

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ενεργειακή μελέτη θερμοκηπίου με χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR).



ΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΥ ΑΣΗΜΙΝΑ Α.Μ. 11322

ΜΑΧΑΙΡΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ Α.Μ 11305

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Δρ ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΚΑΥΓΑ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ενεργειακή μελέτη θερμοκηπίου με χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας (IR).



ΧΡΟΝΟΠΟΥΛΟΥ ΑΣΗΜΙΝΑ Α.Μ. 11322

ΜΑΧΑΙΡΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ Α.Μ 11305

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Δρ ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΚΑΥΓΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1 Ενέργεια και περιβάλλον	4
1.2 Θερμοκήπια.....	7
2. ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	8
2.1 Υπέρυθρη ακτινοβολία	8
2.2 Χρήσεις υπέρυθρης ακτινοβολίας	12
2.3 Υπέρυθρη ακτινοβολία και θερμοκρασία.....	14
3. ΣΧΕΣΗ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	16
3.1 Το φως και η σημασία του στην ανάπτυξη των φυτών	16
3.2 Πώς αντιλαμβάνονται τα φυτά τη φωτεινή ακτινοβολία.....	17
3.3 Η ανάγκη των φυτών για φως.....	20
3.4 Απαιτήσεις χρόνου ηλιασμού των φυτών.....	21
3.5 Τεχνητό φως και ανάπτυξη των φυτών.....	22
3.6 Επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη των φυτών	23
3.6.1 Διοξείδιο του άνθρακα (CO ₂)	25
3.6.2 Νερό	25
3.6.3 Θρεπτικά στοιχεία.....	26
3.6.4 Εσωτερικοί παράγοντες	26
4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΕΧΟΥΝ ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	28
5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ & ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	35
5.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίου	35
5.2 Προσαγωγή θερμότητας στο θερμοκήπιο.....	38
5.3 Απώλειες θερμότητας στο θερμοκήπιο.....	41
6. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	52
6.1 Ενεργειακή τροφοδότηση με τη χρήση κεραμικού κατόπτρου.	52
6.2 Κόστος εγκατάστασης της ενεργειακή τροφοδότησης.....	54
6.3 Συνολικό κόστος	56
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	60
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	61

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάσαμε το ενεργειακό ισοζύγιο μέσα σ' ένα θερμοκήπιο. Δηλαδή τις ενεργειακές απαιτήσεις του θερμοκηπίου για την διατήρηση της θερμοκρασίας των φυτών σε ένα σταθερό επίπεδο. Η κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων στο θερμοκήπιο γίνεται από συστήματα θέρμανσης. Τα συστήματα αυτά μπορούν να είναι συμβατικά (αερόθερμα) ή υπέρυθρης ακτινοβολίας (κεραμικά, ηλεκτρικά κάτοπτρα).

Επιπλέον εξετάσαμε την επίδραση της υπέρυθρης ακτινοβολίας στα φυτά. Πώς η διατήρηση της θερμοκρασίας σε ένα σταθερό επίπεδο επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών. Αυτό συμβαίνει κυρίως για δύο λόγους.

1. Επειδή η διατήρηση της θερμοκρασίας στο επιθυμητό επίπεδο με χρήση συστήματος θέρμανσης με ακτινοβολία αυξάνει την φωτοσυνθετική απόδοση των φυτών.
2. Επιπροσθέτως επηρεάζει τη φωτομορφογένεση. Ειδικότερα στα φυτά που ανθοφορούν ή καρποφορούν χρειάζονται εξίσου ερυθρή αλλά και υπέρυθη ακτινοβολία.

Υπολογίσαμε τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός θερμοκηπίου τους χειμερινούς μήνες και για ένα εύρος θερμοκρασιών περιβάλλοντος από -10 έως 10 °C. Αναπτύξαμε ένα μαθηματικό μοντέλο που περιγράφει τις ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου για συμβατικό σύστημα θέρμανσης και για σύστημα θέρμανσης με ακτινοβολία. Ειδικότερα όσον αφορά την απώλεια θερμότητας λόγω ακτινοβολίας των φυτών δώσαμε μια απλοποιημένη εκδοχή του τύπου την οποία και αποδείξαμε ότι ισχύει. Μέσω του μαθηματικού μοντέλου συγκρίναμε την απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση ενός θερμοκηπίου με τη χρήση ενός συμβατικού τρόπου θέρμανσης (αερόθερμο) και με τη χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Καταλήξαμε ότι η θέρμανση του θερμοκηπίου μέσω της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι αποτελεσματικότερη κατά 47,5% περίπου και οικονομικότερη. Αυτό οφείλεται στο ότι η υπέρυθη ακτινοβολία θερμαίνει πρώτα τα φυτά στην απαιτούμενη θερμοκρασία και ύστερα το περιβάλλον με το οποίο έρχονται τα φυτά σε επαφή. Σε αντίθεση με το συμβατικό τρόπο θέρμανσης ο οποίος θερμαίνει πρώτα τον αέρα και μετά ο αέρας με τη σειρά του τα φυτά. Γίνεται κατανοητό ότι στη δεύτερη περίπτωση οι ενεργειακές απώλειες είναι σαφώς μεγαλύτερες, όπως αποδεικνύεται και μέσω του μαθηματικού μοντέλου.

Τέλος παραθέτουμε μια οικονομική μελέτη για το θερμοκήπιο που χρησιμοποιήσαμε στο μοντέλο. Υπολογίσαμε πόσο θα είναι το πάγιο κόστος εγκατάστασης του συστήματος θέρμανσης

είτε αυτό πρόκειται για συμβατικό (αερόθερμο) είτε πρόκειται για σύστημα υπέρυθρης θέρμανσης (ηλεκτρικά πάνελ υπέρυθρης ακτινοβολίας, κεραμικά κάτοπτρα). Τέλος υπολογίσαμε ποιο θα είναι το κόστος λειτουργίας του κάθε τρόπου θέρμανσης και συγκρίναμε τις τιμές για να βρούμε τον πλέον οικονομικό. Καταλήξαμε ότι το κεραμικό κάτοπτρο είναι η βέλτιστη λύση από όλες τις πλευρές τόσο από πλευράς ενεργειακής όσο και από οικονομικής απόδοσης.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ενέργεια και περιβάλλον

Η ενέργεια μπορούμε να πούμε ότι ορίστηκε για πρώτη φορά τεκμηριωμένα από τον μεγάλο φυσικό του αιώνα μας Max Planck με τον ακόλουθο συνοπτικό ορισμό: «Ενέργεια είναι αυτό που βρίσκεται μέσα στο σύστημα και το κάνει ικανό να προκαλεί εξωτερικές δράσεις.». Παρ' όλα αυτά ως όρος η λέξη ενέργεια συναντάται και από την αρχαιότητα στον Αριστοτέλη.

Η ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον άνθρωπο ήταν η δική του. Δηλαδή η δύναμη των χεριών του ήταν η πρώτη μορφή ενέργειας η οποία χρησιμοποιήθηκε για να διαμορφώσει ο άνθρωπος τον κόσμο γύρω του σ' ένα περιβάλλον όπου θα μπορεί να ζήσει καλύτερα. Όμως με την πάροδο του χρόνου η ανάγκη για περισσότερη ενέργεια έγινε εντονότερη. Μελετώντας την πορεία της ανθρωπότητας μέσα στο χρόνο μπορούμε να δούμε και τις διάφορες μορφές της ενέργειας δηλαδή από την φωτιά μέχρι και την βιομηχανική επανάσταση όπου άλλαξε η ροή του κόσμου. Για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα οι ενεργειακές επεμβάσεις του ανθρώπου στο σύστημα της γης ήταν σχετικά ήπιες περίπου μέχρι την βιομηχανική επανάσταση. Όμως με την αρχή του προηγούμενου αιώνα και την εξάπλωση της βιομηχανικής επανάστασης οι παρεμβάσεις του ανθρώπου στην γη αυξήθηκαν με γεωμετρικό ρυθμό. Η διαρκής ανάγκη του ανθρώπου για εύρεση μεγαλύτερης ποσότητας ενέργεια, η συγκέντρωση του κόσμου στα μεγάλα αστικά κέντρα, η ένταση των δραστηριοτήτων, τα μέσα μεταφοράς και γενικότερα ο τρόπος ζωής οδήγησαν στην αύξηση των ενεργειακών αναγκών και οδήγησαν στην ασύστολη χρήση πρωτογενών μορφών ενέργειας όπως το πετρέλαιο και ο λιγνίτης που όμως μολύνουν το περιβάλλον και κάνουν το μέλλον εξαιρετικά δυσοίωνο.

Ο λόγος που η ενέργεια διαδραματίζει τόσο σπουδαίο ρόλο στη ζωή μας είναι ότι αποτελεί πηγή δύναμης, πολιτικής αλλά κυρίως οικονομικής η οποία καθορίζει την ανάπτυξη χωρών. Η ενέργεια αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την οικονομική και όχι μόνο ανάπτυξη σε τοπικό και

διεθνές επίπεδο. Μάλιστα η σχέση μεταξύ ακαθάριστου εθνικού προϊόντος (που απεικονίζει τον πλούτο μιας χώρας) και της κατανάλωσης ενέργειας είναι ευθέως ανάλογη.

Το περιβαλλοντικό κόστος όμως μιας τέτοιας ανάπτυξης υπήρξε ιδιαίτερα βαρύ. Πρέπει να παρατηρήσουμε ότι αυτό το κόστος ποτέ δεν αντιμετωπίστηκε σοβαρά. Τα τελευταία μόνο χρόνια έχει αρχίσει να επισημαίνεται δειλά το γεγονός ότι το εξωλογιστικό μέχρι τώρα κόστος της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης είναι απαγορευτικό προκειμένου να αποκατασταθούν οι ζημιές.

Η συνειδητοποίηση αυτών των προβλημάτων έκανε πιο επίκαιρη την λήψη των αναγκαίων μέτρων όσον αφορά την κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Πως όμως μπορεί να αποτυπωθεί το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα σήμερα: Τα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου επαρκούν για τα επόμενα 50 χρόνια, ίσως και για 100-150 χρόνια με τις πιο αισιόδοξες προβλέψεις. Λίγο περισσότερη διάρκεια προβλέπεται να έχει η επάρκεια σε κάρβουνο.

Για τους παραπάνω λόγους γίνεται μια προσπάθεια σε παγκόσμιο επίπεδο για την εξεύρεση λύσης, δηλαδή για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές οι οποίες προσφέρονται στον άνθρωπο σε μεγάλες ποσότητες και κυρίως δεν βλάπτουν το περιβάλλον.

Οι λύσεις επομένως που έχουν μείνει είναι μόνο δύο:

- Η προσπάθεια για αποτελεσματικότερη χρήση των πρωτογενών ενεργειακών πόρων και εξοικονόμηση ενέργειας.
- Η χρήση των Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ή εναλλακτικές πηγές ενέργειας ή ήπιες μορφές ενέργειας είναι θεωρητικά ανεξάντλητες. Δεν παρουσιάζουν περιβαλλοντικά προβλήματα αλλά προς το παρόν, οικονομικούς και τεχνολογικούς περιορισμούς γιατί όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η ενέργεια αποτελεί οικονομική δύναμη και η ανεξαρτητοποίηση των χωρών από τις χώρες με μεγάλα ενεργειακά αποθέματα θα σήμαινε και ανακατανομή του παγκόσμιου χάρτη.

Δύο κυρίως από αυτές, τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχουν μεγάλο ενδιαφέρον και εκτιμάται ότι αποτελούν την ενεργειακή λύση του μέλλοντος, η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Και για τις δύο αυτές μορφές ενέργειας ο χορηγός είναι ο ήλιος. Η αιολική ενέργεια είναι ακριβώς αυτό που περιγράφεται από τη λέξη δηλαδή η εκμετάλλευση της δύναμης του αέρα.. Αξίζει όμως να περιγράψουμε συνοπτικά πως δημιουργείται η ένταση του ανέμου και από τι εξαρτάται. Η κατανομή της θερμοκρασίας στη γη από την θέρμανση της από τον ήλιο δεν είναι παντού ομοιόμορφη. Άρα λοιπόν υπάρχουν θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ διαφόρων περιοχών και σημείων και συνεπώς δημιουργείται διαφορά πίεσης. Αυτή η διαφορά πίεσης είναι γνωστή και ως βαρομετρικό και αναγκάζει μεγάλες μάζες αέρα να κινούνται, η κίνηση αυτή είναι ο αέρας.

Παρότι η ενέργεια αυτή δεν χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σήμερα, στο παρελθόν η χρησιμοποίηση της ήταν διαδεδομένη αλλά η απόδοση της σε σχέση με τα σημερινά δεδομένα δεν ήταν η ανάλογη. Με την πάροδο όμως του χρόνου και την πρόοδο της τεχνολογίας η ενεργειακή απόδοση τέτοιων μηχανών αυξήθηκε σε σημείο να προτρέπεται η χρήση και να μπορούμε μάλιστα να κάνουμε και απόσβεση της αρχικής μας επένδυσης πράγμα αρκετά δύσκολο στο παρελθόν.

Η δεύτερη εναλλακτική πηγή ενέργειας είναι η ηλιακή. Η ενέργεια που έρχεται δηλαδή κατευθείαν από τον ήλιο. Μπορούμε να διακρίνουμε δύο μορφές αυτής της ενέργειας όσον αφορά την εκμετάλλευσή της. Τη θερμική και τη φωτοβολταϊκή. Και οι δύο αυτές μορφές ενέργειας είναι αρκετά διαδεδομένες και τις χρησιμοποιούμε καθημερινά. Για παράδειγμα οι ηλιακοί θερμοσίφωνες που χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια και βοηθούν στην εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και πετρελαίου. Η δεύτερη μορφή εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι η φωτοβολταϊκή. Ονομάζεται έτσι λόγω του τρόπου απόκτησης της. Το φως μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια (Watt) με την βοήθεια κατάλληλων διατάξεων, των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Ο τρόπος αυτός μετατροπής ενέργειας είναι από πολύ καιρό γνωστός αλλά δεν είχε, μέχρι πρόσφατα τουλάχιστον, βρει μεγάλη απήχηση κυρίως για τους δύο παρακάτω λόγους.

1. Γιατί χρειάζεται μεγάλη έκταση για να τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και επιπλέον σωστή γεωγραφική τοποθεσία, για να πάρουμε μία ικανοποιητική ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος και
2. δεύτερον γιατί το κόστος απόκτησης τέτοιων πάνελ είναι αρκετά μεγάλο. Με πρόχειρους υπολογισμούς η απόσβεση του κόστους κτήσης αυτών των πάνελ γίνεται περίπου σε 7 χρόνια

Ωστόσο λόγω της προόδου της τεχνολογίας ήδη έχουν αρχίσει να εμφανίζονται πιο αποδοτικά πάνελ με λιγότερο κόστος κτήσης καθώς το κόστος συντήρησης είναι σχεδόν μηδαμινό και μεγαλύτερη απόδοση. Βέβαια ένας ανασταλτικός παράγοντας για μια τέτοια επένδυση είναι και ο περιορισμένος χρόνος ζωής των πάνελ που όμως σιγά-σιγά αυξάνεται.

Γίνεται κατανοητό λοιπόν ότι η απεξάρτηση της ανθρωπότητας από της παραδοσιακές μορφές ενέργειας είναι επιβεβλημένη και αναγκαστική αν θέλουμε να μιλάμε για επιβίωση. Η εναλλακτικές μορφές ενέργειας έρχονται ξανά στο προσκήνιο έχοντας να προσφέρουν μια μη ρυπογόνα ενέργεια για το περιβάλλον σε ανεξάντλητες ποσότητες. Ωστόσο οι συσκευές που παρέχουν ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές δεν αποδίδουν τόσο παρ' όλα αυτά λόγω της αλματώδους ανάπτυξης της τεχνολογίας όλες οι καινούργιες συσκευές που εμφανίζονται στο προσκήνιο είναι λιγότερο ενεργοβόρες. Άρα λοιπόν μπορεί να γίνει μια σημαντική μείωση στην

επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τις ρυπογόνες ουσίες που θα μας εξασφαλίσει ένα καλύτερο μέλλον.

1.2 Θερμοκήπια

Το θερμοκήπιο είναι ένας στεγασμένος και περιφραγμένος χώρος, που σκοπό του έχει να προφυλάξει τα φυτά από το κρύο του χειμώνα. Τα θερμοκήπια μπορεί να είναι κατασκευασμένα πάνω σε μόνιμους σιδερένιους σκελετούς από γυαλί ή μπορεί να είναι από πλαστικό, που στηρίζεται πάνω σε ξύλινο σκελετό. Η κατασκευή των θερμοκηπίων εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες, που επικρατούν τους χειμωνιάτικους μήνες σε μια περιοχή και από το είδος των φυτών που πρόκειται να καλλιεργηθούν. Τα θερμοκήπια των βόρειων χωρών έχουν βαριές κατασκευές και, πολλές φορές αποτελούνται από διπλά τζάμια και διπλή οροφή, τα θερμοκήπια αυτά θερμαίνονται. Αντίθετα, στις νότιες περιοχές της Ελλάδος, όπως π.χ. στη Μεσσηνία και στην Κρήτη, οι κατασκευές είναι πολύ ελαφριές, αποτελούνται από πλαστικό απλωμένο πάνω σε ξύλινο σκελετό, χωρίς να θερμαίνονται.



Εικόνα 1: Εσωτερικό Θερμοκηπίου

Στα θερμοκήπια καλλιεργούνται φυτά κατά τη διάρκεια του χειμώνα, που δεν είναι δυνατό να ευδοκιμήσουν έξω στον ανοιχτό χώρο. Τα τελευταία χρόνια η τεχνική της καλλιέργειας μέσα στα θερμοκήπια έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό. Έτσι, όλο το χρόνο στην πατρίδα μας παράγονται κηπευτικά προϊόντα όπως π.χ. ντομάτες, μελιτζάνες, κολοκύθια κλπ. , που καλύπτουν τις ανάγκες της ελληνικής αγοράς, ενώ ένα μεγάλο μέρος προορίζεται για εξαγωγή. Επίσης στα θερμοκήπια καλλιεργούνται και ανθοκομικά είδη που ευδοκιμούν μόνο το καλοκαίρι ή ανθοκομικά τροπικών χωρών που σε διαφορετικές περιπτώσεις θα ήταν αδύνατη η καλλιέργειά τους. Τέτοια είναι π.χ. οι ορχιδέες που απαιτούν θερμοκρασία πάνω από 28° C και μεγάλη υγρασία, πράγμα που δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί έξω από τα θερμοκήπια.

2. ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

2.1 Υπέρυθρη ακτινοβολία

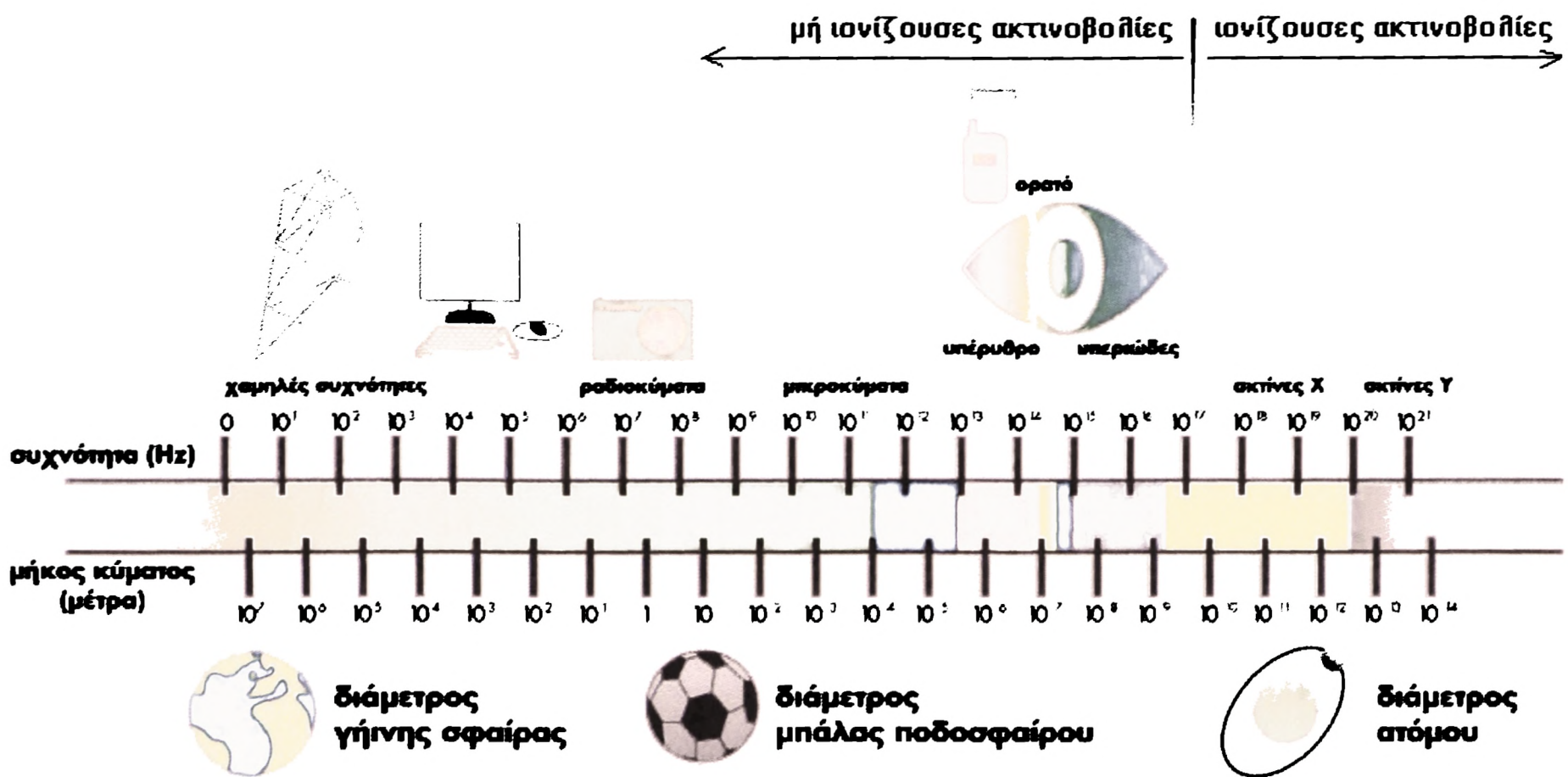
Η ακτινοβολία είναι ενέργεια σε μορφή κυμάτων ή κινούμενων υποατομικών σωματιδίων και διακρίνεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την ενέργεια και την επίδρασή της στην ύλη: την ιονίζουσα και τη μη ιονίζουσα.

Όλοι δεχόμαστε ακτινοβολία από ένα μεγάλο σύνολο φυσικών και τεχνητών πηγών που βρίσκονται παντού γύρω μας. Η ακτινοβολία επιδρά στον οργανισμό άλλοτε θετικά και άλλοτε αρνητικά ανάλογα με το είδος και την ποσότητα της ενέργειας που μεταφέρει .

Το ορατό φως είναι μια περιοχή του φάσματος ακτινοβολίας που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος μέσω της όρασης. Μια άλλη περιοχή του φάσματος ακτινοβολίας που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος είναι η υπέρυθρη ακτινοβολία μέσω της θερμότητας. Οι υπόλοιπες ακτινοβολίες ήταν μέχρι πρότινος άγνωστες για τον άνθρωπο διότι δεν μπορούσε να αντιληφθεί την ύπαρξή τους καθώς δεν του προκαλούσαν κάποια εξωτερικά ερεθίσματα. Όμως με την πρόοδο της τεχνολογίας βρέθηκαν τα μέσα ανίχνευσής τους και αξιοποίησής τους από τον άνθρωπο . Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι ακτινοβολίες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες.

1. Μη ιονίζουσες είναι οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες σε συχνότητες που μεταφέρουν σχετικά μικρή ενέργεια, μη ικανή να προκαλέσει ιονισμό, ικανή όμως να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στον οργανισμό, που μπορούν να αποβούν άλλοτε επιβλαβείς και άλλοτε ευεργετικές για τη λειτουργία του. Στις ακτινοβολίες αυτές εντάσσονται: τα στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στο περιβάλλον διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας, τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα που εκπέμπονται από κεραιές επικοινωνιών (π.χ.

σταθμούς βάσης κινητής τηλεφωνίας), κεραίες ραδιοφωνίας και τηλεόρασης, συστημάτων ραντάρ κ.ά.



Εικόνα 2: Ιονίζουσες και μη ιονίζουσες ακτινοβολίες

2. Η ιονίζουσα ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από μικρό μήκος κύματος, ψηλή συχνότητα και μεγάλη ενέργεια. Περιλαμβάνει τις ακτίνες X (χρησιμοποιούνται στις ακτινογραφίες, στον αξονικό τομογράφο και αλλού), τις ακτίνες γάμμα, την κοσμική ακτινοβολία και την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία. Όταν κύτταρα του ανθρώπινου οργανισμού εκτίθενται σε αυτήν, προκαλεί ιονισμό του DNA. Ο ιονισμός είναι επικίνδυνος, οδηγεί σε αλλοιώσεις του γενετικού κώδικα και είναι αιτία καρκίνου.

Υπέρυθρη ακτινοβολία είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκος κύματος μεταξύ 0,7 και 300 μm , πράγμα που ισοδυναμεί με ένα φάσμα συχνοτήτων μεταξύ 1 και 430 THz περίπου. Στην υπέρυθρη ακτινοβολία το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο και συνεπώς η συχνότητα μικρότερη από αυτή του ορατού φωτός. Η κύρια πηγή παραγωγής υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι ο ήλιος, με ένα απλό παράδειγμα μπορούμε να αντιληφθούμε την χρησιμότητα της υπέρυθρης ακτινοβολίας για την ύπαρξη ζωής στον πλανήτη καθώς η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι αυτή που θερμαίνει τη γη. Το ηλιακό φως παρέχει ενέργεια λίγο παραπάνω από 1 κιλοβάτ ανά τετραγωνικό μέτρο στο επίπεδο της θάλασσας. Από αυτή την ενέργεια, 527 W είναι υπέρυθρη ακτινοβολία, 445 W είναι το ορατό φως, και 32 W είναι υπεριώδη ακτινοβολία. Η υπέρυθρη

ακτινοβολία παράγεται από όλα τα σώματα, τα οποία βρίσκονται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες βασικές εξισώσεις:

Ενέργεια φωτονίου:

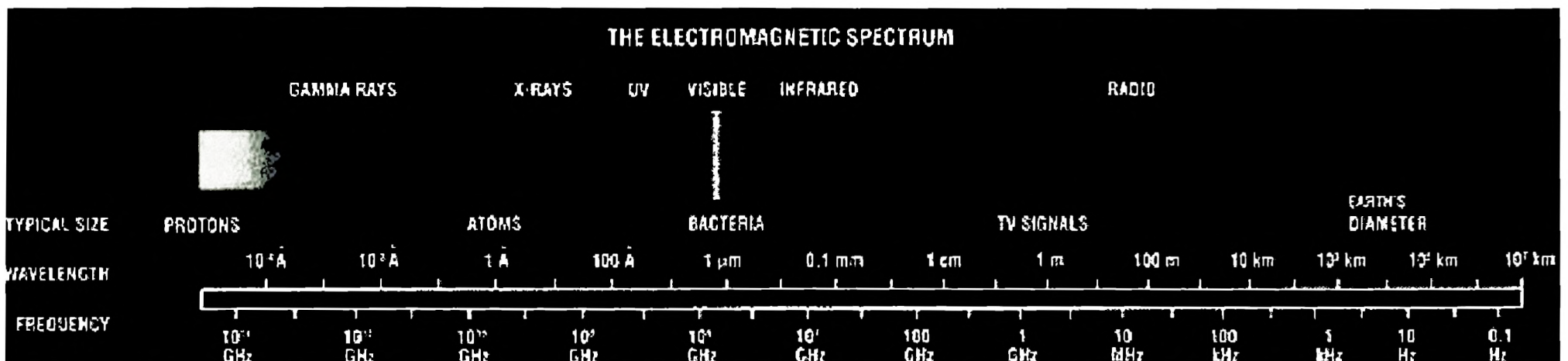
$E=h*f$ (h: σταθερά Plank, f: συχνότητα)

Θεμελιώδης νόμος της Κυματικής

$U=\lambda*f$

(U = ταχύτητα κύματος, λ = μήκος κύματος)

Τα μάτια μας είναι δέκτες οι οποίοι ανιχνεύουν μόνο το ορατό φως το οποίο είναι ένας από τους λίγους τύπους ακτινοβολίας ο οποίος είναι ικανός να διαπεράσει την ατμόσφαιρα της Γης. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα περιλαμβάνει τις ακτίνες-γ, τις ακτίνες-X, το υπεριώδες (UV) , το ορατό (Visible), το υπέρυθρο (IR), τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα τα οποία αποτυπώνονται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 3: Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

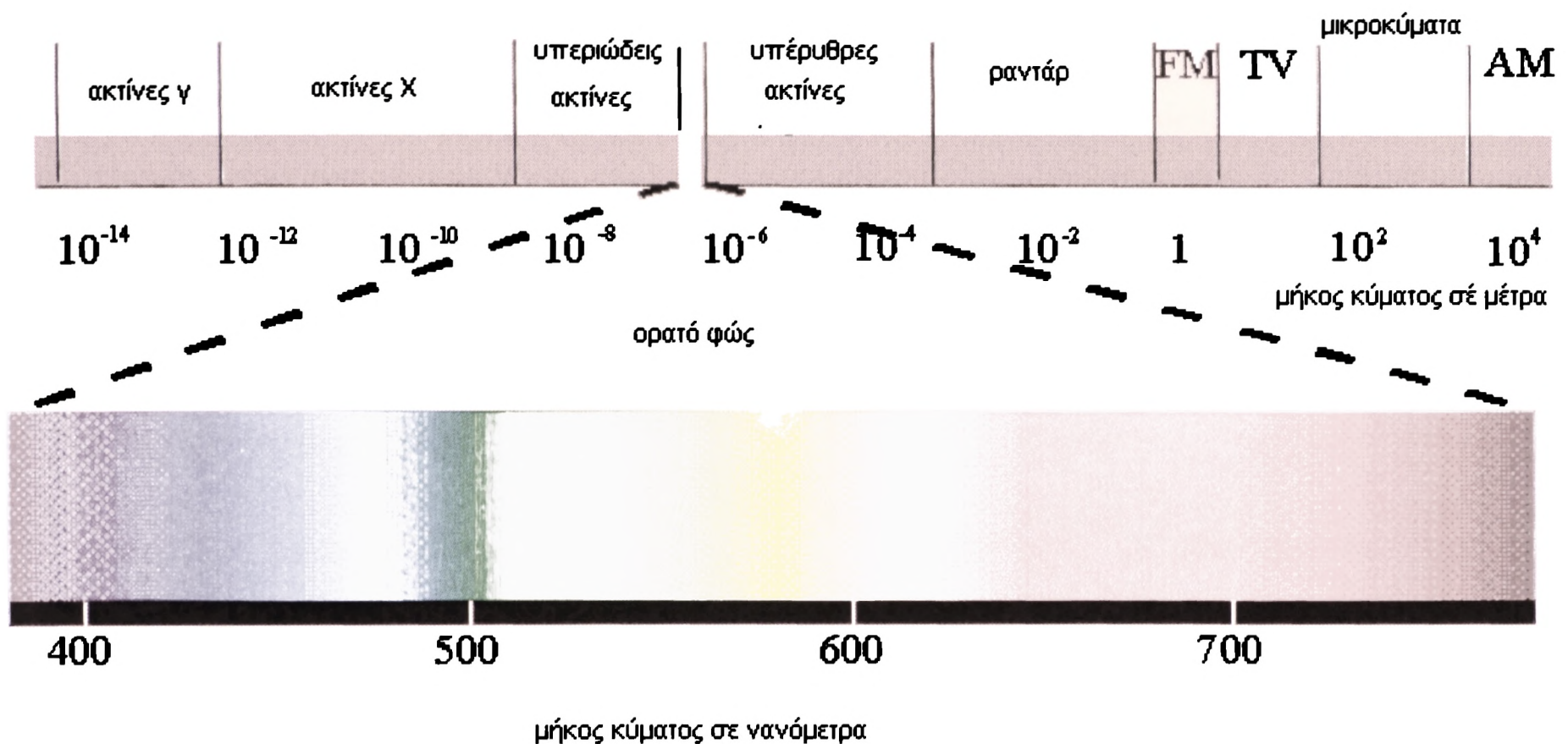
Η υπέρυθρη ακτινοβολία στην πραγματικότητα είναι κύματα ακτινοβολίας, που βρίσκονται μέσα σε κάποια όρια.. Τα όρια αυτά διαχωρίζουν τις ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες μεταξύ τους, δηλαδή τις υπέρυθρες από τις ακτίνες γ, τις X, το ορατό φως ,τις υπεριώδης, τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα με κριτήριο το μήκος κύματος και την συχνότητά τους καθώς το μήκος κύματος είναι άμεσα εξαρτημένο από την συχνότητα της ακτινοβολίας και το αντίστροφο.

Κάθε αντικείμενο περιέχει μόρια τα οποία με τη σειρά τους περιέχουν ηλεκτρόνια. Τα μόρια αυτά βρίσκονται σε διαρκεί κίνηση, ταλαντώνονται και παράγουν ενέργεια. Όταν αυξηθεί η θερμοκρασία ενός αντικειμένου αυτό έχει ως συνέπεια να αυξηθεί και η εσωτερική ενέργεια καθώς τα μόρια ταλαντώνονται εντονότερα.

Η υπέρυθη ακτινοβολία εκπέμπεται από όλα τα σώματα αρκεί να βρίσκονται σε θερμοκρασιακή διαφορά από το εξωτερικό περιβάλλον. Επιπροσθέτως τοποθετείται μεταξύ του ορατού φάσματος και της μικροκομματικής ακτινοβολίας και χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες.

- το κοντινό υπέρυθρο (εύρος μήκους κύματος 0.7 - 3 μm),
- το μεσαίο υπέρυθρο (εύρος μήκους κύματος 3 - 50 μm),
- και το μακρινό υπέρυθρο (εύρος μήκους κύματος 50 - 1000 μm)

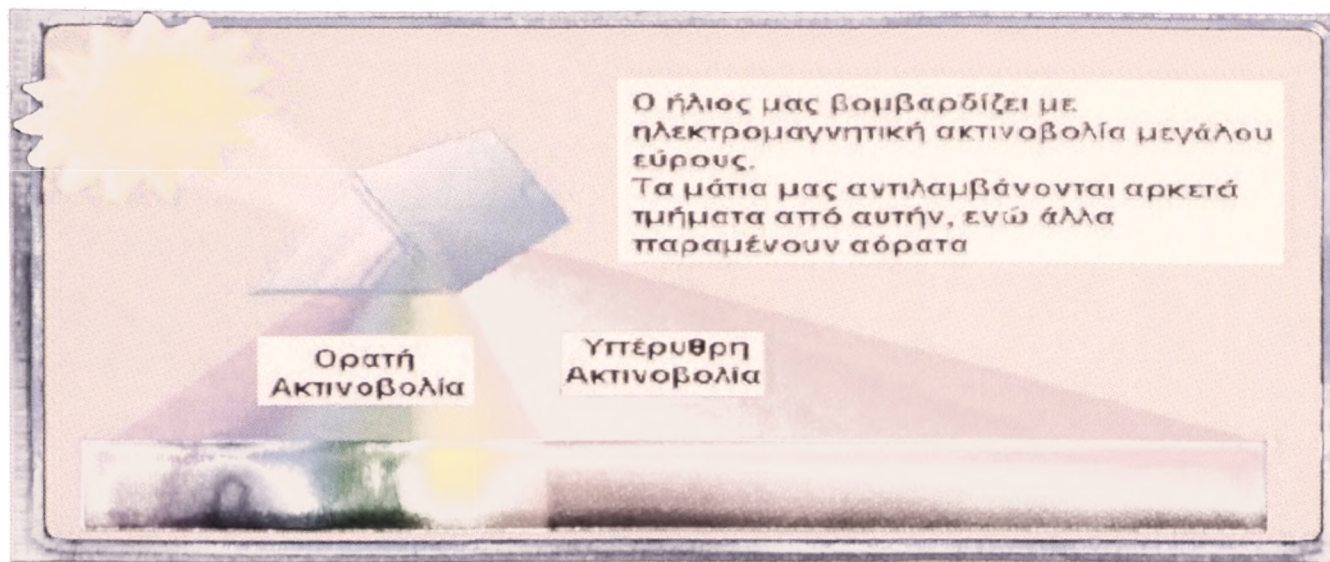
Τα παραπάνω όρια δεν είναι απόλυτα και παρουσιάζονται ελαφρώς διαφοροποιημένοι σε διάφορα συγγράμματα . π.χ. near (0.7–5 μm) / mid (5–30 μm) / long (30–1000 μm).



Εικόνα 4: Μήκος κύματος ορατού φωτός

Η υπέρυθη ακτινοβολία που φτάνει στη γη ανήκει στο κοντινό υπέρυθρο (0,7- 3,00 μm), καθώς η υπόλοιπη απορροφάται από τους υδρατμούς και το CO_2 που περιέχονται στην ατμόσφαιρα. Η υπέρυθη ακτινοβολία προέρχεται.

- Από τη θέρμανση των ατμοσφαιρών των πλανητών και των επιφανειών τους
- Οι πλανήτες εκπέμπουν ακτινοβολία που προέρχεται από την ανάκλαση της υπέρυθρης ακτινοβολίας του Ηλίου.



Εικόνα 5: Σκέδαση του φωτός

Ο ήλιος είναι η μεγαλύτερη πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας και η ένταση της ακτινοβολίας αλλάζει ανάλογα με τις εποχές, τη θέση, την ώρα, τη γωνία του ηλίου και το γεωγραφικό σημείο. Η μέγιστη εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας λαμβάνει χώρα όταν ο ήλιος είναι χαμηλά στον ορίζοντα. Αυτό συμβαίνει ,επειδή το ηλιακό φως σκεδάζεται όταν εισέρχεται σε μεγάλο πάχος της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα τα περισσότερα χρώματα του ορατού φάσματος να απορροφώνται από τους υδρατμούς, εκτός των ερυθρών και των υπέρυθρων ακτινοβολιών.

2.2 Χρήσεις υπέρυθρης ακτινοβολίας

Η υπέρυθρη ακτινοβολία αποτελεί ένα σημαντικό τομέα για μελέτη. Για να γίνει αυτό χρησιμοποιούμε όργανα, τα οποία ονομάζονται φασματοφωτόμετρα. Η εικόνα που παρουσιάζουν τα αντικείμενα, που φωτίζονται με υπέρυθρο φως, είναι τελείως διαφορετική από τη συνηθισμένη. Τέτοιες διαφορές είναι ιδιαίτερα εξυπηρετικές σε εγκληματολογικές έρευνες, Χαρακτηριστική χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας γίνεται από τα στρατιωτικά αυτοκίνητα, και γενικότερα από στρατιωτικά μέσα όταν θέλουν να σημαδέψουν μια περιοχή ή όταν θέλουν να εντοπίσουν κυρίως μέσα στη νύχτα οτιδήποτε μπορεί να εκπέμπει θερμότητα από έναν άνθρωπο μέχρι κάποιο όχημα.

Άλλη χρήση είναι της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι το σύστημα εστίασης υπέρυθρων ακτινών που χρησιμοποιούν οι σύγχρονες βιντεοκάμερες. Μέσω αυτού του συστήματος μας δίνεται η δυνατότητα να καθορίσουμε την πραγματική απόσταση μεταξύ δύο αντικειμένων.



Εικόνα 6: Χρήση IR στις φωτογραφίες

Οι υπέρυθρες ακτινοβολίες επίσης χρησιμοποιούνται σε εξοπλισμό «νυχτερινής όρασης». Αυτό συμβαίνει διότι όπως αναφέρθηκε και παραπάνω υπέρυθρη ακτινοβολία εκπέμπουν όλα τα σώματα αρκεί να βρίσκονται σε υψηλότερη θερμοκρασία από το περιβάλλον ώστε να μπορεί να είναι ανιχνεύσιμη από αυτές τις συσκευές. Επειδή λοιπόν το βράδυ το ορατό φως είναι περιορισμένο χρησιμοποιούνται τέτοια μηχανήματα για να αποτυπώσουν εικόνες.

Ο καπνός διαπερνάται καλύτερα από τις υπέρυθρες παρά από το φως. Αυτό χρησιμεύει στους Πυροσβέστες όταν εργάζονται σε καπνώδεις περιοχές. Επίσης χρησιμοποιείται αυτός ο εξοπλισμός για τον έλεγχο κτηρίων αφού σβήστηκε από αυτά μια πυρκαγιά, για τυχόν μικρές εστίες αναζωπύρωσης.

Ένας άλλος τομέας στον οποίο χρησιμεύει η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι η ιατρική, όπου με τη βοήθεια αυτής της ακτινοβολίας μπορούμε να εντοπίσουμε όγκους στο σώμα του ασθενή δηλαδή να κάνουμε μια πολύ πρόωρη διάγνωση που θα μας βοηθήσει στο μέλλον να αντιμετωπίσουμε γρηγορότερα και αποτελεσματικότερα ασθένειες όπως ο καρκίνος.

Επίσης η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στο κλάδο των πολιτικών μηχανικών στο κομμάτι της κτηριακής συντήρησης. Η υπέρυθρη ακτινοβολία χρησιμοποιείται για να εντοπίσει στο κτήριο κυρίως απώλειες θερμότητας και να οδηγήσει σε καλύτερη μόνωση του κτηρίου όπου θα επιφέρει λιγότερες θερμικές απώλειες και θα εξασφαλίσει μια καλύτερη οικονομική διαχείριση του κτηρίου. Η πλέον διαδεδομένη χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι τα τηλεκοντρόλ τα οποία και χρησιμοποιούμε καθημερινά.

Η υπέρυθρη ακτινοβολία χρησιμοποιείται από τους αστρονόμους με σκοπό να εντοπίσουν θερμή σκόνη γύρω από τα νεοσχηματισμένα άστρα τα οποία δεν ακτινοβολούν τόσο ώστε το φως τους να φτάνει μέχρι τη γη. Ειδικότερα αν μιλάμε για αποστάσεις εκατοντάδων ετών φωτός μακριά η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι και ο μόνος τρόπος για να τα εντοπίσουμε.

Τέλος η υπέρυθρη ακτινοβολία χρησιμοποιείται στα θερμοκήπια και γενικότερα σε μεγάλους χώρους όπου θέλουμε να θερμάνουμε. Ειδικότερα για τα θερμοκήπια όπου είναι και ο τομέας με τον οποίο θα ασχοληθούμε εκτενέστερα στις επόμενες σελίδες. Η υπέρυθρη ακτινοβολία μας δίνει ένα σημαντικό πλεονέκτημα διότι για την θέρμανση των φυτών δεν απαιτείται πρώτα η θέρμανση του αέρα αλλά τα φυτά θερμαίνονται στην επιθυμητή θερμοκρασία και αυτά με τη σειρά τους θερμαίνουν και τον εξωτερικό χώρο. Άρα γίνεται κατανοητό ότι έχουμε μια σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας όπου σε μεγάλες εγκαταστάσεις είναι απαραίτητη για την βιωσιμότητα των θερμοκηπίων.

2.3 Υπέρυθρη ακτινοβολία και θερμοκρασία

Η υπέρυθρη ακτινοβολία όπως αναλύσαμε και παραπάνω είναι θερμική ακτινοβολία .Η υπέρυθρη θέρμανση, είναι ο τρόπος, που επέλεξε η φύση, να θερμαίνει το οικοσύστημα μας. Αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο ποσοστό, της τάξεως σχεδόν του 50%, της θέρμανσης του πλανήτη. Είναι ο πλέον οικονομικός τρόπος θέρμανσης και ο αποδοτικότερος. Ο αέρας που περιβάλλει τη γη είναι διαθερμικός δηλαδή, διαπερνάται από την υπέρυθρη ακτινοβολία, χωρίς να δεσμεύει καθόλου, θερμική ενέργεια. Χωρίς απώλειες, λοιπόν θερμαίνονται απευθείας τα στερεά και τα υγρά γης ενώ σε δεύτερο χρόνο, θερμαίνεται και ο περιβάλλον αέρας, αφού έρθει σε επαφή με αυτά. Απόδειξη, πως τις θερμές ημέρες του καλοκαιριού, π.χ 35 βαθμούς Κέλσιου, ο αέρας στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, είναι πολύ κρύος και όσο ανεβαίνουμε, είναι πολύ κάτω του μηδενός. Άρα, λοιπόν, η υψηλή θερμοκρασία των καλοκαιρινών μηνών (όπως καταγράφει ένα θερμόμετρο), οφείλεται, στην επαφή του αέρα με τα ήδη θερμά σώματα.

Με τους υπόλοιπους συμβατικούς τρόπους θέρμανσης γίνεται ακριβώς το αντίθετο. Ο αέρας θερμαίνεται πρώτος, αφού έρθει σε επαφή με άλλα αντικείμενα και είναι πιο θερμός τότε τα θερμαίνει.. Αποτέλεσμα, πέραν της ανθυγιεινότητας, είναι οι τρομερές ενεργειακές απώλειες. Ειδικότερα αν μιλάμε για μεγάλες εγκαταστάσεις θερμοκηπίων ή ακόμα και για βιομηχανικές μονάδες όπου θα πρέπει να θερμανθούν οι υπάλληλοι αυτές οι μεγάλες ενεργειακές απώλειες ανεβάζουν δραματικά το κόστος θέρμανσης. Έχουμε, λοιπόν έναν ενεργειακά, "τρύπιο κουμπαρά", με συνεχείς απώλειες στο εξωτερικό περιβάλλον. Αντιθέτως, με τον τρόπο της υπέρυθρης θέρμανσης, θερμαίνουμε επιτέλους τα τοιχώματα, που συσσωρεύουν τη θερμότητα και

την εκπέμπουν πάλι στον χώρο. Θερμαίνεται, όμως και ο αέρας ομοιόμορφα, δια της επαφής, με τα ήδη θερμά τοιχώματα και αντικείμενα. Βεβαίως, εδώ πολύ μεγάλο ρόλο παίζει και η ποιότητα, του "θερμοσυσσωρευτή", που στη συγκεκριμένη περίπτωση, είναι το θερμοκήπιο, δηλαδή τα υλικά, που είναι δομημένο, η μόνωση που θα έχει με το εξωτερικό περιβάλλον. Και επειδή αναφερόμαστε σε θερμοκήπια σημαντικό ρόλο παίζει και ο αερισμός του θερμοκηπίου. Δηλαδή πόσα παράθυρα έχει και με τι ανοίγματα. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι η γεωγραφική τοποθεσία του θερμοκηπίου. Και αυτή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή του απόδοση ανάλογα με τη θέση που έχει την ηλίαση της περιοχής γενικότερα δηλαδή τα μετεωρολογικά φαινόμενα.

Επιπροσθέτως ο τρόπος διάδοσης της υπέρυθρης θερμότητας, που σαν ακτινοβολία, διέπεται από τους νόμους της μικροκυματικής, περιγράφεται, από τα διαγράμματα Stefan-Boltzman. Εκεί αποδεικνύεται ότι η ένταση της ακτινοβολίας εξαρτάται από την θερμοκρασία της επιφάνειας που την εκπέμπει καθώς και από το εμβαδόν της επιφάνειας αυτής. Ένας ακόμη πολύ σοβαρός παράγοντας οικονομίας υπέρ της υπέρυθρης θέρμανσης, είναι, η δυνατότητα της, να θερμάνει και απευθείας φυτικούς οργανισμούς. Αυτό σημαίνει πώς ανάλογα με την επιλογή της θέσεως των θερμοκηπικών σωμάτων μπορούμε, να επιτύχουμε υψηλή θερμική άνεση, με πολύ χαμηλή θερμοκρασία αέρα. Μην ξεχνάμε, ότι η θερμότητα, που αισθανόμαστε, είναι ο μέσος όρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας, που λαμβάνουμε από τα αντικείμενα, και της θερμοκρασίας του αέρα. Αν, λοιπόν, τα θερμοκηπικά σώματα, λόγω της θέσεώς τους, μας δίνουν απευθείας θερμικό φορτίο π.χ 24 °C, ενώ η θερμοκρασία αέρα είναι 18 °C, αυτό που θα αισθανόμαστε, θα είναι ο μέσος όρος, δηλαδή 21 °C. Αν συνυπολογίσουμε, πως λαμβάνουμε και την απευθείας ακτινοβολία των τοίχων και των αντικειμένων, που είναι 1-2 °C πιο θερμά, από τον αέρα, τότε αυτός ο μέσος όρος ανεβαίνει και άλλο. **Εδώ να πούμε, πως η υπέρυθρη ακτινοβολία, είναι ο μόνος τρόπος, να θερμάνουμε τοπικά, μια περιορισμένη ζώνη ενός πολύ μεγάλου χώρου, με πολύ χαμηλή κατανάλωση.**

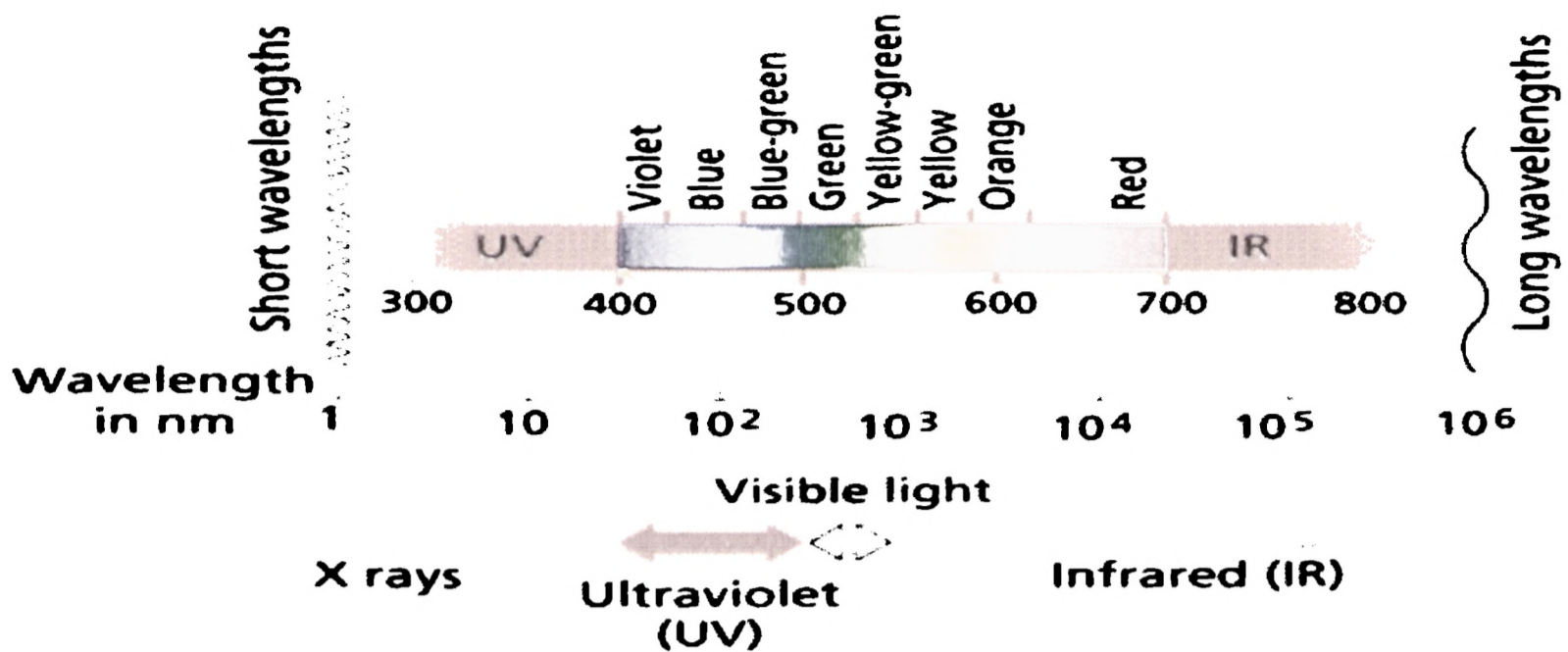
3. ΣΧΕΣΗ ΦΥΤΩΝ ΚΑΙ ΥΠΕΡΥΘΡΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Είναι δεδομένο ότι η υπέρυθρη ακτινοβολία επηρεάζει τα φυτά κυρίως λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας. Θα πρέπει όμως να μελετήσουμε την περίπτωση να επηρεάζει και τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Η φωτοσύνθεση επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, εξωτερικούς και εσωτερικούς. Η επίδραση των παραπάνω παραγόντων μπορεί να είναι άμεση (φως, CO₂) ή έμμεση (θρεπτικά άλατα, νερό).

3.1 Το φως και η σημασία του στην ανάπτυξη των φυτών

Το φως είναι μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει ο ήλιος. Η ορατή ακτινοβολία διακρίνεται σε 3 μέρη:

- ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ (UV) - ΜΕΧΡΙ ΤΑ 400 NM,
- ΟΡΑΤΗ 400-700 NM,
- ΥΠΕΡΥΘΡΗ (IR) – ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΑ 700 NM



Εικόνα 7: Φάσμα ορατού φωτός

Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από τις φωτεινές πηγές όπως ο ήλιος είναι σε διάφορα μήκη κύματος. Παρακάτω φαίνεται στον πίνακα τα πως επηρεάζει το ορατό και το υπέρυθρο φως στην ανάπτυξη ενός φυτού.

- **VIOLET** ~ 400 nm - 430 nm Επηρεάζει τη φωτοσύνθεση
- **INDIGO** ~ 430nm - 450 nm Επηρεάζει τη φωτοσύνθεση
- **BLUE** ~ 450nm - 520 nm Επηρεάζει πολύ σοβαρά τη φωτοσύνθεση (θετικός φωτοτροπισμός, αποφυγή εκχλοίωσης φυταρίων, άνοιγμα στοματίων, συμβολή στη δημιουργία κυτοπλάσματος)
- **GREEN** ~ 520nm - 565 nm Επηρεάζει ελάχιστα τη φωτοσύνθεση
- **YELLOW** ~ 565nm - 590 nm Δεν επηρεάζει πρακτικά καμία λειτουργία των φυτών
- **ORANGE** ~ 590nm - 625 nm Επηρεάζει ελάχιστα τη φωτοσύνθεση και τον φωτοπεριοδισμό
- **RED** ~ 625nm - 700 nm Επηρεάζει πολύ σημαντικά τη φωτοσύνθεση και τη φωτομορφογένεση (βλαστικότητα σπόρων, άνθηση, ωρίμανση-γηρασμός, λήθαργο)
- **NEAR INFRA- RED** 700-1300 nm . Επηρεάζει τη φωτομορφογένεση, επομένως επιδρά στην ανάπτυξη των φυτών. Μεταφέρει θερμότητα μέσα στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της ημέρας.
- **FAR INFRA- RED** > 1300 nm Μεταφέρει θερμότητα. Η ακτινοβολία από 7-14 mic και πάνω είναι υπεύθυνη για τις απώλειες θερμότητας κατά τις νυκτερινές ώρες

3.2 Πώς αντιλαμβάνονται τα φυτά τη φωτεινή ακτινοβολία

Τα φυτά διαθέτουν ειδικά συστήματα χρωστικών, που προσλαμβάνουν την ακτινοβολούμενη ενέργεια από τις διάφορες περιοχές του ηλιακού φάσματος.

Η χλωροφύλλη προσλαμβάνει την PAR (Photosynthetically Active Radiation) από 400-700 nm, με την οποία ενεργοποιείται η φωτοσύνθεση, η λειτουργία δηλαδή που μετατρέπει CO₂ και H₂O σε οξυγόνο και υδατάνθρακες.

Άλλοι φωτοϋποδοχείς λειτουργούν σαν μεταφορείς μηνυμάτων που παρέχουν στιγμιαίες πληροφορίες για τον έλεγχο μορφολογικών και φυσιολογικών λειτουργιών.

Φωτοϋποδοχείς που έχουν πιστοποιηθεί μέχρι σήμερα:

- **PHYTOCHROMS**: Φυτοχρωμικές πρωτεΐνες που απορροφούν κυρίως το ερυθρό, μακράν ερυθρό και μπλε φως.
- **CRYPTOCHROMES**: Ομάδα χρωστικών που απορροφούν το μπλε και υπεριώδες φως.
- **PHOTOTROPINS**: Messengers για την κατεύθυνση που θα πάρουν τα φυτά προς την ανεύρεση μπλε φωτός.
- **UV-B PHOTORECEPTORS**: Απορροφητές της UV-B ακτινοβολίας.

Τα Phytochroms ελέγχουν τη φωτομορφογένεση: Η λειτουργία με την οποία τα φυτά αντιλαμβάνονται το φως, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά και με βάση αυτή την ικανότητα ρυθμίζουν τις διαδικασίες ανάπτυξης, άνθησης, εκπτώξεις οφθαλμών, ανάπτυξης των ριζών και βλαστών, επιμήκυνση μίσχων κ.α.

Παρατηρούμε ότι ένα μικρό κομμάτι της υπέρυθρης ακτινοβολίας Near infra-red εκτός από την αύξηση της θερμοκρασίας που επιδρά με τη σειρά της στην φωτοσύνθεση επιδρά στην φωτομορφογένεση, το κομμάτι αυτής της ακτινοβολίας είναι από 700-800 μm.

Στον εσωτερικό χώρο τα φυτά είναι τόσο υγιέστερα, όσο το φως που δέχονται μοιάζει μ' αυτό του φυσικού περιβάλλοντος. Στη φύση το φως ρυθμίζει αποφασιστικά τρεις βασικές διαδικασίες τους:.

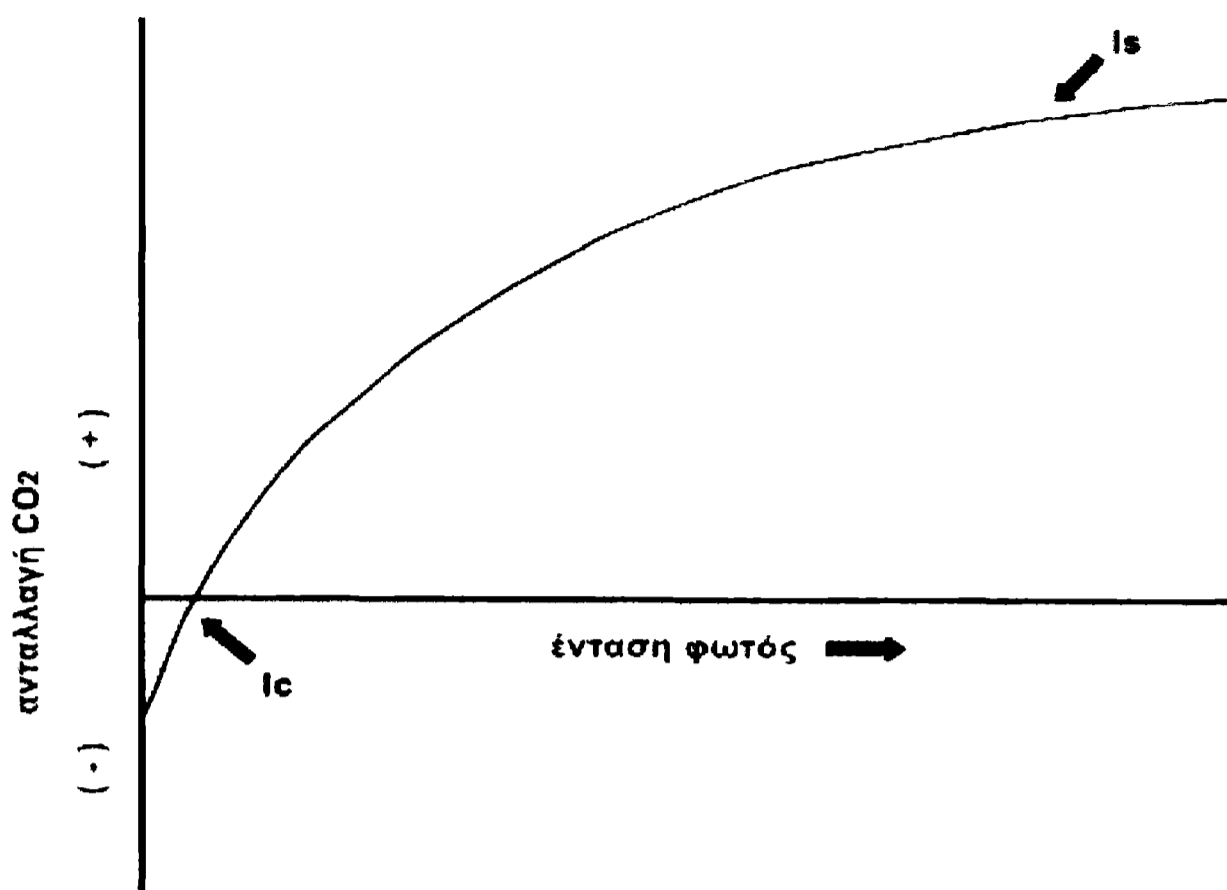
Φωτοσύνθεση: Η φωτοσύνθεση είναι ουσιαστικά η φωτοχημική σύνθεση υδρογονανθράκων στα φυτά με τη χρήση του διοξειδίου του άνθρακα και του νερού χάρη στη φωτοληπτική ικανότητα της χλωροφύλλης. Εξάλλου το φως διευκολύνει την ανάπτυξη της χλωροφύλλης και άλλων φωτοληπτικών ουσιών σημαντικών για την ανάπτυξη των φυτών. Οι υδρογονάνθρακες επιταχύνουν την ανάπτυξη του φυλλώματος, των ριζών, των μίσχων και των λουλουδιών. Το επίπεδο του φωτός που επιτρέπει την αντίδραση αυτή είναι χαρακτηριστικό της εποχής που το φυτό θα αναπαραγόταν με σπόρους στο κλίμα από το οποίο προέρχεται. Σε μερικά

είδη φυτών εσωτερικού χώρου, η αντίδραση συμβαίνει σε σχετικά χαμηλά επίπεδα φωτός. Η ανάπτυξη λοιπόν του φυτού δε συντελείται σωστά όταν τα επίπεδα έντασης και θερμότητας φωτισμού είναι πολύ υψηλά. .

Φωτοτροπισμός: Η ιδιότητα αυτή είναι η τάση των φυτών να στρέφονται και να αναπτύσσονται προς την κατεύθυνση της φωτεινής πηγής. Στη φύση, ο ήλιος κάνει τον κύκλο του ενώ στους εσωτερικούς χώρους ο φωτισμός των φυτών είναι σταθερός και εξαρτάται από τη θέση τους στο χώρο. Στους εσωτερικούς χώρους ως φωτεινή πηγή είναι τα παράθυρα με αποτέλεσμα τα φυτά να τείνουν προς τα εκεί. Έτσι, η θέση των φυτών πρέπει ν' αλλάζεται κατά διαστήματα για να διατηρηθεί η ομοιόμορφη ανάπτυξη και εμφάνισή τους. Γι' αυτό το λόγο, όταν πρόκειται για δέντρα εσωτερικού χώρου, αναπτύσσονται καλύτερα όταν η γλάστρα είναι πάνω σε κινητή βάση και αλλάζει κατά διαστήματα η θέση τους. Όταν το φως είναι τεχνητό, η καλύτερη τοποθέτηση για τα περισσότερα φυτά είναι με τη φωτεινή πηγή πάνω από το φυτό. Αυτό δημιουργεί όμως το πρόβλημα να δέχονται τα πάνω φύλλα όλο το φως και να σκιάζονται τα κάτω τμήματα. Στη φύση, τα κάτω φύλλα δέχονται διαχεόμενο φως από το έδαφος. Χωρίς αυτό, υπάρχει ο κίνδυνος τα κάτω κλαδιά των φυτών να χάνουν τα φύλλα τους. Έτσι είναι καλύτερο να χρησιμοποιούνται περισσότερες από μια φωτεινές πηγές από πάνω κι αν είναι δυνατό, συμπληρωματικό διάχυτο φως από κάτω.

Φωτοπεριοδισμός: Όλα τα φυτά είναι προγραμματισμένα σύμφωνα με το φως του φυσικού τους περιβάλλοντος. Ανταποκρίνονται καλύτερα στους εποχιακούς ρυθμούς φωτός και σκότους που επικρατούν εκεί. Για πολλά φυτά, η διάρκεια ημέρας και νύκτας είναι ένας παράγοντας του χρόνου που απαιτείται για να φτάσουν στην ωριμότητα, δηλαδή στο στάδιο του κύκλου της ζωής τους κατά το οποίο είναι δυνατή η αναπαραγωγή. Η ανθοφορία και η καρποφορία είναι στάδια της αναπαραγωγής των φυτών. Μερικά φυτά ανθοφορούν καλύτερα όταν η διάρκεια της ημέρας είναι 14 ώρες ή περισσότερες, ενώ άλλα χρειάζονται 14 ώρες το εικοσιτετράωρο σκοτάδι. Ο χρόνος αυτός εξαρτάται από το είδος του φυτού, όμως τα περισσότερα φυτά δεν παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες και θεωρούνται φωτοπεριοδικά ουδέτερα.

Η λειτουργία της φωτοσύνθεσης απαιτεί φως. Η αύξηση της έντασης του φωτός είναι ανάλογη με τη φωτοσυνθετική απόδοση ενός φυτού. Ωστόσο υπάρχει κάποια τιμή έντασης του φωτός πέρα από την οποία ο ρυθμός της φωτοσύνθεσης παραμένει σταθερός. Η τιμή αυτή αναφέρεται ως σημείο φωτοκορεσμού.



Εικόνα 8: Καμπύλη ανταλλαγής CO₂

Τυπική καμπύλη ανταλλαγής CO₂ για φυτά όπως το σιτάρι και το βαμβάκι. (+) Πρόσληψη CO₂, (-): αποβολή CO₂, Is: σημείο φωτοκορεσμού, δηλαδή η μεγαλύτερη ένταση του φωτός πάνω από την οποία δεν έχουμε καμία αύξηση στην πρόσληψη CO₂, Ic: ένταση φωτός κατά την οποία το προσλαμβανόμενο CO₂ είναι ίσο με το αποβαλλόμενο (σημείο ισοστάθμισης του φωτός)

Το 80% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα φύλλο απορροφάται, ενώ από το 20% ένα μέρος αντανακλάται από την επιφάνεια του φύλλου και το υπόλοιπο το διαπερνά. Ένα μέρος της απορροφόμενης ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε θερμότητα που αυξάνει τη θερμοκρασία του φύλλου και μόνο το 0,5% έως 3,5% του συνόλου της φωτεινής ενέργειας που προσπίπτει στο φύλλο χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση.

3.3 Η ανάγκη των φυτών για φως

Η ανάγκη ενός φυτού για φως στη διάρκεια της ζωής του εξαρτάται από τρία χαρακτηριστικά του φωτός:

1. Χρώμα φωτός, το φυσικό φως αποτελείται από ποικιλία πολλών χρωμάτων (ουράνιο τόξο). Η ορατή ακτινοβολία είναι περίπου 41%. Στο ηλιακό φάσμα υπάρχουν επίσης υπεριώδεις (9%) και υπέρυθρες ακτίνες (50%) που είναι αόρατες στον άνθρωπο. Η εξέλιξη της ζωής των φυτών εξαρτάται από την επίδραση των χρωμάτων του φυσικού φωτισμού στον κατάλληλο χρόνο

του κύκλου ανάπτυξής τους. Για παράδειγμα, το ψυχρό γαλάζιο, το λευκό και το μοβ χρώμα χρειάζονται για να ενισχύσουν τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Η θερμότερη πλευρά του χρωματικού φάσματος συντελεί στην παραγωγή της χλωροφύλλης στα πράσινα μέρη του φυτικού ιστού. Το ερυθρό χρώμα και η υπέρυθη ακτινοβολία επηρεάζουν την ανάπτυξη διαφόρων τμημάτων των φυτών, ειδικά το σχηματισμό λουλουδιών και φρούτων. Σε κάποια φάση της ζωής ενός φυτού απαιτούνται οπωσδήποτε τρία τουλάχιστο χρώματα για να εξασφαλιστεί η υγιής του ανάπτυξη.

2. Ένταση φωτός, κάθε είδος φυτού χρειάζεται φως ορισμένης έντασης για να αναπτυχθεί ομαλά και να διανύσει ολόκληρο τον κύκλο της ζωής του. Αν το φως είναι λιγότερο, το φυτό προσαρμόζεται και ακολουθεί διαφορετικά στάδια ανάπτυξης. Υπάρχει ένα επίπεδο ανεπαρκούς φωτισμού στο οποίο ένας φυτικός οργανισμός θα συντηρηθεί αλλά δε θα αυξήσει το μέγεθος ή το φύλλωμά του. Αν το φως είναι ακόμη λιγότερο, θα δημιουργηθούν μακριοί και αδύνατοι μίσχοι με λιγότερο φύλλωμα από το κανονικό, που θα συστρέφονται προς την κατεύθυνση του φωτός. Ένα τέτοιο φυτό δε θ' αναλάβει ακόμη κι αν του δοθεί ξαφνικά επαρκές φως.

3. Προέλευση φωτός κατά τη διάρκεια των περισσότερων εποχών του έτους, οι ακτίνες του ήλιου που προέρχονται από την ανατολή υστερούν σε ερυθρή και υπέρυθη ακτινοβολία. Τα κυρίαρχα χρώματα της ορατής ακτινοβολίας είναι το μπλε, το πράσινο και το κίτρινο. Οι χώροι που έχουν ανατολικό προσανατολισμό, δέχονται το φως του ήλιου κατευθείαν κυρίως από το πρωί μέχρι το μεσημέρι. Αν και η ένταση του πρωινού φωτός μπορεί να φτάσει τα 5.000-8.000 κηρία, ένας χώρος ανατολικού προσανατολισμού είναι ψυχρότερος από ένα νότιου ή δυτικού. Αυτό συμβαίνει γιατί οι θερμές ερυθρές και υπέρυθρες ακτινοβολίες έχουν διαχυθεί στα ανώτερα στρώματα της πρωινής ατμόσφαιρας που περιλαμβάνει υδρατμούς. Έτσι ένα μέρος της υπέρυθρης θερμαντικής ακτινοβολίας δε φτάνει το κτίριο για να το θερμάνει αρκετά. Τα περισσότερα φυτά προτιμούν ανατολικό προσανατολισμό γιατί προκαλεί λιγότερη ξηρασία. Στο φως που προέρχεται από το νότο, η εποχιακή διακύμανση είναι εντονότερη από τη διακύμανση του φωτός οποιασδήποτε άλλης προέλευσης. Το χειμώνα, ο ήλιος στέλνει τις ακτίνες του με μικρή γωνία και δίνει στα φυτά φως και θερμότητα κατά τους μήνες που τα χρειάζονται περισσότερο. Το καλοκαίρι, ο ήλιος βρίσκεται τις περισσότερες ώρες της ημέρας σε τόσο ψηλή θέση ώστε οι θερμές του ακτίνες κατευθύνονται μάλλον προς τις στέγες των σπιτιών παρά διαπερνούν τα νότια παράθυρα. Οι χώροι δυτικού προσανατολισμού έχουν τις υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες. Πρόσθετη υγρασία, καλή κυκλοφορία του αέρα και μια κουρτίνα για το φιλτράρισμα του φωτός, μπορούν να βοηθήσουν πολύ τα φυτά εσωτερικού χώρου να επιβιώσουν από την άνοιξη ως το φθινόπωρο που ο ηλιασμός είναι αυξημένος. Σ' ένα παράθυρο απόλυτα βόρειου προσανατολισμού, ακόμη και κατά το θερινό ηλιοστάσιο, τη μακρύτερη ημέρα του έτους, ο ήλιος

εισχωρεί μονάχα μερικές ώρες. Οι χώροι με βόρειο προσανατολισμό δέχονται την ελάχιστη άμεση ακτινοβολία και θερμότητα. Το φυσικό φως από το βορρά είναι το σταθερότερο σε χρώμα, θερμότητα και ένταση στη διάρκεια της ημέρας, της εποχής και του έτους, αλλά μετά βίας παρέχει επίπεδο φωτός επαρκές για τα περισσότερα είδη φυτών. Τα βόρεια παράθυρα παρέχουν φως έντασης μόνο 200 κηρίων περίπου μια ανέφελη χειμωνιάτικη ημέρα και συχνά αυτό γίνεται με την πρόσθετη ανάκλαση πάνω στις χιονισμένες επιφάνειες

3.4 Απαιτήσεις χρόνου ηλιασμού των φυτών

- **Λίγος ηλιασμός:** Αρκετά φυτά επιζούν καλά σε περισσότερο φως απ' όσο χρειάζονται, αλλά λίγα μπορούν ν' αντέξουν σε λιγότερο φως.
- Σε συνθήκες ανεπαρκούς ηλιασμού, το φυτό θα χρησιμοποιήσει τους αποθηκευμένους του υδρογονάνθρακες για όσο διάστημα επαρκούν, μέχρι να τους εξαντλήσει οπότε θα ξεραθεί. .
- **Υπερβολικός ηλιασμός:** Η φωτοσύνθεση δεν πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες πάνω από 30°C, έτσι μόνο τα παχύφυλλα είναι λίγα από τα φυτά που μπορούν ν' αντέξουν τις τέσσερις τουλάχιστον ώρες του άμεσου ηλιασμού που παρέχουν τα δυτικά παράθυρα. Εξάλλου κανένα φυτό, όποια και αν είναι η κατάσταση της υγείας του, δεν πρέπει να υπόκειται σε έντονες μεταβολές του φωτός χωρίς προστασία. Αν πρέπει ν' αλλαχτεί η θέση ενός φυτού, αυτό πρέπει να γίνεται κατά διαστήματα εβδομάδων. Τα φαινόμενα που έχουν σχέση με το χρώμα, την ένταση και τη διάρκεια του φωτός, εξαρτώνται βέβαια από το είδος του φυτού.

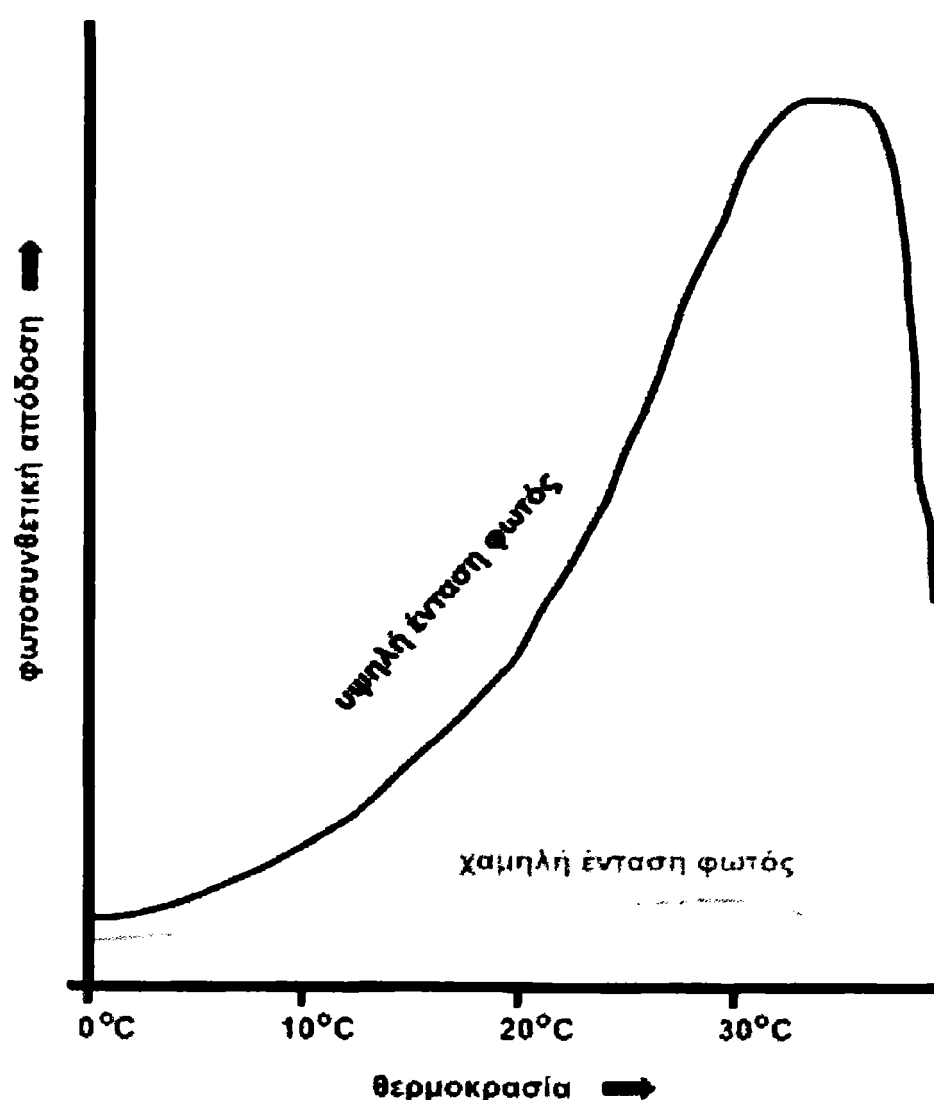
Τα φυτά που ανθοφορούν απαιτούν άμεσο ηλιακό φως για μεγάλο μέρος κάθε ημέρας ή, αν αυτό δεν επαρκεί, χρειάζονται πρόσθετο τεχνητό φωτισμό. Αντίθετα, τα φυτά με πολύχρωμα φύλλα χρειάζονται διάχυτο φως για να πραγματοποιήσουν τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης με τα πράσινα μέρη τους, γιατί τα ανοιχτόχρωμα μέρη τους αντανακλούν μεγάλο μέρος από το φως που προσπίπτει άμεσα πάνω τους. Τα τροπικά φυτά συχνά πληγώνονται από το υπερβολικό φως του εσωτερικού χώρου. Τα φύλλα τους λιποθυμούν κατά τη θερμότερη περίοδο της μέρας, στρίβουν προς τα κάτω και εμφανίζουν μαύρες κηλίδες ως εγκαύματα. Σε άλλες περιπτώσεις το φύλλωμα μπορεί να υποστεί αλλαγή χρώματος και να ξεθωριάσει στην προσπάθειά του ν' αυξήσει την ανακλαστικότητά του και να διώξει ένα ποσοστό από το φως που δέχεται.

3.5 Τεχνητό φως και ανάπτυξη των φυτών

Ακόμη και θέτοντας υπό έλεγχο τις τρεις χαρακτηριστικές ιδιότητες του φωτός - ένταση, χρώμα, διάρκεια - ο φυσικός φωτισμός ενός εσωτερικού χώρου είναι σπάνια ο σωστότερος για την ανάπτυξη των φυτών. Χρειάζεται ειδικός φωτισμός. Οι λάμπες τεχνητού φωτός δεν μπορούν να υποκαταστήσουν ακριβώς το φυσικό φως γιατί τα χρώματα, οι εντάσεις και η θερμαντική τους ικανότητα διαφέρουν. Μερικοί όμως συνδυασμοί τεχνητού φωτός μπορούν να δράσουν ευεργετικά σε ορισμένες ποικιλίες φυτών. Η χρωματική απόδοση των λαμπτήρων φθορισμού είναι πλούσια σε γαλάζιες ακτίνες που βοηθούν στην ανάπτυξη των φυλλωμάτων. Έτσι τα φυτά που καλλιεργούνται κυρίως για το φύλλωμά τους, μπορούν ν' αναπτυχθούν βασιζόμενα στο φως των λαμπτήρων φθορισμού. Οι λαμπτήρες αυτοί εξάλλου δεν αναπτύσσουν μεγάλη θερμοκρασία γύρω τους, διατηρούν το περιβάλλον αρκετά δροσερό, ώστε το φύλλωμα των περισσότερων φυτών μπορεί ακόμα και ν' ακουμπήσει τα θερμαντικά σώματα χωρίς να καταστραφεί. **Τα φυτά που ανθοφορούν ή καρποφορούν χρειάζονται εξίσου ερυθρές και υπέρυθρες ακτίνες.** Απαιτούν έτσι, μεγάλης έντασης ηλεκτρικές πηγές που να προσομοιώνουν το φυσικό ηλιακό φως. Επειδή αυτό περιέχει υπεριώδεις, ερυθρές και υπέρυθρες ακτινοβολίες, η καλύτερη λύση είναι ένας συνδυασμός λαμπτήρων που παρέχουν διάφορες ακτίνες από κατάλληλες αποστάσεις

3.6 Επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη των φυτών

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει τη δομή και τη λειτουργία του κυττάρου και άρα και τη φωτοσύνθεση. Παρουσία φωτός η φωτοσυνθετική απόδοση αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας (σχ. 2). Ωστόσο υπάρχει μια τιμή θερμοκρασίας πέρα από την οποία προκαλείται ελάττωση της φωτοσύνθεσης, η οποία τελικά παύει όταν η αύξηση της θερμοκρασίας συνεχιστεί. Το παραπάνω φαινόμενο αποδίδεται στις βλάβες που προκαλούν στα κύτταρα οι υψηλές θερμοκρασίες καθώς και στη θερμοευαισθησία των στομάτων που σε ακραίες θερμοκρασίες κλείνουν περιορίζοντας τη φωτοσυνθετική απόδοση.



Εικόνα 9: Σχέση θερμοκρασίας και φωτοσυνθετικής απόδοσης.

Η άριστη θερμοκρασία φωτοσύνθεσης ποικίλει και εξαρτάται από το είδος του φυτού και από το γεωγραφικό πλάτος εξάπλωσής του. Σε εύκρατες περιοχές η φωτοσυνθετική απόδοση αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας (ξεκινώντας από τους 0°C περίπου) μέχρι μια μέγιστη τιμή που μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 15°C και 25°C ανάλογα με το είδος.

Έλεγχος της θερμοκρασίας: Ο έλεγχος της θερμοκρασίας είναι πολύ σημαντικός για την καλύτερη ποιότητα φυτών ειδικά για τα φυτά που ανθίζουν το φθινόπωρο, καθώς αυτά προτιμούν χαμηλότερες θερμοκρασίες την ημέρα σε σύγκριση με αυτά που ανθίζουν την άνοιξη. Η ιδανική θερμοκρασία διαφέρει ανάλογα με το είδος των φυτών. Οι πολύ υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στα φυτά, διακοπή της ανάπτυξής τους ή αραιώση και πτώση του φυλλώματος και γενικά οδηγούν σε ανώμαλη ανάπτυξη και μειωμένη παραγωγή. Γενικά, μια θερμοκρασία αέρα από 21 έως 30°C και μια θερμοκρασία εδάφους από 21 έως 24° C έχει αποδειχθεί ιδανική για πολλά φυτά που ευδοκιμούν σε εύκρατο κλίμα. Τα καλοκαιρινά λαχανικά και τα περισσότερα λουλούδια αναπτύσσονται καλύτερα μεταξύ 15,5°C και 26,5°C ενώ τα χειμερινά λαχανικά όπως το μαρούλι και το σπανάκι χρειάζονται θερμοκρασίες μεταξύ 10°C και 24°C.

Κατά τον υπολογισμό του φωτισμού που χρειάζονται τα φυτά πρέπει να εξεταστούν τρεις παράμετροι του φωτός: (1) ένταση, (2) διάρκεια, και (3) ποιότητα.

- **Η ένταση του φωτός** επηρεάζει τη θρέψη των φυτών, το μήκος των μίσχων, το χρώμα των φύλλων και το άνθισμα. Ένα γεράνι που μεγαλώνει σε χαμηλό φωτισμό τείνει να είναι αδύναμο και να έχει ανοιχτοπράσινα φύλλα ενώ ένα ίδιο φυτό που αναπτύσσεται σε πολύ φωτεινό περιβάλλον είναι πιο κοντό, με καλύτερη διακλάδωση και έχει μεγαλύτερα σκουροπράσινα φύλλα. Τα φυτά εσωτερικού χώρου μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τις ανάγκες τους σε φως, αν δηλαδή απαιτούν έντονο, μέσο ή χαμηλό φωτισμό. Η ένταση του φωτός που λαμβάνουν τα φυτά εξαρτάται από την απόστασή τους από την πηγή φωτός (η ένταση φωτός μειώνεται δραστικά όταν αυξάνεται η απόσταση από την πηγή φωτός). Ο προσανατολισμός των λαμπτήρων σε σχέση με τα φυτά επηρεάζει την ένταση του φωτός που λαμβάνουν. Επίσης, τυχόν ανακλαστικές επιφάνειες μέσα στο θάλαμο αυξάνουν την ένταση του φωτός που διατίθεται στα φυτά, ενώ τυχόν σκοτεινές επιφάνειες τη μειώνουν. Η χαμηλή ένταση φωτός μπορεί ν' αντισταθμιστεί με την αύξηση του χρόνου έκθεσης του φυτού στο φως, αρκεί η ανθοφορία του να μην εξαρτάται από τη διάρκεια της ημέρας.
- **Οι αυξημένες ώρες φωτισμού** επιτρέπουν στα φυτά να δημιουργήσουν αρκετή τροφή για να επιζήσουν ή και να αναπτυχθούν. Ωστόσο, τα φυτά χρειάζονται μια περίοδο χωρίς φως για να αναπτυχθούν σωστά και έτσι δεν πρέπει να δέχονται φως για περισσότερες από 16 ώρες ημερησίως. Το υπερβολικό φως είναι τόσο επιβλαβές όσο και το λίγο.
- **Αν ο τεχνητός φωτισμός** πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως μόνη πηγή φωτός για την ανάπτυξη των φυτών, η ποιότητα του φωτός (μήκος κύματος) πρέπει να ληφθεί υπόψη. **Για τη φωτοσύνθεση, τα φυτά χρειάζονται συνήθως μπλε ή κόκκινο φως αλλά για το άνθισμα απαιτείται επίσης υπέρυθρο φως.** Τα φώτα πυρακτώσεως παράγουν συνήθως κόκκινο και λίγο υπέρυθρο φως αλλά πολύ λίγο μπλε. Τα φώτα φθορισμού ποικίλλουν ανάλογα με το φώσφορο που χρησιμοποιείται από τον κατασκευαστή. Τα ψυχρά λευκά φώτα παράγουν συνήθως μπλε άλλα και λίγη κόκκινη ακτινοβολία. Τα φυτά με πυκνό φύλλωμα αναπτύσσονται καλά κάτω από αυτά τα φώτα και επιπλέον δεν παράγουν πολλή θερμότητα, επομένως μπορούν να τοποθετηθούν αρκετά κοντά στα φυτά. Τα ανθοφόρα φυτά χρειάζονται επιπλέον υπέρυθρη ακτινοβολία που παράγονται από λαμπτήρες πυρακτώσεως ή φθορισμού ειδικούς για την ανθοκομία.

3.6.1 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Το CO₂ αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για το σχηματισμό των οργανικών ενώσεων κατά τη φωτοσύνθεση. Διακυμάνσεις στη συγκέντρωση του CO₂ επηρεάζουν τη φωτοσυνθετική απόδοση των φυτών: όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα, τόσο πιο έντονη είναι η φωτοσυνθετική απόδοση των φυτών για μια συγκεκριμένη ένταση φωτισμού (εικόνα 9). Ωστόσο πολύ υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ προκαλούν το κλείσιμο των στομάτων και κατά συνέπεια εμποδίζουν την πρόσληψή του από τα φυτά.

3.6.2 Νερό

Το νερό αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης. Η έλλειψη νερού αναστέλλει τη φωτοσύνθεση καθώς:

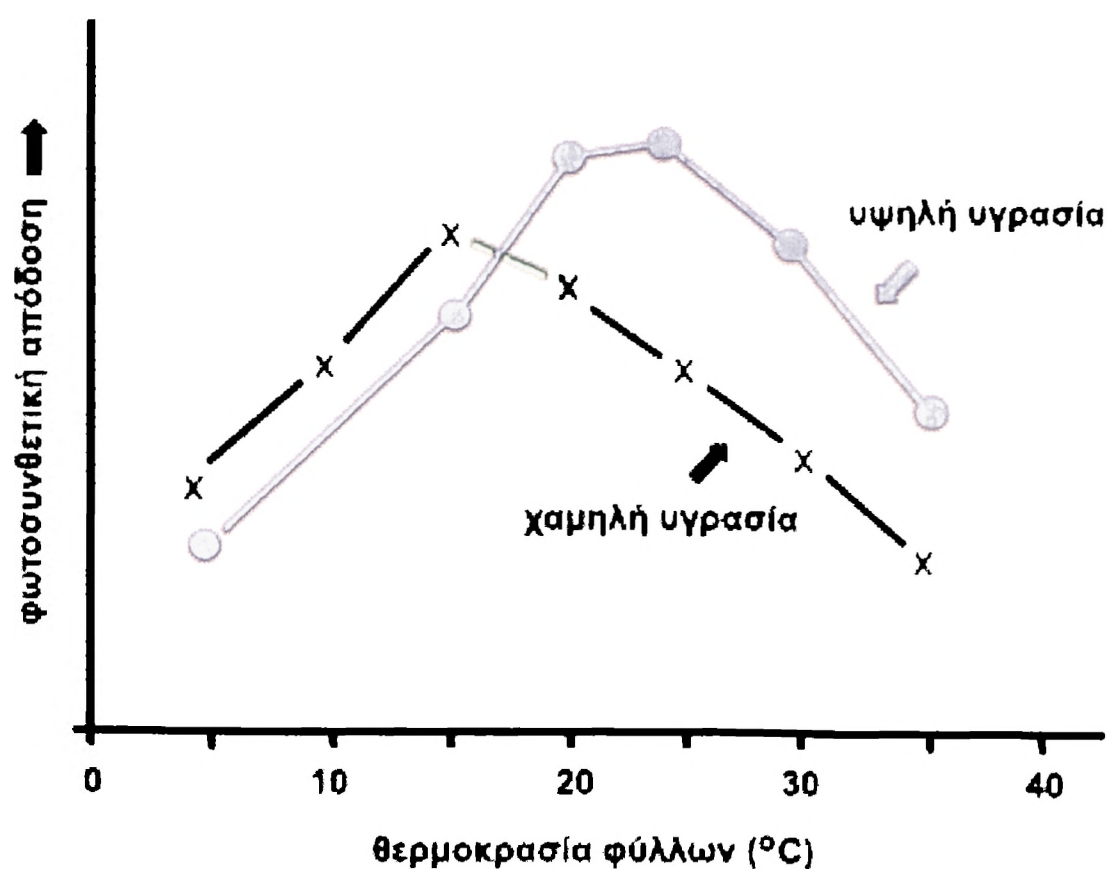
α) επηρεάζει τη δομή και τη λειτουργία των κυττάρων,

β) ελαττώνει την επιφάνεια των φύλλων (σε συνθήκες ξηρασίας πολλά φυτά συστρέφουν τα φύλλα τους για να μειώσουν τις απώλειες νερού λόγω διαπνοής),

γ) προκαλεί το κλείσιμο των στομάτων. Η έλλειψη νερού αλλάζει την ενυδάτωση των πρωτεϊνών, συμπεριλαμβανομένων προφανώς και των πρωτεϊνών που συμμετέχουν στη φωτοσύνθεση και επηρεάζει κατά συνέπεια τη λειτουργία τους.

Κατά τις θερμές ώρες της ημέρας παρατηρείται συχνά το φαινόμενο του προσωρινού μαρασμού που οφείλεται στο κλείσιμο των στομάτων (μεσημβρινή κάμψη).

Η σχετική υγρασία του αέρα στο περιβάλλον του φυτού επηρεάζει τη φωτοσυνθετική του απόδοση. Σε χαμηλή υγρασία αέρα, η άριστη θερμοκρασία για τη φωτοσύνθεση είναι μικρότερη από την αντίστοιχη σε μεγάλη υγρασία (εικόνα 10).



Εικόνα 10: Διακύμανση στη φωτοσυνθετική απόδοση ενός δέντρου

Διακύμανση στη φωτοσυνθετική απόδοση ενός δέντρου πορτοκαλιάς σε σχέση με την υγρασία του αέρα και τη θερμοκρασία στην επιφάνεια των φύλλων. Σε χαμηλή υγρασία η φωτοσύνθεση μειώνεται όταν η θερμοκρασία στην επιφάνεια των φύλλων φτάνει τους 15°C. Σε υψηλή υγρασία αέρα δεν παρατηρείται μείωση της φωτοσύνθεσης μέχρι τους 25°C περίπου.

3.6.3 Θρεπτικά στοιχεία

Η έλλειψη των βασικών θρεπτικών στοιχείων των φυτών παρεμποδίζει το μηχανισμό της φωτοσύνθεσης. Μειωμένη διαθεσιμότητα αζώτου και μαγνησίου δυσχεραίνει το σχηματισμό της χλωροφύλλης καθώς τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν δομικά συστατικά της. Παράλληλα το άζωτο συμμετέχει στη σύνθεση των πρωτεϊνών και επηρεάζει το μέγεθος των φύλλων και τη λειτουργία των στομάτων ενώ ο σίδηρος, αν και δεν αποτελεί δομικό στοιχείο της χλωροφύλλης, συμβάλλει στο σχηματισμό της και συνεπώς η έλλειψή του επηρεάζει έμμεσα τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα του φυτού. Ανεπαρκείς, τέλος, ποσότητες φωσφόρου διαταράσσουν το σύστημα μεταφοράς ενέργειας (ADP, ATP) παρεμποδίζοντας το μηχανισμό της φωτοσύνθεσης.

3.6.4 Εσωτερικοί παράγοντες

Η δομή και η ηλικία των φύλλων, το μέγεθος, ο αριθμός και η συμπεριφορά των στομάτων καθώς και η συγκέντρωση της περιεχόμενης χλωροφύλλης επηρεάζουν τη φωτοσυνθετική απόδοση των φυτών. Αναλυτικότερα το πάχος της εφυμενίδας και της επιδερμίδας, η παρουσία

επιδερμικών τριχών, η διαμόρφωση του μεσόφυλλου καθορίζουν την ένταση του φωτός που φτάνει στους χλωροπλάστες και άρα επηρεάζουν τη φωτοσύνθεση. Η φωτοσυνθετική απόδοση των πολύ νεαρών φύλλων είναι μικρή, αυξάνει συνήθως με την αύξηση της ηλικίας τους μέχρι την πλήρη ανάπτυξή τους και στη συνέχεια προοδευτικά μειώνεται.

Το μέγεθος και η θέση των στομάτων σε συνδυασμό με την έκταση των μεσοκυττάρων χώρων επιδρούν στο ρυθμό ανταλλαγής των αερίων και συνεπώς στην ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα που φτάνει στους χλωροπλάστες.

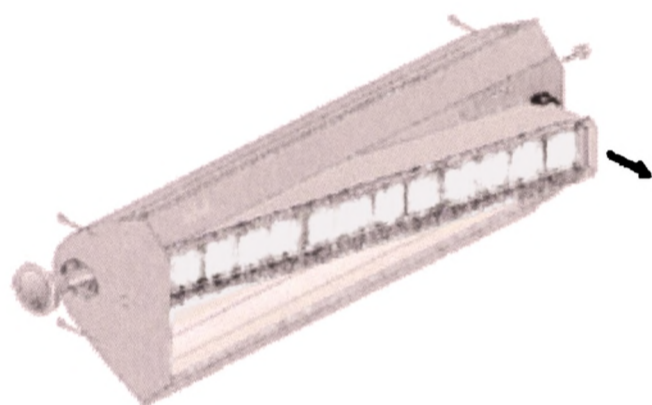
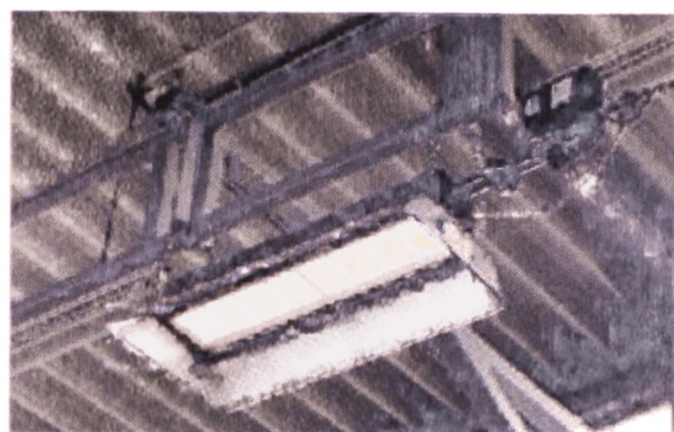
4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΕΧΟΥΝ ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Υπάρχουν συστήματα τα οποία εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία δηλαδή θερμική, ζεσταίνοντας έτσι ανθρώπους και αντικείμενα και όχι τον αέρα του χώρου καθιστώντας τα ιδανικά για μεγάλους χώρους, ημιυπαίθριους, εξωτερικούς και θερμοκήπια όπου θα ασχοληθούμε στη συγκεκριμένη περίπτωση. Έτσι τα συστήματα αυτά έχουν χαμηλότερα έξοδα λειτουργίας και ο εξοπλισμός τους είναι πιο οικονομικός σε σχέση με τα παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης θερμού αέρα όπου πρώτα ζεσταινόταν ο αέρας και αυτός με τη σειρά του ζέσταινα τα αντικείμενα με τα οποία ερχόταν σε επαφή. Τα συστήματα υπέρυθρης-θερμικής ακτινοβολίας χρησιμοποιούν αέριο ως μέσο καύσης το οποίο θεωρείται και ως καθαρή ενέργεια σε σχέση με άλλες μορφές γιατί κατά την διάρκεια της καύσης δεν αφήνει κατάλοιπα.

Από εκεί και πέρα υπάρχουν διάφοροι τρόποι παραγωγής της ακτινοβολίας αυτής. Ένας τρόπος είναι με τους καυστήρες ακτινοβολίας που είναι ένα σχετικά νέο επίτευγμα το οποίο ανήκει καθαρά στο κομμάτι της θέρμανσης με υπέρυθρη ακτινοβολία. Κάθε σύστημα ακτινοβολίας εκπέμπει ενέργεια από μία θερμαινόμενη επιφάνεια, κυρίως με την μορφή υπέρυθρης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ακριβώς όπως το φως, ταξιδεύει διαμέσου του αέρα, σε ευθείες από την ακτινοβολούσα πηγή προς όλες τις επιφάνειες και τα αντικείμενα χωρίς να θερμάνει το διάστημα. Η ενέργεια σε ακτίνες απορροφάται από τις κρύες επιφάνειες οι οποίες με τη σειρά τους θερμαίνουν τον αέρα με τον οποίο έρχονται σε επαφή. Εξαιτίας της αγωγιμότητας μεταφέρεται μέρος αυτής της θέρμανσης βαθύτερα στις επιφάνειες δημιουργώντας ένα απόθεμα θέρμανσης. Τα υλικά που θερμαίνονται από την ακτινοβολούσα θέρμανση με τη σειρά τους επανακτινοβολούν σε μακρύτερο υπέρυθρο μήκος κύματος. Η ακτινοβολούσα θερμότητα παράγει ένα θερμικά άνετο περιβάλλον σε θερμοκρασία αέρος σημαντικά μικρότερη από αυτή που απαιτείται με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης. Άρα γίνεται κατανοητό ότι εφόσον η θερμοκρασία του αέρα στην θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία είναι μικρότερη σε σχέση με τα συμβατικά μέσα θα έχουμε και λιγότερη ανάγκη ενέργειας για την τροφοδότηση του χώρου μας.

Η ουσιαστική οικονομία που προσδίνει η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι η μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά που μπορεί να έχει το φυτό από τον αέρα. Όταν η θερμοκρασία ανάμεσα στο εξωτερικό και το εσωτερικό του χώρου έχει μικρή διαφορά τότε το ποσό της μεταφοράς του αέρα διαμέσου των υλικών του θερμοκηπίου και οι απώλειες της ποσότητας αέρος που διαφεύγει είναι αντιστοίχως μικρότερη. Μικρότερες ποσότητες απώλειας θερμότητας ισοδυναμούν άμεσα με χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση. Θέτοντας την εσωτερική θερμοκρασία αέρος χαμηλότερα, κάτι το οποίο είναι πλήρως αποδεκτό σε σχέση με την θέρμανση ακτινοβολίας.

Για την θέρμανση των μεγάλων χώρων ιδανική λύση αποτελούν τα κάτοπτρα υπέρυθρης ακτινοβολίας αερίου, τα οποία προσφέρουν τοπικά, στις επιθυμητές ζώνες, άμεση θέρμανση.



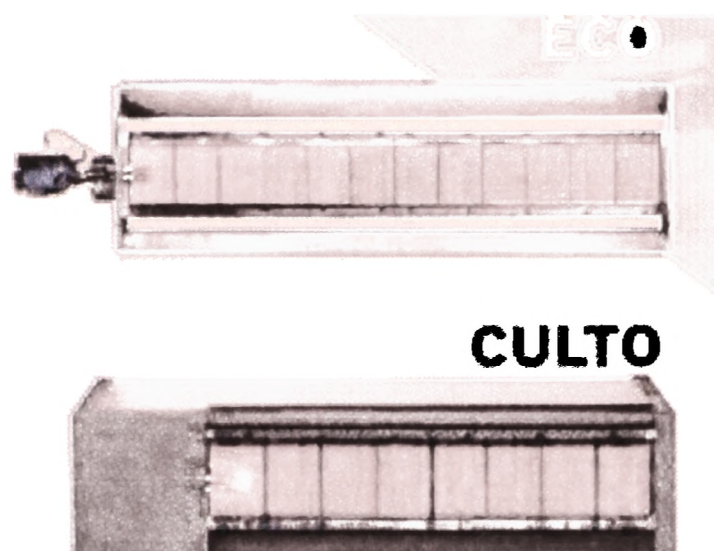
Εικόνα 11: Κάτοπτρα ακτινοβολίας

Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής και λειτουργίας τους, τα κάτοπτρα ακτινοβολίας χωρίζονται σε δυο τύπους: **τα ανοικτού και τα κλειστού τύπου.**

Τα κάτοπτρα αερίου ανοικτού τύπου, αποτελούνται από μια κεραμική πλάκα και ένα ατμοσφαιρικό καυστήρα. Πάνω στην πλάκα πραγματοποιείται η καύση του αερίου ενώ περιμετρικά της πλάκας υπάρχουν ανακλαστήρες. Στην επιφάνεια της κεραμικής πλάκας αναπτύσσονται λόγω της καύσης υψηλές θερμοκρασίες και με αυτόν τον τρόπο η πλάκα ακτινοβολεί θερμότητα. Σε αντίθεση με τα συμβατικά κεντρικά συστήματα θέρμανσης, τα κάτοπτρα υπέρυθρης ακτινοβολίας μεταφέρουν ενέργεια αντί για θερμότητα. Η ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα μόλις έρθει σε επαφή με τα αντικείμενα που υπάρχουν μέσα στο χώρο. Δεν υπάρχουν απώλειες λόγω κακής διανομής θερμότητας και συνεπώς επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας έως και 50%.

Τα κεραμικά κάτοπτρα προσφέρουν το «φυσικότερο τρόπο θέρμανσης μετά τον ήλιο» με ασφάλεια και οικονομία. Κατασκευάζονται σε διάφορους τύπους ανάλογα με το χώρο που θέλουμε να θερμάνουμε. Για παράδειγμα αν είναι εσωτερικός χώρος ή εξωτερικός αν θα είναι

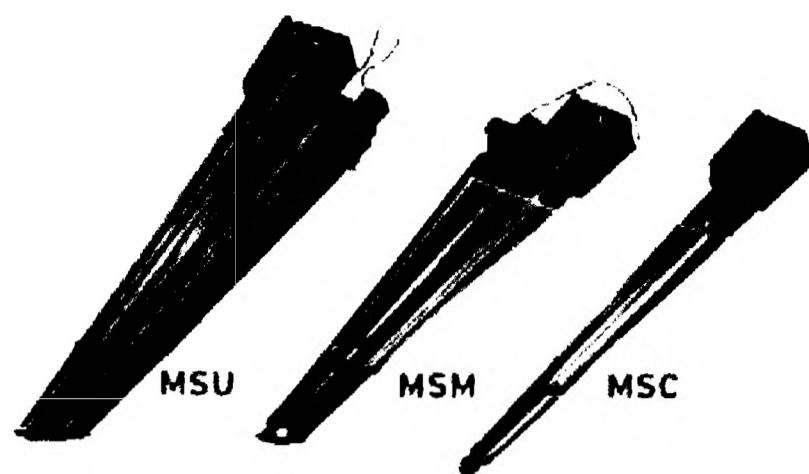
μόνιμη εγκατάσταση ή κινητή. Χάρη στη μέθοδο των κυψελοειδών κεραμικών πλακών επιτυγχάνονται κατά τη διαδικασία της καύσης εντυπωσιακά αποτελέσματα. Η καύση του μίγματος πραγματοποιείται στο εσωτερικό των κεραμικών κυψελίδων, θερμαίνοντας την επιφάνειά τους περίπου στους 900°C. Η κατασκευαστική ιδιομορφία των κεραμικών κυψελών του κατόπτρου εγγυάται μια καθαρή καύση χωρίς κατάλοιπα με την απουσία CO και σε πολύ χαμηλά επίπεδα την τιμή του NOx (πολύ κάτω από τα επιτρεπτά όρια).



Εικόνα 12: Κεραμικά κάτοπτρα

Κατά την καύση, τα καυσαέρια διοχετεύονται περιμετρικά του καυστήρα πραγματοποιώντας μια ανταλλαγή της θερμότητας μεταξύ των καυσαερίων, των τοιχωμάτων του χώρου καύσης και του καυσίμου μίγματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να έχουμε λιγότερες απώλειες θερμότητας καθώς τα καυσαέρια θερμαίνουν και αυτά το χώρο καύσης αντί να χάνονται στον εξωτερικό χώρο.

Τα σωληνωτά κάτοπτρα κατασκευάζονται και αυτά σε διαφορετικούς τύπους. Όπως και παραπάνω σε κάτοπτρα για εξωτερικούς χώρους ή εσωτερικούς. Ακόμα μεγάλο ρόλο για το είδος του κατόπτρου που θα χρησιμοποιήσουμε παίζει και το ύψος που θα εγκατασταθεί. Για παράδειγμα υπάρχουν σωληνωτά κάτοπτρα με μονό ανακλαστήρα ακτινοβολίας και είναι κατάλληλα για θέρμανση εξωτερικών και εσωτερικών χώρων μεγάλου ύψους. Ο καυστήρας των σωληνωτών κατόπτρων είναι ανοξείδωτος με ξεχωριστό χώρο καύσης, διαρκή και μόνιμο έλεγχο της πίεσης, με αυτόματη και ομαλή έναυση, με ηλεκτρονικό επιτηρητή φλόγας και ξεχωριστό ανεμιστήρα καυσαερίων.



Εικόνα 13: Σωληνωτά Κάτοπτρα

Τα κάτοπτρα κλειστού θαλάμου αποτελούνται από σωλήνα ακτινοβολίας και από ένα πιεστικό καυστήρα. Κατά την καύση, τα καυσαέρια οδηγούνται μέσα στο σωλήνα, ο οποίος διαχέει ακτινοβολία στο χώρο και στη συνέχεια καταλήγουν σε καπναγωγό προς το ύπαιθρο. Επομένως, τα κλειστού θαλάμου κάτοπτρα μπορούν να τοποθετηθούν σε εσωτερικούς χώρους. Ο σωλήνας ακτινοβολίας έχει ειδική επεξεργασία που εξασφαλίζει υψηλά χαρακτηριστικά απορρόφησης στο εσωτερικό και ακτινοβολίας στην εξωτερική επιφάνεια. Πλευρικές επιφάνειες στα άκρα των ανακλαστήρων με υψηλές ιδιότητες ανάκλασης κατευθύνουν τις ακτίνες κατευθείαν στις κατειλημμένες περιοχές του χώρου.



Εικόνα 14: Κατανομή υπέρυθρης ακτινοβολίας σε χώρο

Η απόδοση των κατόπτρων ακτινοβολίας είναι ιδιαίτερα υψηλή, και αυτό επιτυγχάνεται με το συνδυασμό της ακτινοβολίας από την πλάκα του κατόπτρου και της δευτερεύουσας ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την επιφάνεια των ανακλαστήρων. Η επιπλέον ενέργεια που κερδίζουμε από τον ανακλαστήρα μετατρέπεται στην συνέχεια σε ακτινοβολούμενη θερμότητα. Η θερμότητα από τα καυσαέρια χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του μίγματος αέρα-αερίου.

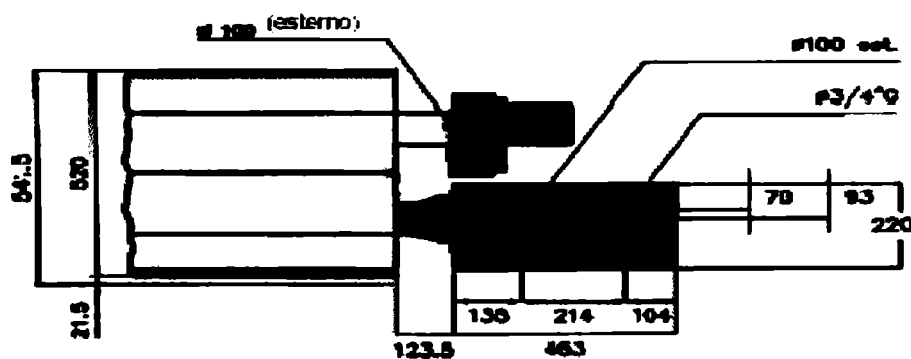
Με αυτόν τον τρόπο έχουμε εξοικονόμηση στην κατανάλωση του αερίου για ισοδύναμη ποσότητα ακτινοβολούμενης ενέργειας. Επιπλέον, τα κάτοπτρα ακτινοβολίας δεν έχουν κινούμενα μέρη και αυτό εξασφαλίζει υψηλό επίπεδο λειτουργίας και μεγάλη διάρκεια ζωής.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των κατόπτρων υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι :

- Δυνατότητα θέρμανσης συγκεκριμένων ζωνών
- Η ζέστη κατευθύνεται στο δάπεδο
- Δεν υπάρχουν ρεύματα αέρα
- Δεν αιωρείται σκόνη
- Πιο υγιεινό περιβάλλον εργασίας
- Δεν απαιτείται λεβητοστάσιο
- Μικρότερη θερμική αδράνεια του συστήματος
- Διαφορετικές ζώνες μπορεί να θερμανθούν σε διαφορετικές θερμοκρασίες
- Ελάχιστη συντήρηση
- Μεγάλη Απόδοση

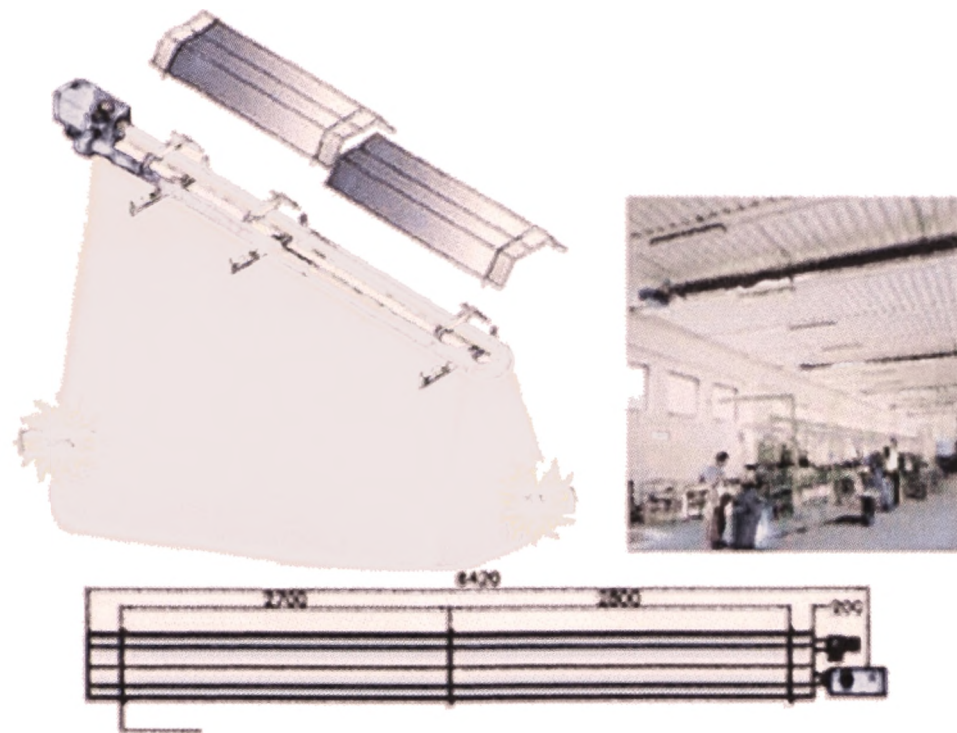
Η επένδυση αποσβένεται, λόγω χαμηλής κατανάλωσης σε 2 με 4 χρόνια

Σε μεγάλους χώρους με ύψος πάνω από 7m, η ιδανική λύση είναι η τοποθέτηση κατόπτρων τύπου σωλήνα. Συνήθως παραδίδονται με καυστήρες ισχύος 28 η 45KW και σωλήνες ακτινοβολίας τύπου U, που ξεκινούν από τον καυστήρα, κάνουν μια καμπύλη 180 μοιρών και επιστρέφουν στον ανεμιστήρα αναρρόφησης κοντά στον καυστήρα για να αποβάλλουν τα προϊόντα της καύσης. Τα αέρια της καύσης θερμαίνουν τους σωλήνες διάταξης U εκλύεται υπέρυθρη ακτινοβολία που θερμαίνει το περιβάλλον.



Εικόνα 15: Καυστήρας

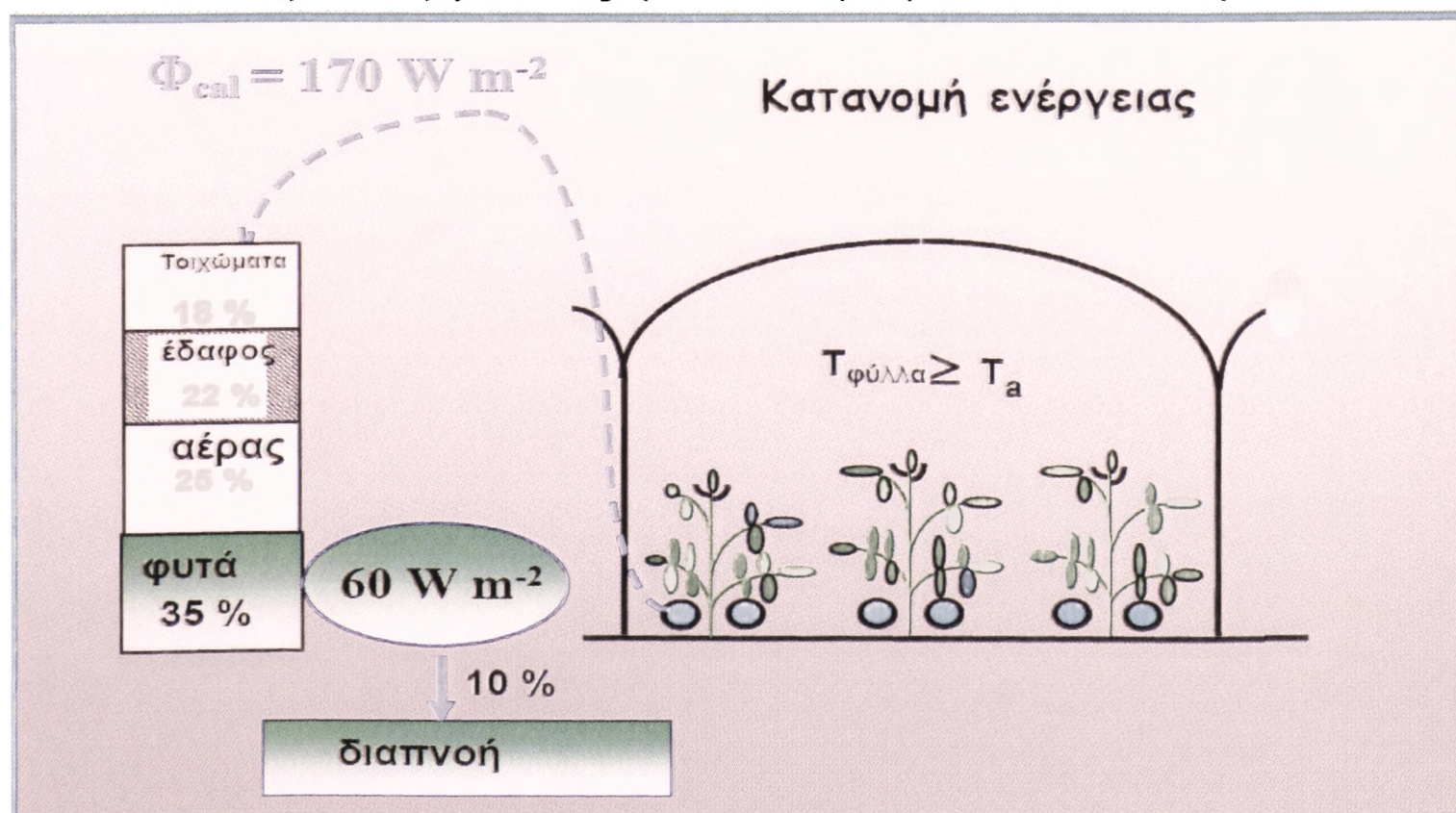
Παρέχονται επίσης γραμμικά κάτοπτρα ακτινοβολίας, που ονομάζονται μονά κάτοπτρα ακτινοβολίας με τον καυστήρα και τον απαγωγέα στα δύο αντίθετα άκρα. Αυτά τα κάτοπτρα χρησιμοποιούνται ειδικά σε βιομηχανικές και γεωργικές εφαρμογές σε μήκος από 9 ως 24m. Σε όλες τις περιπτώσεις το κύκλωμα καυσαερίων λειτουργεί σε υποπίεση και έτσι εξασφαλίζεται απόλυτη ασφάλεια όσον αφορά κίνδυνο διαφυγής στο περιβάλλον εργασίας.



Εικόνα 16: Υπέρυθρη ακτινοβολία σε εργοστάσιο

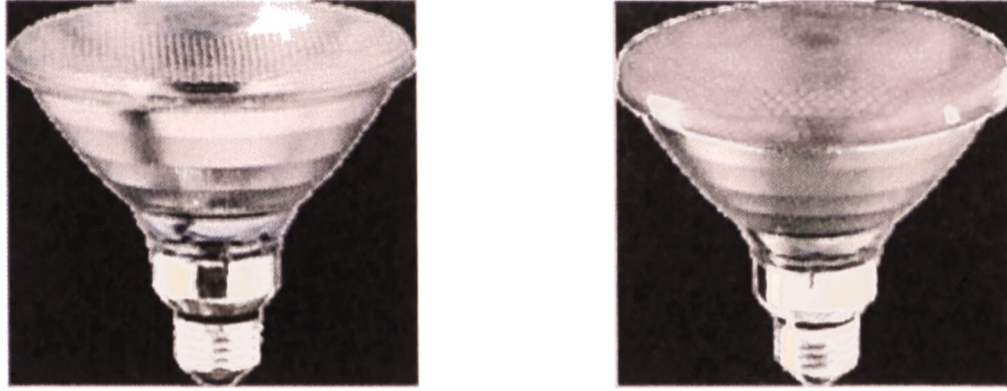
Κατά κανόνα, με τη λειτουργία αυτών των συστημάτων η θερμοκρασία των φύλλων είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα. Το έδαφος έχει συνήθως υψηλότερη θερμοκρασία από τη συνήθη στην περίπτωση που δεν σκιάζεται από τα φύλλα. Διαφορετικά ενδέχεται να είναι χαμηλότερη από την επιθυμητή. Είναι επίσης κατανοητό ότι οι πηγές θέρμανσης δεν πρέπει να είναι κοντά στα φυτά για να μην δημιουργούν πρόβλημα υπερθέρμανσής τους.

**Εναέριοι σωλήνες
Σύστημα θέρμανσης με συναγωγή και ακτινοβολία**



Εικόνα 17: Ενεργειακές απώλειες θερμοκηπίου

Ένας άλλος τρόπος παραγωγής υπέρυθρης ακτινοβολίας ο οποίος όμως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλα θερμοκήπια είναι οι λαμπτήρες υπέρυθρης θέρμανσης. Συνήθως χρησιμοποιούνται για ιατρικούς λόγους αλλά και σε μικρούς χώρους για να τους θερμάνουν.



Εικόνα 18: Λαμπτήρες υπέρυθρης θέρμανσης

Ωστόσο στη δικιά μας μελέτη θα επικεντρωθούμε στα κεραμικά κάτοπτρα παραγωγής υπέρυθρης ακτινοβολίας και στα ηλεκτρικά κάτοπτρα.. και στην ενεργειακή διαφορά τους από ένα συμβατικό τρόπο θέρμανσης θερμοκηπίου.

5. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στον παρών κεφάλαιο θα γίνει μια τεχνική περιγραφή του θερμοκηπίου για να παρουσιαστούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του και θα δοθεί αναλυτικά η θεωρία πάνω στην οποία στηριχθήκαμε για να μοντελοποιήσουμε το σύστημά μας. Έπειτα θα παρουσιαστούν με διαγράμματα οι ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου

5.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά θερμοκηπίου

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε ένα πειραματικό θερμοκήπιο με σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να παρέχει τη βέλτιστη δυνατή απόδοση. Το θερμοκήπιο αυτό είναι “MULTISPAN”, ένα τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο προηγμένης τεχνολογίας, αποτέλεσμα επιστημονικού σχεδιασμού, κατασκευασμένο με υλικά υψηλής ποιότητας. Ο σκελετός αποτελείται από χαλύβδινα κατασκευαστικά στοιχεία, διαφόρων διατομών σύμφωνα με Ευρωπαϊκές προδιαγραφές.

Η κατασκευή του σκελετού των θερμοκηπίων πληροί τις προδιαγραφές του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων. Ο σχεδιασμός του σκελετού λαμβάνει υπ' όψιν τα διάφορα μόνιμα, πρόσθετα φορτία έτσι ώστε το θερμοκήπιο να διαθέτει την απαιτούμενη στατική αντοχή επιτρέποντας την μέγιστη δυνατή περατότητα του ηλιακού φωτός.

Οι διαστάσεις του θερμοκηπίου είναι :

- ❖ Πλάτος: 9.60 m
- ❖ Μήκος : 12,0 m
- ❖ Ύψος υδρορροής : 4 m
- ❖ Συνολικό ύψος : 6,5 m
- ❖ Επιφάνεια καλύμματος: 297.14 m²
- ❖ Επιφάνεια θερμοκηπίου 115,2 m²
- ❖ Όγκος θερμοκηπίου : 665.9 m³
- ❖ Συντελεστής θερμοαγωγιμότητας $K= 5,9 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Κάλυψη οροφής

Στη συγκεκριμένη θερμοκηπιακή μονάδα η κάλυψη της οροφής έγινε από διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου(PE) το οποίο είναι ελαστικότερο από οποιοδήποτε άλλο είδος κάλυψης με αποτέλεσμα όλη η κατασκευή να μπορεί να αντέξει σε μεγάλες καταπονήσεις. Το στρώμα αέρος που δημιουργείται με την βοήθεια αεραντλιών ανάμεσα στα δύο φύλλα πολυαιθυλενίου αυξάνει την θερμομονωτικότητα του θερμοκηπίου και μειώνει το πρόβλημα της έντονης συμπύκνωσης των υδρατμών, με την παρεμβολή του στρώματος του αέρος ανάμεσα στο εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου και στο περιβάλλον.

Το φιλμ πολυαιθυλενίου είναι μακράς διάρκειας, κατασκευασμένο με την μέθοδο των τριών στρώσεων, όπου επιτυγχάνουμε καλύτερη θερμομόνωση και καλύτερη διάχυση του φωτός.

Φυσικές ιδιότητες φιλμ PE:

- ❖ Ειδικό βάρος: **0,92 gr/cm³**
- ❖ Πάχος: **180 μm**
- ❖ Περαιτότητα στη ηλιακή ακτινοβολία: **88 %**
- ❖ Ανώτατη θερμοκρασία αντοχής: **+90 °C**
- ❖ Κατώτατη θερμοκρασία αντοχής: **-40 °C**
- ❖ Επιμήκυνση: **500 %**
- ❖ Διάρκεια ζωής: **4 καλλιεργητικές περιόδους**

Κάλυψη προσόψεων & πλαϊνών πλευρών

Η κάλυψη προσόψεων και πλαϊνών έγινε με **φύλλα σκληρού πολυκαρβονικού πλαστικού**. Τα φύλλα αυτά είναι ανθεκτικά στα χημικά, οξέα, απορρυπαντικά αλλά και στο αλάτι, τον θαλασσινό αέρα και την μόλυνση. Δεν είναι εύφλεκτα. Αντέχουν στην κρούση με χαλάζι διαμέτρου 20mm με ταχύτητα 80 km/h. Διατηρούν τις μηχανικές τους ιδιότητες για 15 τουλάχιστον χρόνια με εγγύηση της κατασκευάστριας εταιρίας.

Φυσικές ιδιότητες:

- ❖ Ειδικό βάρος: **1,6 kgr/m²**
- ❖ Πάχος: **1,0 mm**
- ❖ Περαιτότητα στη ηλιακή ακτινοβολία: **≥89 %**
- ❖ Ανώτατη θερμοκρασία αντοχής: **120 °C**
- ❖ Κατώτατη θερμοκρασία αντοχής: **-30 °C**

Οι προσόψεις και οι πλαϊνές πλευρές θα είναι καλυμμένες με **φύλλα σκληρού πολυκαρβονικού πλαστικού**.

Είσοδος Θερμοκηπίου

Η πρόσβαση γίνεται από μία (1) πόρτα 2,50m x 2,50m με κάλυψη από πολυκαρβονικό.



Εικόνα 19 : θερμοκήπιο τύπου multi-span

Φυσικός Αερισμός

Ο φυσικός αερισμός πραγματοποιείται με τη δημιουργία δύο (2) παραθύρων οροφής τύπου πεταλούδας και δύο (2) πλαϊνών παραθύρων με κάλυψη από φύλλα σκληρού πολυκαρβονικού πλαστικού, τα οποία ανοιγοκλείνουν αυτόματα.

5.2 Προσαγωγή θερμότητας στο θερμοκήπιο

Η προσαγωγή της θερμότητας στο θερμοκήπιο οφείλεται σε πολλούς παράγοντες. Αναλυτικά αυτοί είναι:

1) Η ηλιακή ακτινοβολία, η οποία χωρίζεται στην άμεση και διάχυτη .

Αποτελεί την κύρια πηγή θερμότητας του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Η θερμότητα αυτή δίνεται από τον τύπο:

$$q_1 = \alpha * T * I$$

Εξίσωση 1: Προσφορά ηλιακής ακτινοβολίας

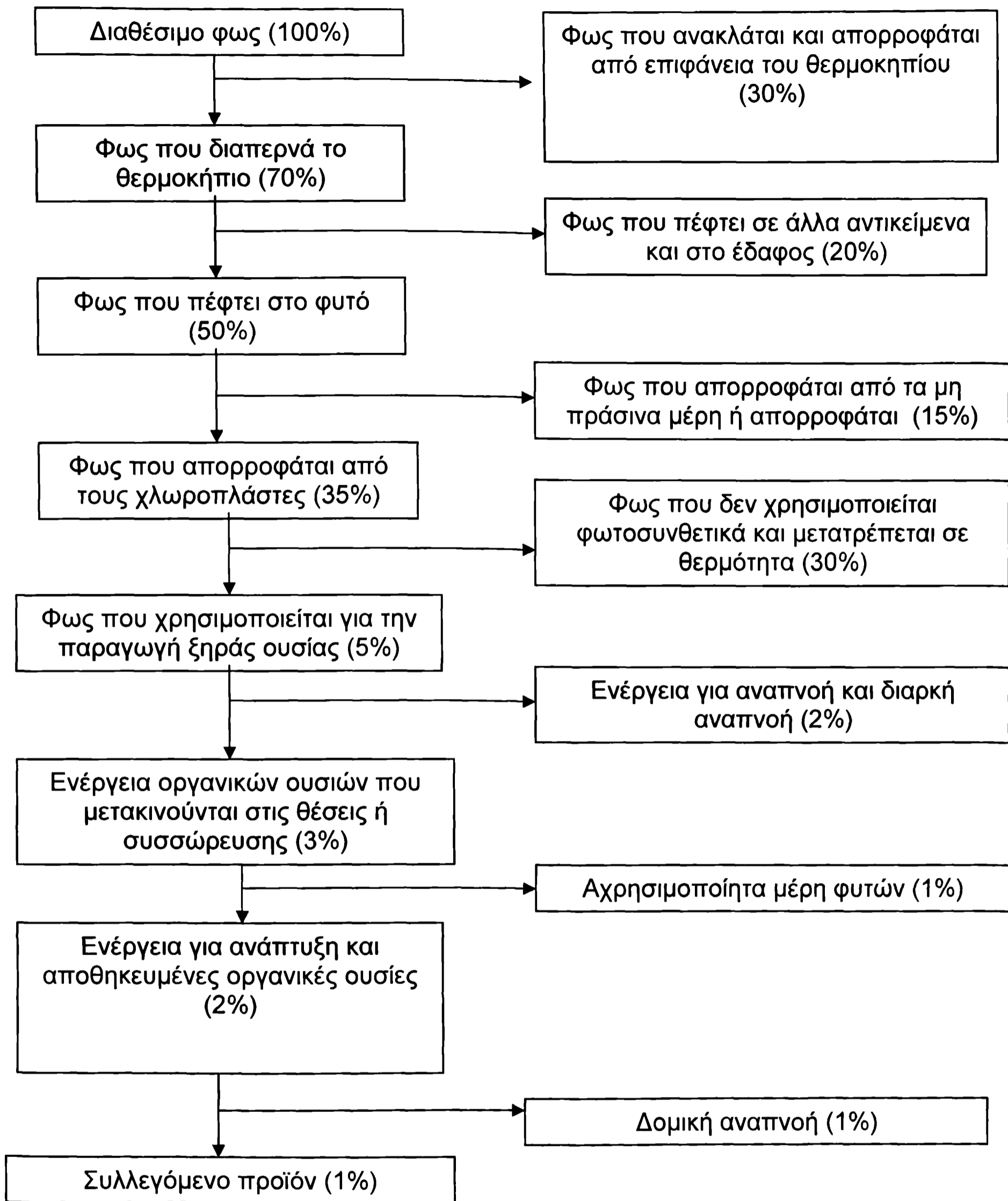
- ❖ α η επιφάνεια του θερμοκηπίου σε m^2
- ❖ T το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνά τη διαφανή κάλυψη του θερμοκηπίου
- ❖ I η ένταση της ακτινοβολίας σε $Kcal/h m^2$

Από το συνολικό διαθέσιμο ηλιακό φως δεν περνάει τελικά όλο στο εσωτερικό του θερμοκηπίου όπως επίσης και δεν απορροφάται το 100% από τα φυτά. Μόνο ένα ποσοστό της τάξης του 30% τελικά είναι αυτό που θερμαίνει ουσιαστικά το θερμοκήπιο, καθώς σύμφωνα με τον S.Warren Wilson,1979, η ηλιακή ενέργεια ακολουθεί μια πορεία μέσα στο θερμοκήπιο που φαίνεται στην εικόνα 20

2) Η θερμότητα q_2 η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης. Θεωρείται όμως αμελητέα, γιατί αντιπροσωπεύει το 0,02% των απαιτήσεων του θερμοκηπίου σε θέρμανση.

3) Η θερμότητα q_3 που οφείλεται στην αναπνοή των φυτών. Και αυτή αμελείται στους υπολογισμούς καθώς αντιπροσωπεύει το 0,3-0,4% της θερμότητας, που προστίθεται στο θερμοκήπιο λόγω ηλιακής ακτινοβολίας.

4) Η θερμότητα q_4 που οφείλεται στα θερμαντικά μέσα όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από την επιθυμητή (σύστημα θέρμανσης).



Εικόνα 20 : Ροή ηλιακής ακτινοβολίας μέσα σ' ένα θερμοκήπιο

Από την παραπάνω εικόνα βλέπουμε την ροή της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στο θερμοκήπιο. Έτσι, ουσιαστικά το συνολικό κέρδος της ηλιακής ακτινοβολίας θα δίνεται από τον τύπο :

$$Q_{\text{κερδών}} = q_i * 30\%$$

Εξίσωση 2 : Κέρδη ηλιακής ακτινοβολίας

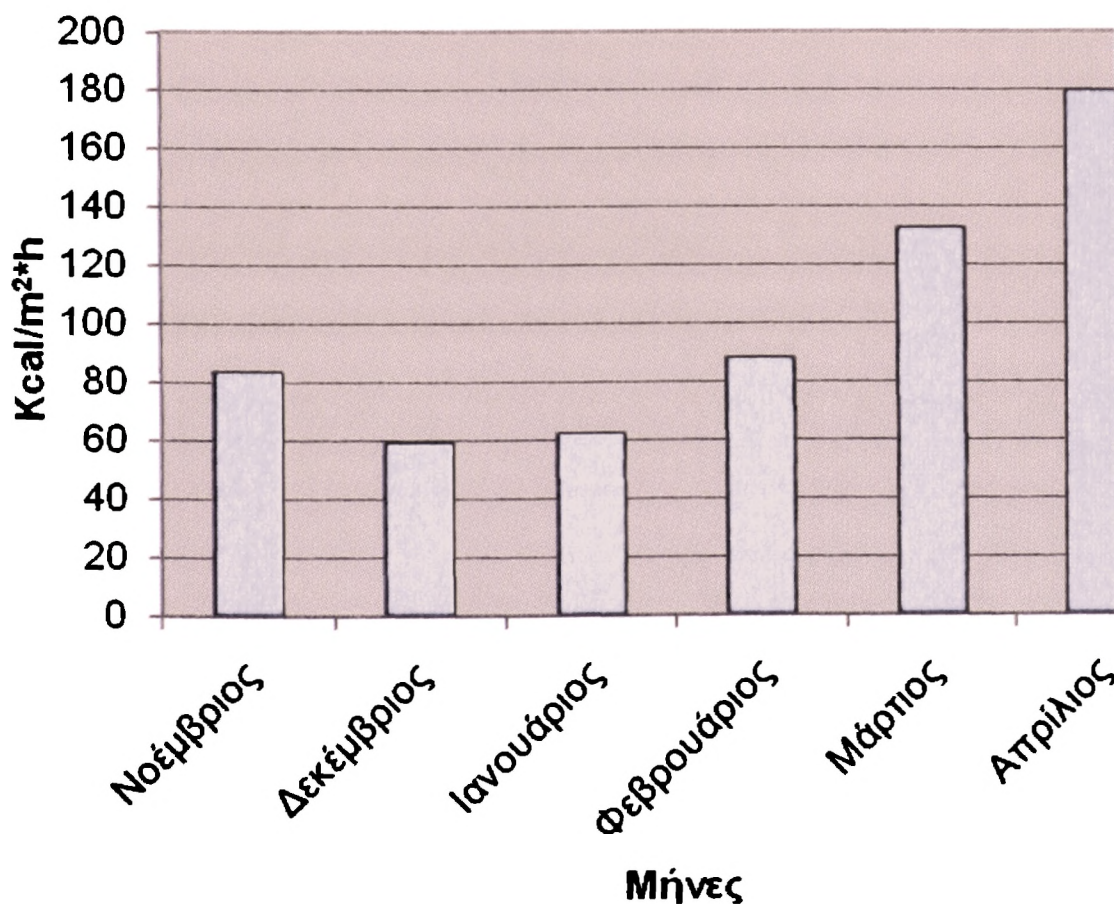
Παρακάτω παρουσιάζεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για την μέση μέρα τους κρύους μήνες όπου η θέρμανση του θερμοκηπίου είναι επιτακτική.

Τα συνολικά αποτελέσματα για τη μέση μέρα παρουσιάζονται αναλυτικά σε (kcal/h).

Μήνας	Μέση ημέρα μήνα n	MJ/m ² day	Kcal/m ² *h
Νοέμβριος	318	8,4	83,16
Δεκέμβριος	344	5,9226	58,63374
Ιανουάριος	17	6,271	62,0829
Φεβρουάριος	47	8,871	87,8229
Μάρτιος	75	13,355	132,2145
Απρίλιος	105	18,12	179,388

Πίνακας 1: Ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας τους κρύους μήνες

Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας



Διάγραμμα 1 : Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας τους κρύους μήνες

Οι ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας καλύπτονται από την ηλιακή ακτινοβολία, οι ενεργειακές ανάγκες προκύπτουν τις νυχτερινές ώρες και οι

ενεργειακές απαιτήσεις σε αυτό το διάστημα γίνονται μέγιστες. Για αυτό το λόγω δημιουργήσαμε ένα μαθηματικό μοντέλο για να τις υπολογίσουμε

5.3 Απώλειες θερμότητας στο θερμοκήπιο

Όταν ο εξωτερικός αέρας έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από τον αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου τότε προκαλούνται απώλειες θερμότητας. Αυτές διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

A) Απώλειες θερμότητας λόγω της μετακίνησης αέρα από και προς το θερμοκήπιο.

Η μετακίνηση αυτή οφείλεται τόσο στις τυχόν κατασκευαστικές ατέλειες του θερμοκηπίου, όσο και στον απαιτούμενο εξαερισμό μέσω των παραθύρων. Η εναλλαγή αυτή του αέρα προκαλεί σοβαρές απώλειες θερμότητας.

Η ανταλλασσόμενη θερμότητα Q_1 προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$Q_1 = m * (H_i - H_e)$$

Εξίσωση 3: Απώλειες θερμότητας λόγω αερισμού

όπου:

- ❖ m η μάζα αέρα που εναλλάσσεται σε Kg
- ❖ H_i η ενθαλπία του εσωτερικού αέρα σε KWh/kg
- ❖ H_e η ενθαλπία του εξωτερικού αέρα σε KWh/kg

Η θερμότητα Q_1 που χάνεται με τις εναλλαγές του αέρα δίνεται από τον τύπο:

$$Q_1 = m * c_p (t_1 - t_2)$$

Εξίσωση 4: Απώλεια θερμότητας λόγω εναλλαγής του αέρα

όπου $(t_1 - t_2)$ η διαφορά θερμοκρασίας εισερχόμενου και εξερχόμενου αέρα. Βάζοντας τις συνήθεις τιμές των $c_p=0,24\text{kcal/kg}^\circ\text{C}$ και $P=1,3 \text{ kg/m}^3$ η θερμότητα Q_1 εκφράζεται από τον τύπο:

$$Q_1 = 0,31 * n * V_{\Theta} * (t_{air} - t_{out}) \text{ kcal / h}$$

Εξίσωση 5: Τελικός τύπος απώλειας θερμότητας λόγω αερισμού

Ο αριθμός, n, εναλλαγών αέρα ανά ώρα παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

- n=0,8-1 για νέα κατασκευή-γυαλί
- n=0,8-2,5 για νέα κατασκευή-απλό πλαστικό
- n=0,6-1,2 για νέα κατασκευή-διπλό πλαστικό
- n=1,5 για παλιά κατασκευή-γυαλί (καλή συντήρηση)
- n=2,5 για παλιά κατασκευή-γυαλί (κακή συντήρηση)
- n=50 για ανοικτό θερμοκήπιο

Στη περίπτωση που εξετάζουμε επειδή έχουμε νέα κατασκευή θεωρούμε n= 1

B) Απώλειες θερμότητας λόγω αγωγιμότητας από τα διαφανή μέρη του θερμοκηπίου.

Για να πραγματοποιηθεί η φωτοσύνθεση των φυτών είναι απαραίτητο να υπάρχει φως. Για αυτό τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων είναι διαφανή, ώστε να μπορεί να περάσει μέσα από αυτά η ηλιακή ακτινοβολία. Όμως τα υλικά κάλυψης έχουν μικρό πάχος και συνεπώς μικρή θερμική μόνωση με αποτέλεσμα ,όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή ,η ροή θερμότητας προς τα έξω να είναι μεγάλη. Οι απώλειες αυτές γίνονται κυρίως με αγωγιμότητα από τα διαφανή μέρη και δίνονται από τον τύπο του Gray:

$$Q_2 = K * S * \Delta t \text{ kcal / h}$$

Εξίσωση 6: Απώλειες θερμότητας από την επιφάνεια του θερμοκηπίου

- K ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του υλικού κάλυψης σε kcal m⁻² h⁻¹ ° C⁻¹
- S Η επιφάνεια του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου σε m²
- Δt η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο σε ° C

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας του υλικού κατασκευής του θερμοκηπίου είναι

- K= 5,9 W/m²*K=5,07 kcal/m²*h*°C, αφού 1cal=4,18J και 1W=1J/sec.

Γ) Απώλειες θερμότητας με αγωγιμότητα από το έδαφος.

Στο χώρο του θερμοκηπίου παρατηρείται ροή ενέργειας προς το έδαφος, η οποία στο κεντρικό τμήμα του οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας εδάφους-αέρα του εσωτερικού του θερμοκηπίου, ενώ περιμετρικά οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους μέσα και έξω από το θερμοκήπιο. Ο τύπος που δίνει τις απώλειες αυτές είναι ο ακόλουθος:

$$Q_3 = K_{\text{εδάφους}} * S_{\text{εδάφους}} * \Delta t \text{ kcal / h}$$

Εξίσωση 7: Απώλειες θερμότητας προς το έδαφος

- $K_{\text{εδ}}$: Ο συντελεστής θερμοαγωγιμότητας του εδάφους ο οποίος για ένα μέσο γεωργικό έδαφος ισούται με $1,6 \text{ kcal m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.
- $S_{\text{εδ}}$: Η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου σε m^2 .
- Δt : Η διαφορά θερμοκρασίας αέρα-εδάφους στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε βαθμούς Κελσίου.

Στα μεγάλα συγκροτήματα, όπως και στην συγκεκριμένη εγκατάσταση, θεωρείται ότι οι απώλειες είναι ομοιόμορφες σε όλη την επιφάνεια του εδάφους. Η θερμοκρασία όμως του εδάφους και η ροή θερμότητας προς αυτό είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστούν και γι' αυτό στην πράξη σαν Δt στον παραπάνω τύπο λαμβάνεται η διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα.

Δ) Απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος των φυτών και του εδάφους.

Κάθε σώμα στη γη εκπέμπει θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (3,5-100m). Τέτοιου είδους ακτινοβολία εκπέμπεται και από τα καλλιεργούμενα φυτά και το έδαφος ενός θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται απώλειες θερμότητας. Αυτές δίνονται από τον εξής τύπο:

$$Q_4 = \sigma * P * F * S_{\text{εδάφους}} (\epsilon_f * T_{\text{air}}^4 - \epsilon_a * T_{\text{out}}^4)$$

Εξίσωση 8: Απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας των φυτών και του εδάφους

- σ η σταθερά Stefan-Boltzmann σε $\text{kWh} * \text{m}^{-2} * \text{K}$.
- P το ποσοστό περατότητας του καλύμματος στην ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, που εκπέμπουν τα φυτά και το έδαφος.
- F το ποσοστό της επιφάνειας του καλύμματος που δεν καλύπτεται από συμπυκνωμένους υδρατμούς.
- $S_{\text{εδ}}$ η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου σε m^2 .

- E_f η εκπεμπτικότητα του εδάφους και των φυτών του θερμοκηπίου.
- E_a η εκπεμπτικότητα της ατμόσφαιρας.
- T_{air} η απόλυτη θερμοκρασία στο χώρο του θερμοκηπίου σε Κ.
- T_{out} η θερμοκρασία του ουρανού σε Κ.

Η εκπεμπτικότητα των φυτών και του εδάφους παίρνει συνήθως την τιμή 0,9. Η εκπεμπτικότητα του ουρανού λαμβάνεται 0,73-0,8 για καθαρές νύχτες και 1 για πλήρη συννεφιά.

Το ποσοστό περατότητας P της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος από το κάλυμμα του θερμοκηπίου, διαφέρει για τα διάφορα υλικά κάλυψης.

Στην πράξη θεωρείται ότι οι απώλειες θερμότητας λόγω της ακτινοβολίας των φυτών και του εδάφους αντιπροσωπεύουν, για τις ελληνικές συνθήκες, το 25% του αθροίσματος των άλλων απωλειών του θερμοκηπίου και δίνονται από τον τύπο:

$$Q_4 = 25\% * (Q_1 + Q_2 + Q_3)$$

Εξίσωση 9: Απλοποιημένη εκδοχή της απώλειας θερμότητας λόγω ακτινοβολίας φυτών και εδάφους.

Για μεγαλύτερη ευκολία στους υπολογισμούς θα χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση 9. Στο διάγραμμα 2 όμως γίνεται σύγκριση των 2 εξισώσεων για τις απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας και συγκρίνονται τα αποτελέσματα.



Διάγραμμα 2: Απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας των φυτών και του εδάφους

Από το διάγραμμα 2 παρατηρούμε ότι οι αποκλείσεις είναι αρκετά μικρές και κυμαίνονται περίπου στο 0,15%, άρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση 9 για λόγους απλοποίησης.

E) Απώλειες θερμότητας λόγω της διαπνοής των φυτών και της εξάτμισης του νερού από το έδαφος.

Οι απώλειες αυτές είναι μεγάλες, κυρίως τις ημέρες με ισχυρή ηλιοφάνεια ενώ κατά τη νύχτα είναι σχεδόν ανύπαρκτες. Έχει υπολογιστεί, ότι από την ακτινοβολία που εισέρχεται τελικά στο θερμοκήπιο, ένα ποσοστό της τάξης του 70% καταναλώνεται για εξάτμιση και διαπνοή και απλή εξάτμιση.

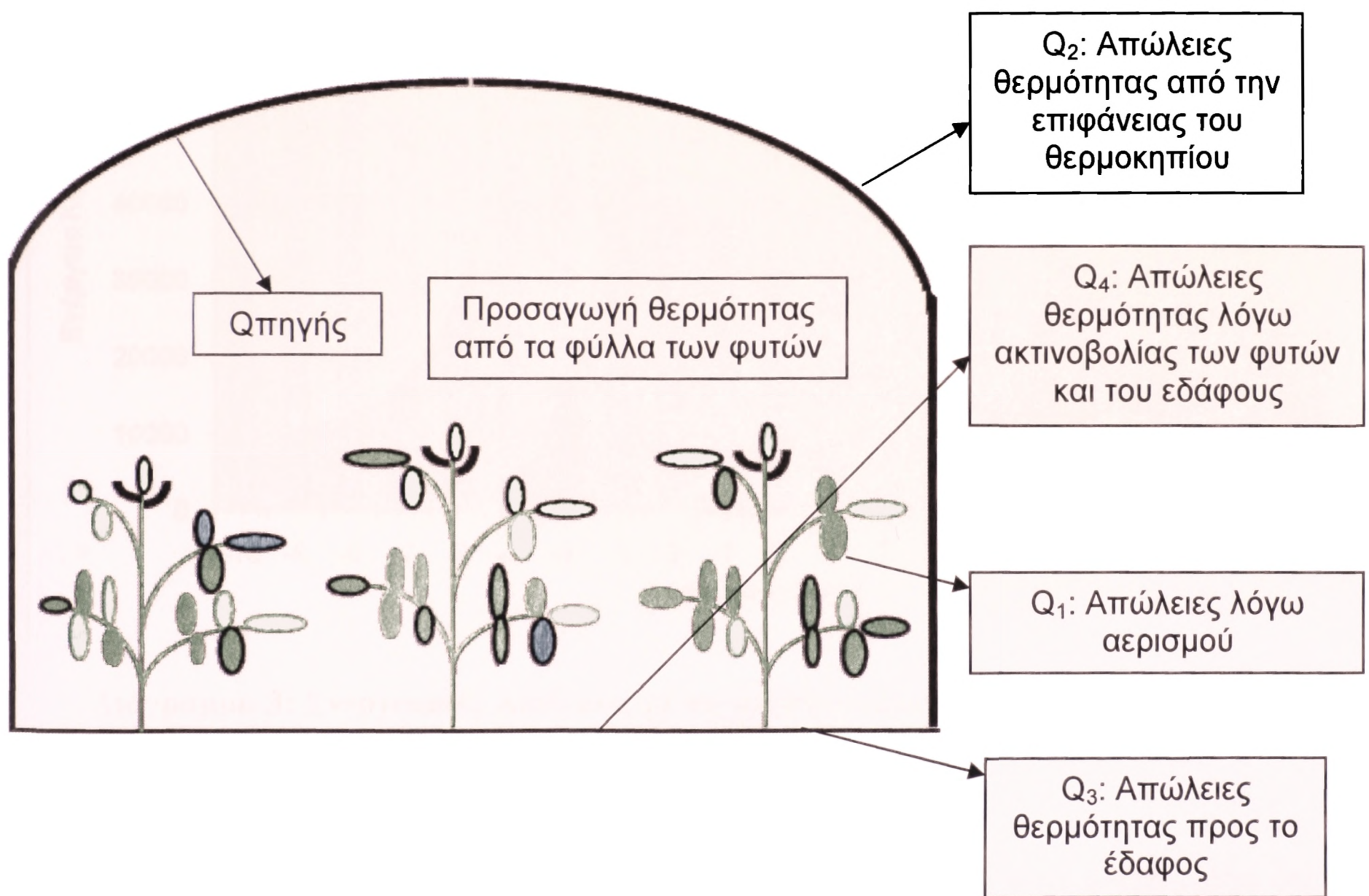
ΣΤ) Απώλειες θερμότητας λόγω φωτοσύνθεσης φυτών.

Οι απώλειες αυτές είναι πολύ μικρές συγκριτικά με τις άλλες απώλειες του θερμοκηπίου και για το λόγο αυτό συνήθως παραλείπονται στους υπολογισμούς, καθώς έχει βρεθεί ότι από την εισερχόμενη στο θερμοκήπιο ακτινοβολία ένα ποσοστό της τάξης του 1% χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση των φυτών.

Z) Απώλειες θερμότητας λόγω συμπύκνωσης των υδρατμών στο κάλυμμα του θερμοκηπίου.

Οι απώλειες αυτές είναι πολύ μικρές και θεωρούνται αμελητέες.

Εν συνεχεία θα προβούμε στον υπολογισμό της ενεργειακής απαίτησης του θερμοκηπίου για δύο περιπτώσεις. Πρώτα για τη χρήση συμβατικών τρόπων θέρμανσης όπως το αερόθερμο και έπειτα για τη χρήση υπέρυθρης θέρμανσης η οποία μπορεί να επιτευχθεί με ένα κεραμικό ή σωληνωτό κάτοπτρο.



Εικόνα 21: Ενεργειακό Ισοζύγιο στο θερμοκήπιο

Στην πρώτη περίπτωση το ισοζύγιο ενέργειας στο θερμοκήπιο δίνεται από τον τύπο:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = Q_{πηγής} + h * A * \Delta\theta$$

Εξίσωση 10: Ισοζύγιο στο θερμοκήπιο

Με βάση την παραπάνω σχέση λύνουμε ως προς το $Q_{πηγής}$. Είναι μια εξίσωση πρώτου βαθμού μ' ένα άγνωστο καθώς το $\Delta\theta=0$ γιατί η θερμοκρασία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο είναι ίση με τη θερμοκρασία των φυτών. Οι υπολογισμοί μας έχουν γίνει για ένα εύρος θερμοκρασιών από τους -10 έως τους 10 °C.



Διάγραμμα 3: Ενεργειακές Απώλειες με τη χρήση συμβατικών τρόπων θέρμανσης

Στην δεύτερη περίπτωση η εξίσωση δεν μπορεί να λυθεί απευθείας, ο λόγος είναι ότι δεν γνωρίζουμε την θερμοκρασία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο. Ο υπολογισμός της θερμοκρασίας μπορεί να γίνει από τη σχέση μεταξύ των θερμικών απωλειών μέσα στο θερμοκήπιο. Έχουμε ότι :

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

Εξίσωση 11: Συνολικές ενεργειακές απώλειες

$$(1 - n) * Q_{total} - Q_1 - Q_2 + h * A * \Delta\theta = 0$$

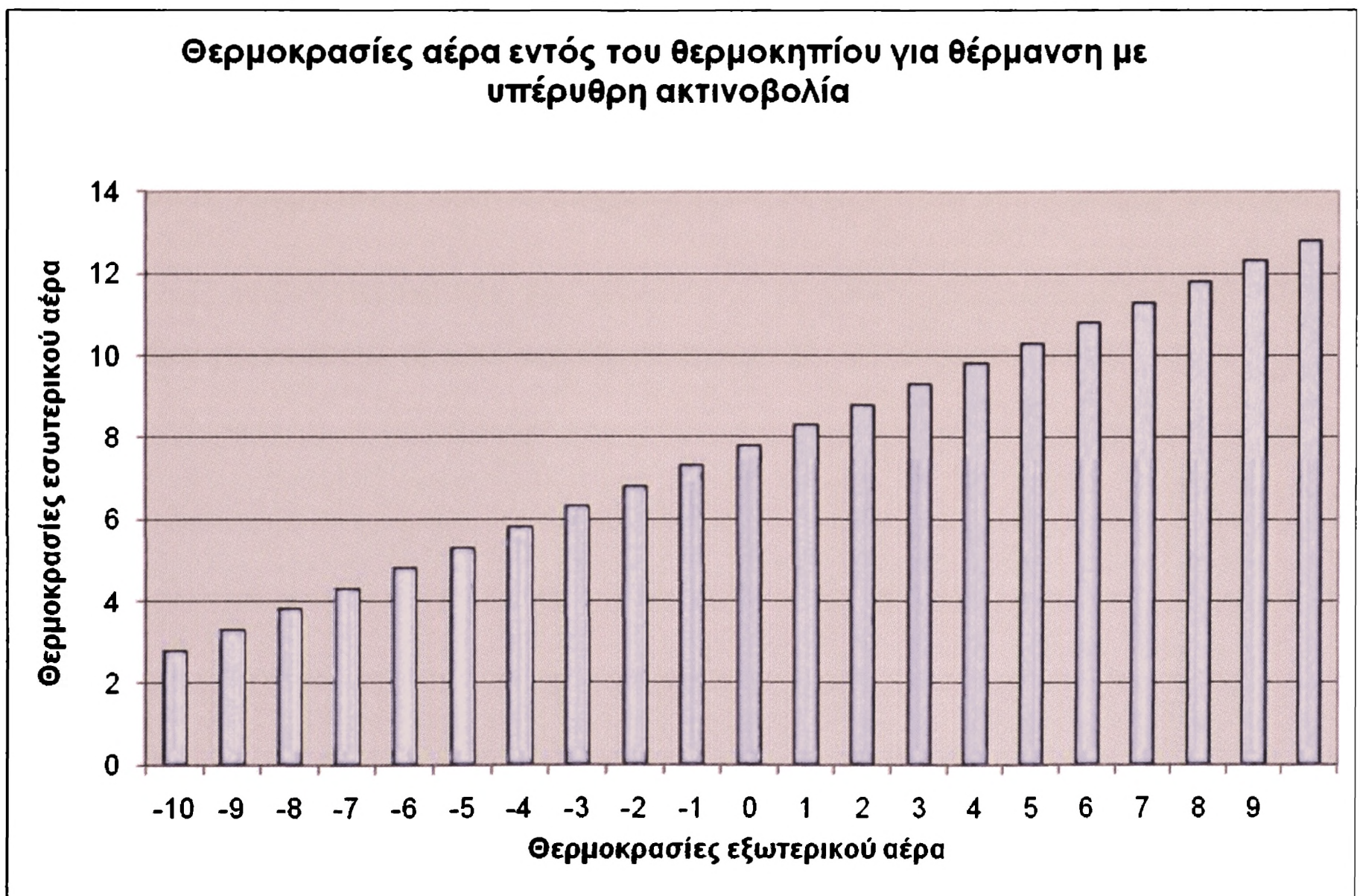
Εξίσωση 12: Ισοζύγιο θερμικών απωλειών

Όπου n είναι οι θερμικές απώλειες του καυστήρα υπέρυθρης ακτινοβολίας που χρησιμοποιώ. Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι απώλειες αυτές αγγίζουν το 50% καθώς οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο χώρο καύσης αγγίζουν τους 900°C. Τελικά λύνοντας αυτή τη σχέση θα πάρω ότι :

$$t_{air} = 7.8 + 0.5t_{out}$$

Εξίσωση 13: Υπολογισμός θερμοκρασία αέρα μέσα στο θερμοκήπιο για θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία

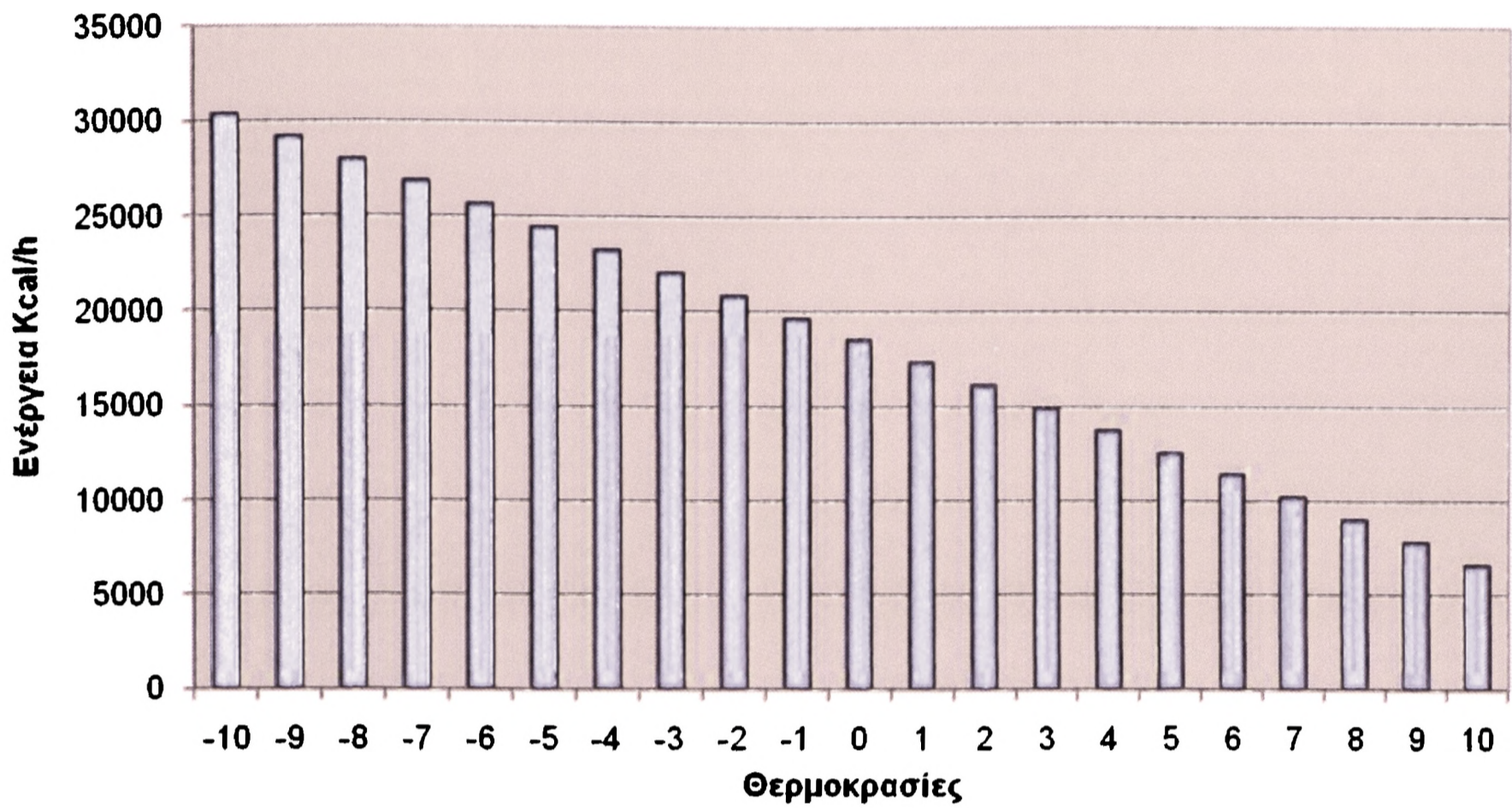
Από την παραπάνω σχέση προκύπτει και ο ακόλουθος πίνακας.



Διάγραμμα 4: Υπολογισμός θερμοκρασίας αέρα μέσα στο θερμοκήπιο

Από τη στιγμή που είναι γνωστή η θερμοκρασία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο ανατρέχουμε στην εξίσωση 10 και τη λύνουμε ως προς το $Q_{πηγής}$. Όπου ακολούθως έχουμε ότι :

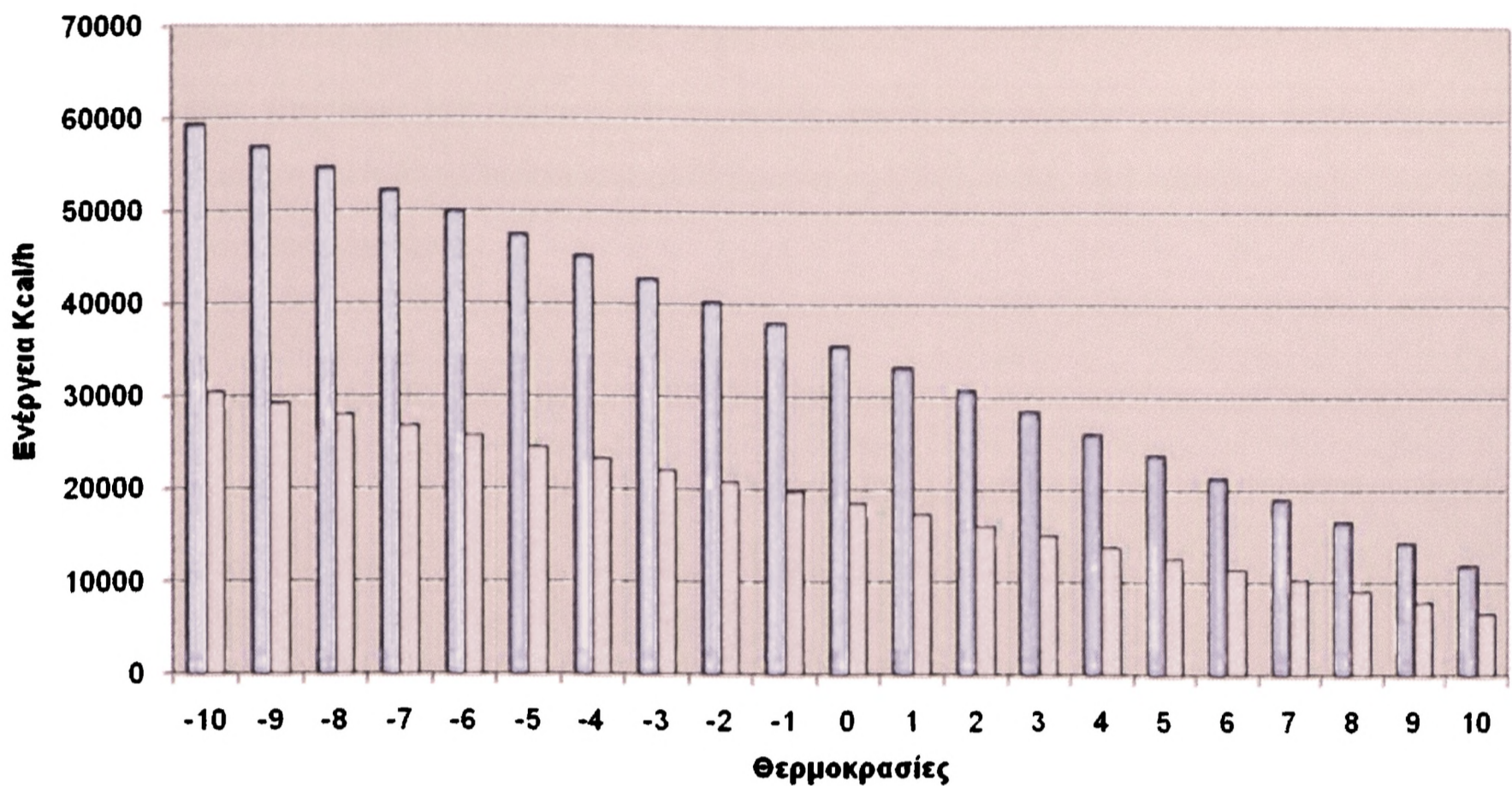
Ενεργειακές Απώλειες θερμοκηπίου για θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία



Διάγραμμα 5: Ενεργειακές απώλειες θερμοκηπίου σε θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία

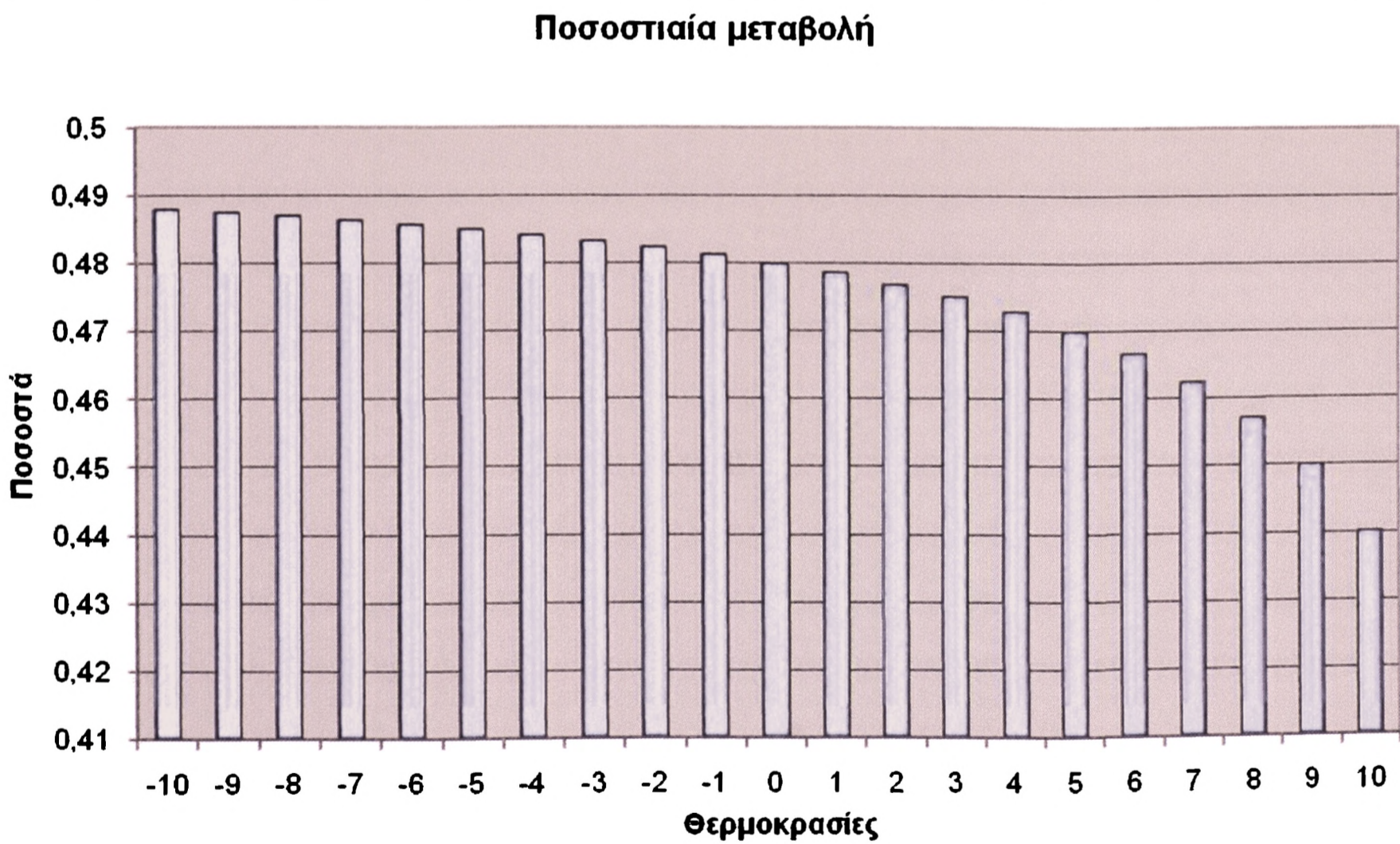
Έχοντας υπολογίσει και στις δύο περιπτώσεις τις ενεργειακές απώλειες γίνεται σύγκριση των 2 μεθόδων για να δούμε σε ποια περίπτωση έχουμε τις μικρότερες απώλειες.

Σύγκριση των δύο μεθόδων θέρμανσης του θερμοκηπίου



Διάγραμμα 6: Σύγκριση των δύο μεθόδων θέρμανσης του θερμοκηπίου

Η ποσοστιαία μεταβολή είναι :



Διάγραμμα 7: Ποσοστιαία μεταβολή

Κατά μέσο όρο φαίνεται ότι έχουμε εξοικονόμηση ενέργειας περίπου 47,5% για την θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία, αποτέλεσμα που είναι αναμενόμενο. Ο λόγος είναι ότι η υπέρυθρη ακτινοβολία δεν θερμαίνει τον αέρα αλλά τα φυτά απευθείας και εκείνα με τη σειρά τους θερμαίνουν τον αέρα του θερμοκηπίου με τον οποίο έρχονται σε επαφή. Ακριβώς για αυτό υπάρχει και διαφορετική θερμοκρασία στη θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία μεταξύ του φυτού και του αέρα του θερμοκηπίου.

6. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Έχουμε αποφασίσει ότι η ενεργειακή τροφοδότηση του θερμοκηπίου θα γίνει με τη χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας γιατί με βάση τα παραπάνω διαγράμματα έχουμε μια εξοικονόμηση ενέργειας κοντά στο 50%. Ωστόσο όμως θα κάνουμε και μια μελέτη για τη θέρμανση με συμβατικό τρόπο για να συγκρίνουμε τις τιμές.

6.1 Ενεργειακή τροφοδότηση με τη χρήση κεραμικού κατόπτρου.

Η τροφοδότηση μπορεί να γίνει με τη χρήση κεραμικού κατόπτρου το οποίο θα παρέχει υπέρυθρη ακτινοβολία στο θερμοκήπιο. Το πλεονέκτημά του είναι ότι λειτουργεί με τη χρήση φυσικού αερίου ή προπανίου το οποίο εκμηδενίζει τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στο περιβάλλον.

Ο μηδενισμός των εκπομπών CO₂ από τη χρήση ενέργειας σε θερμοκήπια συνεπάγεται πολλά οφέλη τα κυριότερα των οποίων είναι:

α) Η εγκατάσταση των κατάλληλων συστημάτων επιδοτείται σήμερα άμεσα ή έμμεσα από την πολιτεία.

β) Το κόστος των απαραίτητων συστημάτων δεν είναι απαγορευτικό και οι σχετικές δαπάνες αποσβένονται σε λογικό χρονικό διάστημα.

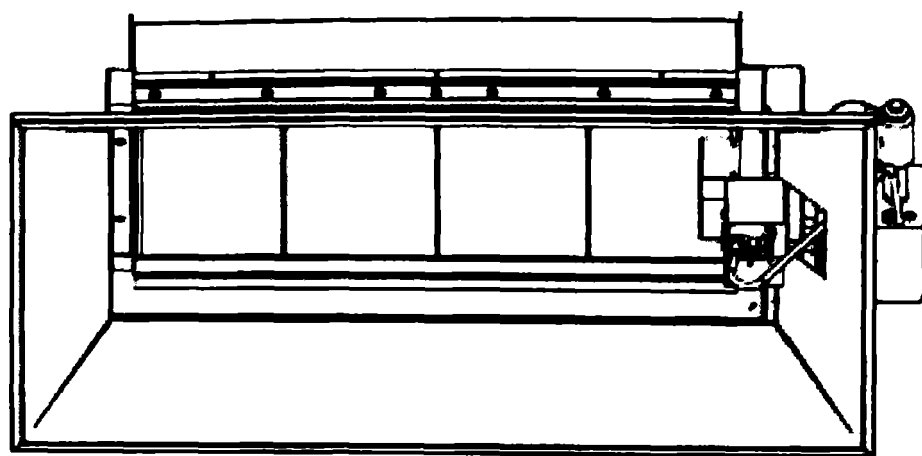
γ) Για την κατανάλωση ενέργειας σε ένα θερμοκήπιο δεν χρησιμοποιούνται εισαγόμενα ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα αλλά εγχώριες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

δ) Μειώνονται οι συνολικές εκπομπές CO₂ από την Ελλάδα που αποτελεί δέσμευση της χώρας μας.

ε) Δημιουργούνται νέες θέσεις εργασίας για την κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση των διαφόρων συστημάτων. Νέες θέσεις εργασίας δημιουργούνται επίσης για την παραγωγή και τη διαχείριση τα στερεάς βιομάζας.

στ) Μειώνεται η αναγκαία και απαραίτητη εγκατεστημένη ισχύς των συμβατικών εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς μέρος της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται αποκεντρωμένα στα θερμοκήπια με φωτοβολταϊκά συστήματα.

Ένα τέτοιο αναλυτικό παράδειγμα κεραμικού καυστήρα είναι το παρακάτω.



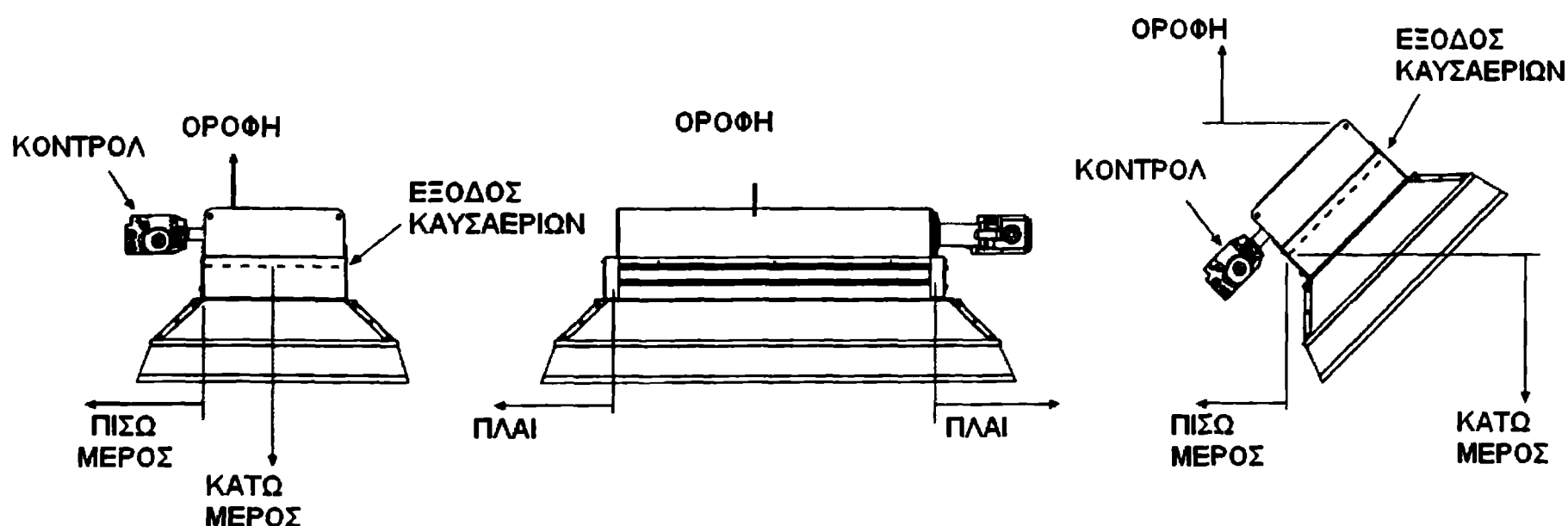
Εικόνα 22: Κεραμικό κάτοπτρο

Η απόδοση ενός τέτοιου κατόπτρου κυμαίνεται στο 50% όπως θεωρήσαμε παραπάνω για τους υπολογισμούς μας καθώς με τη χρήση αερίων καυσίμων είναι πάρα πολύ αποδοτικά.

Από παραπάνω θα βρούμε ποια είναι η μέγιστη απώλεια ενέργειας που συμβαίνει στους 10°C για να επιλεγεί το κατάλληλο κάτοπτρο.

- 30335 Kcal/h δηλαδή 35,3 KW
- Άρα θα χρησιμοποιηθεί ένα κάτοπτρο απόδοσης $35,3/0.5 = 70,6$ δηλαδή περίπου ονομαστικής απόδοσης 71KW.

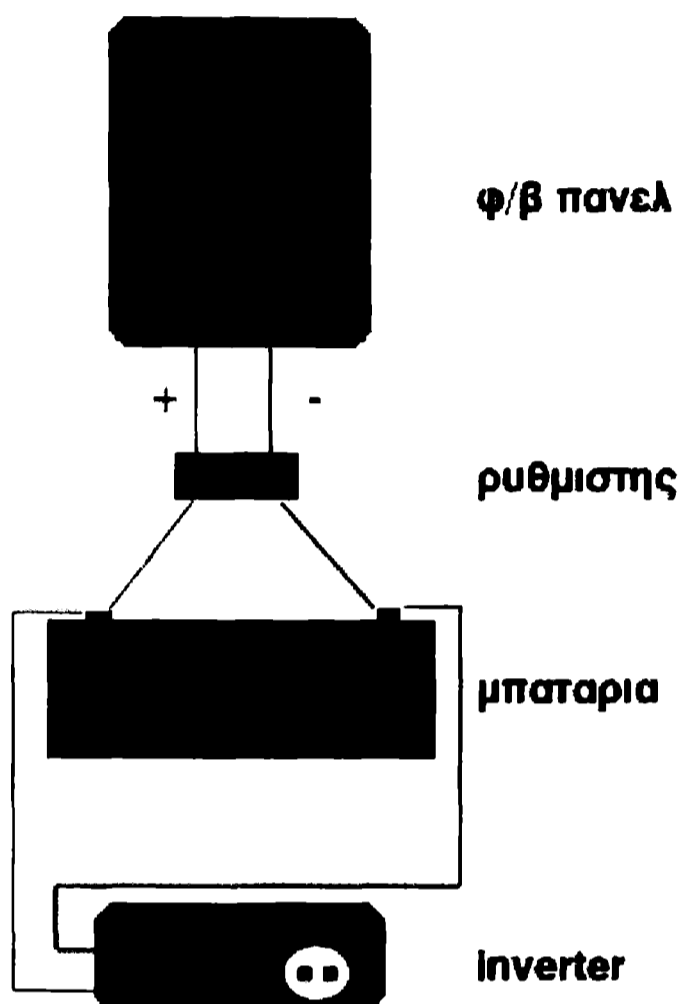
Ένα τέτοιο κάτοπτρο που θα δίνει ισχύ 71 KWatt θα κοστίζει. Καθώς το θερμοκήπιο είναι αρκετά μεγάλο θα τοποθετηθούν δύο τέτοια κεραμικά κάτοπτρα 36KW ισχύος το καθένα. Δύο τέτοια κάτοπτρα κοστίζουν 1500 το καθένα δηλαδή περίπου 3000 ευρώ συνολικά.



Εικόνα 23: Ανάλυση κεραμικού κατόπτρου

Επειδή όμως αυτά τα κάτοπτρα είναι τελευταίας τεχνολογίας η λειτουργία τους γίνεται ηλεκτρονικά άρα είναι απαραίτητη η τροφοδότηση τους με ηλεκτρικό ρεύμα. Η ισχύς της γεννήτριας δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 30 Watt καθώς η ηλεκτρική ενέργεια χρησιμεύει μόνο για

την έναυση της καύσης, άρα μπορούμε να το τροφοδοτήσουμε αρχικά με μια μικρή γεννήτρια αλλά επειδή το κόστος θα είναι μεγάλο για μια τόσο μικρή εγκατάσταση μπορούμε εναλλακτικά να χρησιμοποιήσουμε ένα φωτοβολταϊκό πάνελ όπου θα αποθηκεύει την ενέργεια σε μία μπαταρία και από εκεί με τη χρήση ενός inverter θα μετατρέπεται το συνεχές ρεύμα της μπαταρίας σε εναλλασσόμενο.



Εικόνα 24: Ενέργεια από φωτοβολταϊκό πάνελ

Η τροφοδότηση του κατόπτρου μπορεί να γίνει με φυσικό αέριο και αν δεν είναι διαθέσιμο με μπουκάλες προπανίου. Επειδή όμως η εγκατάσταση μας θα γίνει σε χώρο που δεν υπάρχει φυσικό αέριο θα προτιμήσουμε το προπάνιο.

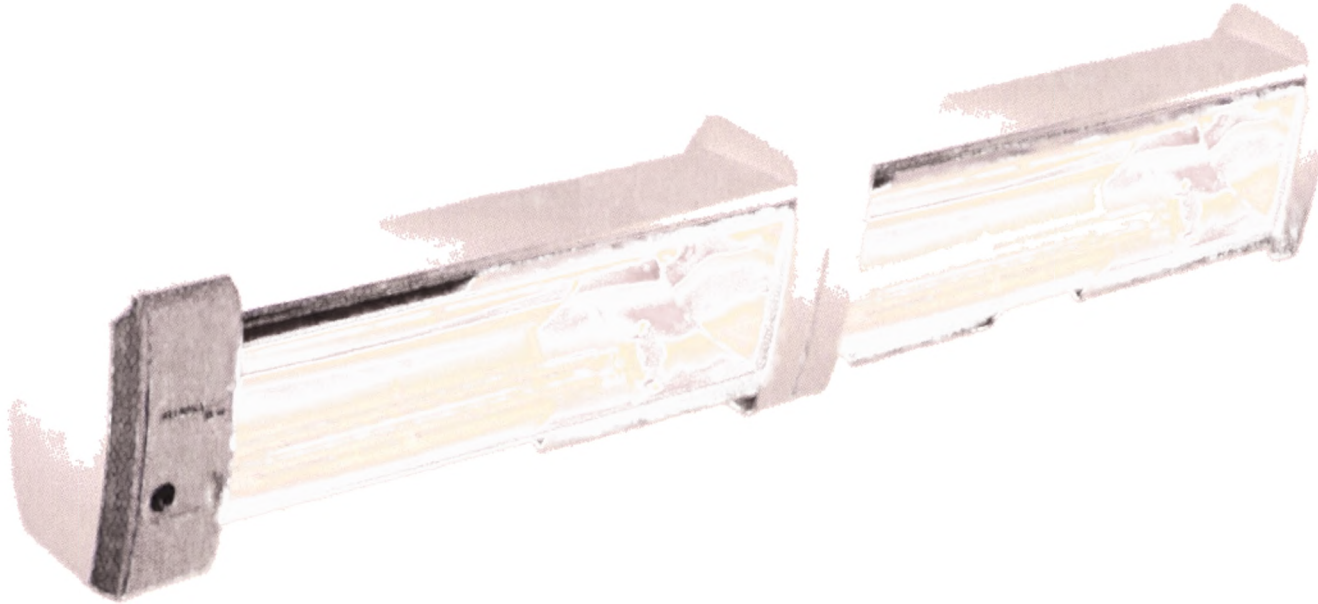
- Η κατανάλωση που θα έχει το συγκεκριμένο κεραμικό κάτοπτρο θα είναι για τη μέγιστη ενεργειακή απαίτηση για την οποία έχει γίνει η μελέτη 2,1 kg/h υγραέριο το καθένα.

6.2 Κόστος εγκατάστασης της ενεργειακή τροφοδότησης

Εναλλακτικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε υπέρυθρους θερμαντήρες που λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια. Θα τοποθετήσουμε τους αντιστοίχους ηλεκτρικούς θερμαντήρες

ακτινοβολίας όπου και αυτή έχουν απόδοση περίπου 50%. Επειδή όμως δεν παρέχονται ηλεκτρικοί θερμαντήρες τόσο μεγάλης ισχύς θα τοποθετήσουμε περισσότερους της μίας μονάδας.

- Στην υπό εξέταση περίπτωση θα χρειαστούν 18 μονάδες ισχύος 4 KW ισχύος εκάστη. Το συνολικό κόστος θα είναι $18 \cdot 510 = 9180$ €.



Εικόνα 25: Ηλεκτρικό κάτοπτρο υπέρυθρης ακτινοβολίας

Εκτός όμως από την υπέρυθρη θέρμανση έχουμε και τη συμβατική. Για να θερμάνουμε το θερμοκήπιο θα χρησιμοποιήσουμε τον πλέον διαδεδομένο τρόπο δηλαδή το αερόθερμο.

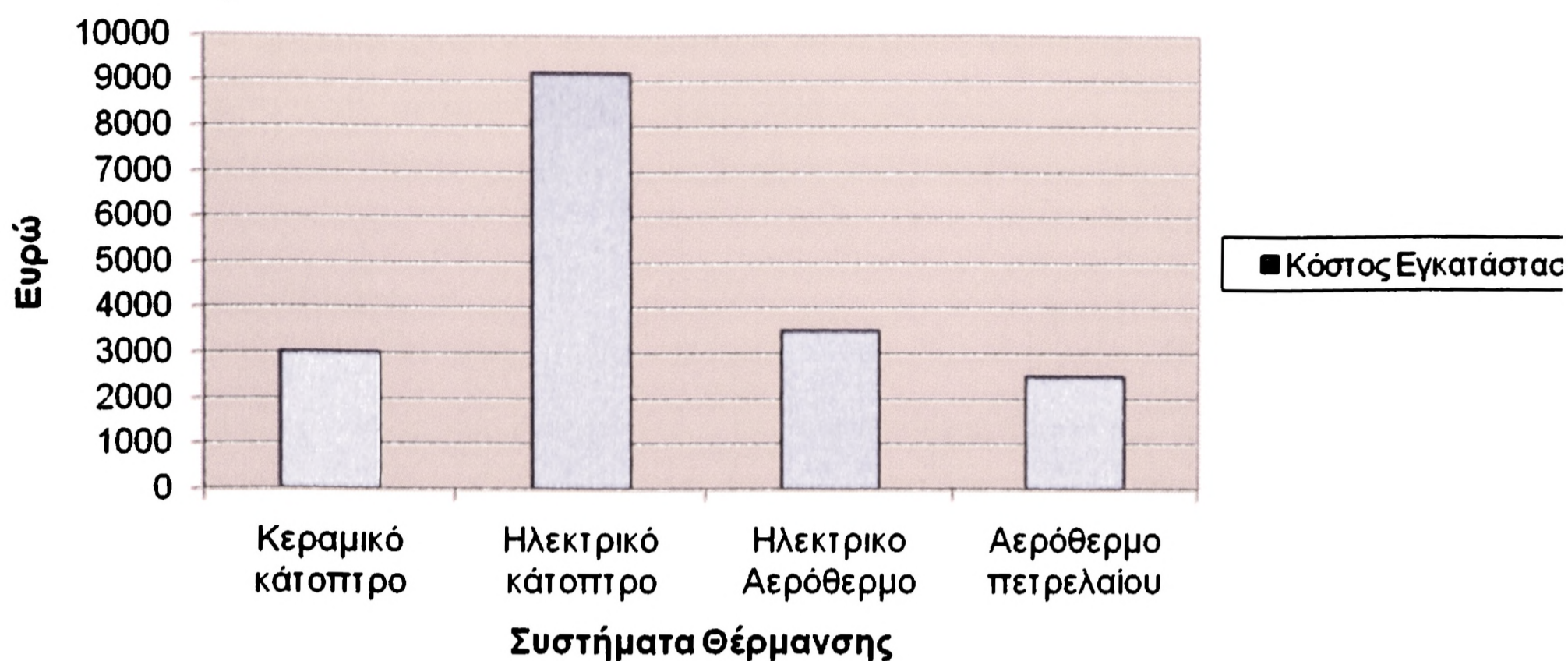
- Από τους υπολογισμούς που είχαμε κάνει στο παραπάνω κεφάλαιο θα χρειαστούμε ένα αερόθερμο ισχύος 106 KW αν υποθέσουμε ότι η απόδοση του είναι 65%.
- Ένα τέτοιο αερόθερμο κοστίζει περίπου 3500 ευρώ.

Υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί και αερόθερμο πετρελαίου το οποίο είναι και αυτό τρόπος συμβατικής θέρμανσης.

- Οι ενεργειακές ανάγκες θα είναι ίδιες με το ηλεκτρικό αερόθερμο. Δηλαδή θα χρησιμοποιηθεί ένα αερόθερμο ονομαστικής ισχύος 106 KW με απόδοση και αυτό στο 65% ή αντίστοιχα ένα με θερμική απόδοση 70 KW.
- Ένα τέτοιο αερόθερμο πετρελαίου κοστίζει 3000 ευρώ.

Άρα συγκριτικά έχουμε ότι :

Κόστος Εγκατάστασης



Διάγραμμα 8: Πάγιο κόστος εγκατάστασης θερμαντικού συστήματος

Παρατηρούμε ότι το κόστος εγκατάστασης του κεραμικού κατόπτρου με το ηλεκτρικό αερόθερμο είναι αρκετά κοντά, σε αντίθεση με το ηλεκτρικό κάτοπτρο όπου η τιμή του ανεβαίνει αρκετά συγκριτικά με τα άλλα. Ωστόσο πιο φτηνό από όλα είναι το αερόθερμο πετρελαίου. Θα προχωρήσουμε και σε μια μελέτη για να δούμε και το κόστος λειτουργίας της κάθε συσκευής και ποια τελικά συμφέρει να εγκαταστήσουμε για θέρμανση στο θερμοκήπιο μας.

6.3 Συνολικό κόστος

Υποθέτουμε ότι οι μετρήσεις έχουν γίνει τους κρύους μήνες του έτους και ότι

- η διάρκεια της νύχτας κατά μέσο όρο είναι 10 ώρες καθημερινά.
- Έστω ότι πρόκειται για 21 μέρες μετρήσεων με αυτές τις θερμοκρασίες δηλαδή από -10 έως 10 βαθμούς C.

Κεραμικό κάτοπτρο

- Αρχικά για το κεραμικό κάτοπτρο χρειάζονται αθροιστικά και για τις 21 μέρες 4522 KWh συνολικά όλο το διάστημα.

- Γνωρίζοντας την πραγματική ισχύ του κεραμικού κατόπτρου υπολογίζεται ότι η συσκευή θα είναι σε λειτουργία για 127 ώρες.
- Από τα χαρακτηριστικά του κεραμικού κατόπτρου υπολογίζεται εν συνεχεία ότι η κατανάλωση υγραερίου είναι 2,1kg/h άρα συνολικά χρειάζονται 267 kg υγραερίου δηλαδή 534 λίτρα υγραερίου το οποίο κοστίζει $534 * 0,85 = 453$ ευρώ.

Ηλεκτρικό κάτοπτρο

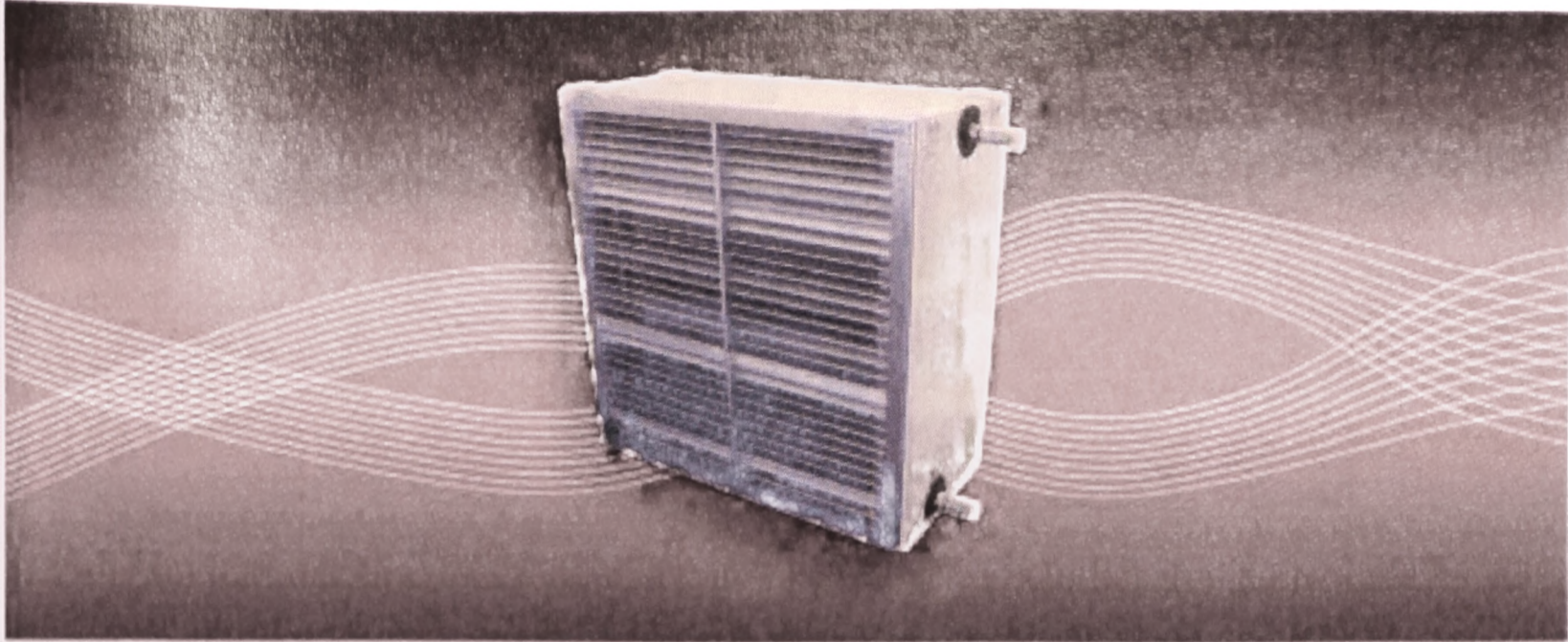
- Στο ηλεκτρικό κάτοπτρο έχω σχεδόν την ίδια απόδοση που αγγίζει το 50%.
- Χρειάζονται 4522 KWh συνολικά δηλαδή τα ηλεκτρικά κάτοπτρα να μείνουν σε λειτουργία για 127 ώρες.
- Την ώρα θα έχω ονομαστική ισχύ 72 KW.
- Αν έχουμε και αγροτικό ρεύμα αυτό στοιχίζει 0,0556 ευρώ /KW άρα το συνολικό κόστος είναι 508 ευρώ

Ηλεκτρικό Αερόθερμο

- Τέλος στο αερόθερμο οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι συνολικά 8700 KWh
- γνωρίζοντας την πραγματική ισχύ του αερόθερμου 70 KW αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να είναι σε λειτουργία για 125 ώρες
- και αυτό σημαίνει ότι θα στοιχίσει 742 ευρώ αν τροφοδοτείται με ηλεκτρική ενέργεια.

Αερόθερμο πετρελαίου

- Χρειάζονται συνολικά 8700 KWh
- Μέγιστη θερμική απόδοση 70 KW
- Άρα θα να είναι σε λειτουργία για 125 ώρες
- Έχει κατανάλωση 5,5 kg/h δηλαδή 625 λίτρα συνολικά
- Συνεπώς υπολογίζονται 937 ευρώ κόστος λειτουργίας



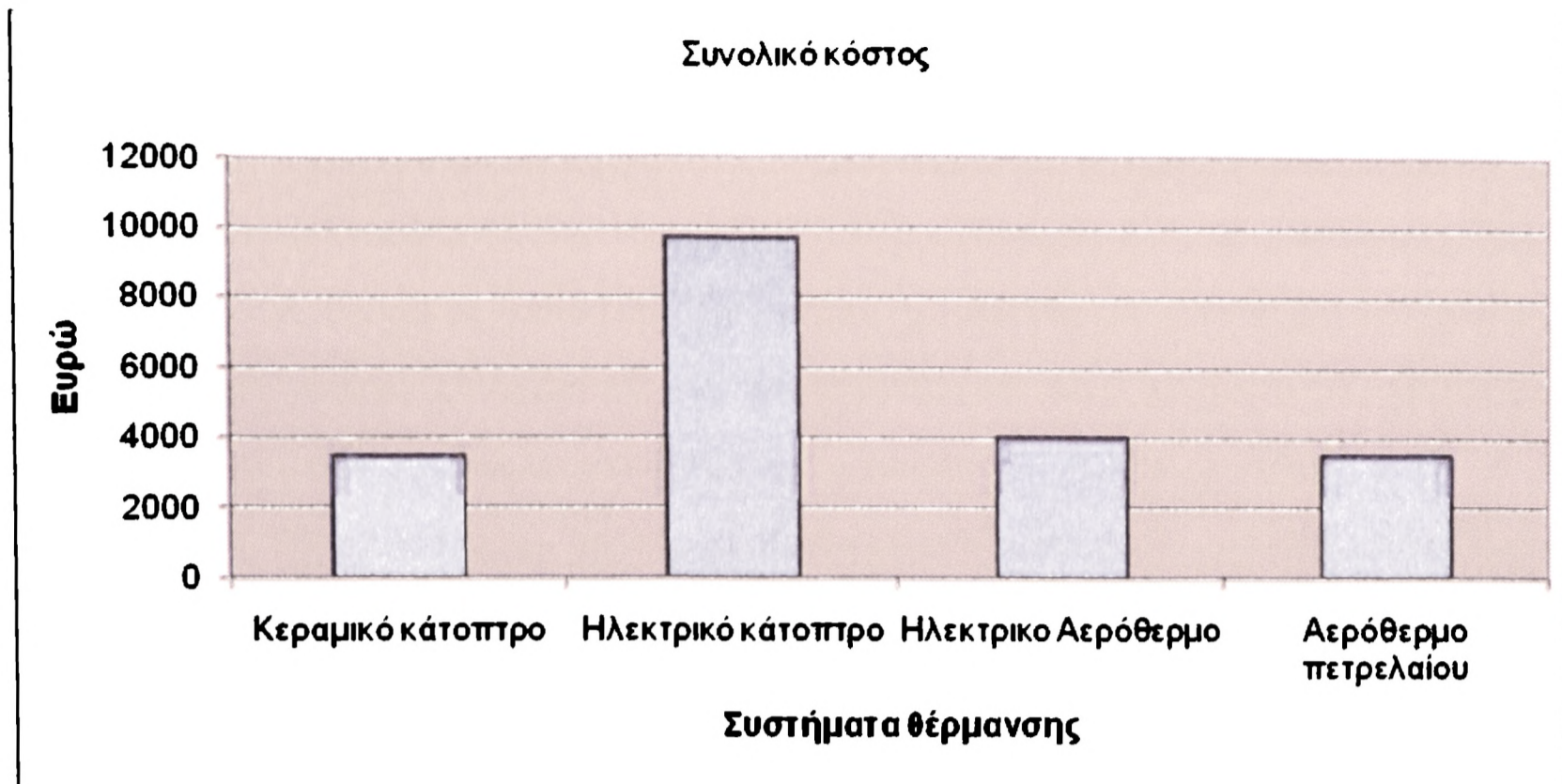
Εικόνα 26: Αερόθερμο μεγάλης απόδοσης για θερμοκήπια

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία έχουμε ότι:



Διάγραμμα 9: Κόστος λειτουργίας μέσω θέρμανσης θερμοκηπίων

Παρατηρώντας βλέπουμε ότι ο οικονομικότερος τρόπος ενεργειακής τροφοδότησης του θερμοκηπίου είναι το κεραμικό κάτοπτρο υπέρυθρης ακτινοβολίας και συνολικά το κόστος θα διαμορφωθεί ως εξής.



Διάγραμμα 10: Συνολικό κόστος

Καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας εξασφαλίζει μια μείωση του κόστους θέρμανσης του θερμοκηπίου περίπου 50% από το αερόθερμο πετρελαίου και κοντά στο 35% με 40 % από το ηλεκτρικό αερόθερμο. Σύγκριση με το ηλεκτρικό κάτοπτρο δεν χρειάζεται να γίνει διότι το κόστος εγκατάστασης του συστήματος είναι πάρα πολύ μεγάλο.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην πτυχιακή εργασία καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η υπέρυθρη ακτινοβολία αποτελεί μια ελκυστική εναλλακτική λύση για τη θέρμανση θερμοκηπίων, η οποία καλύπτει με ενεργειακά αποδοτικό τρόπο τις θερμικές απώλειες. Επί πλέον η υπέρυθρη ακτινοβολία συμβάλλει θετικά στην ανάπτυξη των φυτών ενισχύοντας την φωτοσυνθετική τους απόδοση και επηρεάζοντας τη φωτομορφογέννηση που συμβάλλει στην ανάπτυξη των φυτών και την άνθηση

Η υπέρυθρη θέρμανση έχει αρκετά πλεονεκτήματα όπως ότι μπορούμε να θερμάνουμε συγκεκριμένες ζώνες. Για παράδειγμα μέσα σε ένα θερμοκήπιο κάποια φυτά απαιτούν διαφορετική θερμοκρασία από τα άλλα. Με την υπέρυθρη ακτινοβολία μπορούμε να διαφοροποιήσουμε την θερμοκρασία σε συγκεκριμένα μέρη του θερμοκηπίου. Ένα ακόμα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα της υπέρυθρης ακτινοβολίας είναι οι πολύ χαμηλές ενεργειακές απώλειες που έχουμε με τη χρήση της. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η ενεργειακή κατανάλωση του χώρου ο οποίος θερμαίνεται με τη χρήση της υπέρυθρης ακτινοβολίας κατά ένα μεγάλο ποσοστό από ότι αν θερμαινόταν με τη χρήση συμβατικών μεθόδων.

Ο λόγος αυτής της αυξημένης απόδοσης είναι ότι η υπέρυθρη ακτινοβολία δεν θερμαίνει τον αέρα αλλά τα φυτά και με τη σειρά τους αυτά τον αέρα, συνεπώς ελαχιστοποιούνται οι ενεργειακές απώλειες.

Στο συγκεκριμένο θερμοκήπιο που είχαμε ως παράδειγμα υπολογίσαμε τις ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου για θέρμανση με συμβατικό τρόπο και με συστήματα υπέρυθρης ακτινοβολίας. Καταλήξαμε ότι οι ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου μειώνονται κατά μέσο 47,5% όρο όταν χρησιμοποιείται θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία.

Τέλος έγινε και μια αναλυτική οικονομική μελέτη όπου υπολογίσαμε το πάγιο κόστος εγκατάστασης συστημάτων θέρμανσης στο θερμοκήπιο μας. Πιο συγκεκριμένα για ηλεκτρικό και πετρελαίου αερόθερμο, κεραμικό κάτοπτρο και ηλεκτρικό κάτοπτρο. Κατόπιν υπολογίσαμε το συνολικό κόστος λειτουργίας της κάθε λύσης που προτείναμε. Καταλήξαμε ότι τα κεραμικά κάτοπτρα είναι η πλέον συμφέρουσα λύση για την θέρμανση του θερμοκηπίου μας.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Kavga, A., S. Pantelakis, Th. Panidis, and V. Bontozoglou. 2008. Investigation of the potential of long wave radiation heating to reduce energy consumption for greenhouse heating. *Acta Horticulturae* 801(1): 741-748
- Kavga, A., Th. Panidis, V. Bontozoglou and S. Pantelakis. 2008. Infrared heating of greenhouses revisited: An experimental and modeling study. *Acta Horticulturae* 801(1)
- Bot, G. 2001. Developments in indoor sustainable plant production with emphasis on energy saving. *Computers and Electronics in Agriculture* 30: 151-165
- Campell, G.S. 1977. *An Introduction to Environmental Biophysics*. New York, N.Y.: Springer-Verlag
- Hanan, J.J. 1998. *Greenhouses : Advanced technology for protected greenhouses*. New York: CRC Press LLC
- Nelson, V.P.2003. *Greenhouse operation and management*. 6rd ed. New Jersey: Upper Saddle River
- Santamouris M.I., (1993). Active Solar Agricultural Greenhouse. *The State of Art. International Journal Solar Energy*. Vol. 14, pp. 19-32
- Teitel M., Segal I., Shklyar A., Barak M., (1996). Effects of Nonsteady Hot-water Greenhouse Heating on Heat Transfer and Microclimate. *Journal of Agriculture Engineering Research*, Vol. 65, pp. 297-304
- Teitel M., Segal I., Shklyar A., Barak M., (1999). A Comparison between Pipe and Air Heating Methods for Greenhouses. *Journal of Agriculture Engineering Research*, Vol. 72, pp. 259-273
- Van de Braak N. J., (1988). New Methods of Greenhouses Heating. *Engineering and Economics Aspects. Acta Horticulturae*, Vol. 245, pp. 149-157
- Baille A. and von Elser B., (1988). Low Temperature Heating Systems. *CNRE Guideline*, Vol. 2, pp. 149-167
- Grafiadellis M., (1986). Development of a Passive Solar System for Heating Greenhouse. *Acta Horticulturae*, Vol. 191, pp. 245-252
- Kupraska S., Slipek Z., (1996). Mathematical Model of Heat and Mass Exchange in a Garden Subsoil during Warm-air Heating. *Journal of Agriculture Engineering Research*, Vol. 65, pp. 305-311

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Εσωτερικό Θερμοκηπίου	7
Εικόνα 2: Ιονίζουσες και μη ιονίζουσες ακτινοβολίες	9
Εικόνα 4: Μήκος κύματος ορατού φωτός	10
Εικόνα 5: Σκέδαση του φωτός.....	11
Εικόνα 6: Χρήση IR στις φωτογραφίες	11
Εικόνα 7: Φάσμα ορατού φωτός.....	12
Εικόνα 8: Καμπύλη ανταλλαγής CO ₂	16
Εικόνα 9: Σχέση θερμοκρασίας και φωτοσυνθετικής απόδοσης.....	19
Εικόνα 10: Διακύμανση στη φωτοσυνθετική απόδοση ενός δέντρου.....	23
Εικόνα 11: Κάτοπτρα ακτινοβολίας	26
Εικόνα 12: Κεραμικά κάτοπτρα.....	29
Εικόνα 13: Σωληνωτά Κάτοπτρα.....	31
Εικόνα 14: Κατανομή υπέρυθρης ακτινοβολίας σε χώρο	31
Εικόνα 15: Καυστήρας	32
Εικόνα 16: Υπέρυθρη ακτινοβολία σε εργοστάσιο	33
Εικόνα 17:Ενεργειακές απώλειες θερμοκηπίου.....	33
Εικόνα 18: Λαμπτήρες υπέρυθρης θέρμανσης	34
Εικόνα 19 : θερμοκήπιο τύπου multi-span	37
Εικόνα 20 : Ροή ηλιακής ακτινοβολίας μέσα σ' ένα θερμοκήπιο	39
Εικόνα 21: Ενεργειακό Ισοζύγιο στο θερμοκήπιο.....	46
Εικόνα 22: Κεραμικό κάτοπτρο.....	53
Εικόνα 23: Ανάλυση κεραμικού κατόπτρου.....	53
Εικόνα 24: ενέργειας από φωτοβολταϊκό πάνελ.....	54
Εικόνα 25: Ηλεκτρικό κάτοπτρο υπέρυθρης ακτινοβολίας.....	55
Εικόνα 26: Αερόθερμο μεγάλης απόδοσης για θερμοκήπια.....	58

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1 : Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας τους κρύους μήνες.....	40
Διάγραμμα 2: Απώλειες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας των φυτών και του εδάφους.....	45
Διάγραμμα 3: Ενεργειακές Απώλειες με τη χρήση συμβατικών τρόπων θέρμανσης	47
Διάγραμμα 4: Υπολογισμός θερμοκρασίας αέρα μέσα στο θερμοκήπιο	48
Διάγραμμα 5: Ενεργειακές απώλειες θερμοκηπίου σε θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία	49
Διάγραμμα 6: Σύγκριση των δύο μεθόδων θέρμανσης του θερμοκηπίου	50
Διάγραμμα 7: Ποσοστιαία μεταβολή.....	50
Διάγραμμα 8: Πάγιο κόστος εγκατάστασης θερμαντικού συστήματος.....	56
Διάγραμμα 9: Κόστος λειτουργίας μέσω θέρμανσης θερμοκηπίων	58
Διάγραμμα 10: Συνολικό κόστος	59

