή μεταλλικά με ξύλινα στοιχεία πολύρρικτα.

Τα τυποποιημένα θερμοκήπια είναι ψηλά, στο χαμηλότερο σημείο το ύψος είναι μεγαλύτερο από 2.5 μέτρα, με λιγότερες κολόνες στήριξης, για αυτό είναι κατάλληλα για μηχανική καλλιέργεια. Επίσης διαθέτουν καλύτερο φυσικό και δυναμικά εξαερισμό και τα περισσότερα έχουν συστήματα θέρμανσης.

Πίνακας 2.1 Τύποι θερμοκηπιακών μονάδων [4].

Βασικοί τύποι	Χαρακτηριστικά
Τύπος Μακεδονίας ή Θεσσαλονίκης	ξύλινο θερμοκήπιο που σχεδιάστηκε το 1965 από τον γεωπόνο Φ. Γκράτσιο. Διαδόθηκε σε διάφορες περιοχές της Βορείου Ελλάδας. Η βασική μονάδα έχει πλάτος 10μ, σπανίως 12,5μ, πλάγιο ύψος 1,5-2μ και μέγιστο ύψος στέγης 2,5-3μ. Το μήκος του θερμοκηπίου μπορεί να φτάσει τα 50-120μ και η απόσταση των πασσάλων στην κατά μήκος διάσταση είναι 2μ. Το θερμοκήπιο αυτού του τύπου είναι σχετικά μικρού κόστους και έχει αντοχή στους ανέμους. Μειονέκτημα του το χαμηλό ύψος, που δεν επιτρέπει τον σωστό αερισμό, ενώ οι πολλοί πάσσαλοι δημιουργούν πρόβλημα μετακινήσεων στο εσωτερικό του, καθώς και αυξημένη σκίαση.
Τύπος Πρέβεζας	είναι από τα παλιότερα θερμοκήπια που χρησιμοποιήθηκαν για λαχανικά και ο σκελετός τους κατασκευάζεται από καλάμια. Πρωτοεμφανίστηκαν στην Πρέβεζα και σταδιακά διαδόθηκαν και σε άλλες περιοχές. Σήμερα έχουν αποσυρθεί.
Τύπος Σκάλας	ξύλινη κατασκευή, δίρρικτη με ύψος πλευρών 1-1,5μ, ύψος κορυφής 2-2,20μ και πλάτος 5-10μ. Είναι κατασκευή χωρικού τύπου και χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά στη Σκάλα Λακωνίας.
Τύπος Τυμπακίου	είναι η τροποποίηση του τύπου Μακεδονίας ώστε να αντέχει στους ισχυρούς ανέμους στο Τυμπάκι Κρήτης.
Τύπος Ιεράπετρας	ξύλινο θερμοκήπιο που έχει καλή αντοχή στους ανέμους και μικρό κόστος, άλλα μικρό ύψος, που περιορίζει τις κινήσεις, και μικρή αντοχή στις χιονοπτώσεις.
Τύπος Φιλιατρών	μεταλλικό θερμοκήπιο με τόξα που πακτώνονται στο έδαφος. Έχουν μικρό κόστος εγκατάστασης, ευκολία, μεγάλη διάρκεια ζωής, μεγάλη φωτεινότητα.. Μειονέκτημα τους το μικρό ύψος στο κέντρο της αψίδας που περιορίζει τις κινήσεις φυτών και προσωπικού, καθώς και η δυσκολία εγκατάστασης αυτοματισμών.
Βελτιωμένος τύπος Φιλιατρών	μεταλλικό θερμοκήπιο απλή ή πολλαπλής γραμμής. Οι αψίδες δεν πακτώνονται απευθείας στο έδαφος άλλα στηρίζονται πάνω σε κάθετους πασσάλους ύψους 1,2-1,5μ. Έχουν τα πλεονεκτήματα του τύπου Φιλιατρών καθώς και μεγάλη διάρκεια ζωής,

Σχήμα θερμοκηπίων :

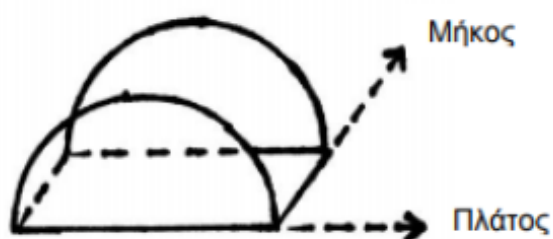
Διακρίνονται σε αυτά που έχουν ημικυκλική (τοξωτή) οροφή και αυτών που έχουν οροφή αποτελούμενη από δύο κεκλιμένα επίπεδα τα οποία συγκλίνουν μεταξύ τους ώστε να σχηματίσουν μία στέγη.



Εικόνα 2.4 Θερμοκήπιο αμφίρρικτου τύπου.

Τοξωτό θερμοκήπιο:

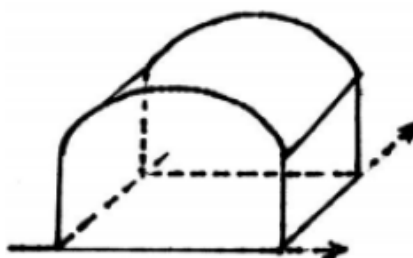
Το Θερμοκήπιο που η βασική κατασκευαστική μονάδα καθορίζεται από δυο συνεχόμενα τόξα. Το ύψος τους συνήθως είναι σχετικά χαμηλό, (συνήθως 2-4 m στο κέντρο τους και για αυτό δεν είναι κατάλληλα για φυτά υψηλής ανάπτυξης), έχουν ελαφρύ σκελετό, είναι εύκολα στην κατασκευή και με μικρό κόστος.



Εικόνα 2.5 Τοξωτό θερμοκήπιο[9].

Τροποποιημένο τοξωτό:

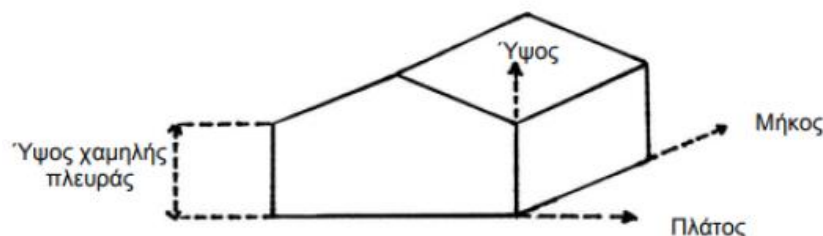
Στα τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια η αψίδα είναι στερεωμένη σε δύο κάθετους στύλους, τους ορθοστάτες



Εικόνα 2.6 Τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο[9].

Αμφίρρικτο:

Η βασική κεντρική μονάδα αυτών των θερμοκηπίων αποτελείται από ένα ισοσκελές τρίγωνο, σχηματίζοντας μία συμμετρική στέγη. Είναι ευρύχωρα, προσφέρουν δυνατότητα για καλό παθητικό εξαερισμό οροφής και πλευρών, μπορούν να καλυφτούν με υαλοπίνακες.



Εικόνα 2.7 Αμφίρρικτο θερμοκήπιο[9].

Υπάρχουν αρκετές παραλλαγές των παραπάνω :

Το **ετεροκλινές** θερμοκήπιο, του οποίου οι δυο κεκλιμένες επιφάνειες της οροφής είναι διαφορετικής κλίσης και πλάτους η κάθε μια, για μεγαλύτερη είσοδο ηλιακής ενέργειας το χειμώνα.

Θερμοκήπια γοτθικού τύπου που το σχήμα της αψίδας δεν είναι το κλασσικό ημικυκλικό τόξο αλλά το γοτθικό. Το γοτθικό τόξο συνίσταται από δύο ελαφρά κυρτές (καμπυλωτές) πλευρές που συγκλίνουν προς το κέντρο για μεγαλύτερη κλίση που διευκολύνει την απορροή νερού και χιονιού.

Αμφίρρικτα (αμφικλινή) θερμοκήπια με κεκλιμένες πλευρές που οι ορθοστάτες δεν είναι κάθετοι αλλά ελαφρώς κεκλιμένοι με κατάλληλη αντιστήριξη για να παρέχουν μεγαλύτερη αντίσταση στον άνεμο.

Διάκριση θερμοκηπίων με βάση τις διαστάσεις της Β.Κ.Μ

Το ύψος των περισσότερων τύπων θερμοκηπίου ορίζεται σε δύο επίπεδα. Το ένα επίπεδο βρίσκεται στο ύψος του ορθοστάτη και το άλλο στο ύψος του καρφιά ή του τόξου, ανάλογα με το σχήμα της ΒΚΜ.

Θερμοκήπια χαμηλά (η χαμηλή πλευρά έχει ύψος 2 – 3 μ.). Έχουν μικρότερη απώλεια ενέργειας, χωρίς δυναμικό αερισμό δημιουργούν δυσμενείς συνθήκες υγρασίας και θερμοκρασίας, δυσκολεύουν την εργασία των καλλιεργητών.

Θερμοκήπια ψηλά (η χαμηλή πλευρά πάνω από 3 μ). Έχουν καλό παθητικό αερισμό, άνεση στην εργασία, φωτεινότητα κα ευρυχωρία.

Θερμοκήπια υψηλής οροφής: Έχουν μεγάλο όγκο στην οροφή γιατί η οροφή της κατασκευαστικής μονάδας στα αμφικλινή θερμοκήπια αποτελείται από δυο κεκλιμένες επιφάνειες και δεν παρουσιάζουν απότομες αλλαγές υγρασίας και θερμοκρασίας (Wide Span).

Θερμοκήπια χαμηλής οροφής,(Venlo) που η οροφή της βασικής μονάδας αποτελείται από δύο ζεύγη κεκλιμένων επιφανειών, δημιουργώντας μικρότερο όγκο στην οροφή . Έτσι έχουν λιγότερες απώλειες θερμότητας, είναι φθηνότερα, δυσχεραίνεται η κίνηση του αέρα σε αυτά.

Θερμοκήπια μεγάλου πλάτους (πάνω από 5 μ.) Είναι ευρύχωρα και φωτεινά, διευκολύνονται οι εργασίες και η εκμηχάνιση της καλλιέργειας.

Θερμοκήπια μικρού πλάτους (< από 5 μ), τα οποία είναι φθηνότερα και αερίζονται εύκολα.

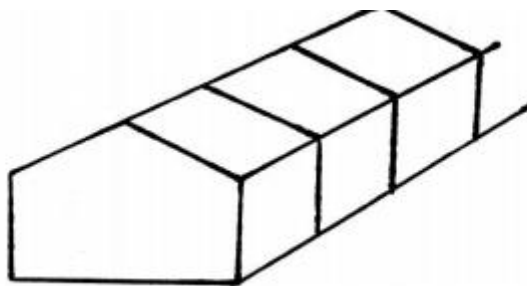
Το πλάτος μίας ΒΚΜ θερμοκηπίου θεωρητικά μπορεί να είναι οποιοδήποτε, αλλά πρακτικά καθορίζεται από τεχνικούς περιορισμούς που σχετίζονται με την στατική της ευστάθεια, καθώς και με τις διαστάσεις των διαθέσιμων υλικών κάλυψής της. Συνήθως κυμαίνεται από 5 – 8 μ.

Τρόπος διάταξης βασικών κατασκευαστικών μονάδων

Ανάλογα με την επανάληψη της ΒΚΜ κατά μήκος ή κατά πλάτος, χωρίζονται σε θερμοκήπια απλής ή πολλαπλής γραμμής.

Απλής γραμμής :Όταν επαναλαμβάνεται η Β.Κ.Μ. μόνο κατά μήκος, τότε δημιουργούνται τα απλά ή απλής γραμμής θερμοκήπια.

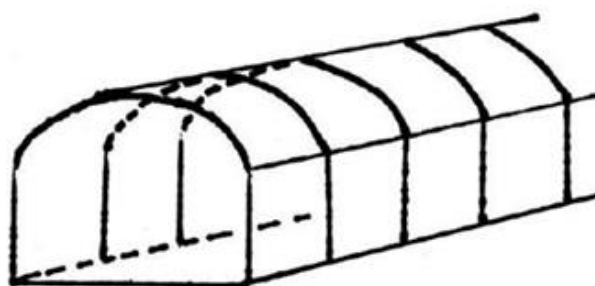
Τα θερμοκήπια απλής γραμμής, λόγω της μεγάλης εξωτερικής επιφάνειας δέχονται περισσότερο ηλιακό φως, έχουν αρκετό φυσικό εξαερισμό από τα πλευρικά τους παράθυρα, αλλά έχουν και μεγάλες απώλειες σε θερμότητα και δεν αξιοποιείται αποτελεσματικά η έκταση του αγροτεμαχίου που τοποθετούνται.



Εικόνα 2.8 Αμφίρρικτο απλό [9].

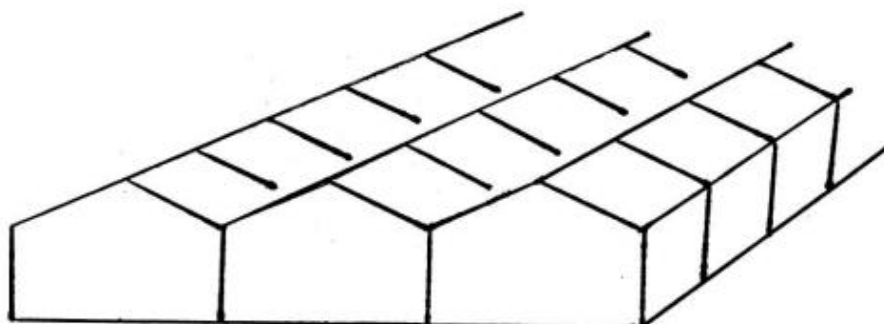


Εικόνα 2.9 Τοξωτό απλό θερμοκήπιο[9].

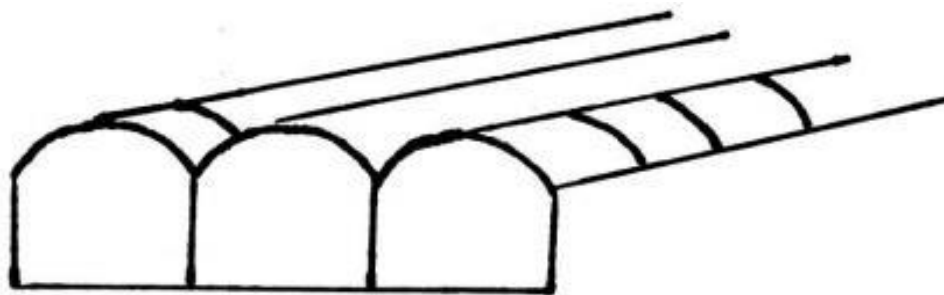


Εικόνα 2.10 Τροποποιημένο τοξωτό απλό [9].

Πολλαπλής γραμμής :Με την επανάληψη της ΒΚΜ όχι μόνο κατά μήκος αλλά και κατά πλάτος, είναι εφικτή η κατασκευή μεγάλων θερμοκηπίων οποιουδήποτε πλάτους και οποιασδήποτε έκτασης. Τα πολλαπλής γραμμής θερμοκήπια, λόγω των περιορισμένων επιφανειών τους που εκτίθενται στον εξωτερικό αέρα, θερμαίνονται ευκολότερα και διευκολύνεται η εκμηχάνιση της καλλιέργειας. Παρουσιάζουν όμως κακό παθητικό εξαερισμό, όταν καλύπτουν μεγάλη και συνεχόμενη έκταση και σε περιοχές με συχνές χιονοπτώσεις συγκρατείται μεγάλη ποσότητα χιονιού στην οροφή και απαιτείται θέρμανση και στην οροφή.



Εικόνα 2.11 Αμφίρρικτο πολλαπλής γραμμής [9].



Εικόνα 2.12 Τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλής γραμμής [9].

Προσανατολισμός και θέση θερμοκηπίων

Η επιλογή της καταλληλότερης θέσης για την εγκατάσταση του θερμοκηπίου με τον σωστό προσανατολισμό, επηρεάζουν το κόστος θέρμανσης, τα έξοδα για την μεταφορά των προϊόντων και τη δυνατότητα παραγωγής και στους μήνες με χαμηλή ηλιοφάνεια. Γι αυτό η επιλογή πρέπει να γίνεται με βάση τις κλιματολογικές συνθήκες, το έδαφος και την απόσταση από λιμάνια και αεροδρόμια και από τις κεντρικές αγορές.

Γενικότερα προτιμούνται οι παραθαλάσσιες περιοχές με ήπιο κλίμα και μεγάλη ηλιοφάνεια, υπήνεμες περιοχές, επίπεδες επιφάνειες με γόνιμα εδάφη καλά στραγγιζόμενα που διαθέτουν μεγάλες και καλής ποιότητας νερό και έχουν άμεση πρόσβαση σε μέσα μεταφοράς και αγορές για τη μεταφορά και τη διάθεση των προϊόντων.

Ο προσανατολισμός ενός θερμοκηπίου ορίζεται από την διεύθυνση του κορφιά ή του κορυφαίου άξονα της αψίδας ως προς τα σημεία του ορίζοντα, δηλαδή βορράς-νότος (B-N), ανατολή-δύση (A-Δ) ή ενδιάμεσες διευθύνσεις. Όταν δεν συντρέχουν άλλοι σοβαροί λόγοι, ο προσανατολισμός του θερμοκηπίου γίνεται με βάση την επίδρασή του στο μικροκλίμα.[5],[7],[9].

2.2 Κατασκευή σκελετού

Ο σκελετός του θερμοκηπίου πάνω στον οποίο θα αναρτηθεί το διαφανές υλικό κάλυψης πρέπει να έχει επαρκή στατική ευστάθεια και αντοχή για να αντέξει το υλικό κάλυψης, τον εξοπλισμό, τα αναρτημένα φυτά με τον καρπό τους, τα κλιματικά φορτία (χιόνι, πίεση ανέμου).

Εκτός από την ενισχυμένη κατασκευή του σκελετού, για να έχει ένα θερμοκήπιο την απαιτούμενη μηχανική αντοχή απαιτείται να έχει και κατάλληλη θεμελίωση. Η θεμελίωση μπορεί να γίνει είτε με περιμετρικό τοιχίο που στηρίζει και συνδέει ισχυρά τους στύλους (κολώνες) του σκελετού με το έδαφος, είτε με ατομική στήριξη

κάθε κολώνας στο έδαφος με σκυρόδεμα (μπετόν). Το βάθος της θεμελίωσης πρέπει να είναι 80 εκατοστά από την επιφάνεια του εδάφους.

Υλικά κατασκευής σκελετού:

- **Από ξύλο:** Λόγω του συγκριτικά χαμηλότερου κόστους του το ξύλο προτιμάται και σήμερα για κατασκευή απλών θερμοκηπίων σχετικά χαμηλής τεχνολογίας. Λειτουργεί ως μονωτής στη θερμότητα, δεν υπερθερμαίνεται και δεν προκαλεί φθορές στο πλαστικό υλικό κάλυψης. Έχει μικρή μηχανική αντοχή και διάρκεια ζωής. Δεν είναι κατάλληλο για θερμοκήπια με μεγάλο πλάτος, πάνω από 6 μ., ή για περιοχές με έντονα καιρικά φαινόμενα. Παρουσιάζει συχνά προβλήματα στρέβλωσης, λόγω κακής στεγανότητας, και προσβολής από μύκητες.
- **Από χάλυβα:** Είναι πολύ κατάλληλο υλικό για κατασκευή σύγχρονων τυποποιημένων θερμοκηπίων, λόγω της μεγάλης μηχανικής του αντοχής, φωτεινότητας και διάρκεια ζωής. Επίσης μεταφέρεται εύκολα σε περίπτωση μετεγκατάστασης του θερμοκηπίου. Το βασικό μειονέκτημα του χάλυβα είναι ότι η επιφάνειά του οξειδώνεται εύκολα και γρήγορα, ιδιαίτερα στα θερμοκήπια λόγω της αυξημένης σχετικής υγρασίας του αέρα που προκαλεί η διαπνοή, με συνέπεια να περιορίζεται η διάρκεια ζωής του. Γι αυτό προτιμάται ο γαλβανισμένος χάλυβας, χάλυβας του οποίου η επιφάνεια έχει υποστεί γαλβανισμό, δηλαδή επικάλυψη με λεπτό στρώμα ψευδαργύρου πάχους περίπου 0,06 mm, με στόχο να προστατεύεται από την οξείδωση.
- **Από αλουμίνιο:** Το αλουμίνιο είναι ένα πολύ ελαφρύ μέταλλο το οποίο ταυτόχρονα παρουσιάζει υψηλή μηχανική αντοχή και υψηλή αντοχή στην διάβρωση και στην οξείδωση. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων του, το αλουμίνιο τείνει να κυριαρχήσει σήμερα ως υλικό κατασκευής σκελετών θερμοκηπίων. Χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με γαλβανισμένο χάλυβα στα θερμοκήπια λόγω του υψηλού κόστους.[2].

2.3 Υλικά κάλυψης θερμοκηπίων

Τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων είναι το μαλακό πλαστικό, το σκληρό πλαστικό και το γυαλί. Τα πλαστικά είναι πολύ ελαφρύτερα από το γυαλί και συνεπώς πιο εύχρηστα, όμως με τα χρόνια η περατότητα της φωτεινής ακτινοβολίας μειώνεται λόγω της φωτογήρανσης που παθαίνουν. Το γυαλί έχει μεγαλύτερη διαπερατότητα στη φωτεινή ακτινοβολία από τα πλαστικά υλικά, συγκρατεί όμως σκόνη η οποία μειώνει τη διαπερατότητα του φωτός μέχρι και 10%. Η επιφάνεια του υαλοπίνακα μπορεί να είναι επίπεδη και λεία κι από τις δύο πλευρές ή η μια επιφάνειά του να είναι κυματοειδής ή φολιδωτή για καλύτερη διάχυση του φωτός. Τέτοιοι υαλοπίνακες χρησιμοποιούνται στις οροφές των θερμοκηπίων με την τοποθέτηση της μη επίπεδης επιφάνειας στο εσωτερικό για να μην επικάθεται σκόνη. Επίσης, το

γυαλί θεωρητικά έχει άπειρη διάρκεια ζωής αν δεν θρυμματιστεί. Το κόστος κατασκευής, όμως, είναι πολύ υψηλό. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι ιδιότητες κάποιων πλαστικών υλικών κάλυψης.

Πίνακας 2.2 Ιδιότητες πλαστικών υλικών κάλυψης [4].

ΥΛΙΚΑ ΚΑΛΥΨΗΣ	ΒΑΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
Νέοι τύποι πολυαιθυλενίου	μεγάλη διάρκεια ζωής, αδιαπέραστο στη θερμική ακτινοβολία, μαύρου χρώματος ή γκρι, ενισχυμένο με συνθετικές ίνες για αύξηση αντοχής, φωτοεκλεκτικά που απορροφούν μέρος του φάσματος του φωτός, με ιδιότητες που εμποδίζεται η δημιουργία σταγόνων νερού.
Χλωριούχο πολυβινύλιο – PVC	χρησιμοποιείται κυρίως στην Ιαπωνία και ελάχιστα στις χώρες της Ν. Ευρώπης, έχει πολύ καλές φυσικές ιδιότητες.
Πολυεστέρες	είναι καλύτερα από το πολυαιθυλένιο σε σχέση με την θερμική ακτινοβολία αλλά σε δυσμενέστερη θέση από το PVC. Διάρκεια ζωής 4 χρόνια, ίσως και 7. Μειονέκτημα το μικρό πλάτος φύλλων και το υψηλό κόστος.
EVA	αντέχει σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και χρησιμοποιείται κυρίως στις Σκανδιναβικές χώρες.
Πολυπροπυλένιο:	σκληρότερο από το πολυαιθυλένιο με μικρή διάρκεια ζωής
Nylon	Καλές ιδιότητες με χρήση κυρίως στη Ρωσία
Tedlar	μεγάλη διάρκεια ζωής με καλές ιδιότητες αλλά ιδιαίτερα ακριβό υλικό.
Πλαστικά σε σκληρές πλάκες	καλή διάρκεια ζωής, εύκολη συντήρηση μικρή όμως περατότητα σε φωτεινή ακτινοβολία.
Πλάκες ενισχυμένου πολυεστέρα	χρήση σε τροπικές ή υποτροπικές περιοχές. Πάρα πολύ εύφλεκτο υλικό.
Πλάκες PVC	ευκολία χρήσης, καλή μηχανική αντοχή αλλά όχι για πάνω από 4 χρόνια. Υψηλό κόστος προμήθειας
Πλάκες πολυκαρβονικές – PC	εξοικονόμηση ενέργειας από μείωση απωλειών θερμότητας. Εγκλωβίζουν υγρασία και είναι πολύ ακριβές
Ακρυλικές πλάκες	μεγάλη διάρκεια ζωής με διατήρηση των ιδιοτήτων. Υψηλό κόστος προμήθειας, συμπύκνωση υδρατμών,

Τα μαλακά πλαστικά, όπως το πολυαιθυλένιο, το PVC, ο πολυεστέρας, είναι εύκαμπτα, ελαφριά, με χαμηλή τιμή που μειώνουν το συνολικό κόστος του θερμοκηπίου. Η περατότητα τους στο φως, οι θερμικές τους ιδιότητες, η διάρκεια ζωής τους και το κόστος τους κυμαίνεται ανάλογα με το είδος.

Τα σκληρά πλαστικά είναι σε μορφή ενισχυμένων πλακών, επίπεδες ή κυματοειδείς, με διπλά ή τριπλά τοιχώματα. Είναι πλάκες από πολυεστέρες, ενισχυμένες με ίνες γυαλιού (fiberglass) ή πολυκαρβακρυλικές επιφάνειες ή πλάκες με ενισχυμένο PVC ή ακρυλικές πλάκες PMMA. Τα πλαστικά αυτά έχουν ανθεκτικότητα και αντοχή, μειώνουν τις θερμικές απώλειες του θερμοκηπίου, αλλά με τα χρόνια η περατότητα του φωτός μειώνεται και σκουραίνουν και το κόστος τους είναι υψηλό. [2],[5],[7].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Συστήματα Θέρμανσης

Το σύστημα θέρμανσης είναι ο σημαντικότερος εξοπλισμός για ένα θερμοκήπιο μετά τα συστήματα αερισμού, δεδομένου ότι ρυθμίζει τη θερμοκρασία αλλά και τη σχετική υγρασία μέσα στον χώρο του θερμοκηπίου η οποία, όταν υπερβαίνει το 85-90%, ευνοεί την εμφάνιση ασθενειών στα φυτά.

Ένα σύστημα θέρμανσης θερμοκηπίου περιλαμβάνει το σύστημα παραγωγής θερμότητας (π.χ. λέβητας και καυστήρας) και το σύστημα διανομής της θερμότητας μέσα στο θερμοκήπιο. Ένα βασικής σημασίας χαρακτηριστικό του συστήματος παραγωγής της θερμότητας είναι η πηγή της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμότητας με δημοφιλέστερες:

- Ορυκτά καύσιμα (το πετρέλαιο, το μαζούτ, το φυσικό αέριο, ο γαιάνθρακας, ο λιγνίτης, που είναι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και έχουν πολύ μεγάλο κόστος, ιδιαίτερα το πετρέλαιο).
- Βιομάζα. (Περιλαμβάνει κάθε είδους παραπροϊόντα ή υπολείμματα κατεργασίας γεωργικών ή δασικών πρώτων υλών, όπως ξύλο, πριονίδι, pellets, πυρηνόξυλο, άχυρο, κληματίδες, κ.λπ.) Στα Ελληνικά θερμοκήπια είναι πολύ συνηθισμένη η χρήση ελαιοπυρήνας ή πυρηνόξυλου ως καύσιμου το οποίο είναι παραπροϊόν των ελαιοεργείων και έχει αρκετά χαμηλή τιμή.
- Γεωθερμική ενέργεια (το μόνο κόστος που έχει το γεωθερμικό νερό είναι το κόστος του απαιτούμενου ειδικού εξοπλισμού για την άντληση και την αξιοποίησή του το οποίο είναι ασύγκριτα μικρότερο από το κόστος των καυσίμων για θέρμανση νερού).
- Ηλιακή ενέργεια. (Η θέρμανση των θερμοκηπίων μπορεί να επιτευχθεί και με χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, όμως τον χειμώνα το ποσοστό ηλιοφάνειας είναι χαμηλό).

Βάση της πηγής ενέργειας που χρησιμοποιείται χωρίζονται στα συμβατικά συστήματα θέρμανσης και στα συστήματα θέρμανσης τα οποία χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.[6].

3.1 Συμβατικά συστήματα θέρμανσης

Πρόκειται για τα πιο δημοφιλή συστήματα στις θερμοκηπιακές μονάδες, διακρίνονται ως προς τον τρόπο μετάδοσης της θερμότητας είτε μέσω μιας θερμαινόμενης επιφάνειας, είτε μέσω αέρα. Οι παράγοντες που πρέπει να πληρεί ένα τέτοιο σύστημα είναι η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στην έκταση του θερμοκηπίου και η όσο το δυνατόν μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

3.1.2 Κεντρικά συστήματα θέρμανσης

Το κεντρικό σύστημα θέρμανσης είναι ένα σύστημα σωληνώσεων περιμετρικά, κάτω ή πάνω από την καλλιέργεια το οποίο θερμαίνει το χώρο με συναγωγή και ακτινοβολία θερμότητας περίπου σε ίσο ποσοστό. Έχει απήχηση κυρίως σε μεγάλες θερμοκηπιακές μονάδες και σαν υλικό κάλυψης χρησιμοποιείται το γυαλί αντί για το πολυαιθυλένιο το οποίο έχει μικρότερο συντελεστή διαπερατότητας, οπότε και μικρότερες θερμικές απώλειες στο σύστημα. Κύριο πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών είναι το χαμηλότερο λειτουργικό κόστος και κόστος συντήρησης σε σχέση με τα τοπικά συμβατικά συστήματα τα οποία αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο, καθώς και ότι θερμαίνει ικανοποιητικά και το έδαφος και τον αέρα, μειονέκτημα είναι ότι θέλει πολύ χρόνο για να δράσει ή αντίστοιχα για να σταματήσει να θερμαίνει.



Εικόνα 3.1 Κεντρικό σύστημα θέρμανσης [12].

Κεντρικό σύστημα θέρμανσης με σωληνώσεις θερμού νερού.

Το σύστημα με σωληνώσεις θερμού νερού έχει κατά κύριο λόγο απήχηση σε μικρές θερμοκηπιακές μονάδες. Το νερό θερμαίνεται είτε σε λέβητα, είτε σε μεταλλάκτη ατμού νερού και στη συνέχεια με κυκλοφορητή τροφοδοτείται στις σωληνώσεις. Το νερό μπορεί να κυκλοφορεί με τον κυκλοφορητή ακόμα και όταν δεν απαιτείται θερμότητα. Όταν το σύστημα πέσει σε θερμοκρασία χαμηλότερη από τη ρύθμιση του θερμοστάτη, ανοίγει μια βαλβίδα και αφήνει το νερό να διέρχεται από τον λέβητα ή μεταλλάκτη ώστε να θερμανθεί εκ νέου. Επίσης υπάρχει θερμοστάτης στο λέβητα για να φροντίζει η θερμοκρασία του νερού να μην υπερβαίνει τους 85 με 95°C. Οι σωλήνες είναι συνήθως μαύροι σιδηροσωλήνες με διάμετρο 5 εκ, έχουν περίπου το διπλάσιο μήκος από την περίμετρο του θερμοκηπίου. Κατευθύνονται παράλληλα με τις γραμμές της καλλιέργειας, ενώ οι κεντρικές σωλήνες οι οποίες συνδέονται με το λέβητα βρίσκονται στην περιφέρεια του θερμοκηπίου. Λόγω απωλειών θερμότητας όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη παράγραφο ο γενικός κανόνας είναι το 1/3 των σωληνώσεων να βρίσκεται στην περιφέρεια και το υπόλοιπο ποσοστό κεντρικά του θερμοκηπίου στο ύψος των φυτών ή μερικοί σωλήνες χαμηλά, μερικοί κάτω από την οροφή. Μόνο όταν η περιοχή έχει χιόνια ή η καλλιέργεια είναι φυτά δρεπτών ανθέων, οι σωλήνες βρίσκονται κάτω από την οροφή του θερμοκηπίου.

Κεντρικό σύστημα θέρμανσης με σωληνώσεις ατμού.

Το σύστημα με σωληνώσεις ατμού σε αντίθεση με το σύστημα με σωληνώσεις θερμού νερού, έχει απήχηση σε μεγάλες θερμοκηπιακές μονάδες (συνήθως άνω των 30 στρεμμάτων). Οι λέβητες ατμού σε σχέση με τους λέβητες θερμού νερού είναι πιο αποδοτικοί λόγω λιγότερων απωλειών, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ωφέλιμης χρήσης, μεγαλύτερη αντοχή τοιχωμάτων, ο ατμός εκτός από την θέρμανση ταυτόχρονα απολυμαίνει το έδαφος. Η διανομή της θερμότητας επιτυγχάνεται είτε με σωληνώσεις ατμού, είτε με σωληνώσεις θερμού νερού με χρήση μεταλλάκτη, είτε με ζεστό αέρα με χρήση μεταλλάκτη. Κύριο μειονέκτημά τους είναι το αυξημένο κόστος καθώς οι λέβητες ατμού είναι πιο ακριβοί από τους λέβητες θερμού νερού, είναι πολύπλοκο στην εγκατάσταση και απαιτούν συντήρηση από εξειδικευμένο τεχνικό.

3.1.3 Τοπικά συστήματα θέρμανσης

Τα πιο δημοφιλή τοπικά συστήματα θέρμανσης είναι τα συστήματα με υπέρυθρη ακτινοβολία και τα αερόθερμα.

Θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία

Τα συστήματα θέρμανσης με υπέρυθρη ακτινοβολία στέλνουν τη θερμότητα μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στα φυτά και στο έδαφος, τα οποία μέσω της επαφής τους με τον αέρα τον θερμαίνουν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο αέρας να έχει λίγο χαμηλότερη θερμοκρασία από ότι με άλλες συμβατικές μεθόδους θέρμανσης και έτσι να μειώνονται οι απώλειες θερμοκρασίας του θερμοκηπίου το οποίο συνεπάγεται εξοικονόμηση ενέργειας. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία που λαμβάνουν τα φυτά και το χώμα μικραίνει με το τετράγωνο της απόστασης πομπού-δέκτη ($1/d^2$). Στα θερμοκήπια ως πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας χρησιμοποιούν συνήθως σωλήνες ψηλά κατά μήκος του θερμοκηπίου, μαζί με μεταλλικούς ανακλαστήρες στο πάνω μέρος τους ώστε να δώσουν κατεύθυνση στην ακτινοβολία. Η απόσταση τους από την καλλιέργεια πρέπει να υπολογίζεται με ακρίβεια διότι αν είναι πολύ κοντά τα φυτά κινδυνεύουν από υπερθέρμανση, επίσης το έδαφος δεν πρέπει να σκιάζεται από τα φυλλώματα καθώς η θερμοκρασία του θα είναι χαμηλότερη από την ενδεδειγμένη.



Εικόνα 3.2 Σύστημα υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Αερόθερμα

Πολύ διαδεδομένη μέθοδος θέρμανσης στα θερμοκήπια είναι η χρήση αερόθερμων. Σε αυτό μεγάλο ρόλο παίζουν το μικρό κόστος εγκατάστασης, η υψηλή απόδοση, η μειωμένη αδράνεια σε σχέση με άλλα συστήματα και η απλή αυτοματοποίηση που ο χρήστης απλά ρυθμίζει ένα θερμοστάτη. Κύρια μειονεκτήματα είναι η μείωση της υγρασίας του χώρου, η μη ικανοποιητική θέρμανση του εδάφους σε σχέση με άλλες συμβατικές μεθόδους και η ταχεία πτώση της θερμοκρασίας σε περίπτωση δυσλειτουργίας ή βλάβης του συστήματος. Αυτό συνεπάγεται και από το γεγονός ότι δεν θερμαίνεται ικανοποιητικά το έδαφος. Βάση τη πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούν διαχωρίζονται σε ηλεκτρικά, ατμού ή ζεστού νερού και αερίου, πετρελαίου ή στερεών καυσίμων.

- **Ηλεκτρικά αερόθερμα**

Πρόκειται για μια ακριβή μέθοδο η οποία βρίσκει εφαρμογή σε ερασιτεχνικά, μικρά θερμοκήπια. Κύριο πλεονέκτημα η εύκολη ρύθμιση της θερμοκρασίας του χώρου, καθώς ο χρήστης απλά ρυθμίζει το θερμοστάτη στη θερμοκρασία που θέλει. Ο ανεμιστήρας μπορεί να δουλεύει και χωρίς να περνάει ηλεκτρικό ρεύμα από τις αντιστάσεις ώστε να δημιουργεί ομοιόμορφες συνθήκες στο χώρο.

- **Αερόθερμα ατμού ή ζεστού νερού**

Πρόκειται για μια μέθοδο συμπληρωματικής θέρμανσης ενός κεντρικού συστήματος. Το αερόθερμο δίνει κατεύθυνση στη ροή του αέρα ώστε να επικεντρώνεται πάνω στους σωλήνες που κυκλοφορεί θερμό νερό ή ατμός με αποτέλεσμα να θερμαίνεται πιο γρήγορα ο χώρος και πιο ομοιόμορφα.

- **Αερόθερμα αερίου, πετρελαίου ή στερεών καυσίμων**

Πρόκειται για μια μέθοδο με ενσωματωμένο καυστήρα ανοιχτού ή κλειστού θαλάμου καύσης. Τα συστήματα με ανοιχτού θαλάμου καύσης απευθύνονται κυρίως σε μικρές θερμοκηπιακές μονάδες όπου ο αέρας για την καύση προέρχεται από το θερμοκήπιο και απελευθερώνεται πάλι μέσα στο θερμοκήπιο με τη μορφή καυσαερίου. Αυτό είναι ωφέλιμο για τα φυτά κατά τη διάρκεια της ημέρας λόγω του CO₂ υπό την προϋπόθεση ότι το καύσιμο είναι καθαρό. Κατά τη διάρκεια της νύκτας που το θερμοκήπιο είναι κλειστό και μειώνεται η συγκέντρωση O₂ μπορεί να έχει αρνητικές επιπτώσεις στον αέρα και κατ' επέκταση στην καλλιέργεια. [8],[12].



Εικόνα 3.3 Αερόθερμο[18].

3.2 Συστήματα θέρμανσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι ΑΠΕ ή πράσινη ενέργεια είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διαδικασίες και υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον, δηλαδή ανεξάντλητες σε χρονικούς όρους της ανθρώπινης ζωής. Ως τέτοιες τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας θεωρούνται τα ηλιακά θερμικά συστήματα, τα φωτοβολταϊκά, οι ανεμογεννήτριες, η βιομάζα και τα παράγωγά της, τα υδροηλεκτρικά συστήματα, η ενέργεια από τα κύματα και την παλίρροια καθώς και η γεωθερμία. Τα βασικά χαρακτηριστικά των ΑΠΕ είναι ότι η ροή ενέργειας που προσφέρουν εμφανίζεται διαρκώς στο περιβάλλον, είναι αρκετά καθαρές και ήπιες και έχουν μεγάλη προσαρμοστικότητα στο σχεδιασμό τους ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες χρηστών. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών αρχικά εμφανίστηκε μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και εδραιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία. Σε πολλές χώρες οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο συμβάλλοντας στη βελτιστοποίηση της ποιότητας του περιβάλλοντος καθώς ο ενεργειακός τομέας είναι ο κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για την ρύπανση του περιβάλλοντος. Επίσης οι ΑΠΕ συμβάλλουν στην εν μέρει ανεξαρτητοποίηση από το εισαγόμενο πετρέλαιο. Στις επόμενες παραγράφους αναλύονται οι ΑΠΕ ανάλογα με τη μορφή ενέργειας ξεκινώντας από την πιο σημαντική που είναι η ηλιακή ενέργεια.

Ηλιακή ενέργεια

Ο όρος αναφέρεται στην ενέργεια που προέρχεται από την ακτινοβολία του ήλιου και διατηρεί τη θερμοκρασία στην επιφάνεια της γης σε επίπεδα που επιτρέπουν τη διατήρηση της ανθρώπινης ζωής. Η θερμοκρασία της επιφάνειας του ήλιου διατηρείται στους 6,000°C ως αποτέλεσμα αντιδράσεων πυρηνικής σύντηξης των ατόμων υδρογόνου στο εσωτερικό του. Οι πυρηνικές αντιδράσεις μετατρέπουν σταδιακά το υδρογόνο σε βαρύτερα στοιχεία σε μια σχετική αργή διαδικασία και έτσι υπολογίζεται ότι ο ήλιος θα συνεχίσει να παρέχει ενέργεια για τα επόμενα πέντε δισεκατομμύρια χρόνια. Η αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μπορεί να γίνει με ηλιακούς συλλέκτες για την παραγωγή ζεστού νερού και θέρμανσης σε κτήρια όπου είναι και ιδιαίτερα διαδεδομένο σε χώρες με αυξημένη ηλιοφάνεια όπως είναι και η Ελλάδα. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την απευθείας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων(PV). Τα στοιχεία αυτά φτιάχνονται από ειδικά προετοιμασμένα τεμάχια ημιαγωγών πυριτίου, τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια όταν προσπίπτουν πάνω τους φωτόνια ηλιακού φωτός. Λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής επειδή παράγονται σε μικρή ποσότητα αφορούν εξαιρετικά μικρό μέρος της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται και έμμεσα μέσω άλλων μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που είναι αποτέλεσμά της όπως η βιομάζα, η υδροηλεκτρική, η αιολική και η κυματική ενέργεια. Στην περίπτωση των θερμοκηπιακών μονάδων η χρήση ηλιακής ενέργειας διακρίνεται στα ενεργητικά και στα παθητικά συστήματα ή στον συνδυασμό τους.

- **Ενεργητικά συστήματα θέρμανσης**

Πρόκειται για ένα σύστημα θέρμανσης το οποίο αποτελείται από ένα σύστημα συλλογής της ηλιακής ενέργειας, ένα σύστημα μετατροπής της από ηλιακή σε θερμική και ένα σύστημα αποθήκευσής της. Τα ενεργητικά συστήματα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τον τύπο ηλιακού συλλέκτη, το υλικό μεταφοράς θερμότητας το οποίο ρέει στον ηλιακό συλλέκτη, την τοποθέτηση των συλλεκτών και το υλικό αποθήκευσης. Οι συλλέκτες είναι συνήθως γυάλινοι ή πλαστικοί με τους πρώτους να προτιμούνται καθώς οι πλαστικοί ενώ είναι πιο φθηνοί, φθείρονται εύκολα αυξάνοντας το κόστος συντήρησης.

- **Παθητικά συστήματα θέρμανσης**

Πρόκειται για ένα σύστημα θέρμανσης το οποίο έχει το σύστημα συλλογής θερμότητας ενσωματωμένο με τη θερμοκηπιακή μονάδα. Κατηγοριοποιούνται σε σχέση με το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας σε νερό, στο υπέδαφος, σε χαλίκι, σε υλικά με υψηλή λαθάνουσα θερμότητα κ.α. Είναι δύσκολο γίνει σύγκριση των συστημάτων μεταξύ τους λόγω αλληλοσχετιζόμενων παραγόντων. Τα παθητικά συστήματα βρίσκουν

εφαρμογή κατά κύριο λόγο σε μικρές θερμοκηπιακές μονάδες καθώς έχουν μικρό κόστος κατασκευής και κόστος λειτουργίας. Το πιο διαδεδομένο είναι το σύστημα με αποθήκευση θερμότητας σε νερό, όπου πλαστικές σακούλες με νερό τοποθετούνται ανάμεσα στα φυτά και από κάτω τους ένα φύλλο πολυαιθυλενίου για να απορροφά την ακτινοβολία. Όσο υπάρχει ήλιος το νερό απορροφά θερμότητα την οποία την εκλύει προς το θερμοκήπιο την νύχτα ώστε να το διατηρεί σε μια καλή θερμοκρασία.



Εικόνα 3.4 Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση θερμότητας σε νερό[17].

- **Υβριδικά συστήματα θέρμανσης**

Πρόκειται για ένα σύστημα θέρμανσης το οποίο συνδυάζει τα ηλιακά συστήματα, συνήθως ένα παθητικό είτε με ενεργητικό σύστημα θέρμανσης είτε ακόμα και με ένα συμβατικό. Το συνδυαστικό αυτό σύστημα προσφέρει μείωση των συμβατικών καυσίμων όσο αφορά τις ανάγκες θέρμανσης του θερμοκηπίου, υψηλότερη θερμοκρασία του νερού στο ανάλογο παθητικό σύστημα αποθήκευσης, πιο ομαλή ανάπτυξη της καλλιέργειας καθώς και καλύτερο διαμερισμό της θερμότητας μέσα στο θερμοκήπιο [10].

Αιολική ενέργεια

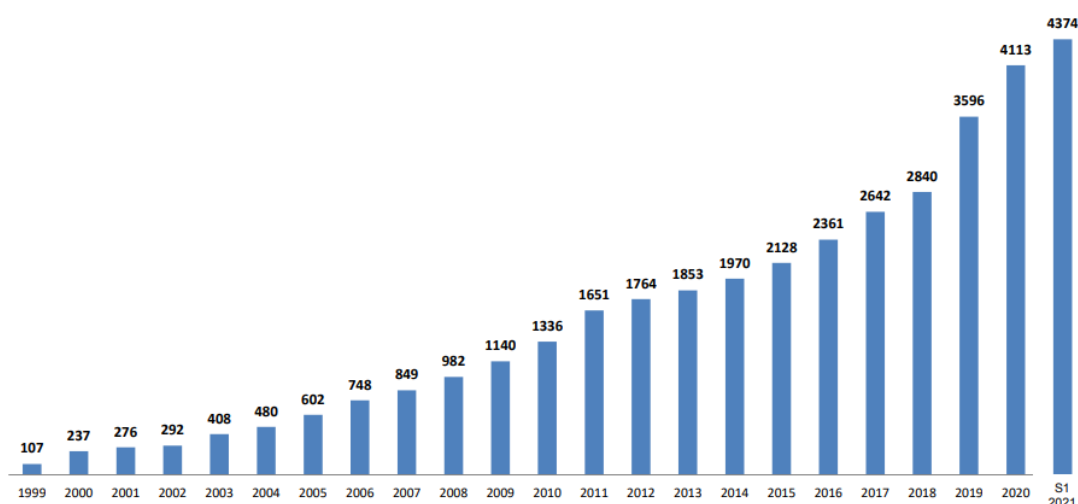
Είναι η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η παραγωγή αιολικής ενέργειας χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες με τη μορφή των παραδοσιακών ανεμόμυλων. Από το δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα αναπτύσσεται γρήγορα η χρήση των σύγχρονων ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

Ανεμογεννήτρια είναι μια τεχνική διάταξη που αξιοποιεί μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου μετατρέποντάς την αρχικά σε κινητική ενέργεια περιστροφής των περυγίων και τελικά σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να εγκατασταθούν είτε μόνες τους σε μια περιοχή είτε κατά ομάδες που ονομάζονται αιολικά πάρκα. Στην Ελλάδα το 1991 η εγκατεστημένη δυναμικότητα παραγωγής ήταν 107MW ενώ το 2019 φτάνει τα 3596MW θέτοντας τον φιλόδοξο στόχο των 7000 MW ως το 2030 σύμφωνα με την Ελληνική επιστημονική ένωση αιολικής ενέργειας η οποία είναι ο εθνικός εκπρόσωπος της Ελλάδος.

HWEA Wind Energy Statistics – S1 2021



Total capacity to the grid (MW) per year



Εικόνα 3.5 Εγκατεστημένη δυναμικότητα παραγωγής από αιολική ενέργεια στην Ελλάδα.

Βιομάζα

Η βιομάζα αποτελεί δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Με βάση τη δραστηριότητα αυτή, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες CO₂ από την ατμόσφαιρα, καθώς και νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος. Η βιομάζα αποτελεί σημαντική και παράλληλα ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή πηγή, που η χρήση της ως πηγή ενέργειας δεν είναι νέα καθώς σε αυτήν συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της Ελλάδας μέχρι τα τέλη του περασμένου αιώνα.

Γεωθερμική ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ακόμα ΑΠΕ η οποία δεν προέρχεται από την ηλιακή ακτινοβολία. Πηγή της είναι η εσωτερική θερμότητα της γης όπου οφείλεται σε δύο κύριους παράγοντες. Στη θερμική ενέργεια που έχει αποταμιευτεί κυρίως στον πυρήνα της γης κατά την πρωταρχική περίοδο της δημιουργίας της και στη θερμότητα που απελευθερώνεται κατά τη διάσπαση των ραδιενεργών στοιχείων (κυρίως θόριο, ουράνιο και κάλιο) που βρίσκονται στον φλοιό της γης. Στο κύριο μέρος του εσωτερικού της γης όπου οι θερμοκρασίες είναι τόσο μεγάλες που η φυσική κατάσταση των υλικών είναι υγρή-αέρια, η μεταφορά θερμότητας γίνεται με συμμεταφορά, δηλαδή το θερμότερο ρευστό υλικό κινείται ανοδικά ενώ το ψυχρότερο καθοδικά. Στα ανώτερα στρώματα της γης οι θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες και τα υλικά βρίσκονται περισσότερο στη στερεά φάση, έτσι η μεταφορά θερμότητας γίνεται με αγωγή. Οι πιο χρήσιμοι γεωθερμικοί πόροι προκύπτουν όταν υπόγειοι υδάτινοι όγκοι προσλαμβάνουν τη θερμική ενέργεια, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου η ηφαιστειακή δραστηριότητα μεταφέρει αυτή τη θερμότητα κοντά στην επιφάνεια της γης. Το παραγόμενο θερμό νερό ή ο ατμός χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή ή για απευθείας θέρμανση. Αν σε μια συγκεκριμένη περιοχή η γεωθερμική ενέργεια καταναλώνεται με ρυθμό που δεν υπερβαίνει το ρυθμό αναπλήρωσης από τα βαθιά στρώματα της γης, τότε θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Σε πολλές περιπτώσεις θα οδηγήσει στην ενδεχόμενη τοπική εξάντλησή της σε κάποιο χρονικό διάστημα. Η γεωθερμική ενέργεια συνεισφέρει σε μικρό βαθμό στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας αλλά σε τοπικό επίπεδο έχει ιδιαίτερα σημαντική συμβολή.



Εικόνα 3.6 Θέρμανση με γεωθερμία.

Βιωσιμότητα και ΑΠΕ

Σε γενικές γραμμές οι ΑΠΕ αποτελούν μια βιώσιμη προοπτική καθώς τα πλεονεκτήματά τους σαφώς υπερिशύουν από τα μειονεκτήματα. Τα βασικότερα από αυτά είναι πως είναι φιλικά προς το περιβάλλον χωρίς να αφήνουν τοξικά απόβλητα και σταθεροποιούν τις εκπομπές CO₂, είναι εγχώριες πηγές ενέργειας στηρίζοντας την ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος. Παρόλα αυτά μπορεί να προκαλέσουν κοινωνικά και περιβαλλοντικά προβλήματα καθώς έχουν μικρό συντελεστή απόδοσης με αποτέλεσμα να χρειάζονται μεγάλες εκτάσεις και αρχικό κόστος για εγκατάσταση προκειμένου να παραχθεί ικανοποιητική ποσότητα ενέργειας. Αυτό ενδέχεται να επιφέρει καταστροφή του φυσικού τοπίου, κίνδυνο για την τοπική πανίδα και οπτική όχληση. [1],[6],[11],[13].

3.3 Συστήματα συμπαραγωγής θερμότητας-ισχύος

3.3.1 Ορισμός συμπαραγωγής και βασικές αρχές

Σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας(ΣΗΘ) είναι η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας για τη θέρμανση χώρων ή βιομηχανικών διεργασιών. Τα συστήματα συμπαραγωγής τα οποία διανέμουν την θερμική ενέργεια μέσω αγωγών για την θέρμανση χώρων ονομάζονται συστήματα τηλεθέρμανσης. Η συμπαραγωγή έχει καλύτερη ενεργειακή απόδοση καθώς αξιοποιεί τα ποσά θερμότητας που ένας συμβατικός θερμοηλεκτρικός σταθμός θα απέβαλε στο περιβάλλον είτε μέσω καυσαερίων είτε μέσω ψυκτικών κυκλωμάτων. Οι συμβατικοί θερμοηλεκτρικοί σταθμοί έχουν βαθμό απόδοσης περίπου 60% ενώ τα συστήματα συμπαραγωγής φτάνουν μέχρι και 85%. Όσο καλύτερη αναλογία μεγάλης θερμικής ζήτησης με μικρής παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος καλύπτει ένα ΣΗΘ, τόσο πιο αποδοτικό είναι. Αυτό συμβαίνει διότι με το να χρειάζεται λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια, πουλάει περισσότερη πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο. Τα ΣΗΘ ως κύριοι τομείς εφαρμογών έχουν την ηλεκτροπαραγωγή, το βιομηχανικό τομέα, τον εμπορικό-κτιριακό τομέα και τον αγροτικό τομέα.

Στον βιομηχανικό τομέα οι κλάδοι που εμφανίζουν σημαντικό δυναμικό εγκατάστασης είναι οι βιομηχανίες τροφίμων και ποτών, οι κλωστοϋφαντουργίες, οι βιομηχανίες χαρτιού, οι χημικές βιομηχανίες, τα διωλιστήρια, οι τσιμεντοβιομηχανίες και οι μεταλλουργικές βιομηχανίες. Βασικές προϋποθέσεις εγκατάστασης ενός ΣΗΘ σε βιομηχανία είναι να έχει υψηλές ανάγκες σε θερμική ενέργεια, να έχει σταθερές ανάγκες σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια μέσα στη μέρα και το πιο σημαντικό να μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα κατάλοιπα της επεξεργασίας για να δώσουν θερμότητα στο σύστημα.

Στον εμπορικό τομέα η ΣΗΘ εφαρμόζεται συνήθως με συστήματα μικρό-συμπαγωγής. Πρόκειται για συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν παλινδρομικούς κινητήρες με παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος μέχρι 150KW . Οι κινητήρες αυτοί είναι κινητήρες αυτοκινήτων που έχουν τροποποιηθεί και καταναλώνουν υγραέριο, βιοαέριο και φυσικό αέριο. Είναι συνδεδεμένοι με γεννήτρια που παράγει ηλεκτρικό ρεύμα και ανακτούν θερμότητα κυρίως από τα καυσαέρια και σε μικρότερο βαθμό από το νερό ψύξης και από τα λιπαντικά. Αυτές οι μονάδες έχουν σχετικά μικρό κόστος και είναι ιδανικές για κτήρια όπως νοσοκομεία, κολέγια, ξενοδοχεία κ.α.

Στον αγροτικό τομέα η εφαρμογή της ΣΗΘ έχει πολλά οφέλη καθώς χρησιμοποιεί ως καύσιμο υπολείμματα των αγροτικών διεργασιών. Η ανακτώμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση θερμοκηπίων, σπιτιών, ξήρανση προϊόντων κ.α. Η ΣΗΘ χρησιμοποιείται κυρίως σε θερμοκηπιακές μονάδες πετυχαίνοντας μείωση του κόστους παραγωγής με ανατροφοδότηση της θερμικής ενέργειας στο θερμοκήπιο για την καλλιέργεια των προϊόντων και αύξηση των εσόδων καθώς η πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια πωλείτε στο εθνικό δίκτυο.

3.3.2 Τρόποι λειτουργίας συστημάτων συμπαγωγής

Ο τρόπος λειτουργίας ενός συστήματος συμπαγωγής είναι ο τρόπος ρύθμισης της παραγόμενης ηλεκτρικής και θερμικής ισχύος. Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου επηρεάζεται κυρίως από τις δυνατότητες του δικτύου της περιοχής που είναι η εγκατάσταση αλλά και από της ανάγκες της. Παρακάτω παρατίθενται οι κυριότεροι τρόποι λειτουργίας μιας ΣΗΘ.

- Παραγωγή θερμότητας ίσης με το θερμικό φορτίο(heat match).
Το σύστημα παράγει συνέχεια θερμότητα ίση με το φορτίο. Αν παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια μεγαλύτερη του φορτίου, η πλεονάζουσα θα πωληθεί στο εθνικό δίκτυο. Αν η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι μικρότερη από το φορτίο τότε αγοράζεται από το δίκτυο.
- Παραγωγή θερμότητας ίσης με το θερμικό φορτίο βάσης.
Το σύστημα διαστασιοποιείται να παράγει την ελάχιστη θερμική ενέργεια για την εγκατάσταση, όταν η ζήτηση είναι μεγαλύτερη λειτουργούν εφεδρικοί λέβητες. Όταν η ηλεκτρική ισχύς που παράγει ο κύριος κινητήρας δεν είναι επαρκής αγοράζεται από το δίκτυο, ενώ σε αντίθετη περίπτωση πωλείται.
- Παραγωγή ηλεκτρισμού ίσου με το ηλεκτρικό φορτίο(electricity match).
Το σύστημα παράγει συνέχεια ηλεκτρική ενέργεια ίση με το ηλεκτρικό φορτίο. Αν υπάρχει έλλειψη θερμότητας στο σύστημα τότε μπαίνει σε λειτουργία και ο βοηθητικός συμβατικός λέβητας. Αν υπάρχει περίσσεια τότε το σύστημα πρέπει να διαθέτει εγκατάσταση συστημάτων ψύξης για να την αποβάλλουν στο περιβάλλον.

- Παραγωγή ηλεκτρισμού ίσου με το ηλεκτρικό φορτίο βάσης. Το σύστημα διαστασιολογείται να παράγει το ελάχιστο ηλεκτρικό φορτίο που χρειάζεται για την εγκατάσταση, αν υπάρχουν ηλεκτρικές ανάγκες περεταίρω θα καλυφθούν από το δίκτυο. Αν το θερμικό φορτίο δεν είναι επαρκή τότε το σύστημα χρειάζεται βοηθητικό λέβητα.
- Μικτός τρόπος κάλυψης. Το σύστημα ακολουθεί άλλοτε την παραγωγή θερμότητας ίσης με το θερμικό φορτίο και άλλοτε την παραγωγή ηλεκτρισμού ίσο με το ηλεκτρικό φορτίο. Αυτό αποφασίζεται ανάλογα με τα επίπεδα των φορτίων, την τιμή του καυσίμου, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας.
- Πλήρης κάλυψη του θερμικού και ηλεκτρικού φορτίου. Σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή υπάρχει επαρκής κάλυψη και των δύο φορτίων χωρίς σύνδεση στο δίκτυο. Είναι η πιο ακριβή λύση από άποψη αρχικού κόστους καθώς χρειάζεται εφεδρεία ισχύος και συνεπώς πολύπλοκο σύστημα συμπαραγωγής.

3.3.3 Σύγχρονες τεχνολογίες συμπαραγωγής

Τα συστήματα συμπαραγωγής ανάλογα με την προτεραιότητα που δίνεται σε παραγωγή ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας, διακρίνονται σε συστήματα κορυφής και συστήματα βάσης. Στα συστήματα κορυφής χρησιμοποιείται ρευστό υψηλής θερμοκρασίας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ η θερμότητα που αποβάλλεται χρησιμοποιείται σε θερμικές διεργασίες, θέρμανση χώρων και στην παραγωγή πρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα συστήματα βάσης παράγεται πρώτα η θερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας και εν συνεχεία τα θερμά αέρια τροφοδοτούνται σε καυστήρα ανάκτησης θερμότητας όπου παράγεται ο ατμός για την κίνηση της ατμοστροβιλογεννήτριας. Επίσης μπορεί να τροφοδοτήσουν αεριοστρόβιλο ο οποίος με τη σειρά του θα κινήσει την γεννήτρια ηλεκτρισμού.

Οι τεχνολογίες που έχουν εφαρμογή σήμερα στη ΣΗΘ αναφέρονται επιγραμματικά:

- Συστήματα ατμοστροβίλων
- Συστήματα αεριοστροβίλων
- Συστήματα με παλινδρομική μηχανή εσωτερικής καύσης(MEK)
- Συστήματα συνδυασμένου κύκλου
- Κύκλοι Rankine
- Μηχανές Stirling
- Κυψέλες καυσίμου

Πέρα από τις κυψέλες καυσίμου, όλες οι άλλες τεχνολογίες αποτελούν θερμικές μηχανές.[13],[21].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Συστήματα Ψύξης

4.1 Δροσισμός

Ψύξη – δροσισμός

Ο φυσικός αερισμός είναι ο πιο οικονομικός τρόπος ψύξης και αφύγρανσης του θερμοκηπίου, όμως έτσι χάνεται στο περιβάλλον θερμότητα, υδρατμοί και διοξείδιο του άνθρακα. Όταν όμως χρειάζεται η θερμοκρασία του αέρα στο θερμοκήπιο να είναι χαμηλότερη από την εξωτερική θερμοκρασία, χρειάζεται ψύξη με εξάτμιση νερού. Κατά τον δροσισμό ο θερμός αέρας του θερμοκηπίου έρχεται σε επαφή με νερό χαμηλότερης θερμοκρασίας, μέρος της θερμότητας του αέρα μεταφέρεται στο νερό και μετατρέπεται σε λανθάνουσα θερμότητα, εξατμίζεται. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με συστήματα υδρονέφωσης και τεχνητής ομίχλης και με συστήματα υγρής παρειάς με ανεμιστήρες.

Σύστημα υδρονέφωσης και τεχνητής ομίχλης.

Ψεκάζουν νερό απευθείας στον αέρα του θερμοκηπίου μέσα από σωληνώσεις που αναρτώνται πάνω από την καλλιέργεια και απλώνονται στον χώρο του θερμοκηπίου. Το νερό περνώντας με πίεση από αυτούς τους σωλήνες, εξέρχεται με την μορφή μικρών σταγονιδίων από ακροφύσια που υπάρχουν σε τακτά διαστήματα κατά μήκος των σωληνώσεων. Μέσω αυτών των συστημάτων μπορεί να επιτευχθεί ταυτόχρονα φυτοπροστασία και λίπανση.

Απαιτείται μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία των αντλιών και η αποτελεσματικότητά εξαρτάται από την ισχύ του εξαερισμού, γιατί καθώς το θερμοκήπιο ψύχεται, η θερμοκρασία εντός μπορεί να είναι χαμηλότερη από την εξωτερική και εμποδίζεται η πλευστότητα του αέρα.

Το σύστημα υδρονέφωσης που λειτουργεί με πίεση 200-500 KPa, παρέχει νερό με μικρές σταγόνες στον αέρα σε ζεστές ή ξηρές συνθήκες. Ανάλογα με την πίεση, το μέγεθος των σταγονιδίων, το ποσοστό ψεκασμού και τον ρυθμό εξαερισμού, το 10% - 60% του ψεκασμένου νερού εξατμίζεται μειώνοντας τη θερμοκρασία και αυξάνοντας την υγρασία του θερμοκηπίου.

Το σύστημα τεχνητής ομίχλης λειτουργεί σε υψηλή πίεση 2 – 7 MPa με χαλύβδινους, γραμμικούς διάτρητους σωλήνες μικρής διαμέτρου που πετούν σταγονίδια νερού, τα οποία αιωρούνται στον αέρα και εξατμίζονται σε λίγα δευτερόλεπτα. Για να μην

πέφτει νερό στα φυτά και δημιουργεί ασθένειες στην καλλιέργεια, τα συστήματα τεχνητής ομίχλης χρησιμοποιούν κύκλους νέφωσης ενεργοποιημένου μερικά δευτερόλεπτα σε κύκλους λίγων λεπτών. Όσο ξηρότερος είναι ο αέρας, τόσο μεγαλύτερη είναι η ψύξη και μπορεί η θερμοκρασία να πέσει και 3 – 4 βαθμούς C σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία σε μεσογειακές περιοχές.

Συστήματα υγρής παρειάς με ανεμιστήρες.

Σε περιοχές ζεστές και ξηρές χρησιμοποιείται η ψύξη με υγρή παρειά και ανεμιστήρες. Ο αέρας ψύχεται και υγραίνεται στην είσοδό του στο θερμοκήπιο στην υγρή παρειά, που είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας. Ένα ειδικά σχεδιασμένο σύστημα διανομής νερού διοχετεύει ομοιόμορφα το νερό στην επιφάνεια ψύξης που ψύχει αντίστοιχα τον αέρα που την περιβάλλει.

Η επιφάνεια ψύξης είναι φτιαγμένη από ειδικά φύλα κυτταρίνης με αυλακώσεις, δεμένα μεταξύ τους, με ειδική επεξεργασία που εγγυάται τη μεγάλη διάρκεια ζωής τους.

Στην απέναντι πλευρά εγκαθίστανται ανεμιστήρες που δημιουργούν μια ζώνη αρνητικής πίεσης μέσα στο θερμοκήπιο και αναγκάζουν τον αέρα να περάσει μέσα από τις επιφάνειες υγρής παρειάς, να ψυχθεί και να εισέρθει στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου με αυξημένα ποσοστά υγρασίας. Η αποδοτικότητα του συστήματος εξαρτάται από το πάχος της παρειάς και την ταχύτητα του αέρα που διέρχεται από αυτήν.

Σύστημα Η/Υ ελέγχει και ρυθμίζει κάθε φορά τις αντλίες νερού και τους ανεμιστήρες που τίθενται σε λειτουργία με στόχο την ιδανική ανάπτυξη της καλλιέργειας.

Συστήματα σκίασης.

Μειώνεται η εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και η θερμοκρασία του κατά τους θερινούς μήνες. Ταυτόχρονα η σκίαση αυξάνει έμμεσα την υγρασία εντός του θερμοκηπίου με την μείωση της θερμοκρασίας που προκαλεί, αλλά και περιορίζει τη φωτοσύνθεση των φυτών καθώς μειώνεται η ένταση του φωτισμού.

Μια οικονομική μέθοδος σκίασης είναι το άσπρισμα με μια λευκή, υδροδιαλυτή βαφή, βασισμένη στο ανθρακικό ασβέστιο, που εφαρμόζεται στο κάλυμμα του θερμοκηπίου και εξασφαλίζει μεγάλη ανακλαστικότητα του φωτός, από άνοιξη έως το φθινόπωρο και μετά ξεπλένεται. Ανάλογα με το πάχος της βαφής μειώνεται η διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας από 30 – 50%.

Σκίαση με δίκτυο που τοποθετείται είτε εσωτερικά, στο ύψος της υδρορροής, τα οποία αυτοματοποιούνται για να μαζεύονται και να απλώνονται ανάλογα τη θερμοκρασία του θερμοκηπίου, είτε εξωτερικά, πάνω από την οροφή.

Σκίαση με κινητές κουρτίνες που μπορούν να διπλωθούν και τοποθετούνται εσωτερικά του θερμοκηπίου, οριζόντια, στο ύψος της υδρορροής, είναι κατασκευασμένες από ακρυλικές ίνες με αραιή ύφανση ή από λεπτές λωρίδες στιλπνών φύλλων αλουμινίου που επιτρέπουν στο μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας να τις διαπεράσει. Συχνά οι κουρτίνες σκίασης χρησιμοποιούνται και την ψυχρή εποχή του έτους ως θερμοκουρτίνες.[2].

4.2 Συστήματα εξαερισμού.

Εξαερισμός

Η ανταλλαγή του ζεστού και υγρού αέρα του θερμοκηπίου με ψυχρότερο και ξηρότερο αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, που αποσκοπεί στη μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας και υγρασίας κατά τη διάρκεια της μέρας. Ο φυσικός αερισμός του θερμοκηπίου στηρίζεται στην πλευστότητα και την πίεση του αέρα. Ο ρυθμός αερισμού εξαρτάται από τον αριθμό, το μέγεθος και τη θέση των ανοιγμάτων αερισμού και σχετίζεται με την ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου, τη διαφορά θερμοκρασίας και υγρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, την ομοιογένεια της θερμοκρασίας σε διάφορα σημεία του θερμοκηπίου.

Τα συστήματα εξαερισμού διακρίνονται στα παθητικά, τα οποία επιτρέπουν την μετακίνηση αέριων μαζών μέσω απλών ανοιγμάτων και τα δυναμικά τα οποία μέσω εξαεριστήρων, ασκούν πίεση ή αναρρόφηση εξαναγκάζοντας αέριες μάζες να εισέλθουν ή να εξέλθουν από το θερμοκήπιο.

Τα μειονεκτήματα του εξαερισμού είναι η απομάκρυνση της πλεονάζουσας ενέργειας κατά τη διάρκεια της ηλιοφάνειας που θα ήταν χρήσιμη στη διάρκεια της νύχτας ή τις κρύες μέρες, η απομάκρυνση υδρατμών και διοξειδίου του άνθρακα, η είσοδος επιβλαβών εντόμων στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ή η διαφυγή αρπακτικών εντόμων για τον βιολογικό έλεγχο της καλλιέργειας.

Παθητικά συστήματα εξαερισμού

Τα παθητικά συστήματα εξαερισμού αποτελούνται από ειδικά παράθυρα (ανοίγματα) στην οροφή του θερμοκηπίου καθώς και στα πλάγια τοιχώματα Τα παράθυρα που χρησιμοποιούνται για παθητικό εξαερισμό, κατά κανόνα είναι καλυμμένα με το ίδιο διαφανές υλικό που καλύπτει και το υπόλοιπο θερμοκήπιο. Τα καλύμματα αυτά είναι πτυσσόμενα, τυλίγονται και ξετυλίγονται γύρω από ένα σωλήνα, είτε πτερυγωτά που περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα. Το άνοιγμα και το κλείσιμο των παραθύρων εξαερισμού ελέγχεται, είτε χειρωνακτικά είτε μέσω αυτόματων συστημάτων, ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Για να είναι

αποτελεσματικός ο φυσικός εξαερισμός το πλάτος του θερμοκηπίου δεν πρέπει να ξεπερνά τα 16 μ.

Τα πλευρικά ανοίγματα εξαερισμού μπορούν να παραλείπονται τελείως, αν τα ανοίγματα οροφής έχουν συνολική επιφάνεια τουλάχιστον 40% της συνολικής επιφάνειας του θερμοκηπίου. Η κάλυψη των παραθύρων εξαερισμού με σήτα για την προστασία από έντομα μειώνουν την ταχύτητα και την ανανέωση του αέρα.

Συστήματα δυναμικού εξαερισμού

Τα συστήματα δυναμικού εξαερισμού είναι πιο αποτελεσματικά από τα αντίστοιχα παθητικά συστήματα όσον αφορά την ανανέωση του αέρα και την μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Ένα σύστημα δυναμικού εξαερισμού περιλαμβάνει ανεμιστήρες από την μία πλευρά του θερμοκηπίου, οι οποίοι αναρροφούν τον εσωτερικό αέρα και τον βγάζουν έξω, καθώς και ανοίγματα από την απέναντι πλευρά, μέσω των οποίων εισέρχεται εντός του θερμοκηπίου ο εξωτερικός αέρας, λόγω υποπίεσης που δημιουργείται. Στα συστήματα δυναμικού αερισμού τα ανοίγματα που επιτρέπουν στον αέρα να εισέλθει εντός του θερμοκηπίου είναι πτερυγωτά (flap) και μικρότερα από αυτά που απαιτούνται για παθητικό αερισμό.

Τα συστήματα δυναμικού αερισμού είναι πολύ αποτελεσματικά όσον αφορά τον ρυθμό ανανέωσης του αέρα και την μείωση της θερμοκρασίας που επιτυγχάνουν, ενώ συμβάλλουν και σε μεγαλύτερη ομοιομορφία όσον αφορά την θερμοκρασία και υγρασία μέσα στο θερμοκήπιο. Το μόνο τους μειονέκτημα είναι το σημαντικό κόστος που συνεπάγεται τόσο η αγορά και εγκατάστασή τους όσο και η λειτουργία τους λόγω κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος.[12].

4.3 Εμπλουτισμός διοξειδίου του άνθρακα.

Η συγκέντρωση του CO_2 του άνθρακα στον αέρα του θερμοκηπίου σχετίζεται άμεσα με τη φωτοσύνθεση του φυτού και την αύξηση της φυτικής παραγωγής. Η ηλιακή ακτινοβολία και η απαίτηση αερισμού του θερμοκηπίου σχετίζονται άμεσα, οπότε σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας που προσφέρουν και υψηλή συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα, αυξάνεται και η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και απαιτείται αερισμός, οπότε το μεγαλύτερο μέρος του διοξειδίου του άνθρακα θα χαθεί από τα ανοίγματα αερισμού. Επίσης σε χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες που το θερμοκήπιο δεν αερίζεται, η συγκέντρωση σε διοξείδιο του άνθρακα μειώνεται δραστικά. Για αυτό κρίνεται απαραίτητο ο εμπλουτισμός του αέρα του θερμοκηπίου με CO_2 μέσω συστημάτων εμπλουτισμού. Όταν τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα κυμαίνονται μεταξύ 700 και 1000 ppm αυξάνονται οι ρυθμοί φωτοσύνθεσης. Η παροχή διοξειδίου του άνθρακα που απαιτείται εξαρτάται από τον ρυθμό αερισμού και την φωτοσύνθεση που είναι συνάρτηση του είδους καλλιέργειας.

Καύση ορυκτών καυσίμων

Η πιο συνήθης μέθοδος εμπλουτισμού με CO_2 είναι από την καύση ορυκτών καυσίμων με, θερμαντήρες αέρα, που βρίσκονται μέσα στο θερμοκήπιο, όταν δεν υπάρχει σύστημα θέρμανσης, ή με καύση καυσίμων με κεντρικό καυστήρα σε συνδυασμό με δεξαμενή αποθήκευσης θερμότητας, οι οποίοι ελευθερώνουν τα καυσαέρια απευθείας στο θερμοκήπιο. Η καύση πρέπει να είναι τέλεια για να μην έχουν τα καυσαέρια επιβλαβή αέρια, όπως το διοξείδιο του Αζώτου, το αιθένιο, το CO ή το SO_2 .

Καύσιμα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εμπλουτισμό του διοξειδίου του άνθρακα είναι το φυσικό αέριο με χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο ή έλαια όπως η καθαρή κηροζίνη και το προπάνιο. Τα καυσαέρια από καύση πετρελαίου πρέπει να φιλτραριστούν με ειδικά καταλυτικά φίλτρα για την απομάκρυνση του διοξειδίου του Αζώτου, πριν χρησιμοποιηθούν για εμπλουτισμό CO_2 . Τα καύσιμα από βιομάζα λόγω μεγάλης περιεκτικότητας σε διοξείδιο του θείου, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Τα καυσαέρια, πριν διοχετευτούν στο θερμοκήπιο, ψύχονται στους 55°C σε εναλλάκτη θερμότητας, για να απομακρυνθούν οι υδρατμοί και να μην εγκλωβιστεί νερό στους αγωγούς τροφοδοσίας.

Τα καυσαέρια εισέρχονται στο θερμοκήπιο μέσω ενός κύριου αγωγού PVC από τον οποίο ξεκινούν διάτρητοι σωλήνες πολυαιθυλενίου, διαμέτρου 32-50 mm, που βρίσκονται χαμηλά στο θερμοκήπιο.

Διανομή υγρού CO_2 .

Το CO_2 αποθηκεύεται υπό πίεση και υγροποιημένο σε κεντρικές δεξαμενές αποθήκευσης με μεγάλα τοιχώματα. Μεταφέρεται μέσω μεταλλικών σωληνώσεων στο θερμοκήπιο, μειώνεται με βαλβίδες η αρχική πίεση, μετατρέπεται σε αέριο, θερμαίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και διανέμεται στα φυτά μέσω πλαστικών σωληνώσεων με οπές διαμέτρου 3-6 mm ή μέσω ενός ανεμιστήρα.

Ο εμπλουτισμός του θερμοκηπίου με έτοιμο CO_2 είναι εύκολος και ασφαλής τρόπος γιατί δεν περιέχει προσμίξεις άλλων αερίων, το κόστος του όμως είναι υψηλό.[6],[12].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Μοντέλο ενεργειακών ροών

Το ενεργειακό ισοζύγιο ενός θερμοκηπίου είναι οι θερμικές ή ψυκτικές ανάγκες του που ισοούνται με τη διαφορά των θερμικών απωλειών από τα θερμικά κέρδη της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα θερμικά κέρδη προέρχονται κυρίως από την ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο ή από προσδιδόμενη στο σύστημα θερμότητα ενώ οι θερμικές απώλειες κατηγοριοποιούνται σε απώλειες λόγω αερισμού του θερμοκηπίου, λόγω αγωγιμότητας από διαφανή μέρη του θερμοκηπίου (κάλυμμα), με αγωγιμότητα από το έδαφος, λόγω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος φυτών και εδάφους, λόγω διαπνοής των φυτών κ.α.

Το θερμικό φορτίο προκύπτει από τη σχέση:

$$Q_h = Q_l - Q_{sol}$$

Όπου

- Q_h : Θερμικές ανάγκες [W]
- Q_l : Θερμικές απώλειες [W]
- Q_{sol} : Θερμικά κέρδη ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο [W]

5.1 Θερμικά κέρδη

Τα θερμικά κέρδη υπολογίζονται βάση του παρακάτω τύπου.

$$Q_{sol} = t_1 A_c S_j$$

Όπου

- t_1 : η διαπερατότητα του καλύμματος του θερμοκηπίου [-]
- A_c : η επιφάνεια του καλύμματος [m^2]
- S_j : η ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο [W/m^2]

Η διαπερατότητα του καλύμματος εξαρτάται από το υλικό του και παίρνει τιμές από μηδέν έως ένα [0,1].

Η ένταση της μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας δίνεται από τον πίνακα:

Πίνακας 5.1 Η μέση μηνιαία ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο σύμφωνα με την τεχνική οδηγία του τεχνικού επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-3/2010 [15].

Περιοχή/μήνας	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΙΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
Αθήνα (Ελληνικό)	63,0	79,0	117,7	154,3	195,4	214,0	222,4	202,7	152,6	109,0	70,7	55,7
Αθήνα (Φιλαδέλφεια)	63,3	77,7	118,9	152,7	190,4	207,4	214,5	198,6	156,0	111,1	68,1	54,4
Αγρίνιο	63,5	78,3	119,4	148,4	189,9	214,1	224,2	200,3	151,3	109,8	69,8	55,1
Αγχιάλος	61,3	74,3	112,5	149,2	189,7	212,7	217,4	195,1	146,8	98,8	63,1	51,5
Αλεξανδρούπολη	50,7	68,9	107,3	141,8	182,8	205,8	211,6	192,3	144,2	99,4	57,8	43,7
Αλιάρτος	51,0	70,0	114,0	158,0	206,0	216,0	220,0	204,0	153,0	102,0	66,0	49,0
Ανδραβίδα	68,4	83,4	128,4	159,5	200,2	220,6	228,4	205,5	156,1	115,6	75,2	60,1
Άραξος	62,6	78,6	119,7	155,6	196,1	210,9	217,8	197,6	152,4	110,2	69,4	54,6
Άργος (Πυργέλα)	68,7	83,6	127,7	159,5	202,5	220,6	229,0	206,4	157,2	115,5	74,8	59,2
Αργοστόλι	65,0	80,0	124,9	157,3	204,3	219,4	226,1	203,1	155,6	112,6	72,6	56,1
Ζάκυνθος	64,2	77,6	110,1	158,8	190,8	200,1	218,5	203,8	154,0	104,3	65,4	52,8
Άρτα	65,5	79,7	120,4	149,1	190,2	211,2	218,1	196,4	150,6	110,0	69,5	56,2
Ηράκλειο	65,6	81,6	125,0	166,5	207,3	222,4	227,1	207,0	163,0	117,3	78,6	61,2
Θεσσαλονίκη	52,6	67,5	103,2	140,7	179,1	198,6	209,5	184,7	136,7	91,4	56,6	45,5
Ιεράπετρα	73,0	89,0	137,0	174,0	210,0	220,0	224,0	205,0	165,0	125,0	89,0	69,0
Ιωάννινα	51,8	66,4	105,2	134,9	178,3	202,1	212,0	190,3	136,5	96,1	57,6	45,1
Καλαμάτα	68,2	82,3	126,1	156,2	198,7	216,0	222,0	200,9	154,9	114,5	75,2	59,3
Καστοριά	57,6	71,3	111,2	141,1	173,6	201,8	206,3	185,5	138,5	97,0	60,0	47,7
Κέρκυρα	57,7	73,5	116,7	149,9	195,4	213,6	221,0	197,8	148,2	103,1	64,4	50,7
Κομοτηνή	50,0	65,0	105,0	145,0	188,0	209,0	215,0	193,0	145,0	99,0	58,0	45,0
Κόνιτσα	53,0	65,0	112,0	138,0	190,0	200,0	216,0	194,0	141,0	99,0	63,0	50,0
Κόρινθος (Βέλο)	65,4	82,8	123,4	157,9	201,7	218,3	223,2	201,9	154,2	111,9	72,0	55,2
Κύθηρα	68,0	81,0	127,0	161,0	210,0	220,0	223,0	204,0	160,0	117,0	78,0	60,0
Λαμία	59,4	73,1	113,9	150,5	188,8	210,3	214,1	193,4	145,5	100,3	65,3	52,1
Λάρισα	55,1	71,4	112,1	151,1	190,9	210,8	215,8	194,3	145,9	97,8	61,2	47,8
Λήμνος	51,1	69,6	112,3	154,3	199,5	215,3	220,9	198,5	150,8	104,6	61,3	46,0
Μεθώνη	62,0	78,0	125,0	155,0	207,0	215,0	220,0	199,0	157,0	116,0	77,0	57,0
Μήλος	56,0	67,0	120,0	175,0	213,0	223,0	226,0	205,0	164,0	112,0	77,0	52,0
Μυτιλήνη	52,0	70,0	113,0	156,0	209,0	219,0	223,0	201,0	156,0	109,0	67,0	50,0
Νάξος	60,3	77,0	122,6	161,2	204,7	220,4	224,5	204,8	159,1	115,9	73,7	55,6
Πάρος	60,0	80,0	125,0	168,0	211,0	220,0	223,0	202,0	160,0	117,0	75,0	58,0
Πάτρα	55,0	72,0	124,0	147,0	200,0	215,0	218,0	197,0	153,0	107,0	66,0	53,0
Πύργος	68,4	83,1	127,5	157,9	200,4	215,6	223,8	202,1	155,0	115,9	75,5	59,3
Ρέθυμνο	62,0	81,0	119,0	164,0	211,0	218,0	223,0	204,0	160,0	106,0	81,0	58,0
Ρόδος	69,9	85,1	130,8	164,0	203,0	217,2	225,1	204,3	158,9	120,2	79,2	61,2
Σάμος	64,9	82,1	126,7	162,5	206,8	224,9	230,6	209,6	163,7	120,5	78,6	58,5
Σέρρες	50,8	68,0	105,7	141,0	180,5	202,8	209,7	187,7	140,8	94,7	56,5	43,7
Σητεία	66,5	83,0	128,4	165,2	207,4	223,2	227,1	207,5	163,7	119,3	80,4	61,9
Σκύρος	51,2	69,1	109,9	153,3	197,2	214,2	219,7	198,8	151,7	102,5	62,9	47,7
Σούδα	65,0	81,7	130,7	166,5	208,5	221,9	228,5	209,3	163,6	116,3	76,8	60,3
Σύρος	58,0	80,0	121,0	172,0	212,0	219,0	225,0	204,0	160,0	199,0	74,0	57,0
Τανάγρα	59,1	74,2	112,7	151,9	194,0	215,4	222,0	201,3	153,1	104,5	64,7	51,2
Τρίκαλα (Ημαθίας)	57,3	72,2	105,6	140,2	178,0	202,9	206,4	185,8	138,6	94,0	59,7	49,1
Τυμπάκιο	73,4	90,5	137,5	169,0	207,8	222,9	228,7	209,8	166,3	127,2	85,9	67,7
Χανιά	62,0	80,0	124,0	167,0	212,0	220,0	225,0	205,0	161,0	111,0	78,0	59,0
Χίος	55,0	72,0	119,0	161,0	210,0	220,0	225,0	203,0	159,0	116,0	71,0	53,0

Η επιφάνεια του καλύμματος στα θερμοκήπια αμφίρρικτου τύπου υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$A_c = 2LW + 2Wh + 2L \sqrt{\frac{W^2}{2} + (H_k - h)^2} + (H_k - h)W$$

Όπου

- L : Μήκος θερμοκηπίου [m]
- W : Πλάτος [m]
- H_k : Ύψος κορφιάτη [m]
- h : Ύψος υδρορροής [m]

5.2 Θερμικές απώλειες

5.2.1 Θερμικές απώλειες εδάφους

Λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας αέρος-εδάφους υπάρχει ροή ενέργειας προς το έδαφος. Οι απώλειες αυτές υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο.

$$Q_{εδ} = K_{εδ} A_g \Delta T$$

Όπου

- $K_{εδ}$: Ο συντελεστής θερμοαγωγιμότητας του εδάφους [W/m^2K]
- ΔT : Η διαφορά θερμοκρασίας [K]
- A_g : Η επιφάνεια εδάφους του θερμοκηπίου η οποία θεωρείται ίση με την καλλιεργήσιμη έκταση [m^2]

Η επιφάνεια εδάφους A_g ισούται με το μήκος επί το πλάτος του θερμοκηπίου.

Η διαφορά θερμοκρασίας είναι η αφαίρεση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος από την εσωτερική θερμοκρασία του θερμοκηπίου η οποία εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας.

Ο συντελεστής θερμοαγωγιμότητας παίρνει τιμή για ένα μέσο γεωργικό έδαφος και ισούται με $1,85 \text{ } W/m^2 K$.

5.2.2 Θερμικές απώλειες καλύμματος

Λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας του αέρος στο εσωτερικό και το εξωτερικό του θερμοκηπίου όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή υπάρχει μεγάλη ροή ενέργειας προς το εξωτερικό του θερμοκηπίου. Οι απώλειες αυτές υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο.

$$Q_{καλ} = K_{καλ} A_C \Delta T$$

Όπου

- $K_{καλ}$: Ο συντελεστής θερμοαγωγιμότητας του καλύμματος [$W/m^2 K$]
- ΔT : Η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό και εξωτερικό του θερμοκηπίου [K]
- A_C : Η επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου [m^2]

Ο συντελεστής θερμοαγωγιμότητας μπορεί να πάρει τυποποιημένες τιμές βάση του παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.2 Πίνακας θερμοαγωγιμότητας [3].

Πάχος και υλικό καλύμματος	Αγωγιμότητα [$kcal/(m^2 h^{\circ}C)$]	Αγωγιμότητα [$w/m^2^{\circ}C$]
Γυαλί 3mm	5,1	5,9
Γυαλί 6mm	4,9	5,7
Πολυαιθυλένιο 0.08mm	5,7	6,6
Πολυαιθυλένιο 0.08mm διπλό	2-3	2,3-3,5
Πολυαιθυλένιο 0.12mm	5,4	6,2
Πολυαιθυλένιο 1.5mm	4,8	5,5

Εναλλακτικά ο συντελεστής θερμοαγωγιμότητας μπορεί να υπολογιστεί βάση των ιδιοτήτων του εκάστοτε υλικού. Σε σταθερή κατάσταση λειτουργίας, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή από τον αέρα του θερμοκηπίου προς την εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος (R_i) είναι ίσος με τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας με αγωγή διαμέσου του καλύμματος (R_c) και με τον ρυθμό μεταφοράς με συναγωγή από την εξωτερική επιφάνεια του υλικού κάλυψης προς τον αέρα (R_o).

Ο τύπος για τον υπολογισμό της θερμοαγωγιμότητας είναι ο παρακάτω.

$$K_{καλ} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{h_o}} [W/m^2 K]$$

Όπου

- $\frac{1}{h_i} = R_i$: η αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή από τον αέρα στην εσωτερική πλευρά του υλικού του καλύμματος. [$m^2 K/W$]
- $\frac{d}{\lambda} = R_c$: η αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας με αγωγή διαμέσου του υλικού του καλύμματος της συγκεκριμένης στρώσης. [$m^2 K/W$]
- $\frac{1}{h_o} = R_o$: η αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή από το εξωτερικό του καλύμματος στον αέρα. [$m^2 K/W$]

Η αντίσταση της εσωτερικής επιφάνειας R_i υπολογίζεται αναλόγως το σύστημα θέρμανσης και τη θέση του. Στον παρακάτω πίνακα υπάρχουν κάποιες ενδεικτικές τιμές.

Πίνακας 5.3 Αντιστάσεις συνθηκών του εσωτερικού της επιφάνειας καλύμματος [16].

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

Η αντίσταση του υλικού εξαρτάται από το πάχος του $d(m)$ και από το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του υλικού $\lambda(W/mK)$. Στη συγκεκριμένη διπλωματική έχει γίνει σύγκριση σε:

- Γυαλί πάχους $6mm$ με συντελεστή θερμοαγωγιμότητας $0.81 W/mK$
- Πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου(PE) πάχους $0.12mm$ με συντελεστή θερμοαγωγιμότητας $0.2 W/mK$

Η αντίσταση της εξωτερικής επιφάνειας R_o υπολογίζεται αναλόγως των συνθηκών της εξωτερικής επιφάνειας όπως βροχή, άνεμο και ηλιακή ακτινοβολία. Στον παρακάτω πίνακα υπάρχουν κάποιες ενδεικτικές τιμές.

Πίνακας 5.4 Αντιστάσεις των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας καλύμματος του θερμοκηπίου [16].

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

Με τον υπολογισμό όλων των θερμικών αντιστάσεων υπολογίζεται εύκολα ο συντελεστής του καλύμματος $K_{καλ}$ αφού είναι πλέον όλες οι παράμετροι γνωστές.

5.2.3 Θερμικές απώλειες λόγω αερισμού

Λόγω των ανοιγμάτων ή κατασκευαστικών αστοχιών στο θερμοκήπιο υπάρχει διαφυγή ή πρόσληψη αέρα. Οι απώλειες αυτές υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο.

$$Q_a = m(H_i - H_e)$$

Όπου

- m : η μάζα του αέρα [kg]
- H_i : η ενθαλπία του αέρα εντός του θερμοκηπίου [KWh/kg]
- H_e : η ενθαλπία του εξωτερικού αέρα [KWh/kg]

Όμως

$$m = Vp = n Vp$$

Όπου

- n : οι εναλλαγές του αέρα ανά ώρα [1/h]
- V : ο όγκος του θερμοκηπίου [m^3]
- p : η πυκνότητα του αέρα [kg/m^3]

Επίσης $c_p = \frac{(H_i - H_e)}{\Delta T} = 0.24$ [kcal/kg°C] η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα.

Οπότε

$$Q_a = n V c_p \Delta T$$

Η πυκνότητα του αέρα είναι γνωστή και ισούται με $p = 1.3$ kg/ m^3

Το n εξαρτάται η τιμή του από το υλικό του θερμοκηπίου και από το πάχος του. Οι εναλλαγές του αέρα βρίσκονται από πίνακα.

Πίνακας 5.5 Εναλλαγές αέρα ανά ώρα για διαφορετικούς τύπους κατασκευής.

Τύπος κατασκευής	n εναλλαγές αέρα ανά ώρα
νέα κατασκευή-γυαλί	0,8-1
νέα κατασκευή-απλό πλαστικό	0,8-2,5
νέα κατασκευή-διπλό πλαστικό	0,6-1,2
παλιά κατασκευή-γυαλί (καλή συντήρηση)	1,5
παλιά κατασκευή-γυαλί (κακή συντήρηση)	2,5
ανοικτό θερμοκήπιο	50

$$\text{Άρα } Q_a = 0.31 n V \Delta T \text{ [kcal/h]} = 0.3605 n V \Delta T \text{ [W]}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Μελέτη περίπτωσης

6.1 Ανάλυση προγράμματος

Η μελέτη περίπτωσης πρόκειται για ένα θερμοκήπιο με συγκεκριμένες διαστάσεις στο οποίο συγκρίνονται τα θερμικά και ψυκτικά φορτία που χρειάζεται ανάλογα με την τοποθεσία, την θερμοκρασία περιβάλλοντος, την ηλιακή ακτινοβολία, το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου και το είδος της καλλιέργειας. Σε όλες τις περιπτώσεις τα παρακάτω στοιχεία παραμένουν τα ίδια.

- Καλλιέργεια: τομάτα
- Σχήμα θερμοκηπίου: Αμφίρρικτο
- Μήκος: 10m
- Πλάτος: 5m
- Ύψος κορφιάτη: 3m
- Ύψος υδρορροής: 2.5m

Το πρόγραμμα τρέχει σε προγραμματιστικό περιβάλλον C, ο χρήστης δίνει σαν τιμές εισόδου τις μήκος, πλάτος, ύψος κορφιάτη, ύψος υδρορροής, ένα αρχείο με τις θερμοκρασίες, τον άνεμο και την ηλιακή ακτινοβολία. Τα αρχεία αυτά είναι από έγκυρη ιστοσελίδα από το διαδίκτυο και το χρονικό βήμα είναι ανά ώρα για τις 8760 ώρες ενός έτους.

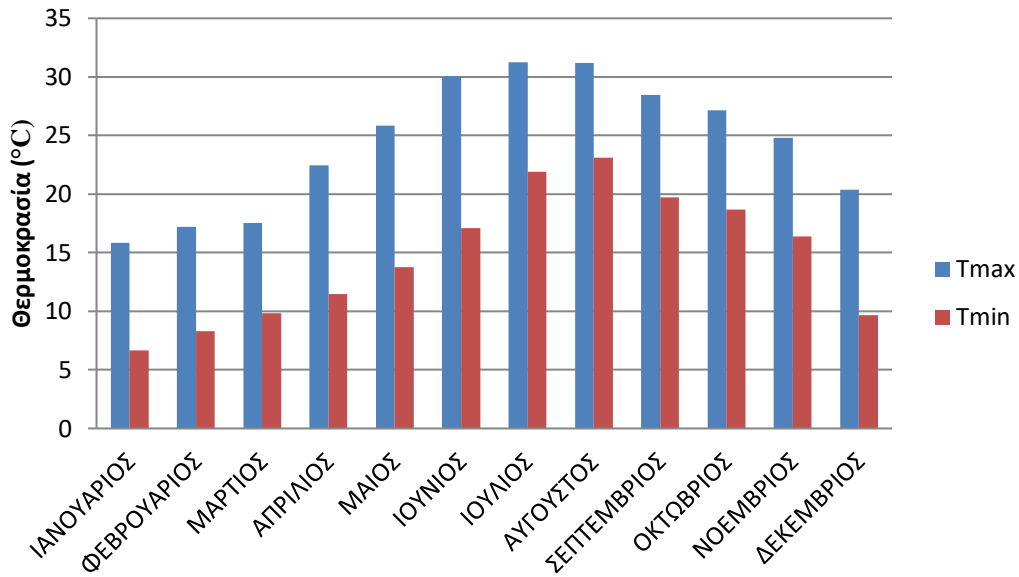
6.2 Χανιά

Η πρώτη περίπτωση είναι στην πόλη των Χανίων. Το πρόγραμμα τρέχει για δύο διαφορετικά υλικά κάλυψης, γυαλί 6mm και πλαστικό(PE) 0.12mm καθώς και για διαφορετικές μέγιστες θερμοκρασίες καλλιέργειας.

Στο πρώτο διάγραμμα διακρίνονται η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία κάθε μήνα ώστε να είναι πιο ξεκάθαρα τα ψυκτικά και θερμικά φορτία που προκύπτουν.

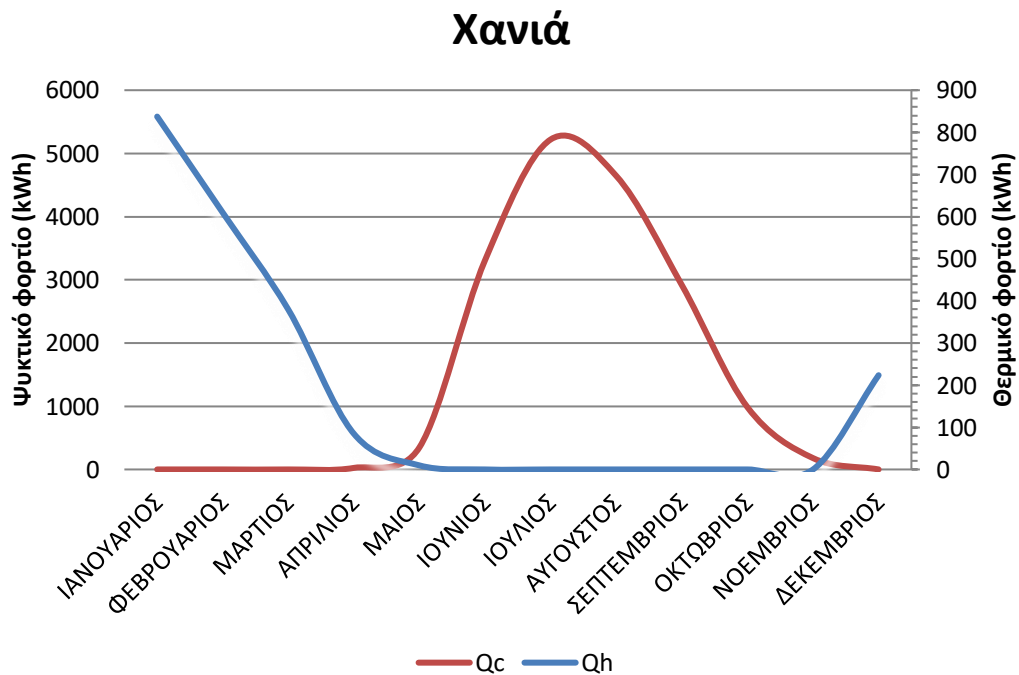
Τα θερμοκρασιακά δεδομένα είναι από το έτος 2019 και όπως παρατηρείται ήταν μια χρονιά με ήπιες θερμοκρασίες καθώς η μέγιστη ήταν 31.27°C το μήνα Ιούλιο ενώ η ελάχιστη ήταν 6.68°C το μήνα Ιανουάριο.

Πίνακας θερμοκρασιών



Διάγραμμα 6.1 Ελάχιστη και μέγιστη θερμοκρασία ανά μήνα στα Χανιά.

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα θερμικά και ψυκτικά φορτία του θερμοκηπίου για γυαλί 6mm, με αλλαγές αέρα ανά ώρα 0.8 σύμφωνα με πίνακα, με διαπερατότητα υλικού 0.95 και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0.81$.



Διάγραμμα 6.2 Θερμικά και ψυκτικά φορτία για γυαλί.

Ο αριστερός άξονας αφορά τα ψυκτικά φορτία, ενώ ο δεξιός τα θερμικά. Η ελάχιστη θερμοκρασία και η μέγιστη θερμοκρασία καλλιέργειας έχει οριστεί σύμφωνα με την τομάτα.

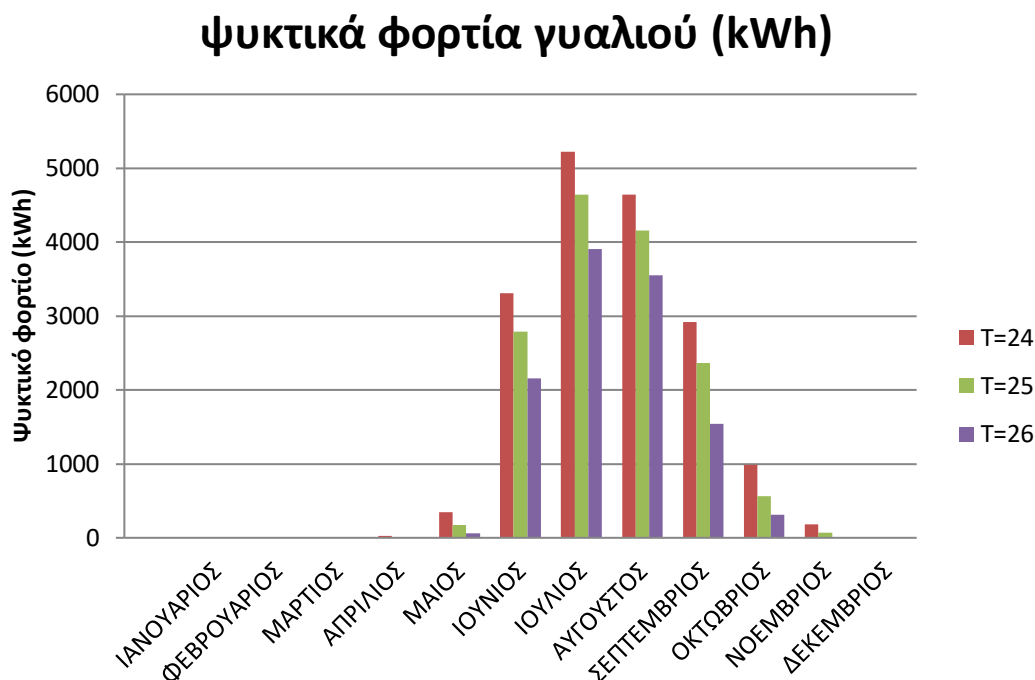
Πίνακας 6.1 Θερμικά και ψυκτικά φορτία για γυαλί.

-	Qh (kWh)	Qc (kWh)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	837,34	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	609,32	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	379,27	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	84,56	24,32
ΜΑΙΟΣ	9,59	350,74
ΙΟΥΝΙΟΣ	0	3312,03
ΙΟΥΛΙΟΣ	0	5220,84
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0	4643,93
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0	2916,58
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0	984,03
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0	179,27
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	223,62	0
	2143,7	17631,74

Όπως παρατηρείται το θερμοκήπιο χρειάζεται θέρμανση στους έξι από τους δώδεκα μήνες του έτους με μεγαλύτερες θερμικές ανάγκες τον Ιανουάριο με 837.34 kWh. Όσον αφορά την ψύξη το θερμοκήπιο έχει ψυκτικές ανάγκες τους οκτώ μήνες του έτους με μεγαλύτερη ανάγκη τον Ιούλιο με 5220.84 kWh. Η διαφορά στα θερμικά και ψυκτικά φορτία είναι αρκετά μεγάλη, είναι όμως λογική καθώς το κλίμα στα Χανιά είναι τέτοιο με ήπιους χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια.

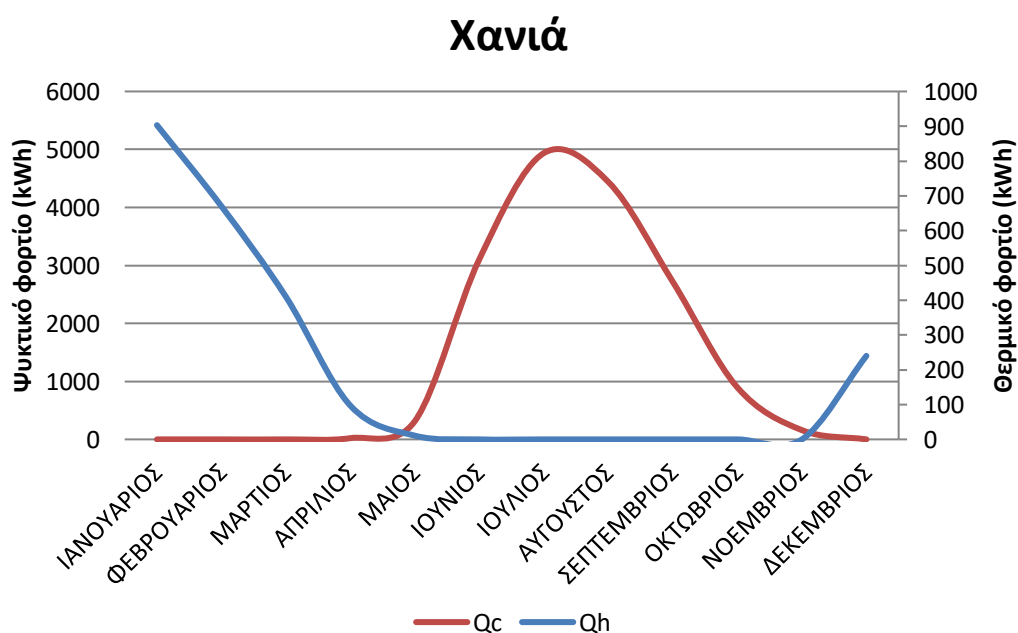
Πίνακας 6.2 Ψυκτικά φορτία Γυαλιού για διαφορετικές μέγιστες θερμοκρασίες καλλιέργειας.

Tmax=24	Tmax=25	Tmax=26
0	0	0
0	0	0
0	0	0
24,32	0	0
350,74	170,52	62,29
3312,03	2786,42	2155,81
5220,84	4641,93	3904,04
4643,93	4155,64	3555,31
2916,58	2365,09	1539,1
984,03	567,17	315,33
179,27	71,82	6,22
0	0	0
17631,74	14758,59	11538,1



Διάγραμμα 6.3 Ψυκτικά φορτία Γυαλιού για διαφορετικές μέγιστες θερμοκρασίες καλλιέργειας.

Όπως είναι λογικό όσο μεγαλώνει η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία καλλιέργειας, τόσο μικραίνει το ψυκτικό φορτίο. Έτσι για μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία 24°C το ψυκτικό φορτίο είναι 17631.74 kWh , για 25°C είναι 14758.59 kWh , για 26° C είναι 11538.1 kWh. Για $t_{max}=24^{\circ}\text{C}$ το θερμοκήπιο έχει ψυκτικές ανάγκες τους οκτώ μήνες όπως προαναφέρθηκε, ενώ για τις άλλες δύο θερμοκρασίες πέφτει στους επτά μήνες.



Διάγραμμα 6.4 Θερμικά και ψυκτικά φορτία ΡΕ σε θερμοκήπιο στα Χανιά.

Η δεύτερη περίπτωση στην πόλη των Χανίων είναι για υλικό κάλυψης πλαστικό αντί για γυαλί. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται τα θερμικά και ψυκτικά φορτία για υλικό κάλυψης πλαστικό 0.12mm , με εναλλαγές αέρα ανά ώρα 1.5, διαπερατότητα καλύμματος 0.87 και συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda=0.2$.

Πίνακας 6.3 Θερμικά και ψυκτικά φορτία PE σε θερμοκήπιο στα Χανιά.

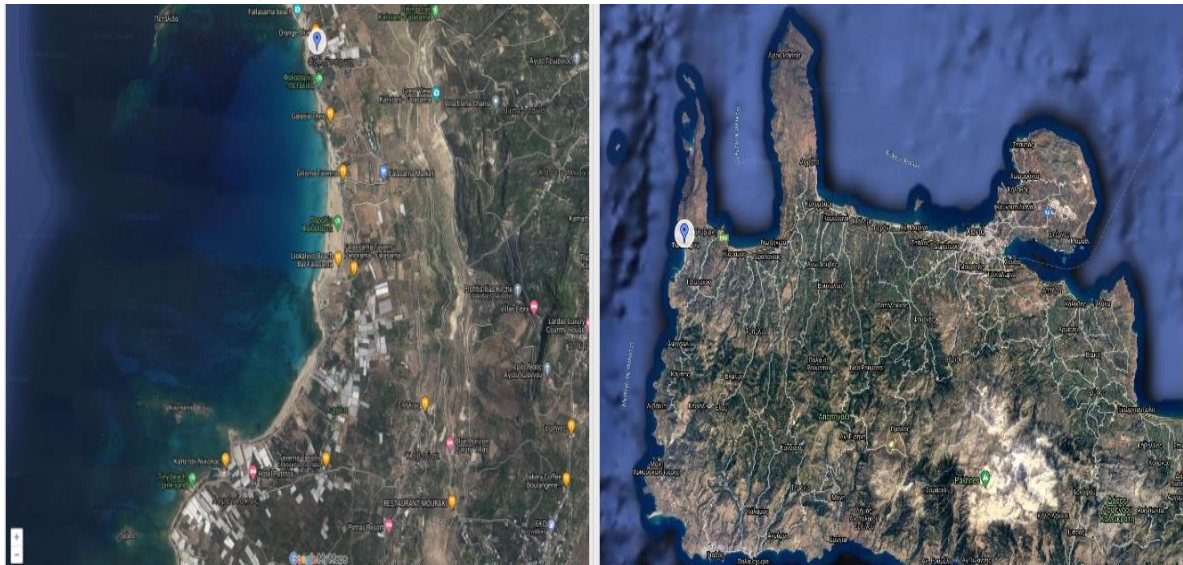
-	Qh (kWh)	Qc (kWh)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	903,05	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	669,97	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	409,83	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	96,79	21,69
ΜΑΙΟΣ	10,67	317,14
ΙΟΥΝΙΟΣ	0	3110,67
ΙΟΥΛΙΟΣ	0	4938,16
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0	4438,18
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0	2714,17
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0	895,03
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0	159,54
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	240,05	0
	2330,36	16594,58

Όπως παρατηρείται τα θερμικά φορτία του πλαστικού είναι μεγαλύτερα από του γυαλιού κατά 8.7%, αυτό οφείλεται κυρίως στην διαφορά της διαπερατότητας στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία των δύο υλικών όπου το γυαλί θεωρείται αδιαπέραστο. Για τον ίδιο λόγο οφείλεται ότι τα ψυκτικά φορτία του γυαλιού είναι μεγαλύτερα από του πλαστικού. Το ποσοστό διέλευσης της θερμικής ακτινοβολίας μέσω του πολυαιθυλενίου είναι αισθητά μεγαλύτερο σε σύγκριση με του γυαλιού με αποτέλεσμα τη γρήγορη πτώση της θερμοκρασίας τις βραδινές ώρες κυρίως, το οποίο και δικαιολογεί αυτή τη διαφορά.

6.3 Φαλάσαρνα

Η δεύτερη μελέτη περίπτωσης αφορά τα Φαλάσαρνα, μια περιοχή δυτικά των Χανίων η οποία είναι γνωστή για τις θερμοκηπιακές μονάδες της.

Και εδώ το πρόγραμμα έτρεξε και για τα δύο υλικά κάλυψης με τις ίδιες παραμέτρους για γυαλί και πλαστικό που χρησιμοποιήθηκαν και προηγουμένως. Τα θερμικά και ψυκτικά φορτία είναι πολύ κοντά σε αυτά των Χανίων καθώς έχουν λίγα χιλιόμετρα διαφορά.



Εικόνα 6.1 Τα Φαλάσαρνα από δορυφόρο[20].

Η διαφορά στα φορτία είναι περίπου εκατό 100(kWh) , το θερμοκήπιο έχει κάθε μήνα μεγαλύτερα θερμικά φορτία με τους αντίστοιχους μήνες του προηγούμενου, στα ψυκτικά φορτία από το μήνα Ιούνιο μέχρι και τον Οκτώβριο είναι μεγαλύτερα ενώ τους μήνες Απρίλιο, Μάιο, Νοέμβριο μικρότερα.

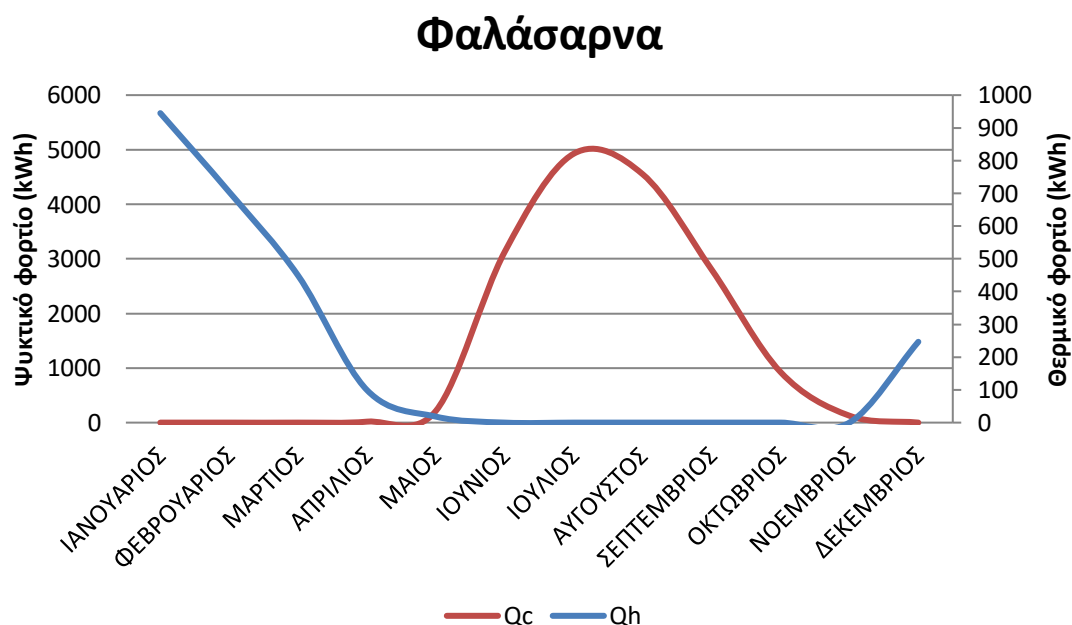


Διάγραμμα 6.5 Θερμικά και ψυκτικά φορτία Γυαλιού για θερμοκήπιο στα Φαλάσαρνα.

Πίνακας 6.4 Θερμικά και ψυκτικά φορτία Γυαλιού για θερμοκήπιο στα Φαλάσαρνα.

-	Qh (kWh)	Qc (kWh)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	876,82	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	638,75	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	415,53	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	86,05	19,92
ΜΑΙΟΣ	16,87	239,67
ΙΟΥΝΙΟΣ	0	3337,27
ΙΟΥΛΙΟΣ	0	5207,17
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0	4750,01
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0	3002,82
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0	1022,92
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0	143,5
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	229,27	0
	2263,29	17723,28

Με υλικό κάλυψης πλαστικό αντί για γυαλί παρατηρείται μια διαφορά στα θερμικά φορτία της τάξης του 8.78% , ενώ στα ψυκτικά τη τάξης του 5.7% . Όπως στην προηγούμενη περίπτωση έτσι και εδώ ισχύει ότι τα θερμικά φορτία του πλαστικού είναι μεγαλύτερα, ενώ τα ψυκτικά μικρότερα.



Διάγραμμα 3.6 Θερμικά και ψυκτικά φορτία PE για θερμοκήπιο στα Φαλάσαρνα.

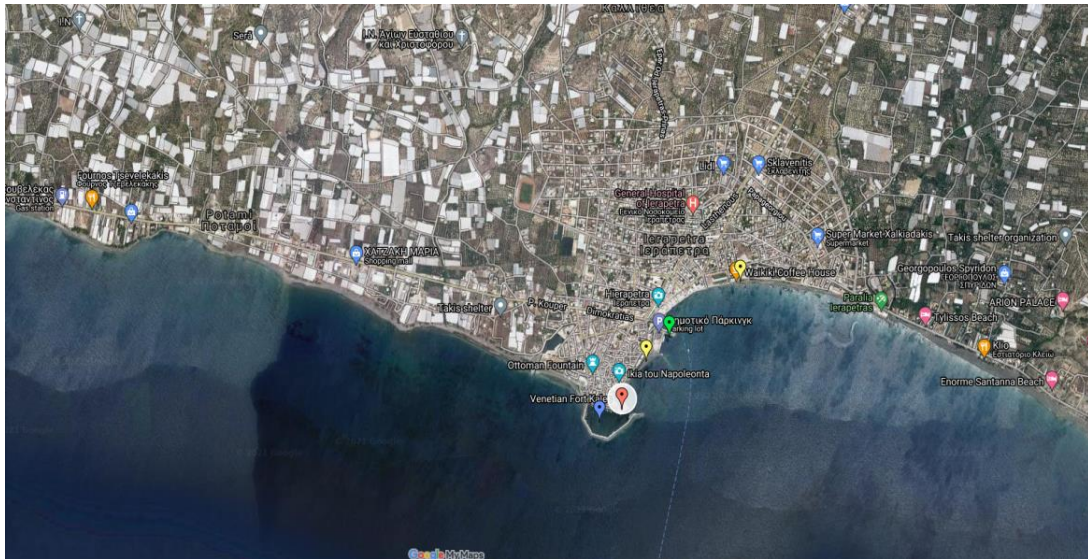
Πίνακας 6.5 Θερμικά και ψυκτικά φορτία ΡΕ για θερμοκήπιο στα Φαλάσαρνα.

-	Qh (kWh)	Qc (kWh)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	945,02	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	704,08	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	448,65	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	99,11	17,65
ΜΑΙΟΣ	18,3	216,58
ΙΟΥΝΙΟΣ	0	3134,73
ΙΟΥΛΙΟΣ	0	4927,26
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0	4550,57
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0	2804,43
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0	927,31
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0	126,89
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	246,79	0
	2461,95	16705,42

6.4 Ιεράπετρα

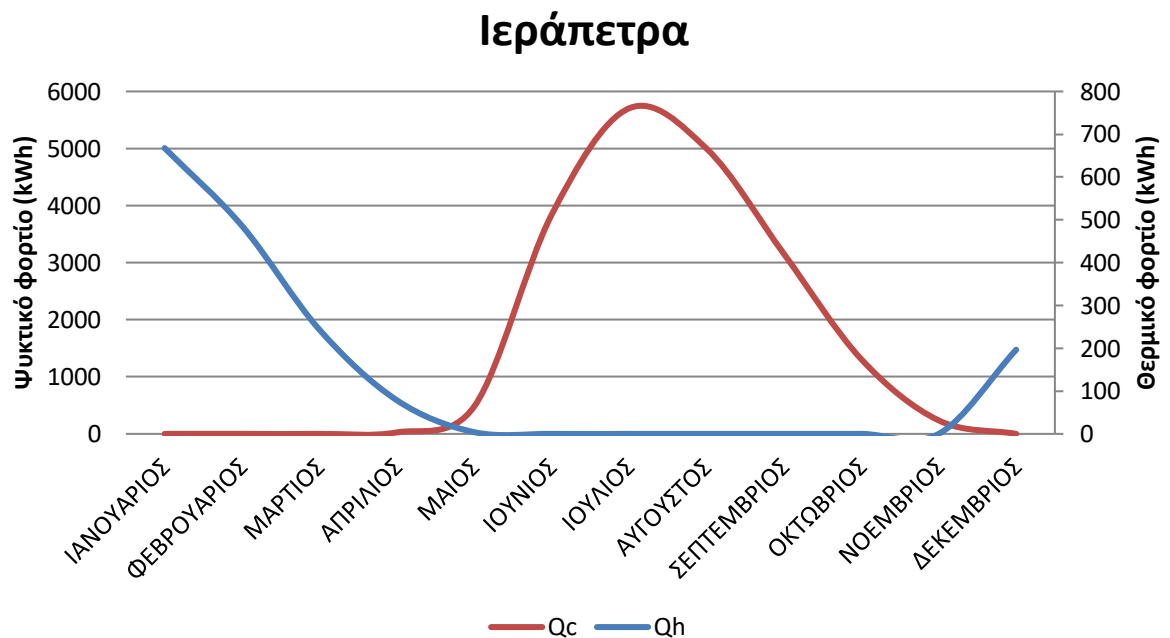


Εικόνα 6.2 Η Ιεράπετρα από δορυφόρο[20].



Εικόνα 6.3 Η Ιεράπετρα από δορυφόρο[20].

Η Ιεράπετρα είναι μια πόλη νοτιοανατολικά της Κρήτης, η οικονομία της βασίζεται στον τουρισμό και στις αγροτικές καλλιέργειες και είναι γνωστή για τον τύπο θερμοκηπίων που χρησιμοποιούνται, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το κλίμα της σε σχέση με τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις διαφέρει λίγο με πιο ήπιους θερμοκρασιακά χειμώνες και με πιο ζεστά καλοκαίρια. Στο πρώτο διάγραμμα εξετάζονται τα θερμικά και ψυκτικά φορτία για υλικό κάλυψης το γυαλί.

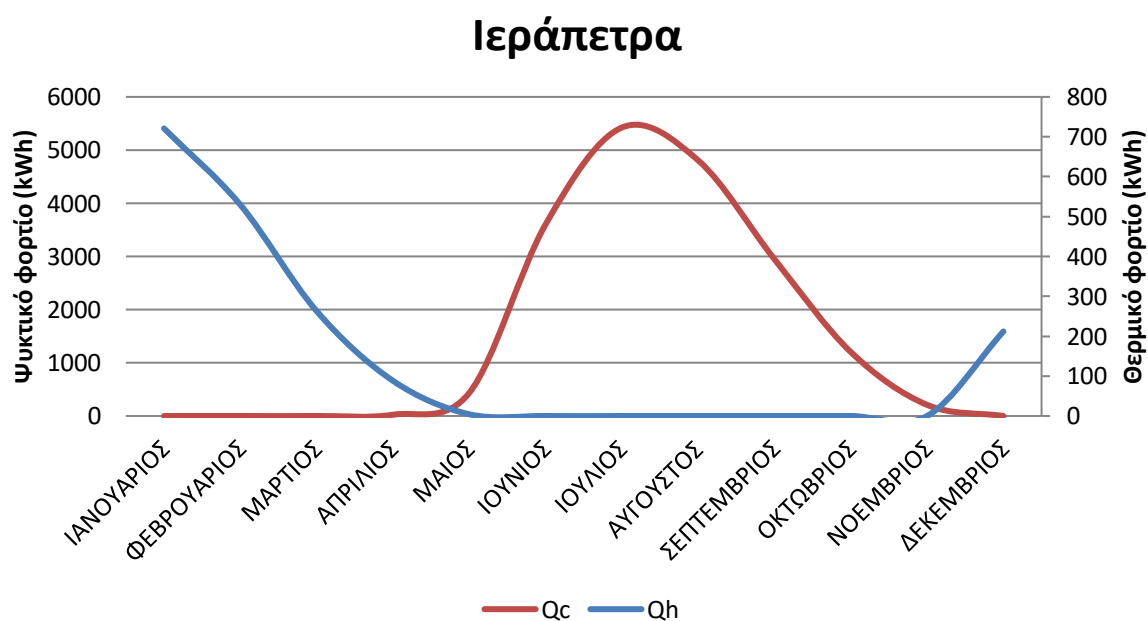


Διάγραμμα 6.7 Θερμικά και ψυκτικά φορτία Γυαλιού στην Ιεράπετρα.

Πίνακας 6.6 Θερμικά και ψυκτικά φορτία Γυαλιού στην Ιεράπετρα.

-	Qh (kWh)	Qc (kWh)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	667,67	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	485,94	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	243,53	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	78,58	26,44
ΜΑΙΟΣ	3,97	481,49
ΙΟΥΝΙΟΣ	0	3840,97
ΙΟΥΛΙΟΣ	0	5704,33
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0	4998,98
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0	3153,24
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0	1306,94
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0	235,6
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	196,61	0
	1676,3	19747,99

Όπως παρατηρείται τα θερμικά φορτία είναι αισθητά πιο χαμηλά σε σύγκριση με τα Χανιά και με τα Φαλάσαρνα με διαφορά από 21.8% στα Χανιά έως 25.9% στα Φαλάσαρνα. Τα ψυκτικά φορτία είναι μεγαλύτερα στην προσομοίωση θερμοκηπίου στην Ιεράπετρα με διαφορά 12% και 11.4% σε Χανιά και Φαλάσαρνα αντίστοιχα.



Διάγραμμα 6.8 Θερμικά και ψυκτικά φορτία PE στην Ιεράπετρα.

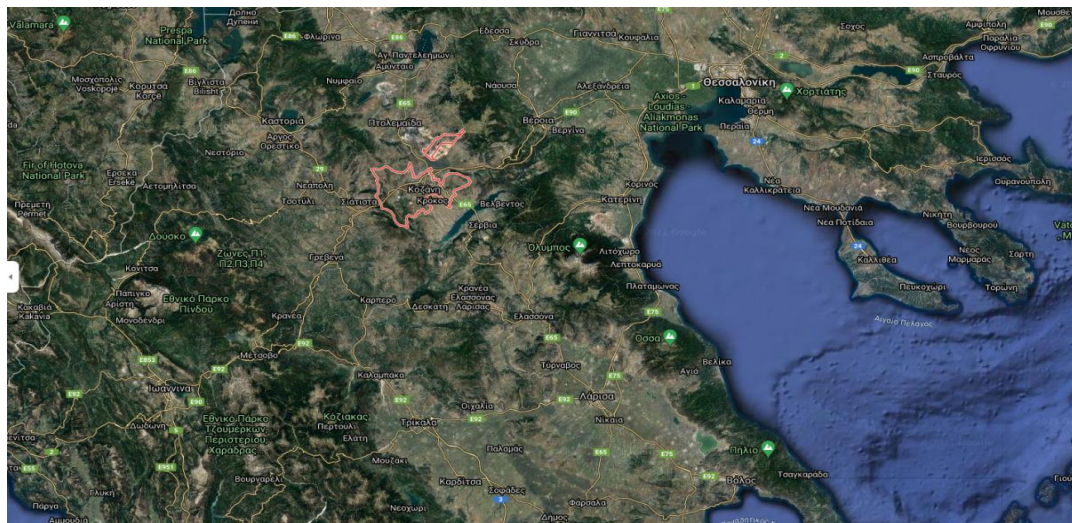
Πίνακας 6.7 Θερμικά και ψυκτικά φορτία ΡΕ στην Ιεράπετρα.

-	Q _h (kWh)	Q _c (kWh)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	720,85	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	529,5	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	263	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	88,28	23,61
ΜΑΙΟΣ	4,36	434,63
ΙΟΥΝΙΟΣ	0	3602,31
ΙΟΥΛΙΟΣ	0	5424,01
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0	4806,32
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	0	2948,1
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	0	1202,86
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	0	209,29
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	211,92	0
	1817,91	18651,13

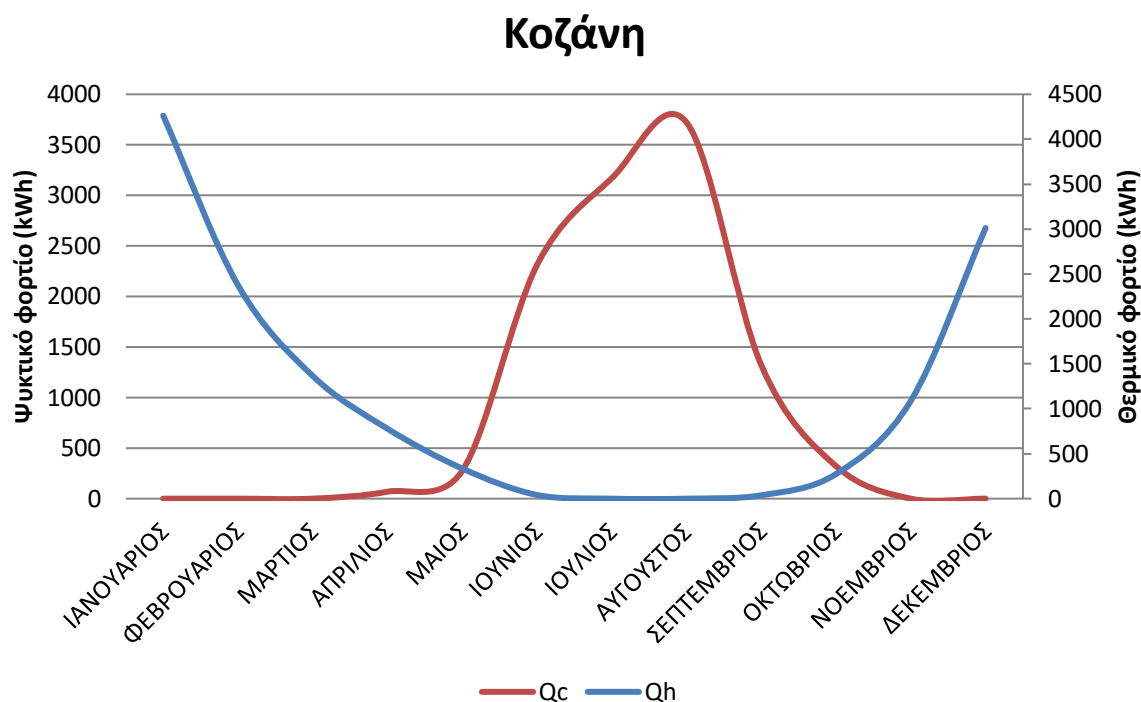
Με υλικό κάλυψης πλαστικό αντί για γυαλί τα θερμικά φορτία είναι μεγαλύτερα κατά 8.4% και τα ψυκτικά μικρότερα κατά 5.5%. Το συμπέρασμα που προκύπτει από τις τρεις περιοχές της Κρήτης που έγινε η προσημείωση είναι πως το γυαλί έχει μικρότερα θερμικά φορτία από το πλαστικό με διαφορά που κυμαίνεται από 8.4-8.78% και μεγαλύτερα ψυκτικά φορτία που κυμαίνονται από 5.5-5.7%.

6.5 Κοζάνη

Η τέταρτη και τελευταία περίπτωση είναι προσομοίωση για θερμοκήπιο στην πόλη της Κοζάνης. Η Κοζάνη είναι μια πόλη της δυτικής Μακεδονίας η οποία έχει ηπειρωτικό κλίμα με ψυχρούς και ξηρούς χειμώνες και θερμά καλοκαίρια.



Εικόνα 6.4 Η Κοζάνη από δορυφόρο [20].



Διάγραμμα 6.9 Θερμικά και ψυκτικά φορτία Γυαλιού στην Κοζάνη.

Πίνακας 6.8 Θερμικά και ψυκτικά φορτία Γυαλιού στην Κοζάνη.

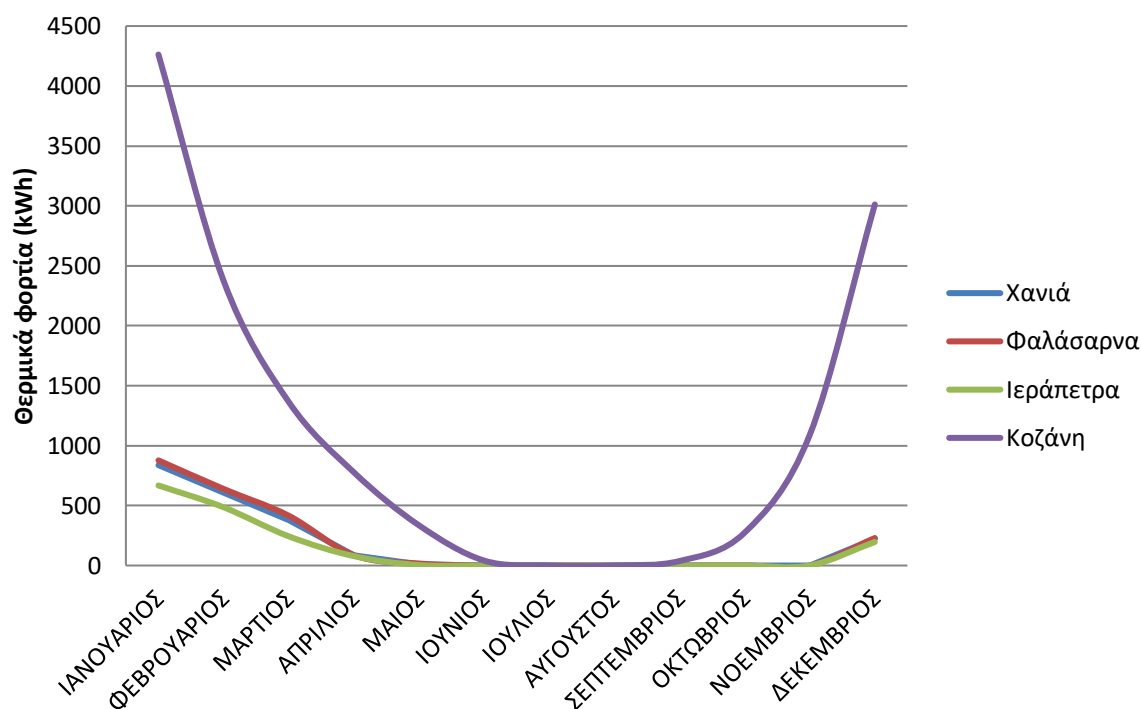
-	Qh (kWh)	Qc (kWh)
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	4262,34	0
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	2374,93	0
ΜΑΡΤΙΟΣ	1365,03	0
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	777,52	68,84
ΜΑΙΟΣ	335,11	275,61
ΙΟΥΝΙΟΣ	41,14	2311,88
ΙΟΥΛΙΟΣ	0	3169,74
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	0	3722,39
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	37,35	1319,96
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	273,98	321,52
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	1088,9	0
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	3011,8	0
	13568,1	11189,94

Όπως παρατηρείται στα παραπάνω διάγραμμα, το θερμοκήπιο έχει ανάγκη για θέρμανση δέκα μήνες το χρόνο, ενώ επτά μήνες έχει ανάγκη για ψύξη. Και σε αυτή την περίπτωση ο μήνας με το μεγαλύτερο θερμικό φορτίο είναι ο Ιανουάριος με 4262.34 kWh ενώ ο μήνας με το μεγαλύτερο ψυκτικό φορτίο είναι ο Αύγουστος με 3722.39 kWh. Και σε αυτή τη περίπτωση η διαφορά των θερμικών φορτίων του

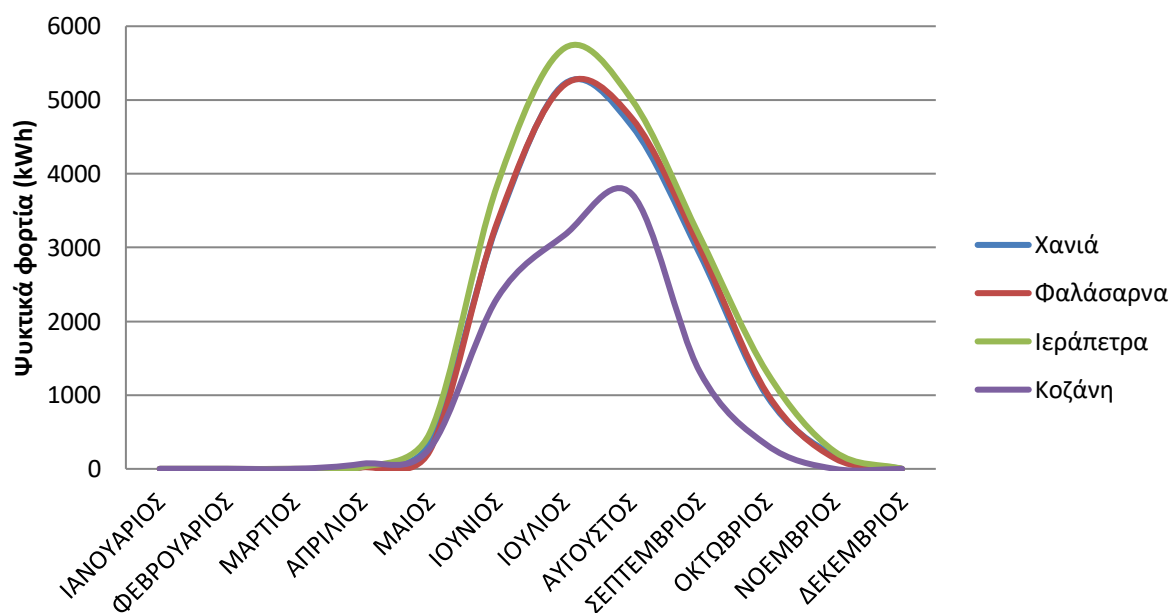
γυαλιού με του πλαστικού είναι 8.71%, το οποίο δείχνει ότι ανεξαρτήτως τοποθεσίας η αύξηση του θερμικού φορτίου είναι σταθερή.

Συμπεράσματα

Η εργασία είχε σαν σκοπό τον υπολογισμό των θερμικών και ψυκτικών φορτίων ενός θερμοκηπίου. Το μοντέλο εφαρμόστηκε σε τέσσερις(4) περιοχές, τρεις(3) στην Κρήτη και στην Κοζάνη, σε περιοχές που υπάρχουν θερμοκήπια και έγινε σύγκριση ως προς τα φορτία για υλικό κάλυψης γυαλί 6mm και πλαστικό 12mm.



Διάγραμμα 7.1 Θερμικά φορτία των τεσσάρων περιοχών.



Διάγραμμα 7.2 Ψυκτικά φορτία των τεσσάρων περιοχών.

Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι ανεξάρτητα από την περιοχή και την κλιματική ζώνη το γυαλί έχει λιγότερα θερμικά φορτία από το πλαστικό με διαφορά της τάξεως του 8.7%, ενώ στα ψυκτικά φορτία το πλαστικό παίρνει μικρότερες τιμές. Αυτό οφείλεται στο ότι το ποσοστό διέλευσης της θερμικής ακτινοβολίας μέσω του πολυαιθυλενίου είναι αισθητά μεγαλύτερο σε σύγκριση με του γυαλιού με αποτέλεσμα τη γρήγορη πτώση της θερμοκρασίας τις βραδινές ώρες κυρίως, το οποίο και δικαιολογεί αυτή τη διαφορά.

Η μεγαλύτερη πρόκληση που έχει να αντιμετωπίσει το πρόγραμμα είναι η σύγκριση των φορτίων του με ένα πραγματικό θερμοκήπιο ώστε να δείξει πόσο απόκλιση έχει από τα πραγματικά δεδομένα μιας περιοχής ένα θερμοκήπιο με τις ίδιες παραμέτρους. Το πρόγραμμα έχει περιθώριο βελτίωσης αν υπολογίζονται σε αυτό όλες οι θερμικές απώλειες, καθώς στο συγκεκριμένο έχουν συμπεριληφθεί οι τρεις(3) μεγαλύτερες και ουσιαστικότερες που είναι του εδάφους, του καλύμματος του θερμοκηπίου και του αερισμού. Επίσης το πρόγραμμα μπορεί να τρέξει για παραπάνω υλικά κάλυψης και διαφορετικά πάχη κάθε υλικού, ώστε να δίνει μια πλήρως αναλυτική εικόνα. Ακόμα μια βελτίωση που παίρνει το πρόγραμμα είναι να συμπεριληφθεί ένα κοστολόγιο σχετικά με τα δεδομένα του θερμοκηπίου για όλα τα πιθανά υλικά κάλυψης στα ανάλογα πάχη τους καθώς και τότε θα γίνει απόσβεση σε αυτά και τότε θα χρειάζονται αντικατάσταση. Τέλος η δημιουργία βάσης δεδομένων με περιοχές από όλους τους νομούς της χώρας.

Βιβλιογραφία

- [1] Κατσούλας, Ν.(2019) Θερμοκήπια, Τεχνολογίες για βέλτιστη παραγωγή, Εκδόσεις ΠΕΔΙΟ, Αθήνα.
- [2] Καραμήτσος, Μ.(2020) Εκτίμηση ενεργειακών αναγκών θερμοκηπιακών μονάδων και αξιολόγηση τεχνολογιών κάλυψής τους (Διπλωματική εργασία), Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
- [3] Τσεκούρας, Α., Χριστόπουλος, Π. (2017) *Ενεργειακή Μελέτη και Εγκατάσταση Θερμοκηπίου καλλιέργειας οπωροκηπευτικών* (Διπλωματική εργασία), ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα
- [4] Ασπράγκαθος, Α., Μπεθάνης, Χ. (2015) *Χρήση Ηλιακών συστημάτων για θέρμανση/ψύξη θερμοκηπίων και μεθοδολογίες υπολογισμού θερμικών/ψυκτικών φορτίων* (Διπλωματική εργασία), Σχολή ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- [5] Μαυρογιαννόπουλος, Ν. (2005) *Θερμοκήπια, Περιβάλλον- Υλικά- Κατασκευή- Εξοπλισμός*, Εκδόσεις Σταμούλη Α, Αθήνα.
- [6] Τσούτσος Θ., Κανάκης Ι.(2016) *Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Τεχνολογίες & περιβάλλον*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
- [7] Εξάρχου, Ε.(2020) *Τύποι θερμοκηπίων, Διδακτικές σημειώσεις*, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Μακεδονίας, Κοζάνη.
- [8] Καύγα, Α. (2010) *Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Θερμοκηπίου Με Χρήση Συστήματος Θέρμανσης Με Υπέρυθρη Ακτινοβολία* (Διδακτορική Διατριβή), Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
- [9] Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων, (1992) *Τεχνικές Προδιαγραφές Θερμοκηπίων*, Γεν. Δ/ση Φυτικής Παραγωγής, Αθήνα.
- [10] Ντίνας, Γ. (2012) *Πειραματική και υπολογιστική διερεύνηση υβριδικού ηλιακού συστήματος εξοικονόμησης ενέργειας και στήριξης υδροπονικής καλλιέργειας σε θερμοκήπιο* (Διδακτορική Διατριβή), Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
- [11] Μαυρογιαννόπουλος Ν. (1994), *Υδροπονικές Καλλιέργειες και Θρεπτικά Διαλύματα*, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα – Πειραιάς.
- [12] Κατσούλας, Ν. (2018) *Έλεγχος Περιβάλλοντος Αγροτικών Εγκαταστάσεων, Διδακτικές σημειώσεις*, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Λάρισας, Λάρισα.
- [13] Βάμβουκα, Δ. (2009) *Βιομάζα, Βιοενέργεια & Περιβάλλον*, Εκδόσεις Τζιόλα, Χανιά.

- [14] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής,(2010) Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.
- [15] Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής,(2010) Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.
- [16] Θεοχάρης, Μ.(2015) Γεωργικές και θερμοκηπιακές κατασκευές (Εργαστήριο), Διδακτικές σημειώσεις, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηπείρου, Άρτα.
- [17] Κίττας,Κ., Κατσούλας, Ν., Μπαρτζάνας, Θ.(2016) Τεχνολογίες ρύθμισης του κλίματος των θερμοκηπίων, Η περίπτωση του ημίκλειστου θερμοκηπίου, Διδακτικές σημειώσεις, Βόλος.
- [18] Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης Και Περιβάλλοντος Κύπρου,(2016) Ρύθμιση των συνθηκών περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, Τμήμα Γεωργίας Κύπρου, Λευκωσία.
- [19] Pardossi, A., Tognoni, F., Incrocci, L. (2004) *Mediterranean Greenhouse Technology*, Chronica Horticulturae <https://www.ishs.org/>.
- [20] <https://www.google.gr/maps/@38.1458392,24.4813,6z?hl=el>.
- [21] Ταταράκη, Κ. (2019) *Συστήματα Συμπαράγωγής Ηλεκτρισμού, Θερμότητας και Ψύξης σε Θερμοκήπια: Έλεγχος Βιωσιμότητας και Σχεδιασμός* (Διδακτορική Διατριβή), Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Παράρτημα

Ο κώδικας του προγράμματος για τον υπολογισμό των θερμικών και ψυκτικών φορτίων.

```
#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

#include <math.h>

#define MAXCHAR 1000

int main()

{

    int INTEX=8760;

    FILE *fptr;

    int i=0, k=0, f=0, min_day = 0, max_day=0, flag=1 ;

    float sum=0, h=0,co=0, hourly_val,hourly_val_w, hourly_val_pv, daily_val[INTEX],
    wind_val[INTEX],Ho[INTEX], Kp[INTEX],monthly_Qh[12],monthly_Qc[12], Nd =
    365,length, width, height, height_ydr;

    float last_hour, max_daily_val = -100 , min_daily_val = 100, ave_daily_val = 0,
    min_daily_val_rad = 1000 , max_daily_val_rad = 0, ave_daily_val_rad =
    0,pv_val[INTEX];

    char filename[100], c, chars[6], chars_temp[6], chars_pv[6];

    printf("Enter the number of hours:");

    scanf("%d", &f);

    printf("Enter the length:");

    scanf("%f", &length);

    printf("Enter the width:");

    scanf("%f", &width);

    printf("Enter height korfiati:");

    scanf("%f", &height);
```

```

printf("Enter height ydrorois:");

scanf("%f", &height_ydr);

for(i=0;i<=11; i++){

    monthly_Qc[i]=0;

    monthly_Qh[i]=0;

}

f = f - 1;

printf("\nEnter the filename to open for the temperatures\n");

scanf("%s", filename);

// Open file

fptr = fopen(filename, "r");

if (fptr == NULL)

{

    printf("Cannot open file \n");

    exit(0);

}

// Read contents from file

c = fgetc(fptr);

for (k=0; k<=f; k++){

    for( i=0; i<=6; i++){

        if (c == '\n'){

            i=6;

        }

        chars_temp[i] = c;

        c = fgetc(fptr);

    }
}

```

```

        hourly_val = strtod(chars_temp, NULL);

        sum = hourly_val;

        daily_val[k] = sum;

        if(max_daily_val < daily_val[k]){

            max_daily_val = daily_val[k];

            max_day = k;

        }

        if(min_daily_val > daily_val[k]){

            min_daily_val = daily_val[k];

            min_day = k;

        }

        sum = 0;

    }

    printf("Min hour is:%d with min value:%f\nMax value is:%f at hour:%d\n", min_day
, min_daily_val, max_daily_val, max_day);

    fclose(fp);

    printf("\nEnter the filename to open for the wind\n");

    scanf("%s", filename);

    // Open file

    fp = fopen(filename, "r");

    if (fp == NULL)

    {

        printf("Cannot open file \n");

        exit(0);

    }

    // Read contents from file

```

```

c = fgetc(fptr);

for (k=0; k<=f; k++){

    for( i=0; i<=6; i++){

        if (c == '\n'){

            i=6;

        }

        chars[i] = c;

        c = fgetc(fptr);

    }

    hourly_val_w = strtod(chars, NULL);

    sum = hourly_val_w;

    wind_val[k] = sum;

}

fclose(fptr);

printf("\nEnter the filename to open for solar \n");

scanf("%s", filename);

// Open file

fptr = fopen(filename, "r");

if (fptr == NULL)

{

    printf("Cannot open file \n");

    exit(0);

}

// Read contents from file

c = fgetc(fptr);

for (k=0; k<=f; k++){

```

```

        for( i=0; i<=6; i++){

            if (c == '\n'){

                i=6;

            }

            chars_pv[i] = c;

            c = fgetc(fp_ptr);

        }

        hourly_val_pv = strtod(chars_pv, NULL);

        sum = hourly_val_pv;

        pv_val[k] = sum;

    }

    fclose(fp_ptr);

    float PI = 3.14159265;

    int Ag= length * width , Ac= 2*length*height_ydr + 2*width*height_ydr +
    2*length* sqrt(pow(width/2 ,2)+ pow(height-height_ydr, 2)) + (height-
    height_ydr)*width;

    int V = length*width*height_ydr + (height-height_ydr)*length*width/2;

    float Ked = 1.85 , n = 1.5 ;

    float Qh_j[INTEX], Qh_j_total = 0 , Qc_j_total = 0 , Qc = 0 ;

    float Qc_j[INTEX] , Sj [INTEX] , Tsp_max = 24 ;

    float Tsp_min = 15.5 , j = 0, Qh = 0 ;

    float t1 = 0.87, t2 = 0.09 ;

    float temp = 0, min_daily=0, max_daily=0;

    printf("\nThe value v = %d\n", V);

    printf("\nThe value ac = %d\n", Ac);

    printf("\nThe value ag = %d\n", Ag);

```

```

for(i=0;i<=f; i++){

    Ho[i]=8.6*pow( wind_val[i], 0.6)/ pow(length, 0.4);

    Kp[i]=1/(0.13+0.0006+(1/Ho[i]));

}

for(i=0; i <=f; i++){

    temp = ((0.31 * n * V) + (Kp[i]* Ac) + (Ked * Ag ))*(Tsp_min- daily_val[i]) - t1 * Ac
    *pv_val[i];

    if(temp > 0 ) Qh_j[i] = temp/1000;

    else Qh_j[i] = 0;

    Qh_j_total = Qh_j_total + Qh_j[i];

    if(max_daily<Qh_j[i]) max_daily=Qh_j[i];

    temp = (( 0.31 * n * V)*1.163 + (Kp[i] * Ac) + (Ked * Ag) )*(daily_val[i] - Tsp_max)
    + t1*t2 * Ac *pv_val[i];

    if ((daily_val[i] - Tsp_max)<-2 || temp<=0) Qc_j[i]=0;

    else Qc_j[i] = temp/1000;

    Qc_j_total = Qc_j_total + Qc_j[i];

    if(min_daily<Qc_j[i]) min_daily=Qc_j[i];

}

printf("\nThe value Qhj_total = %f\n", Qh_j_total);

printf("\nThe value Qcj_total = %f\n", Qc_j_total);

return 0;

}

```