



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας για την  
μείωση θερμικών αναγκών των  
θερμοκηπίων**

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΠΡΑΚΟΥΛΙΑΣ  
ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΡΗΓΟΠΟΥΛΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΝΑΖΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

**ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2016**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε καταρχήν να ευχαριστήσουμε όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην επιτυχή εκπόνηση αυτής της πτυχιακής εργασίας. Θα πρέπει να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή κ. Αντώνιο Νάζο για την επίβλεψη αυτής της εργασίας και για την ευκαιρία που μας έδωσε να ασχοληθούμε με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Ήταν πάντα διαθέσιμος να μας προσφέρει τις γνώσεις και την εμπειρία του για τη βαθύτερη κατανόηση του συγκεκριμένου θέματος. Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσουμε τους φίλους και τις φίλες μας που έκαναν τα χρόνια αυτά μία πραγματικά αξέχαστη εμπειρία. Βέβαια, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλουμε στους γονείς μας και στα αδέρφια μας, των οποίων η πίστη στις δυνατότητες μας αποτέλεσε αρωγός σε όλους τους στόχους μας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και η αναφορά πολλαπλών συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων. Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην έννοια της προστατευόμενης καλλιέργειας και στη σημασία της για την γεωργική ανάπτυξη. Παράλληλα, παρουσιάζεται η κατάσταση τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στην ιστορική εξέλιξη των θερμοκηπίων καθώς και στην ανάγκη εύρεσης μέσων εξοικονόμησης ενέργειας προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση ενέργειας και να περιοριστούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Εν συνεχεία, στο δεύτερο κεφάλαιο παρατίθενται διάφοροι τύποι θερμοκηπίων τα οποία διαχωρίζονται με βάση συγκεκριμένα κριτήρια και αναφέρονται ονομαστικά διάφορα υλικά για την κατασκευή τους. Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύονται οι βέλτιστες συνθήκες που πρέπει να επικρατούν στο κλειστό περιβάλλον του θερμοκηπίου, ενώ παράλληλα αναφέρονται διαφορετικά συμβατικά συστήματα θέρμανσης των θερμοκηπίων. Στο τέταρτο και σημαντικότερο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται εκτενής ανάλυση ποικίλων συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας για την μείωση των θερμικών αναγκών των θερμοκηπίων. Στο πέμπτο και έκτο κεφάλαιο της εργασίας, συνοψίζονται τα βασικά συμπεράσματα και πορίσματα που προέκυψαν από την έρευνα, γίνονται καίριες παρατηρήσεις και παρατίθενται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

## SUMMARY

The purpose of this thesis is the study and reporting of multiple energy saving systems to meet the heating needs of the greenhouse facilities. Initially, the first chapter is an introduction to the concept of protected cultivation and significance for agricultural development. At the same time, the situation is shown both in Greece and internationally. Furthermore, reference is made to the historical development of greenhouses and the need to find energy savings instruments to minimize energy consumption and reduce environmental impact. Subsequently, the second chapter, lists various types of greenhouses which are separated by specific criteria based and named various materials for their manufacture. The next chapter analyzes the optimal conditions which should be established in the closed environment of a greenhouse, while otherwise indicated as conventional greenhouses heating systems. The fourth and most important chapter of this work is an extensive analysis of various energy saving systems to reduce heat requirements of greenhouses. In the fifth and sixth chapter of work, we summarized the main findings and conclusions arising from the investigation, and made critical comments and suggestions for further research.

# Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> - ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Γενικά για τα θερμοκήπια .....	8
1.2 Ιστορική αναδρομή .....	10
1.3 Το ενεργειακό πρόβλημα .....	11
1.4 Σκοπός της εργασίας .....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ .....	17
2.1 Βασικοί τύποι θερμοκηπίων .....	17
2.2 Νέοι τύποι θερμοκηπιακών κατασκευών .....	20
2.3 Υλικά κατασκευής & κάλυψης .....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> - ΤΟ ΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ .....	27
3.1 Θερμοκρασία και ανάπτυξη .....	27
3.2 Συμβατικά συστήματα θέρμανσης .....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup> - ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ .....	35
4.1 Συστήματα θέρμανσης με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	35
4.1.1 Ενεργητικά συστήματα θέρμανσης.....	36
4.1.2 Παθητικά συστήματα θέρμανσης .....	36
4.1.3 Συστήματα εξοικονόμησης.....	40
4.2 Συστήματα θέρμανσης με χρήση ακτινοβολίας .....	40
4.3 Εξοικονόμηση ενέργειας με εμπλουτισμό CO <sub>2</sub> .....	45
4.4 Εναλλακτικά συστήματα θέρμανσης .....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup> - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup> - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ .....	52
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	53

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Αμφίρρικτο .....	17
Εικόνα 2. Αμφίρρικτο απλό .....	17
Εικόνα 3. Αμφίρρικτο πολλαπλό .....	18
Εικόνα 4. Τοξωτό .....	18
Εικόνα 5. Τοξωτό απλό .....	18
Εικόνα 6. Τοξωτό πολλαπλό .....	19
Εικόνα 7. Τροποποιημένο τοξωτό .....	19
Εικόνα 8. Τροποποιημένο τοξωτό απλό .....	19
Εικόνα 9. Τροποποιημένο τοξωτό απλό .....	20
Εικόνα 10. Θερμοκήπιο γοθτικού τύπου (1) .....	20
Εικόνα 11. Θερμοκήπιο γοθτικού τύπου (2) .....	21
Εικόνα 12. Γεωθερμικό θερμοκήπιο .....	21
Εικόνα 13. Προβατοστάσιο .....	22
Εικόνα 14. Πτηνοτροφείο .....	22
Εικόνα 15. Βουστάσιο .....	23
Εικόνα 16. Μανιταροθάλαμοι .....	23
Εικόνα 17. Σαλιγκαροτροφείο .....	24
Εικόνα 18. Ιχθυοτροφείο .....	24
Εικόνα 19. Επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και αναπνοής .....	30
Εικόνα 20. Παθητικά συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίου .....	37
Εικόνα 21. Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση νερού (α) σε διαφανείς σωλήνες (β) σε δεξαμενές νερού .....	38
Εικόνα 22. Αποθήκευση αισθητής θερμότητας σε στρώμα πετρωμάτων μέσα στο θερμοκήπιο .....	39
Εικόνα 23. Ενναλάκτης εδάφους-αέρα για μετάδοση θερμότητας από ή προς το έδαφος εξαρτώμενη από την διαφορά θερμοκρασίας .....	39
Εικόνα 24. Ολοκληρωμένο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με βορινό τοίχωμα και συλλέκτης εδάφους-αέρα .....	40
Εικόνα 25. Σύστημα υπέρυθρης θέρμανσης χωρίς ανακλαστήρα .....	41
Εικόνα 26. Σύστημα υπέρυθρης θέρμανσης με ανακλαστήρα .....	41
Εικόνα 27. Gas-Fired Infrared Heating System .....	43
Εικόνα 28. Υπέρυθρα συστήματα τύπου Blackheats (πάνελ και διπλού σωληνωτού) .....	44
Εικόνα 29. Δομικά στοιχεία κυψέλης καυσίμου .....	47
Εικόνα 30. Αρχή λειτουργίας κυψέλης καυσίμου .....	47
Εικόνα 31. Υποσυστήματα ενός συστήματος κυψελών καυσίμου .....	48
Εικόνα 32. Σύστημα θέρμανσης αποτελούμενο από ένα σύστημα Κυψελών Καυσίμου .....	49
Εικόνα 33. Λειτουργία PureCellSystem .....	50

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Εκτιμώμενη έκταση θερμοκηπίων σε διάφορες περιοχές της γης.....	9
Πίνακας 2. Θερμοκηπιακές εκτάσεις στην Ευρώπη σε συγκεκριμένα έτη.....	13
Πίνακας 3. Υλικά Θερμοκηπίων και Χαρακτηριστικά τους.....	26
Πίνακας 4. Βέλτιστες ημερήσιες και νυχτερινές θερμοκρασίες για διάφορες θερμοκηπιακές καλλιέργειες.....	31

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1. Κατανομή θερμοκηπίων στην επικράτεια.....	10
Διάγραμμα 2. Θερμοκηπιακές εκτάσεις στην Ευρώπη σε συγκεκριμένα έτη.....	14

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Γενικά για τα θερμοκήπια

Η αγροτική παραγωγή είναι ένας σημαντικός τομέας που σε καιρούς κρίσης και ύφεσης μπορεί να ενδυναμώσει την οικονομία μίας χώρας. Η παραγωγή προϊόντων σε θερμοκήπια έχει καθιερωθεί ως βιομηχανική παραγωγή γιατί εξαρτάται από ρυθμιζόμενους παράγοντες, σε αντίθεση με εκείνη στον ανοιχτό αγρό. Τα σύγχρονα θερμοκήπια περιλαμβάνουν νέα υλικά κάλυψης, εξελιγμένα συστήματα ελέγχου του εσωτερικού περιβάλλοντος, υποστρώματα για την εγκατάσταση υδροπονικών καλλιεργειών, ρύθμιση και συνολική διαχείριση της παραγωγικής διαδικασίας με ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Έτσι, τα θερμοκήπια μπορούν να αποτελέσουν βασικό μοχλό για την ανάπτυξη της γεωργικής παραγωγής.

Η προστατευόμενη καλλιέργεια ή τα Συστήματα Γεωργίας Ελεγχόμενου Περιβάλλοντος χρησιμοποιούνται σε ολόκληρο τον κόσμο ως μια δυναμική διαδικασία παραγωγής. Ο συγκεκριμένος τρόπος καλλιέργειας έχει ως στόχο να διαφυλάξει την παραγωγή από αντίξοες κλιματολογικές συνθήκες και παρασιτογόνους οργανισμούς ενώ επιπλέον καθιστούν δυνατή την μεταβολή του μικροκλίματος, προκειμένου να δημιουργηθούν οι κατάλληλες περιβαλλοντικές συνθήκες για την ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών. Η προστατευόμενη καλλιέργεια έχει αποδειχθεί ότι είναι ιδιαίτερα αποδοτική και τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ραγδαία ανάπτυξη σε ολόκληρο τον κόσμο.

Ο πίνακας 1 συνοψίζει την εκτιμώμενη έκταση των θερμοκηπίων σε διάφορες περιοχές της γης.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΤΟΥΝΕΛ (ha)	ΥΑΛΟΦΡΑΚΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ (ha)	ΣΥΝΟΛΟ
Δυτική Ευρώπη	150.000	30.000	180.000
Ανατολική Ευρώπη	25.000	2.000	27.000
Αφρική	27.000	600	27.600
Μέση Ανατολή	28.000	13.000	41.000



<b>Βόρεια Αμερική</b>	10.000	1.500	11.500
<b>Κεντρική/Νότια</b>	12.500	–	12.500
<b>Αμερική</b>	450.000	2.500	452.500
<b>Κίνα /Ιαπωνία/Ωκεανία</b>	150.000	30.000	180.000
<b>ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ</b>	702.500	49.600	752.100

Πίνακας 1. Εκτιμώμενη έκταση θερμοκηπίων σε διάφορες περιοχές της γης

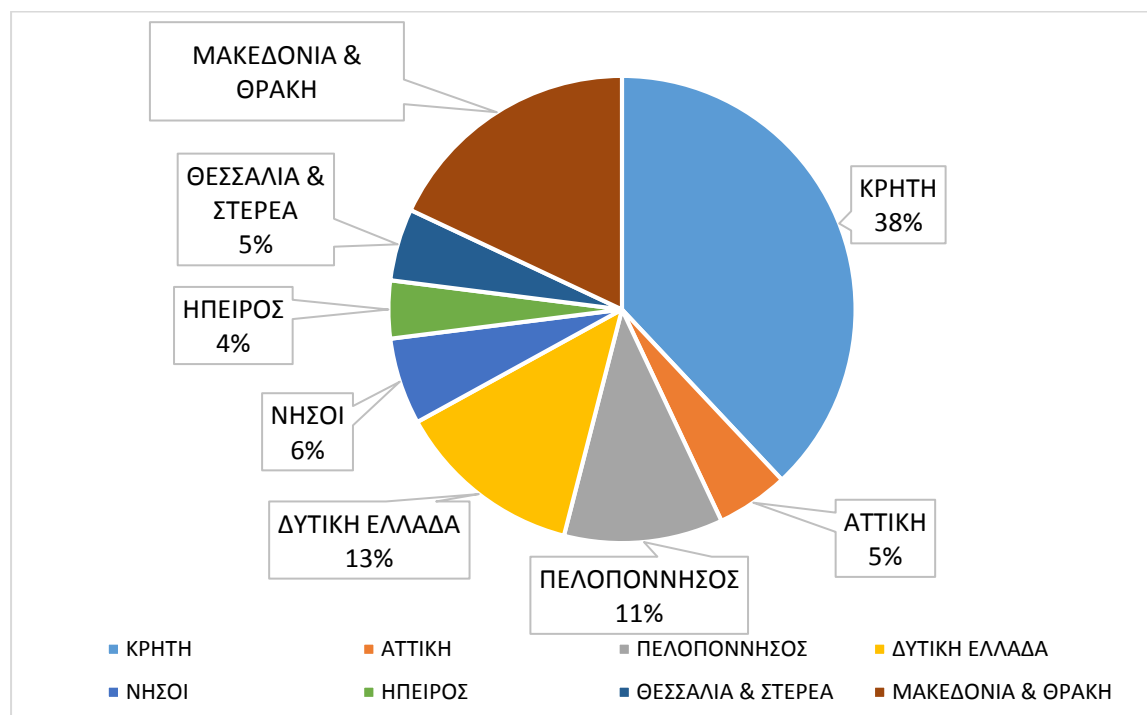
Στην Ελλάδα, ο κλάδος των θερμοκηπίων παρουσίασε ουσιαστικά στασιμότητα τα τελευταία είκοσι χρόνια, κυρίως λόγω της έλλειψης αναπτυξιακής πολιτικής με στόχο τις επενδύσεις στον πρωτογενή τομέα. Επιπρόσθετα, τα προηγούμενα χρόνια παρατηρήθηκε μια συνεχιζόμενη προσπάθεια διατήρησης των οικονομικών ενισχύσεων σε αγροτικά προϊόντα, όπως το βαμβάκι, το οποίο όμως δεν ευδοκιμεί στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες και ειδικά στη Β. Ελλάδα. Ακόμη, οι μικρές ατομικές θερμοκηπιακές εκμεταλλεύσεις (<0.5 ha) αποτέλεσαν ανασταλτικό παράγοντα στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών, τόσο στον τομέα των κατασκευών, όσο και στις νέες μεθόδους καλλιεργητικών τεχνικών.

Αυτό είχε ως συνέπεια η μέση παραγωγικότητα των ελληνικών θερμοκηπίων να βρίσκεται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα σε σύγκριση με άλλες χώρες, ακόμη και στην περιοχή της Μεσογείου. Από την άλλη μεριά, οι θερμοκηπιακές εκμεταλλεύσεις λειτουργούν χωρίς τη βοήθεια οικονομικών ενισχύσεων και παράγουν την υψηλότερη προστιθέμενη αξία ανά μονάδα καλλιεργούμενης επιφάνειας.

Για να είναι βιώσιμες νέες επενδύσεις στον τομέα των θερμοκηπίων στην Ελλάδα, πέρα από την προσοχή που χρειάζεται να δοθεί στην ποιότητα των προϊόντων, πρέπει να αντιμετωπιστεί και ένα καίριο ζήτημα που είναι το ενεργειακό κόστος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αν η ίδια η θερμοκηπιακή επιχείρηση περιλαμβάνει και τμήμα παραγωγής ενέργειας. Τέτοια περίπτωση είναι η αξιοποίηση του φυσικού αερίου για την παραγωγή ρεύματος, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του θερμοκηπίου. Στις μονάδες αυτές, που εξειδικεύονται στην παραγωγή τομάτας και πιπεριάς αντίστοιχα, εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το σύστημα της συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (ΣΗΘ) για την παραγωγή θερμοκηπιακών προϊόντων. Ηλεκτρική ενέργεια παράγεται με καύση φυσικού αερίου, ενώ από τα προϊόντα της καύσης, η θερμότητα και το CO<sub>2</sub>, χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση και τον έλεγχο του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Το δίκτυο του φυσικού αερίου επεκτείνεται συνεχώς στη χώρα μας και οι συγκεκριμένες επενδύσεις που υπάγονται

σε καθεστώς ενίσχυσης στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας, μπορούν να αποτελέσουν κίνητρο για τη διάδοση της τεχνολογίας αυτής και τη δημιουργία νέων θερμοκηπιακών μονάδων.

Το διάγραμμα 1 αποτυπώνει τη ποσοστιαία κατανομή των ελληνικών θερμοκηπίων στην επικράτεια.



Διάγραμμα 1. Κατανομή θερμοκηπίων στην επικράτεια

## 1.2 Ιστορική αναδρομή

Ανά τον κόσμο παρατηρούνται έντονες διαφορές αναφορικά με το επίπεδο τεχνολογίας που χρησιμοποιείται στον τομέα της προστατευόμενης καλλιέργειας. Στη Δυτική Ευρώπη και την Βόρεια Αμερική ο συγκεκριμένος τρόπος καλλιέργειας ξεκίνησε ως μια καινοτόμα και εξελιγμένη εκδοχή της παραδοσιακής ανοιχτής καλλιέργειας, η οποία είχε ως στόχο να προστατεύσει την παραγωγή από αντίξοες καιρικές συνθήκες (χαμηλές θερμοκρασίες, άνεμο, βροχή, χαλάζι) καθώς και από έντομα, προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι παραγωγικές απώλειες και να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή. Η προστασία της παραγωγής με ένα κάλυμμα είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ευνοϊκού μικροκλίματος. Σε συνεργασία με τα υπάρχοντα τότε απλά μέσα ελέγχου του μικροκλίματος (π.χ. συστήματα θέρμανσης και εξαερισμού), έγινε δυνατή η βελτίωση της παραγωγής τροφίμων με υψηλότερα επίπεδα απόδοσης. Η τεχνολογία διατηρήθηκε απλή για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Ωστόσο, από το 1960 οπότε και οι βασικές ανάγκες διατροφής της κοινωνίας ικανοποιήθηκαν, η κατάσταση άλλαξε ριζικά και άρχισαν να αναπτύσσονται πολυπλοκότερα συστήματα υψηλής τεχνολογίας για την παραγωγή.

Η τάση αυτή προέκυψε από την ανάγκη για τρόφιμα καλύτερης ποιότητας και ασφαλέστερα, αξιόπιστα προϊόντα και πιο εξειδικευμένα προϊόντα. Τέτοια παραγωγή απαιτεί πολύπλοκη τεχνολογία με αυξημένες ανάγκες ενέργειας. Επιπλέον απαιτεί έμπειρους ειδικούς, οι οποίοι έχοντας μια ευρύτερη κατανόηση των περιορισμένων πηγών ενέργειας και των συνεπειών της αυξημένης χρήσης ενέργειας και θρεπτικών στοιχείων στο περιβάλλον, θα οδηγήσουν την έρευνα σε περαιτέρω τεχνολογική καινοτομία.

Όλα τα προστατευμένα συστήματα καλλιέργειας, ασχέτως γεωγραφικής τοποθεσίας, διέπονται από βασικά στοιχεία ελέγχου του κλίματος και παρέχουν ανάλογα με τον σχεδιασμό και την πολυπλοκότητα μικρότερο ή μεγαλύτερο έλεγχο περιβάλλοντος και ανάλογη ανάπτυξη φυτών και παραγωγικότητας. Τα βασικά τους στοιχεία περιλαμβάνουν

- Ισχυρή δομή ή μεταλλική κατασκευή που παρέχει ένα φυσικό όριο και δομική στήριξης.
- Υλικό κάλυψης που παρέχει προστασία από αντίξοες καιρικές συνθήκες, ενώ εγκλωβίζει την θερμότητα και περιορίζει την μεταφορά μάζας και εντόμων.
- Εξοπλισμό για επίτευξη περιβαλλοντικού ελέγχου για να διατηρηθούν οι επιθυμητές συνθήκες ανάπτυξης και παραγωγής.
- Σύστημα θρέψης για απρόσκοπτη παροχή  $H_2O$ ,  $O_2$  και θρεπτικών στοιχείων στο ριζικό σύστημα των φυτών

### 1.3 Το ενεργειακό πρόβλημα

Η ανάγκη για μείωση του ενεργειακού κόστους έχει ιδιαίτερη σημασία, επειδή η ενέργεια αποτελεί μεγάλο μέρος του συνολικού κόστους παραγωγής. Στις Μεσογειακές χώρες υπολογίστηκε ότι η χρήση ενέργειας για έλεγχο των συνθηκών

περιβάλλοντος, είναι 20% - 30% του συνολικού κόστους και το ποσοστό αυτό αυξάνεται για τις βορειότερες περιοχές. Με το πρόσφατο έντονο ενδιαφέρον για το παγκόσμιο φαινόμενο του θερμοκηπίου και τις κλιματικές αλλαγές, η έντονη χρήση των συμβατικών καυσίμων έχει αναθεωρηθεί.

Το Διεθνές Πρωτόκολλο του Κιότο κατέληξε σε έναν νέο παγκόσμιο στόχο και οι κυβερνήσεις πολλών χωρών έχουν θέσει μέγιστα επίπεδα εκπομπών CO<sub>2</sub> για διάφορες βιομηχανίες. Η βιομηχανία θερμοκηπίων είναι επομένως αντιμέτωπη με οικονομική, πολιτική και κοινωνική πίεση για μείωση της χρήσης ενέργειας και βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των θερμοκηπίων μέσω τεχνολογικών καινοτομιών. Δύο είναι οι βασικοί τρόποι προκειμένου να αυξηθεί η ενεργειακή απόδοση των θερμοκηπίων:

- Μείωση της εισερχόμενης ενέργειας εντός του θερμοκηπιακού συστήματος. Αυτή η στρατηγική μπορεί να χωριστεί σε δύο διαφορετικά μέρη:
  - Βελτίωση της τεχνολογία μετατροπής της ενέργειας έτσι ώστε να αυξηθεί η μετατροπή της ενέργειας της πηγής σε χρησιμοποιούμενη ενέργεια (θέρμανση, ψύξη, τεχνητός φωτισμός)
  - Μείωση των ενεργειακών απωλειών
- Αύξηση της παραγωγής ανά μονάδα επιφάνειας. Η αύξηση της παραγωγής ανά μονάδα επιφάνειας μπορεί να επιτευχθεί, κυρίως με βελτιστοποίηση των συνθηκών ανάπτυξης των θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Όλα εκείνα τα καλλιεργητικά μέτρα που αυξάνουν την παραγωγή, όπως βελτιωμένη άρδευση, καλύτερη θρέψη βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση των θερμοκηπίων.

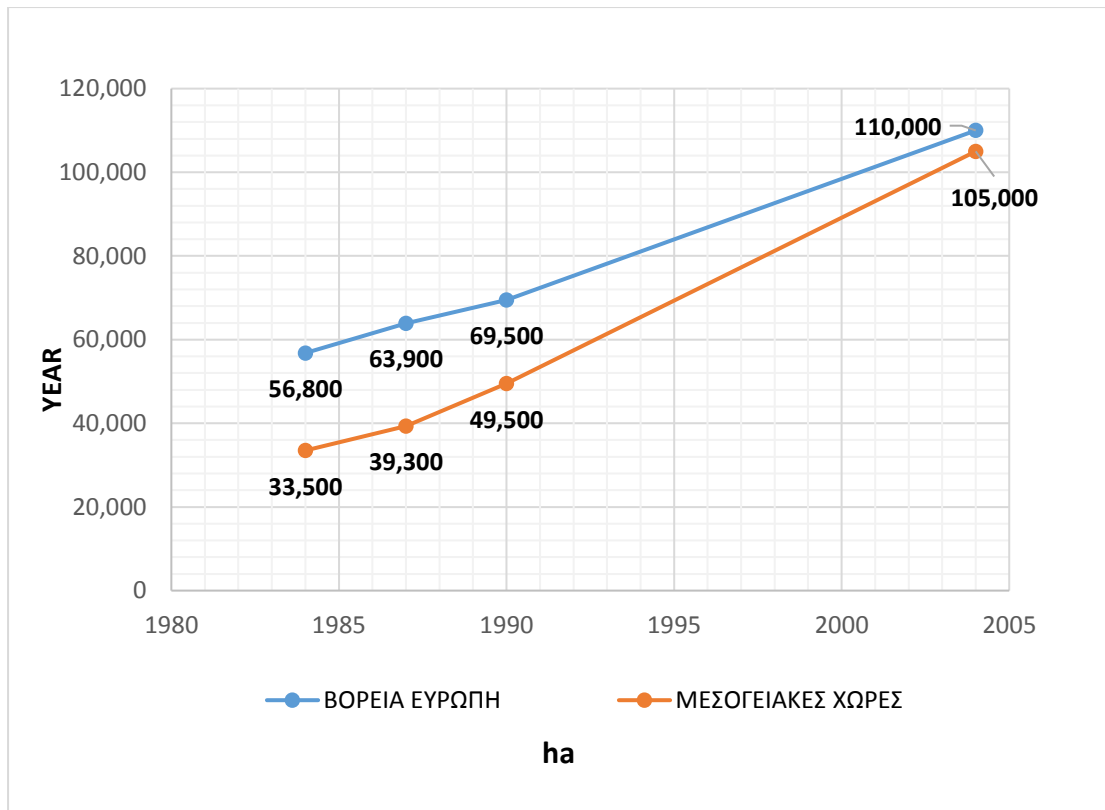
Αξίζει να αναφερθεί ότι εάν το ενδιαφέρον εστιαστεί μεμονωμένα στην ενεργειακή αποδοτικότητα των θερμοκηπίων χωρίς να λάβουμε υπόψη την απόλυτη χρήση ενέργειας, θα υπάρχουν απροσδόκητα και δυσμενή αποτελέσματα από περιβαλλοντικής άποψης. Στις Μεσογειακές περιοχές, η θέρμανση χρησιμοποιείται συστηματικά πλέον, για την επίτευξη πρώιμης, μεγαλύτερης και ποιοτικότερης παραγωγής Αυτό οδήγησε σε υψηλότερη ενεργειακή απόδοση των θερμοκηπίων, αλλά ταυτόχρονα και σε πολύ υψηλότερη απόλυτη χρήση ενέργειας.

Επιπλέον, ένας βελτιωμένος έλεγχος των συνθηκών περιβάλλοντος του θερμοκηπίου, χρησιμοποιώντας την απαιτούμενη θέρμανση και τεχνητό φωτισμό, και εντατικοποιημένα σχήματα παραγωγής, οδηγούν σε ακόμα μεγαλύτερη αύξηση κατανάλωση ενέργειας. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στις βορειότερες χώρες, με την διαφορά όμως ότι εκεί η υψηλή κατανάλωση ενέργειας σχετίζεται εκτός από την θέρμανση με την χρήση τεχνητού φωτισμού η οποία εφαρμόζεται σε πολύ υψηλότερη κλίμακα σε σχέση με τις Μεσογειακές χώρες.

Η εφαρμογή των παραπάνω παρά το πρόβλημα της αυξημένης χρήσης ενέργειας έχει οδηγήσει σε ταχεία εξάπλωση των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων στην Ευρώπη λόγω της συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας. Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται η αύξηση των θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ευρώπη.

<b>ΠΕΡΙΟΧΗ</b>	<b>1984 (ha)</b>	<b>1987 (ha)</b>	<b>1990 (ha)</b>	<b>2004 (ha)</b>
<b>ΒΟΡΕΙΑ ΕΥΡΩΠΗ</b>	<b>56.800</b>	<b>63.900</b>	<b>69.500</b>	<b>110.000</b>
<b>ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΧΩΡΕΣ</b>	<b>33.500</b>	<b>39.300</b>	<b>49.500</b>	<b>105.000</b>

Πίνακας 2. Θερμοκηπιακές εκτάσεις στην Ευρώπη σε συγκεκριμένα έτη



Διάγραμμα 2. Θερμοκηπιακές εκτάσεις στην Ευρώπη σε συγκεκριμένα έτη

Στις Μεσογειακές χώρες, στις Κάτω Χώρες και στις Ηνωμένες Πολιτείες η συνολική κατανάλωση ενέργειας και οι αντίστοιχες εκπομπές CO<sub>2</sub>, παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις παρά τις προσπάθειες βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας των θερμοκηπίων. Η μικρή μείωση της συνολικής παραγωγής εκπομπών CO<sub>2</sub> παρά τον περίπου διπλασιασμό της φυτικής παραγωγής, οφείλεται σε αντίστοιχη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των θερμοκηπίων. Η ανάπτυξη αποδοτικών θερμοκηπιακών συστημάτων είναι μια διαδικασία βελτιστοποίησης και το αποτέλεσμα μιας σταδιακής ανάπτυξης και προσαρμογής του συστήματος παραγωγής, ώστε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις λαμβάνοντας υπόψη δεδομένους περιορισμούς και συνθήκες.

- Κατά την διάρκεια του φθινοπώρου/χειμώνα ο αντικειμενικός στόχος είναι να ελαχιστοποιηθούν οι ενεργειακές απώλειες και να μεγιστοποιηθεί η ποσότητα ακτινοβολίας που προέρχεται είτε από φυσικό είτε από τεχνητό φωτισμό.

- Κατά την διάρκεια της άνοιξης/καλοκαιριού ο στόχος είναι να μειωθούν οι υψηλές θερμοκρασίες.

Τα παραπάνω εναρμονίζονται με τις προσπάθειες να ελεγχθεί η διαδικασία παραγωγής σε ετήσια βάση, να βελτιστοποιηθεί το επίπεδο παραγωγής και κατά συνέπεια η ενεργειακή αποδοτικότητα των θερμοκηπίων

Η κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση του θερμοκηπίου συνιστά ένα μείζον πρόβλημα για όλους τους παραγωγούς θερμοκηπιακών προϊόντων σε όλο τον κόσμο. Αυτό συμβαίνει διότι οι απώλειες του θερμοκηπίου σε θερμότητα λόγω των λεπτών τοιχωμάτων του και της κατασκευής του, είναι πολύ μεγάλες συγκριτικά με εκείνες ενός συνήθους κτίσματος ίσου όγκου. Η θερμότητα παρέχεται στο θερμοκήπιο κυρίως μέσω των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης (συστήματα σωληνώσεων θερμού νερού, συστήματα θερμού αέρα) και σε περιορισμένη έκταση με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακή, γεωθερμία, βιομάζα). Για να επιτευχθεί με αυτές τις μεθόδους η απαραίτητη θερμοκρασία στο επίπεδο των φυτών, το εσωτερικό του θερμοκηπίου πρέπει να θερμανθεί στην ίδια ή σε ακόμα υψηλότερη θερμοκρασία από την καθορισμένη θερμοκρασία των φυτών

Οι κύριες διαδικασίες ενεργειακών απωλειών που συμβαίνουν σε ένα θερμοκήπιο είναι:

- a. συναγωγή και ακτινοβολία από το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου
- b. μεταφορά θερμότητας και λανθάνουσας θερμότητας λόγω διαφυγών και εξαερισμού και
- c. μεταφορά θερμότητας με αγωγή προς το έδαφος.

Αποσκοπώντας στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και στην δημιουργία ενός ενεργειακά αποδοτικού θερμοκηπίου, πληθώρα τεχνικών έχουν προταθεί και εφαρμοστεί κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών. Μεταξύ αυτών είναι:

- η βελτίωση της μόνωσης του θερμοκηπίου που επιτυγχάνεται με τεχνικές διπλής κάλυψης με χρήση πετασμάτων εξοικονόμησης ενέργειας με χρήση διαφορετικών υλικών κάλυψης όπως τυπικό υαλοπίνακα, LE-υαλοπίνακα, PE-IR, PVC
- η μείωση των διαφυγών/εξαερισμού που επιτυγχάνεται με βελτίωσης της δομικής κατασκευής του θερμοκηπίου και η βελτίωση των συστημάτων θέρμανσης

Αν και οι προαναφερθείσες μέθοδοι συμβάλλουν σε εξοικονόμηση ενέργειας, οι συνολικές ενεργειακές απώλειες του θερμοκηπίου παραμένουν υψηλές διότι δεν εξετάζεται η βασική προϋπόθεση της θέρμανσης ολόκληρου του περιβάλλοντος των θερμοκηπίων. Είναι σαφές ότι λόγω της ταχείας εξάπλωσης των θερμοκηπίων παρουσιάζεται οικονομικό και ενεργειακό κίνητρο για ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας.

#### 1.4 Σκοπός της εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως στόχο την μελέτη και αναφορά των συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών των θερμοκηπίων. Η κάλυψη αυτών με συμβατικά συστήματα έχει σαφέστατα δυσμενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι οποίες χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης. Επομένως, κρίνεται αναγκαίο να διερευνηθούν άμεσα συστήματα τα οποία θα μειώσουν τις θερμικές ανάγκες με βιώσιμες μεθόδους.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ

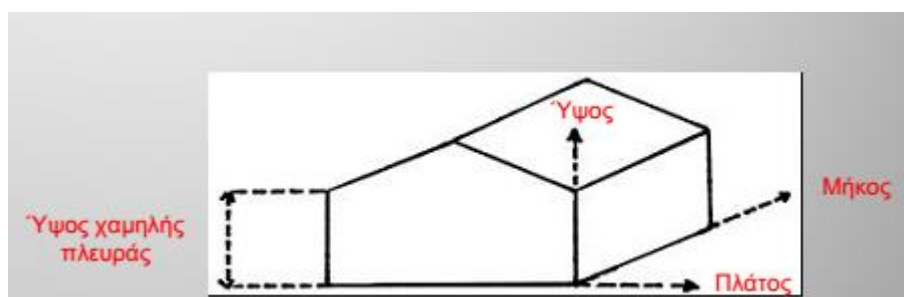
### ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

#### 2.1 Βασικοί τύποι θερμοκηπίων

Τα θερμοκήπια σύμφωνα με τις μελέτες του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης διαχωρίζονται με βάση δύο κριτήρια 1) το σχήμα της βασικής κατασκευαστικής μονάδας και 2) τον τρόπο κατασκευής τους.

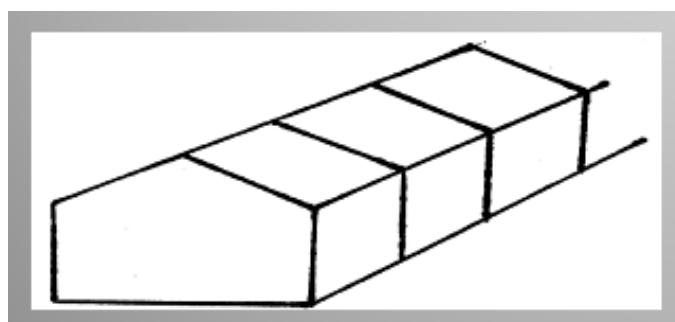
Αναφορικά με το πρώτο κριτήριο, τα θερμοκήπια διακρίνονται σε:

#### Αμφίρρικτο



Εικόνα 1. Αμφίρρικτο

#### Αμφίρρικτο απλό



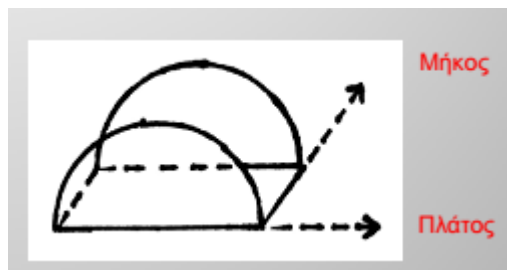
Εικόνα 2. Αμφίρρικτο απλό

Αμφίρρικτο πολλαπλό



Εικόνα 3. Αμφίρρικτο πολλαπλό

Τοξωτό



Εικόνα 4. Τοξωτό

Τοξωτό απλό



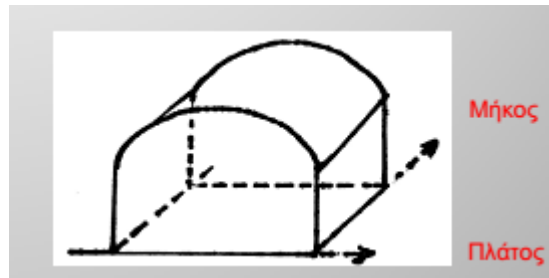
Εικόνα 5. Τοξωτό απλό

### Τοξωτό πολλαπλό



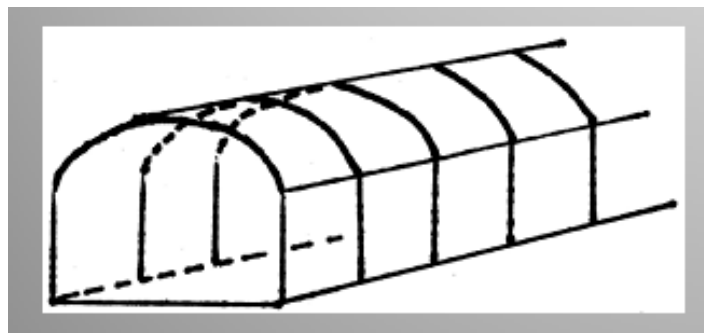
Εικόνα 6. Τοξωτό πολλαπλό

### Τροποποιημένο τοξωτό



Εικόνα 7. Τροποποιημένο τοξωτό

### Τροποποιημένο τοξωτό απλό



Εικόνα 8. Τροποποιημένο τοξωτό απλό

### Τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό



Εικόνα 9. Τροποποιημένο τοξωτό απλό

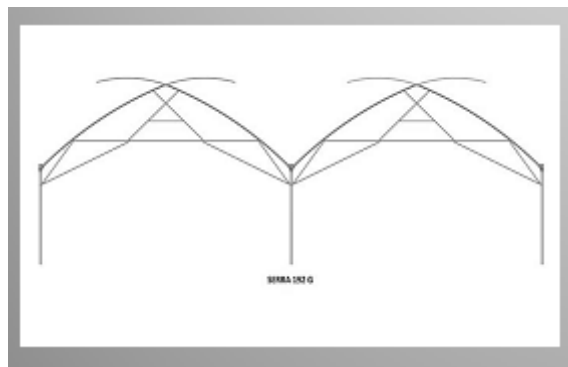
Σε σχέση με το δεύτερο κριτήριο τα θερμοκήπια διακρίνονται σε

- 1) Χωρικού τύπου, τα οποία κατασκευάζονται από τους ίδιους τους παραγωγούς
- 2) Τυποποιημένα, τα οποία κατασκευάζονται μαζικά από βιομηχανίες-βιοτεχνίες.

### 2.2 Νέοι τύποι θερμοκηπιακών κατασκευών

Εκτός από τους βασικούς τύπους θερμοκηπίων που αναφέρθηκαν παραπάνω, στην βιβλιογραφία παρουσιάζονται και δύο νέοι τύποι:

- 1) Θερμοκήπια Γοτθικού τύπου με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: ύψος υδρορροής: 2.6 – 5.0 m  
ύψος κορφιά : 4.6 – 6.8 m

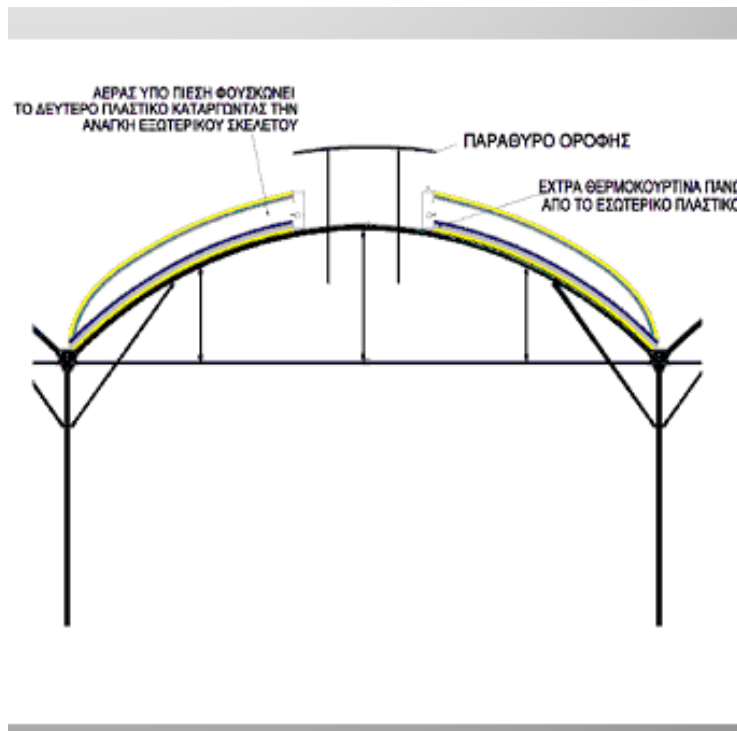


Εικόνα 10. Θερμοκήπιο γοτθικού τύπου (1)



Εικόνα 11. Θερμοκήπιο γοθθικού τύπου (2)

2) Γεωθερμικά θερμοκήπια



Εικόνα 12. Γεωθερμικό θερμοκήπιο

Επιπλέον, ορισμένοι νέοι τύποι θερμοκηπιακών κατασκευών παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα, τα οποία διαθέτουν σημαντικά πλεονεκτήματα.

- Προβατοστάσια



Εικόνα 13. Προβατοστάσιο

- Πτηνοτροφεία



Εικόνα 14. Πτηνοτροφείο

- Βουστάσια



Εικόνα 15. Βουστάσιο

- Μανιταροθάλαμοι



Εικόνα 16. Μανιταροθάλαμοι

- Σαλιγκαροτροφεία



Εικόνα 17. Σαλιγκαροτροφείο

- Ιχθυοτροφεία



Εικόνα 18. Ιχθυοτροφείο

### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Ελαφριά κατασκευή
- Χαμηλό κόστος
- Αντικατάσταση τμημάτων
- Δεν είναι απαραίτητη η οικοδομική άδεια
- Εξαερισμός/φωτισμός



### 2.3 Υλικά κατασκευής & κάλυψης

Όσον αφορά την κατασκευή των σκελετών των θερμοκηπίων, διακρίνουμε τα ακόλουθα υλικά:

- 1) Ξυλεία
- 2) Μέταλλα
- 3) Αλουμίνιο

Η κάλυψη των θερμοκηπίων γίνεται με τρία είδη υλικών, τα οποία παρουσιάζουν μια σειρά από πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Πιο συγκεκριμένα, στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα υλικά κάλυψης με τα βασικά τους χαρακτηριστικά.

<u>Υλικά</u>	<u>Χαρακτηριστικά</u>
Υαλοπίνακας (Γυαλί ή τζάμι)	Ελάχιστο πάχος 3-4mm Διαπερατότητα φωτός 88-92% Καλή θερμομόνωση Μεγάλη διάρκεια ζωής Υψηλό κόστος κατασκευής Ανεπαρκής στεγανότητα στα σημεία σύνδεσης γυαλιού- σκελετού Αυξημένη πιθανότητα καταστροφής λόγω καιρικών συνθηκών
Άκαμπτο πλαστικό	➤ Πολυκαρβονικά φύλλα (PC) Πάχος 6mm Υψηλή ανθεκτικότητα στην κρούση Μικρό βάρος Διαπερατότητα έως 80% (οπτική & υπέρυθη ακτινοβολία) ➤ Ακρυλικές πλάκες (Πολυμεθακρυλλικός

	<p>μεθυλεστέρας, PMMA)  Πάχος 1mm  Διαπερατότητα έως 92%</p> <p>➤ Πολυεστέρας ενισχυμένος με γυάλινες ίνες  (GFR ή Fiberglass)  Πάχος 1mm  Διαπερατότητα έως 90%</p>
Εύκαμπτο πλαστικό	<p>Πολυαιθυλένιο (PE)  Μικρό βάρος &amp; χαμηλό κόστος  Εύκολα επεξεργάσιμο και διαμορφώσιμο  Αξιόλογες οπτικές ιδιότητες  Μικρή διάρκεια ζωής</p>

Πίνακας 3. Υλικά Θερμοκηπίων και Χαρακτηριστικά τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> - ΤΟ ΘΕΡΜΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

### 3.1 Θερμοκρασία και ανάπτυξη

Το πρωταρχικό αντικείμενο ενός θερμοκηπίου είναι η υψηλότερη παραγωγή προϊόντων εκτός καλλιεργητικής περιόδου, η επίτευξη της οποίας προϋποθέτει βέλτιστες θερμοκρασίες σε κάθε στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας. Το μικροκλίμα των φυτών εντός του θερμοκηπίου καθορίζεται με όρους θερμοκρασίας αέρα, έντασης

φωτισμού (ηλιακή ακτινοβολία ή τεχνητός φωτισμός), σύνθεσης αέρα (συγκέντρωση CO<sub>2</sub>) και σύστασης εδάφους (H<sub>2</sub>O, και θρεπτικά στοιχεία). Η ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία αέρα και εδάφους είναι οι καθοριστικοί παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη στην μελέτη της αλληλεπίδρασης του φυτού και του περιβάλλοντός του. Νεότερες έρευνες δείχνουν όμως, ότι και οι θερμοκρασία του φύλλου καθώς και η θερμοκρασία εδάφους πρέπει να είναι οι κατάλληλες για την ομαλή ανάπτυξη των Για να επιτευχθούν βέλτιστες εσωτερικές συνθήκες, είναι απαραίτητη η θέρμανση, ιδιαίτερα κατά την διάρκεια των ψυχρών εποχών.

#### ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΦΥΤΟΥ.

Ανάμεσα στο φυτό και το περιβάλλον του συμβαίνει συνεχώς ανταλλαγή ενέργειας κυρίως με συναγωγή, ακτινοβολία και λανθάνουσα θερμότητα. Προφανώς και η ενέργεια που εκπέμπεται από το περιβάλλον του φυτού απορροφάται από αυτό, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία του μέχρι να αποκατασταθεί ισορροπία.

Η θερμοκρασία ισορροπίας καθορίζεται από τα κάτωθι:

- Από την αφαίρεση ενέργειας από το φυτό μέσω αγωγής και συναγωγής. Καθώς την ημέρα αυξάνεται η μετακίνηση του αέρα λόγω εξαερισμού και διαφυγών του θερμοκηπίου, περισσότερη θερμότητα απομακρύνεται μέσω αγωγής και συναγωγής από το φυτό και η θερμοκρασία φυτού πλησιάζει την θερμοκρασία του αέρα. Όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από αυτήν του φυτού (κυρίως την θερμική νύχτα όταν λειτουργεί σύστημα θέρμανσης) τότε η θερμότητα ρέει σε αντίθετη κατεύθυνση τείνοντας να αυξήσει την θερμοκρασία του φυτού.

- Από το γεγονός ότι το φυτό θα επανεκπέμψει θερμική ακτινοβολία προς το περιβάλλον του, ποσό που εξαρτάται από την διαφορά της τέταρτης δύναμης των θερμοκρασιών μεταξύ φυτού και περιβάλλοντος ( $Tp_4 - Ta_4$ ).

- Από το ποσό της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε φωτοχημικές διαδικασίες όπως είναι η φωτοσύνθεση και η αναπνοή. Η ποσότητα αυτή είναι αμελητέα και στο ενεργειακό ισοζύγιο παραλείπεται.

- Από το ποσό της λανθάνουσας θερμότητας που μεταφέρεται με την διαπνοή των φυτών.

- Από την θερμική ικανότητα του φυτού να αποθηκεύει το ίδιο θερμότητα στους ιστούς και στην μάζα του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να παρατηρείται διαφοροποίηση της θερμοκρασίας μεταξύ λεπτότερων και πυκνότερων φύλλων του ίδιου φυτού. Το τελικό αποτέλεσμα των παραπάνω είναι να ελαχιστοποιείται η δυνατότητα ελέγχου του ενεργειακού ισοζυγίου της φυτικής επιφάνειας κάτω από ραγδαίες αλλαγές συνθηκών όπως της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, του εξαερισμού και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

Η επίτευξη ομοιόμορφα κατανεμημένης θερμοκρασίας σε όλο τον χώρο του θερμοκηπίου παρουσιάζει ειδικές δυσκολίες, καθώς η θερμοκρασία ποικίλει από την μία περιοχή του θερμοκηπίου στην άλλη, εξαρτώμενη από τον τύπο και την διάταξη των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, από την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου, από τον προσανατολισμό του θερμοκηπίου, την δομή του θερμοκηπίου και την διάταξη της καλλιέργειας.

Ακόμα και αν η θερμοκρασία του αέρα δύναται να ελεγχθεί ομοιόμορφα σε όλο τον χώρο του θερμοκηπίου, η ανταπόκριση των φυτών παραμένει λειτουργία εξαρτώμενη μερικώς από την θέση του φυτού. Έχει παρατηρηθεί ότι η νότια περιοχή του θερμοκηπίου που έχει προσανατολισμό στην διεύθυνση Α-Δ δίνει υψηλότερες αποδόσεις. Ο λόγος για αυτές τις διακυμάνσεις απόδοσης οφείλεται κυρίως στην μεταβολή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στα τοιχώματα του θερμοκηπίου και στο ποσό της εισερχόμενης ακτινοβολίας εντός του θερμοκηπίου.

### ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

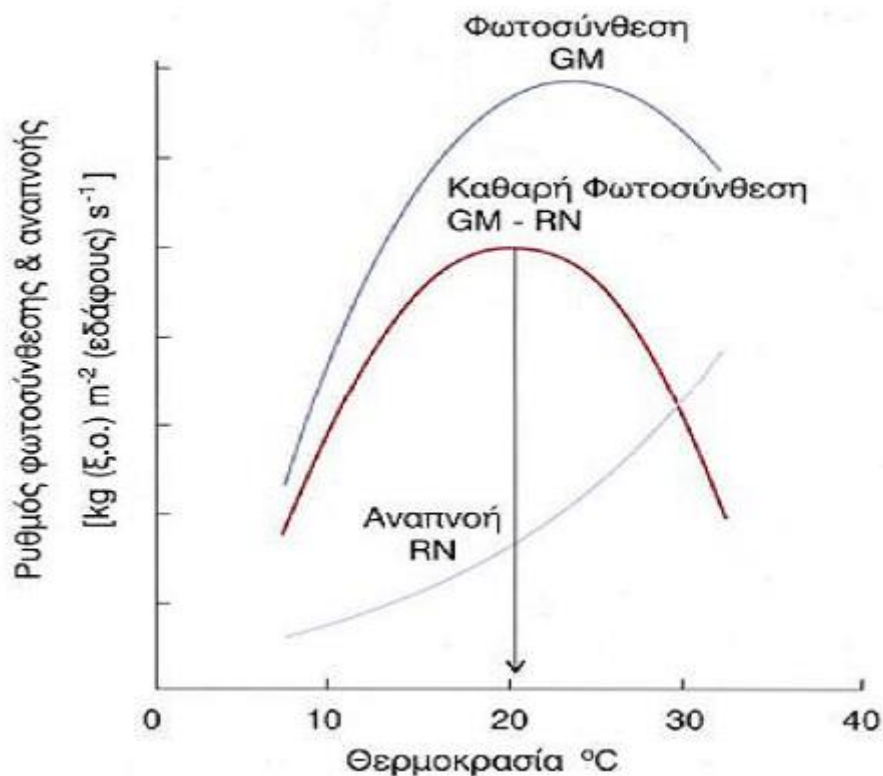
Η θερμοκρασία είναι μια σημαντική παράμετρος από την οποία εξαρτώνται βασικές φυσιολογικές λειτουργίες κοινές σε όλα τα φυτά. Αυτές είναι η φωτοσύνθεση,

αναπνοή, διαπνοή, πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων, αναπαραγωγή, επιμήκυνση, και πολλές άλλες. Η θερμοκρασία επηρεάζει όλες αυτές τις διαδικασίες με διάφορους τρόπους και σε διαφορετικό βαθμό.

Μέσα σε ένα περιορισμένο εύρος θερμοκρασιών εντός του οποίου γίνεται η ανάπτυξη του φυτού, οι χημικές αυτές διαδικασίες διπλασιάζονται από κοινού για κάθε 10 °C αύξηση της θερμοκρασίας. Η αναπνοή δείχνει μια συνεχή αύξηση καθώς η θερμοκρασία αυξάνει, το ίδιο και η φωτοσύνθεση. Αλλά η φωτοσύνθεση από ένα σημείο και μετά περιορίζεται από την πλεονάζουσα διαθέσιμη ενέργεια και συγκέντρωση CO<sub>2</sub>. Το μέγιστο της διαφοράς (μέγιστο καθαρής φωτοσύνθεσης) καθορίζει την βέλτιστη θερμοκρασία για μεγιστοποίηση της παραγωγής.

Η αύξηση της θερμοκρασίας επίσης επηρεάζει και φυσιολογικές λειτουργίες του φυτού όπως είναι η διαπνοή. Μια αύξηση της θερμοκρασίας των φύλλων θα οδηγήσει σε αύξηση του ρυθμού διαπνοής. Εξαιτίας αυτού η διαπνοή γίνεται με γρηγορότερο ρυθμό υπό την προϋπόθεση ότι η πίεση υδρατμών στο περιβάλλον του φύλλου παραμένει σταθερή. Επίσης αν η θερμοκρασία του εδάφους είναι χαμηλή ή πολύ χαμηλή, η πρόσληψη H<sub>2</sub>O και θρεπτικών στοιχείων καθώς και η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος μειώνονται, ακόμα και σε τέτοιο σημείο που να σταματήσει και η ανάπτυξη του υπέργειου μέρους του φυτού άσχετα από την θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Η επίδραση της θερμοκρασίας στην διαδικασία της επιμήκυνσης διαφέρει ανάλογα με το μέρος του φυτού στο οποίο αναφερόμαστε. Για παράδειγμα μια νυχτερινή θερμοκρασία 20 °C προκαλεί καθημερινή επιμήκυνση του ριζικού συστήματος κατά 10 mm αλλά δεν έχει την ίδια επίδραση στην επιμήκυνση του βλαστού. Όσον αφορά ολόκληρο το φυτό, η μέγιστη επιμήκυνση συμβαίνει σε κάποιες ενδιάμεσες θερμοκρασίες.



Εικόνα 19. Επίδραση της θερμοκρασίας στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και αναπνοής

### ΒΕΛΤΙΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου θεωρείται πολύ σημαντικός παράγοντας και ασκεί επιρροή στην ταχύτητα της πορείας των φυσιολογικών διεργασιών που συντελούν στην ανάπτυξη του φυτού. Η καλύτερη απόδοση της καλλιέργειας γίνεται σε ένα ορισμένο εύρος τιμών, το οποίο καλείται βέλτιστο και για τις θερμοκηπιακές καλλιέργειες βρίσκεται μεταξύ 10 °C και 30 °C. Ως βέλτιστη θερμοκρασία αναφέρεται η ευνοϊκή θερμοκρασία στην οποία τα ένζυμα που είναι ευαίσθητα στην θερμότητα και υπεύθυνα για τις βιοχημικές αντιδράσεις του φυτού ενεργοποιούνται και το φυτό αναπτύσσεται απρόσκοπτα κάτω από συγκεκριμένες κλιματολογικές συνθήκες. Στον πίνακα 4 δίνεται ένα εύρος βέλτιστων θερμοκρασιών (ημερήσιων και νυχτερινών) για τα κυριότερα είδη και ποικιλίες που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια. Από τον πίνακα μερικές γενικές αρχές μπορούν να αναδειχθούν όπως:

-Τα περισσότερα φυτικά είδη απαιτούν ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας. Αυτό διότι καθαρή ανάπτυξη της καλλιέργειας συμβαίνει όταν η φωτοσύνθεση είναι

μεγαλύτερη από την αναπνοή. Κατά την διάρκεια της ημέρας η βέλτιστη θερμοκρασία στο θερμοκήπιο είναι αυτή που δίνει την μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ της παραγωγής της φωτοσύνθεσης και της κατανάλωσης της αναπνοής, δηλ. αυτή που δίνει την μέγιστη καθαρή φωτοσύνθεση. Την νύχτα που δεν υπάρχει φωτοσύνθεση η θερμοκρασία των φυτών διατηρείται σε χαμηλότερα επίπεδα για να μειωθεί ο ρυθμός αναπνοής. Μερικά ιθαγενή είδη των τροπικών περιοχών (τα περισσότερα φυλλώδη φυτά) συνήθως αναπτύσσονται καλύτερα εντός μιας σταθερής θερμοκρασίας ημέρας - νύχτας.

-Οι βέλτιστες θερμοκρασίες διαφέρουν με την περιοχή και την τοποθεσία (συνολική διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια)

-Οι βέλτιστες θερμοκρασίες διαφέρουν με την ηλικία και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (ριζοβολία, φύτευμα, ανθοφορία, βολβοποίηση κλπ).

-Οι βέλτιστες θερμοκρασίες διαφέρουν ανάλογα με τους αντικειμενικούς στόχους του καλλιεργητή σε σχέση με την απόδοση παραγωγής.

Θερμοκηπιακή καλλιέργεια	Ημερήσια Θερμοκρασία (°C)	Νυχτερινή Θερμοκρασία (°C)
Τομάτα	21-27	14-16
Πιπεριά	22-24	16-19
Μελιτζάνα	21-27	16-18
Αγγούρι	19-24	16-19
Κολοκύθι	25-27	16-18
Πεπόνι	20-24	16-18
Καρπούζι	21-27	18-20
Φασολάκι	25-28	15-17
Μαρούλι	17-21	14-16
Τριαντάφυλλο	23	16-18
Χρυσάνθεμο	18-22	16-18
Γαρύφαλλο	22	16-18
Ζέρμπερα	18-22	16-18
Γλαστρικά Φυλλώδη	20-24	18-20

Πίνακας 4. Βέλτιστες ημερήσιες και νυχτερινές θερμοκρασίες για διάφορες θερμοκηπιακές καλλιέργειες

## ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ

Τα περισσότερα είδη και ποικιλίες που καλλιεργούνται στα θερμοκήπια είναι απαιτητικά σε ένταση φωτός και θερμότητα. Οι θερμικές ροές που συμβαίνουν λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που παρουσιάζει το θερμοκήπιο είναι:

1. Κάθε θερμοκήπιο, επειδή καλύπτεται με διαφανές κάλυμμα, δέχεται στο εσωτερικό του το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας.

2. Οι απώλειες του θερμοκηπίου σε θερμότητα, λόγω του λεπτού τοιχώματος του καλύμματος είναι πολύ μεγάλες, 6-12 φορές μεγαλύτερες από εκείνες ενός συνήθους κτίσματος ίσου όγκου .

3. Πιο συγκεκριμένα, η ενέργεια που χάνεται τη νύχτα, όταν  $T_o < T_a$  είναι άμεσα ανάλογη με την συνολική επιφάνεια της δομής του θερμοκηπίου και με τη διαφορά θερμοκρασίας. Μια τέτοια είδους σχέση αντιπροσωπεύει υψηλές απαιτήσεις για να διατηρηθεί μια δεδομένη εσωτερική θερμοκρασία

Λόγω των ιδιαίτερων αυτών χαρακτηριστικών τις ηλιόλουστες ημέρες, η θερμοκρασία του θερμοκηπίου ανέρχεται σε πολύ υψηλά επίπεδα και τις ψυχρές νύχτες η θερμοκρασία πέφτει σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Συνεπώς η απόδοση της παραγωγής είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τις επικρατούσες θερμοκρασίες εντός του θερμοκηπίου.

### 3.2 Συμβατικά συστήματα θέρμανσης

Είναι τα περισσότερο διαδεδομένα συστήματα θέρμανσης. Έχουν υψηλό συντελεστή ενεργειακής απόδοσης αλλά και πολύ υψηλό ενεργειακό προϋπολογισμό λόγω της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων (πετρέλαιο). Με αυτά τα συστήματα η ενέργεια προσφέρεται πρωταρχικά στον αέρα του θερμοκηπίου. Πολύ σημαντικός παράγοντας σε θερμοκήπια με χρήση συμβατικών συστημάτων, είναι η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας για να διατηρηθούν εντός του θερμοκηπίου οι επιθυμητοί περιβαλλοντικοί όροι.

Η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας είναι δύσκολη με αυτά τα συστήματα και η χρήση τους μπορεί να μην οδηγήσει και ένα ομοιόμορφο θερμικό περιβάλλον. Τα ανομοιόμορφα θερμικά περιβάλλοντα αναγκάζουν τα φυτά σε διαφορετικούς



ρυθμούς αύξησης, με πιθανά προβλήματα ασθενειών, με απρόβλεπτα αποτελέσματα από εφαρμογές λίπανσης και ορμονών, και γενικά ένα δυσκολότερο σύστημα παραγωγής.

Κατά τον σχεδιασμό ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι εξής παράγοντες:

- Η θερμοκρασία κατά την διάρκεια της θέρμανσης να είναι ομοιόμορφη σε ολόκληρο το θερμοκηπίου.

- Η θερμοκρασία των φυτών πρέπει να είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του σημείου δρόσου, για να εμποδίζεται η συμπύκνωση των υδρατμών και έτσι να μειώνεται ο κίνδυνος μυκητολογικών ασθενειών.

- Η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος θέρμανσης να μην είναι πολύ υψηλή. Τα συμβατικά θερμοκηπιακά συστήματα θέρμανσης διακρίνονται σε συστήματα που μεταδίδουν τη θερμότητα με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία μέσω μιας θερμαινόμενης επιφάνειας (μεταλλικοί ή πλαστικοί σωλήνες) και σε συστήματα που μεταδίδουν τη θερμότητα με εξαναγκασμένη συναγωγή (δυναμικά) μέσω του θερμού αέρα που παράγεται από αερόθερμα και κυκλοφορεί εντός πλαστικών αγωγών πολυαιθυλενίου (PE).

Τα πρώτα έχουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης και δύσκολη ρύθμιση της λειτουργίας, αλλά ελάχιστα προβλήματα από καυσαέρια, ενώ πετυχαίνουν καλή ομοιογένεια θέρμανσης, ικανοποιητικό επίπεδο σχετικής υγρασίας και θέρμανσης του εδάφους και του αέρα. Επίσης, σε περίπτωση βλάβης του συστήματος, η πτώση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου γίνεται βαθμιαία. Τα δυναμικά συστήματα έχουν μικρότερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, εύκολη ρύθμιση της λειτουργίας και πετυχαίνουν καλή ομοιομορφία θέρμανσης, γρήγορη θέρμανση των φυτών και μείωση της συμπύκνωσης των υδρατμών στην εσωτερική επιφάνεια του υλικού κάλυψης λόγω των ρευμάτων αέρα.

Επίσης η χρήση θερμοδυναμικών συστημάτων διασφαλίζει μεγαλύτερη ευχέρεια κίνησης στο θερμοκήπιο, αφού καταλαμβάνουν μικρό όγκο. Όμως έχουν και σημαντικά μειονεκτήματα, όπως το γεγονός ότι δε θερμαίνεται το έδαφος, μειώνεται η σχετική υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου, σε περίπτωση βλάβης του συστήματος μειώνεται απότομα η θερμοκρασία και όταν οι συσκευές είναι τοποθετημένες στο

εσωτερικό υπάρχει κίνδυνος να ζημιωθούν τα φυτά από τα καυσαέρια. Ένας δεύτερος διαχωρισμός των συστημάτων θέρμανσης γίνεται στα τοπικά συστήματα, όπως αερόθερμα, θερμάστρες συναγωγής, κλπ και στα κεντρικά συστήματα θέρμανσης στα οποία περιλαμβάνονται οι λέβητες θερμού αέρα, θερμού νερού και ατμού. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα συμβατικά συστήματα θέρμανσης είναι:

Θερμός αέρας εξαναγκασμένης συναγωγής από αερόθερμα (air heating)

Θερμός αέρας εξαναγκασμένης συναγωγής από σύστημα σωληνώσεων (Poly- Tube Systems)

Κεντρικά συστήματα θέρμανσης

- 1) Κεντρικό σύστημα θέρμανσης με σωληνώσεις θερμού νερού (Hot Water Systems)
- 2) Κεντρικό σύστημα θέρμανσης με σωληνώσεις ατμού (Steam Heating System)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> - ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

### 4.1 Συστήματα θέρμανσης με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Από τη στιγμή που η εφαρμογή των συστημάτων θέρμανσης απαιτείται σχεδόν σε όλα τα θερμοκήπια, η κατανάλωση καυσίμων γίνεται ένας σημαντικός οικονομικός παράγοντας. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να ξεπεραστεί από την χρήση χαμηλού κόστους τεχνικών θέρμανσης αντί της θέρμανσης με συμβατικά καύσιμα. Εξαιτίας του υψηλού κόστους και της αβεβαιότητας της διαθεσιμότητας των συμβατικών καυσίμων,

σημαντική προσοχή έχει δοθεί στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως εναλλακτικοί τρόποι θέρμανσης των θερμοκηπίων. Τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους οι οποίοι με το πέρασμα του χρόνου εξαντλούνται.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι αποδεκτή από το κοινό.
- Θεωρούνται «πράσινες» επειδή προκαλούν ελάχιστη εξάντληση των επίγειων αποθεμάτων και μηδενικές αέριες εκπομπές κατά τη διάρκεια ενεργειακής παραγωγής.

Τα μειονεκτήματά τους επίσης είναι:

- Παρουσιάζουν διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών.
- Εξαιτίας αυτής της διακύμανσης απαιτούν δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης. δαπανηρά υπερμεγέθη και / ή συστήματα μεγάλης ενεργειακής αποθήκευσης.
- η χαμηλή διαθεσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.

Η ηλιακή, η αιολική, η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια από θερμικά απόβλητα και η βιομάζα μπορούν να αξιοποιηθούν στη θέρμανση του θερμοκηπίου. Στην πράξη, εφαρμογή με σχετικά καλά αποτελέσματα έχουν βρει αρχικά η ηλιακή ενέργεια και δευτερευόντως η γεωθερμική ενέργεια και η βιομάζα. Τα θερμοκήπια που χρησιμοποιούν τη ηλιακή ενέργεια για σκοπούς θέρμανσης ταξινομούνται σε 2 κατηγορίες, τα ενεργητικά και παθητικά ηλιακά θερμοκήπια

Τα ενεργητικά ηλιακά θερμοκήπια είναι εξοπλισμένα με ηλιακά συστήματα που χρησιμοποιούν ένα σύστημα συλλογής και μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα το οποίο είναι ξεχωριστό από το θερμοκήπιο, και ένα ανεξάρτητο σύστημα αποθήκευσης της θερμότητας. Περιλαμβάνουν διάφορους τύπους ηλιακών συσσωρευτών και συστημάτων αποθήκευσης θερμότητας

Τα παθητικά ηλιακά θερμοκήπια έχουν το σύστημα συλλογής θερμότητας ενσωματωμένο στο ίδιο το θερμοκήπιο, ή το ίδιο το θερμοκήπιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συλλέκτης.

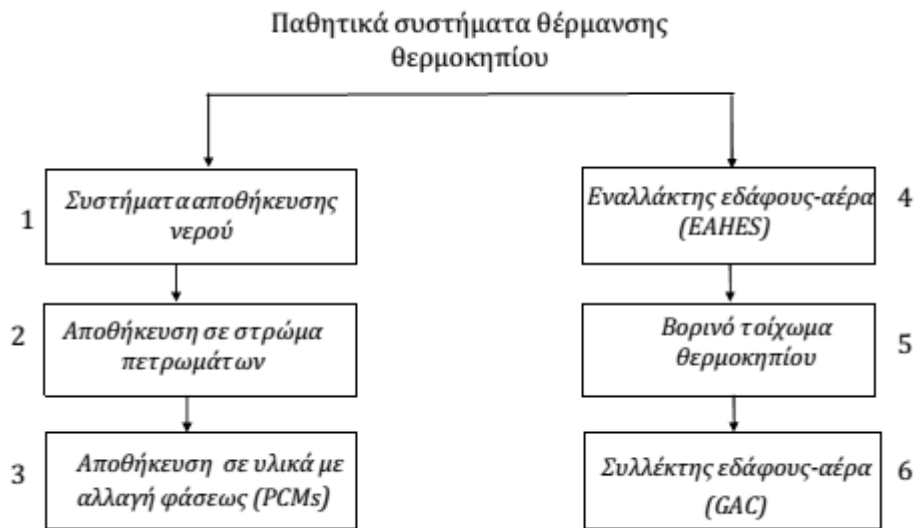
#### 4.1.1 Ενεργητικά συστήματα θέρμανσης

Τα ενεργητικά συστήματα θέρμανσης είναι λιγότερο ελκυστικά σε σχέση με τα παθητικά και η χρήση τους στα θερμοκήπια είναι περιορισμένη (και απαγορευτική για τις μικρής κλίμακας εφαρμογές) Στην κατηγορία των ενεργητικών συστημάτων θέρμανσης ανήκουν οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες, ο ολοκληρωμένος ηλιακός συλλέκτης ICS, ο σύνθετος παραβολικός συγκεντρωτικός συλλέκτης CPC, και ο κυλινδροπαραβολικός συλλέκτης.

#### 4.1.2 Παθητικά συστήματα θέρμανσης

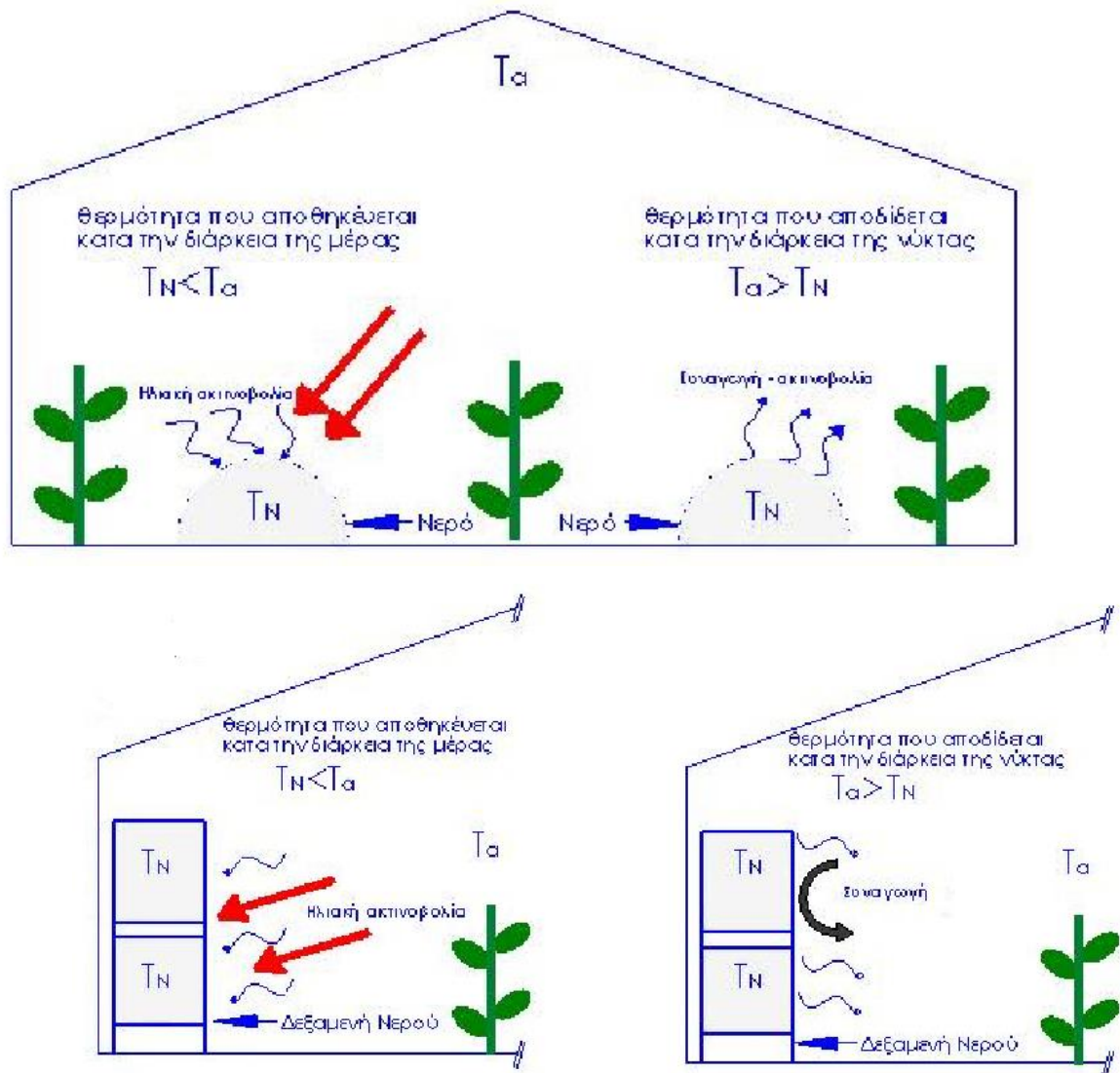
Τα παθητικά συστήματα θέρμανσης έχουν ένα μικρότερο αρχικό και λειτουργικό κόστος σε σχέση με τα ενεργητικά συστήματα. Ένα παθητικό σύστημα χρησιμοποιείται για να αυξήσει την αποθήκευση θερμότητας μέσα στο θερμοκήπιο κατά την διάρκεια της ημέρας ή για να αφαιρέσει και να μεταφέρει την περίσσεια θερμότητας μέσα από το θερμοκήπιο σε περιοχή αποθήκευσης θερμότητας. Αυτή η θερμότητα ανακτάται την νύχτα μέσα στο θερμοκήπιο για να ικανοποιήσει τις θερμικές του ανάγκες. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα είναι τα συστήματα αποθήκευσης νερού, η χρήση θερμικών αποθηκευτικών μονάδων από

εγκιβωτισμένα στρώματα πετρωμάτων και η αποθήκευση σε υλικά αλλαγής φάσεως (PCMs). Εκτός από αυτά, ο εναλλάκτης εδάφους-αέρα (EAHES), η κινητή μόνωση (κουρτίνες εξοικονόμησης ενέργειας), η αποθήκευση θερμότητας στο βορεινό τοίχωμα και ο συλλέκτης εδάφους-αέρα (GAC) χρησιμοποιούνται για την αύξηση της θερμοκρασίας την νύχτα μέσα στο θερμοκήπιο.



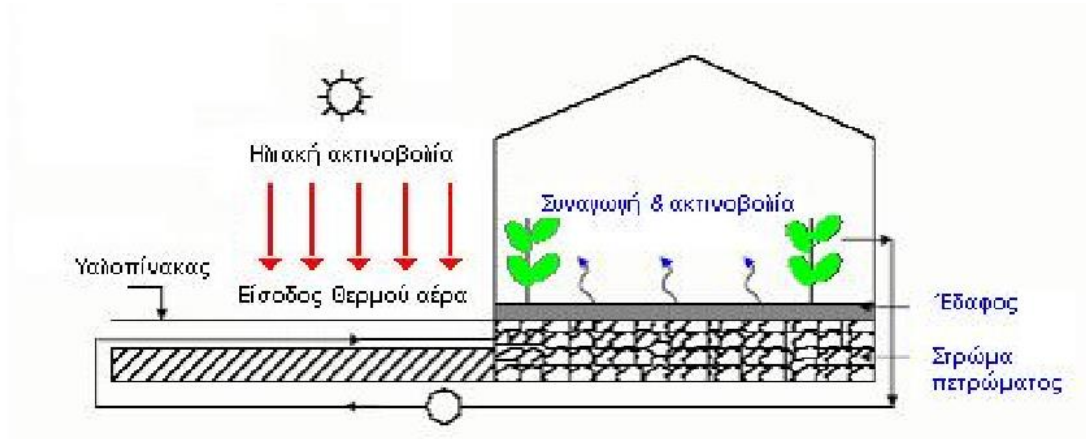
Εικόνα 20. Παθητικά συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίου

## Συστήματα αποθήκευσης νερού



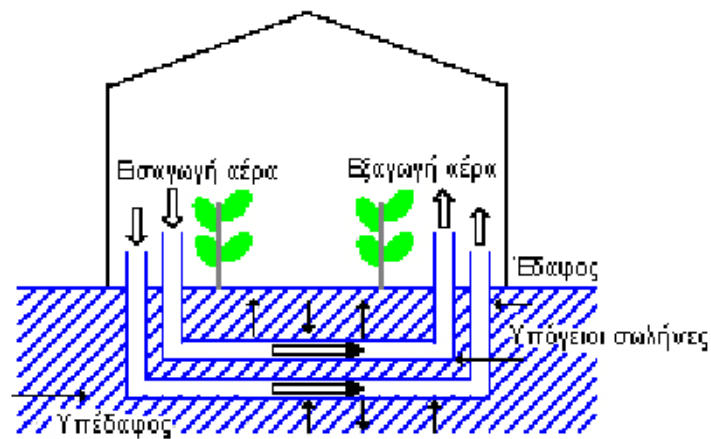
Εικόνα 21. Παθητικό σύστημα θέρμανσης με αποθήκευση νερού (α) σε διαφανείς σωλήνες (β) σε δεξαμενές νερού

## Εγκιβωτισμένο στρώμα πετρωμάτων



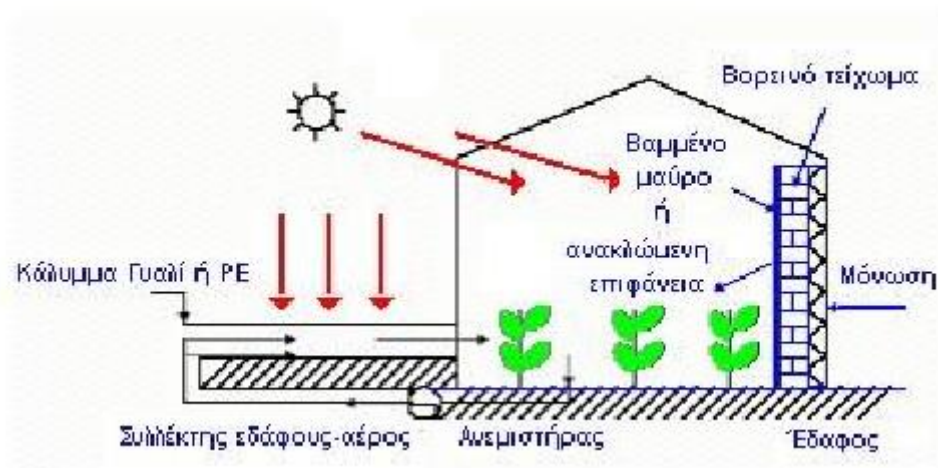
Εικόνα 22. Αποθήκευση αισθητής θερμότητας σε στρώμα πετρωμάτων μέσα στο θερμοκήπιο

## Εναλλάκτης εδάφους-αέρα ( EAHES)



Εικόνα 23. Εναλλάκτης εδάφους-αέρα για μετάδοση θερμότητας από ή προς το έδαφος εξαρτώμενη από την διαφορά θερμοκρασίας

## Βορινό τοίχωμα θερμοκηπίου συλλέκτης και αποθήκη θερμικής ενέργειας



Εικόνα 24. Ολοκληρωμένο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας με βορινό τοίχωμα και συλλέκτης εδάφους-αέρα

### 4.1.3 Συστήματα εξοικονόμησης

#### Μετακινούμενη μόνωση-θερμοκουρτίνες

Η κινητή μόνωση είναι συνήθως μια θερμοκουρτίνα νύχτας ή ένα θερμικό παραπέτασμα που σύρεται εσωτερικά ή εξωτερικά του καλύμματος θερμοκηπίων κατά

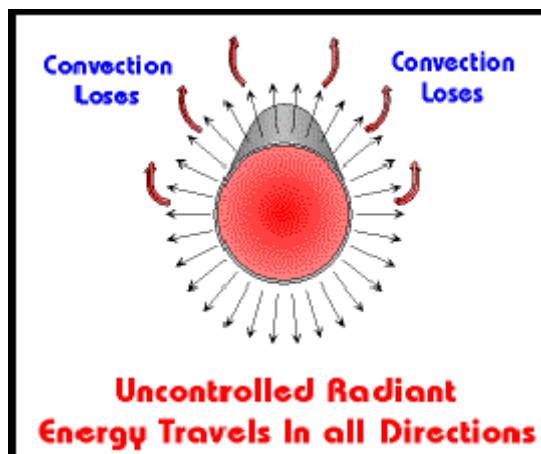
τη διάρκεια της νύχτας στους χειμωνιάτικους μήνες για να μειώσει τις απώλειες θερμότητας στο εξωτερικό περιβάλλον καταλήγοντας στην διατήρηση της ενέργειας μέσα στο θερμοκήπιο. Αυτές οι κινητές μονώσεις απομακρύνονται κατά τη διάρκεια της ημέρας προκειμένου η ηλιακή ακτινοβολία για εισέρχεται απρόσκοπτα στο θερμοκήπιο και να ικανοποιεί τις θερμικές και φωτοσυνθετικές ανάγκες των φυτών.

### 4.2 Συστήματα θέρμανσης με χρήση ακτινοβολίας

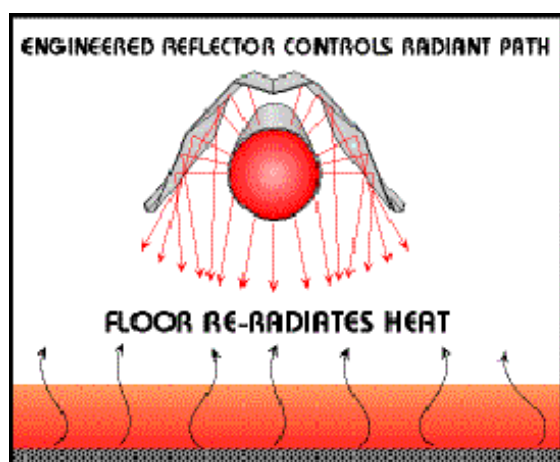
Η υπέρυθη φυσική ακτινοβολία (IR) είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκος κύματος στην κλίμακα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 0.7  $\mu\text{m}$  έως 100  $\mu\text{m}$ . Διακρίνεται στην μικρού μήκους ακτινοβολία NIR (κοντινό υπέρυθρο) με μήκος κύματος 0.7–3 $\mu\text{m}$  και στην μεγάλου μήκους ακτινοβολία (μακρινό υπέρυθρο) με μήκος κύματος 3-100 $\mu\text{m}$ . Ένα υπέρυθρο σύστημα προσομοιάζει την ηλιακή ακτινοβολία. Όπως ο ήλιος, έτσι και το σύστημα εκπέμπει υπέρυθη ενέργεια προς όλες τις κατευθύνσεις.



Οι απώλειες συναγωγής από το σύστημα αν δεν καλύπτεται από ανακλαστήρα είναι μεγάλες. Οι ανακλαστήρες τοποθετούνται επάνω από το σύστημα ακτινοβολίας και κατευθύνουν την υπέρυθρη προς τα κάτω. Η υπέρυθρη ακτινοβολία μετατρέπεται σε θερμότητα όταν απορροφάται από τα αντικείμενα που βρίσκονται στην πορεία της.



Εικόνα 25. Σύστημα υπέρυθρης θέρμανσης χωρίς ανακλαστήρα



Εικόνα 26. Σύστημα υπέρυθρης θέρμανσης με ανακλαστήρα

Όταν εφαρμόζεται θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία στα θερμοκήπια σε αντιδιαστολή με τα συστήματα θερμού αέρα εξαναγκασμένης συναγωγής, η θερμότητα στέλνεται απ' ευθείας από την πηγή με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο δέκτη, δηλαδή στα φυτά και το έδαφος που γίνονται η πρωταρχική πηγή θερμότητας μέσα στο θερμοκήπιο. Ο αέρας δεν θερμαίνεται απ' ευθείας από την ακτινοβολία, αλλά με συναγωγή λόγω της επαφής του με τα φυτά και το έδαφος

που θερμαίνονται άμεσα. Τα συστήματα θέρμανσης με υπέρυθρη ακτινοβολία χρησιμοποιήθηκαν αρκετά στα θερμοκήπια στις μεγάλες πετρελαϊκές κρίσεις (70's) (κυρίως στις ΗΠΑ), εν συνεχεία όμως η χρήση τους εγκαταλείφθηκε.

Το σύστημα *Gas-Fired Infrared Heating* ήταν η πρώτη προσπάθεια εφαρμογής της υπέρυθρης ακτινοβολίας στα θερμοκήπια.

#### Gas-Fired Infrared Heating system

Το σύστημα αποτελείται από σωλήνες υπέρυθρης ακτινοβολίας ισχύος 17.5 kW (εναλλάκτης θερμότητας) καυστήρα μείγματος αέρα-καυσίμου και αντλία. Τα καπναέρια οδεύουν μέσα από τους χαλύβδινους σωλήνες διαμέτρου 10-15 cm που αποτελούν την επιφάνεια ακτινοβολίας με θερμοκρασία επιφανείας 480 – 595 °C και μήκος κύματος εκπομπής 3.2-3.8 μm (μακρινό υπέρυθρο) και αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα με αντλία αναρρόφησης. Όσπου να φθάνουν τα αέρια στην αντλία, σχεδόν όλη η ενέργεια θερμότητας λόγω της εξάπλωσή της σε μεγάλη περιοχή έχει απελευθερωθεί. Σε ένα τέτοιο σύστημα η καύση και η ροή αερίων πρέπει να γίνεται σε κενό, για αποφυγή διαφυγής αερίων στο θερμοκήπιο. Για τον έλεγχο της κατανομής της θερμικής ροής χρησιμοποιούνται ανακλαστήρες διαμέτρου 40 cm. Οι σωλήνες τοποθετούνται σε απόσταση 2.6 -3 m από τα φυτά, 1.5 m από την οροφή και 3 m από τα πλαϊνά τοιχώματα για να εμποδίζονται καταστροφές. Τα αποτελέσματα από την χρήση του συστήματος είναι η υψηλή θερμοκρασία αέρα, η ανομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας στο επίπεδο των φυτών και του εδάφους, οι υψηλές απώλειες λόγω συναγωγής, οι διαφυγές καπναερίων και η ίδια η πολυπλοκότητα του συστήματος που το καθιστούσαν δύσχρηστο.



Εικόνα27. Gas-Fired Infrared Heating System

#### Σύγχρονα συστήματα θέρμανσης με ακτινοβολία (InfraredHeaters)

Θεωρούνται σύγχρονα συστήματα γιατί έχουν υψηλή απόδοση και ενεργειακή μετατροπή και η θερμοκρασία επιφανείας τους παραμένει σε σχετικά ήπια επίπεδα. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εργοστάσια παραγωγής, βιομηχανικά κτίρια, αθλητικές εγκαταστάσεις, χώρους αναψυχής, βιομηχανία τροφίμων, εκθεσιακούς χώρους, αγροτικές φάρμες, θερμοκήπια, μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων, μονάδες ανακύκλωσης.

Συνοπτικά διαθέτουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Υψηλή ενεργειακή αποδοτικότητα
- Συντελεστή ενεργειακής απόδοσης της ακτινοβολίας σε θερμότητα 60% – 96%
- Οικονομικά
- Μειωμένο λειτουργικό κόστος
- Παροχή άμεσης θέρμανσης
- Ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας

- Υψηλή αντοχή στην σχετική υγρασία περιβάλλοντος
- Μεγάλη διάρκεια ζωής
- Μεγάλη δυναμικότητα
- Εύκολα στην εγκατάσταση, απεγκατάσταση συντήρηση και χρήση
- Φιλικά προς το περιβάλλον

Τα σύγχρονα συστήματα θέρμανσης με ακτινοβολία διακρίνονται ανάλογα με το μήκος κύματος που εκπέμπουν σε χαμηλής έντασης, low-intensity (3.2-3.8  $\mu\text{m}$ ) με μέγιστη θερμοκρασία επιφανείας 480–600 °C και σε υψηλής έντασης, high-intensity (1.0-2.9  $\mu\text{m}$ ) με μέγιστες θερμοκρασίες επιφάνειας 700–2000 °C. Έχουν δυνατότητα λειτουργίας με φυσικό αέριο, προπάνιο/βουτάνιο και ηλεκτρισμό.

Στην κατηγορία λειτουργίας με φυσικό αέριο, προπάνιο/βουτάνιο ανήκουν τα blackheats γραμμικού τύπου, διπλού γραμμικού, σωληνωτού μορφής U, πάνελ κλπ. υπέρυθρα συστήματα και γενικά όλοι οι gas radiators. Η ονομαστική τους ισχύς κυμαίνεται από 2-30 kW. Έχουν μεγάλη δυναμικότητα παρέχοντας μεγάλη κάλυψη επιφανείας, ομοιόμορφη κατανομή θερμότητας και απαιτούν ύψος εγκατάστασης από 3.3-5m. Η χρήση αερίου μπορεί να δημιουργήσει διαφυγές και οσμές σε κλειστό χώρο εάν το σύστημα δεν είναι αξιόπιστο και να απαιτείται εξαερισμός.



Εικόνα 28. Υπέρυθρα συστήματα τύπου Blackheats (πάνελ και διπλού σωληνωτού)

Στην κατηγορία λειτουργίας με ηλεκτρισμό ανήκουν τα QuartzTubes, Quartz lamps, MetalSheath, CeramicInfraredlamps κλπ. Είναι συνήθως υψηλής έντασης, με μεγάλη δυναμικότητα και ομοιόμορφη κατανομή θερμότητας. Οι ηλεκτρικές υπέρυθρες διατάξεις είναι καλή εναλλακτική και οικονομική λύση διότι δεν χρειάζονται

εξαερισμό και μακροπρόθεσμα επιθυμητή από περιβαλλοντική άποψη. Και οι δύο παραπάνω κατηγορίες συστημάτων μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα θερμοκήπια.

#### 4.3 Εξοικονόμηση ενέργειας με εμπλουτισμό CO<sub>2</sub>

Το CO<sub>2</sub> αποτελεί την πρώτη ύλη της φωτοσύνθεσης και οποιαδήποτε μεταβολή της συγκέντρωσης του στον αέρα προκαλεί ανάλογη μεταβολή στον ρυθμό φωτοσύνθεσης και κατ' επέκταση στην παραγωγικότητα των φυτών, καθιστώντας έτσι τον εμπλουτισμό με CO<sub>2</sub> μια διαδικασία αερολίπανσης. Σε πρακτικό επίπεδο από έρευνες, πειράματα και παρατηρήσεις που έγιναν τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες διαπιστώθηκε ότι, με αύξηση της συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στον αέρα των θερμοκηπίων σε επίπεδα ως και 7 φορές υψηλότερα από τα ατμοσφαιρικά, προέκυψαν σημαντικά οφέλη στην παραγωγή σχεδόν όλων των κηπευτικών και ανθοκομικών προϊόντων. Συγκεκριμένα σε καλλιέργειας τομάτας διαφόρων ποικιλιών σημειώθηκε αύξηση της παραγωγής από 30 έως 70% με μέση αύξηση 45%. Επίσης παρατηρείται επιτάχυνση της ανάπτυξης των σπορόφυτων τομάτας μέχρι και 50% με αποτέλεσμα τη σημαντική πρωίμιση της άνθισης.

Η αυξημένη παραγωγή προέρχεται από το γεγονός ότι φυτά τομάτας που αναπτύσσονται σε υψηλά επίπεδα συγκέντρωσης CO<sub>2</sub>, παράγουν περισσότερες ταξιανθίες-ταξικαρπίες ανά φυτό, περισσότερα ανοιχτά άνθη ανά ταξιανθία και περισσότερους καρπούς ανά ταξιανθία. Παράλληλα βελτιώνεται η ποιότητα των καρπών (χρώμα και σχήμα) και έχουν βρεθεί αυξημένα επίπεδα βιταμίνης A σε καρπούς τομάτας. Παρόμοια συμπεριφορά με την τομάτα, όταν επικρατούν υψηλές συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> στον αέρα του θερμοκηπίου, παρουσιάζει η καλλιέργεια της πιπεριάς, και της μελιτζάνας.

Τα κλιματολογικά στοιχεία που καθορίζουν τη δυνατότητα εμπλουτισμού των θερμοκηπίων με CO<sub>2</sub>, είναι κυρίως η θερμοκρασία και η ηλιακή ακτινοβολία. Ο συνδυασμός αυτών των δύο παραγόντων καθορίζει πλήρως και τον τρόπο εμπλουτισμού. Η ιδανική κατάσταση για να επιτευχθεί μέσω του εμπλουτισμού η μέγιστη δυνατή απόδοση, είναι να επικρατεί υψηλή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας με μέτριες θερμοκρασίες. Οι χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να αντιμετωπιστούν με κάποιο σύστημα θέρμανσης και η έλλειψη φωτός με τη χρήση τεχνητού φωτισμού. Άλλωστε, εμπλουτισμός μπορεί να πραγματοποιηθεί και κατά τη διάρκεια της νύχτας με τη βοήθεια τεχνητού φωτισμού.

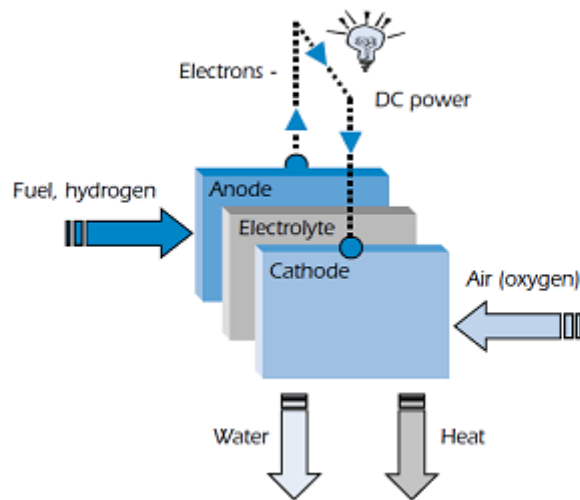
Η αποτελεσματικότητα του εμπλουτισμού μειώνεται, όταν επικρατούν σχετικά υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και συγκεκριμένα της τάξεως των 25oC και πάνω. Οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό του θερμοκηπίου διαμορφώνονται κατά μέσο όρο 5 - 7oC υψηλότερα, αγγίζοντας έτσι, την ανώτερη επιτρεπτή για τις περισσότερες καλλιέργειες θερμοκρασία των 30 -32oC, (με αυξημένα επίπεδα CO<sub>2</sub>) . Πέρα από το σημείο αυτό, απαιτείται ο αερισμός ή η ψύξη του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να υπάρχουν απώλειες του αερίου προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Η διατήρηση υψηλών επιπέδων CO<sub>2</sub> με εμπλουτισμό μειώνει τις ανάγκες αερισμού του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας συμβάλλοντας έτσι στη δέσμευση μεγαλύτερων ποσών ενέργειας. Η δυνατότητα διατήρησης αυτής της ενέργειας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών κατά τη διάρκεια της νύχτας καθορίζει το μέγεθος της εξοικονόμησης ενέργειας, το οποίο εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του θερμοκηπίου και από την πιθανή χρήση συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας.

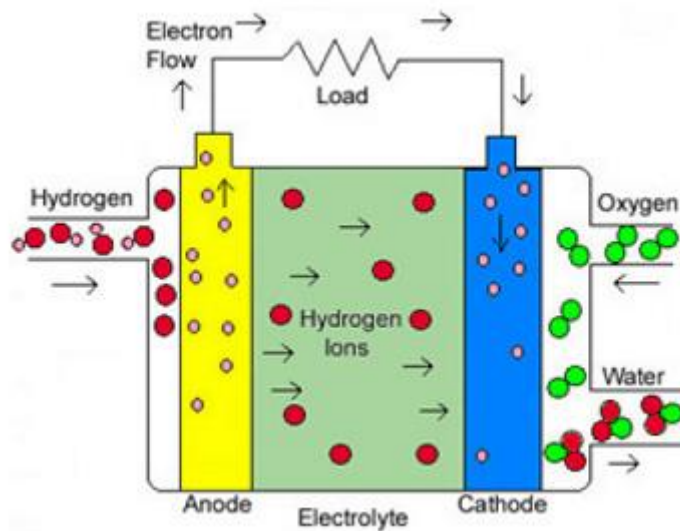
#### 4.4 Εναλλακτικά συστήματα θέρμανσης

##### ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Οι κυψέλες καυσίμου χρησιμοποιούν υδρογόνο (από ένα καύσιμο πλούσιο σε υδρογόνο, πχ φυσικό αέριο) και οξυγόνο (από τον ατμοσφαιρικό αέρα) για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας ηλεκτροχημικής αντίδρασης. Οι κυψέλες καυσίμου αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια (την άνοδο και την κάθοδο) που διαχωρίζονται από μία μεμβράνη, η οποία έχει το ρόλο του ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης είναι ένα ειδικευμένο πολυμερές ή άλλο υλικό, που επιτρέπει την διέλευση ιόντων, αλλά δεν είναι περατό από ηλεκτρόνια. Μεταξύ αυτής της πολυμερισμένης μεμβράνης και των ηλεκτροδίων υπάρχει ένα στρώμα καταλύτη, προκειμένου να επιταχυνθεί η διαδικασία του ιονισμού του υδρογόνου.

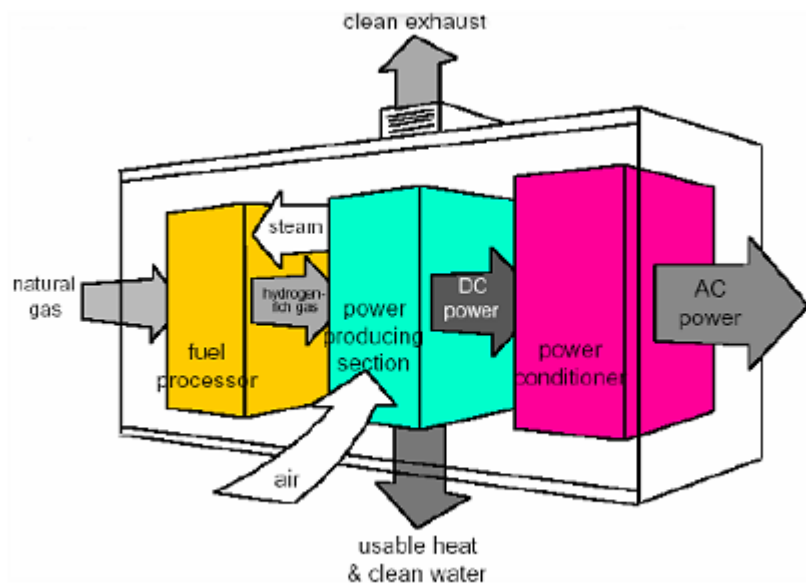


Εικόνα 29. Δομικά στοιχεία κυψέλης καυσίμου



Εικόνα 30. Αρχή λειτουργίας κυψέλης καυσίμου

Αρχικά γίνεται η αναμόρφωση ενός συμβατικού καυσίμου (φυσικό αέριο, μεθανόλη, νάφθα, κτλ) σε ένα αέριο καύσιμο, υψηλής περιεκτικότητας υδρογόνου. Το αέριο αυτό τροφοδοτεί τη συστοιχία κυψελών καυσίμου και παράγεται μεταβαλλόμενη dc τάση (ηλεκτρική ισχύς), η οποία μετατρέπεται σε σταθερή dc και έπειτα σε ac κατάλληλη για χρήση, μέσω του μετατροπέα ισχύος (power conditioner). Τέλος παράγονται νερό και θερμική ενέργεια.

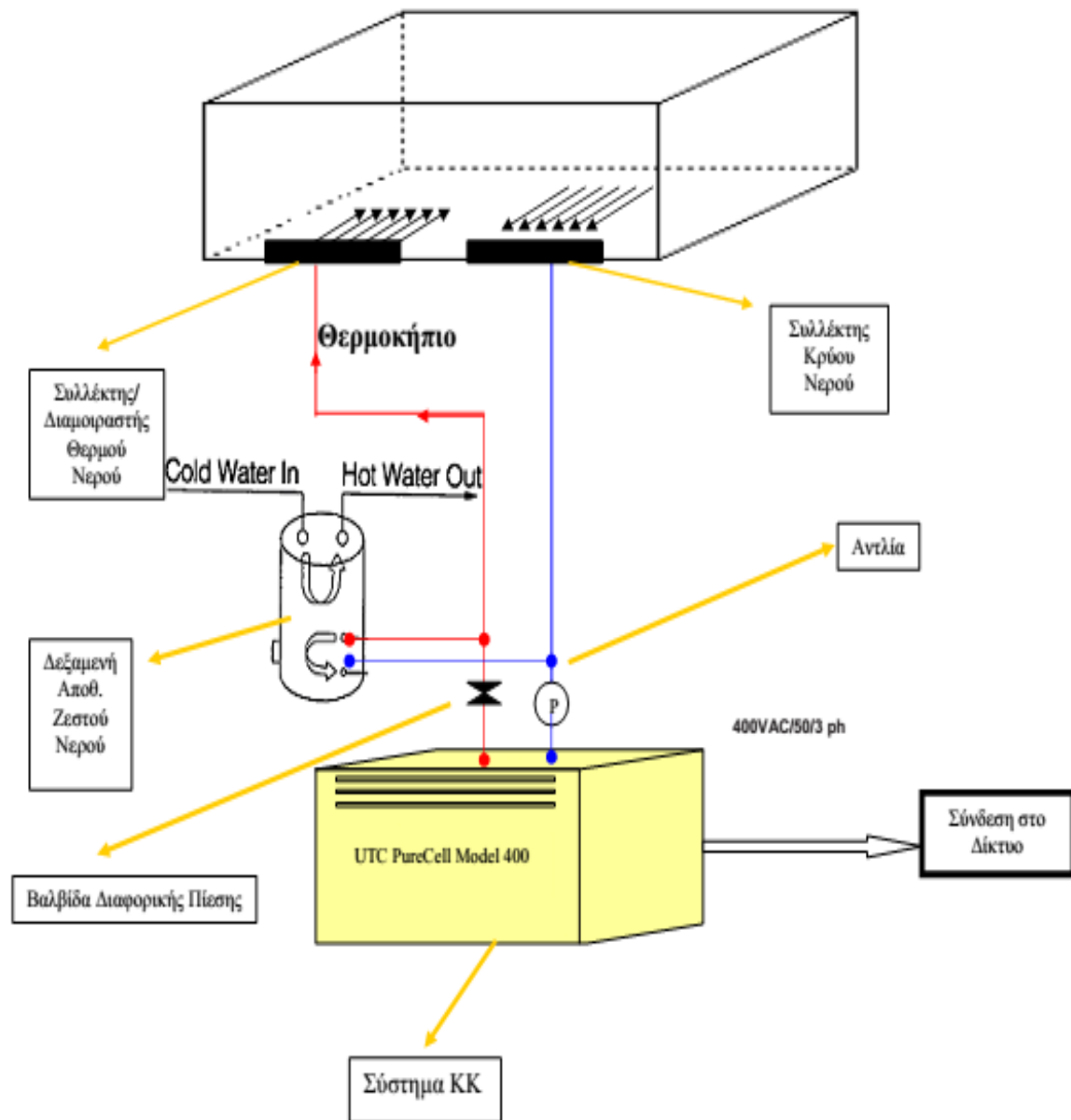


Εικόνα 31. Υποσυστήματα ενός συστήματος κυψελών καυσίμου

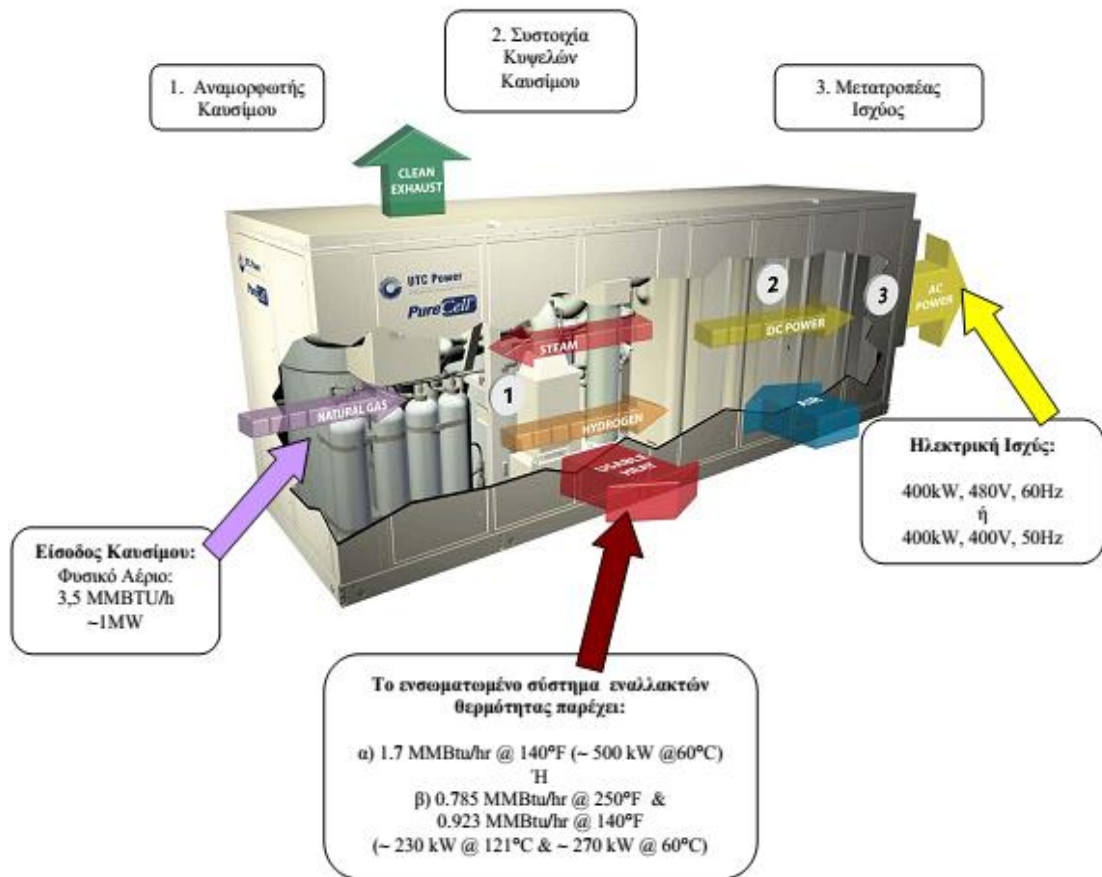
Οι σημαντικότερες εφαρμογές των κυψελών καυσίμου είναι α) σε σταθερές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (stationary electric power plants), συμπεριλαμβανομένης και της συμπαραγωγής β) στην αυτοκινητοβιομηχανία (transportation), γ) σε διαστημικά οχήματα και δ) σε φορητές συσκευές



Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα σύστημα θέρμανσης αποτελούμενο από ένα σύστημα Κυψελών Καυσίμου (ΚΚ).



Εικόνα 32. Σύστημα θέρμανσης αποτελούμενο από ένα σύστημα Κυψελών Καυσίμου



Εικόνα 33. Λειτουργία PureCellSystem

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>-ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η διερεύνηση και μελέτη συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου. Αρχικά, τονίστηκε η σημασία των θερμοκηπίων για τη σύγχρονη αγροτική παραγωγή τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς και η ανάγκη για την εύρεση βιώσιμων συστημάτων που θα καταφέρουν να καλύψουν τις θερμικές ανάγκες των θερμοκηπίων. Γίνεται αναφορά σε ποικίλα συστήματα. Πολλά από αυτά βρίσκουν ήδη ευρεία εφαρμογή στα θερμοκήπια και εξελίσσονται με ταχύτατους ρυθμούς. Ωστόσο, υπάρχουν και συστήματα τα οποία αν και υποσχόμενα χρήζουν περαιτέρω έρευνας προκειμένου να εδραιωθούν ως βιώσιμες λύσεις.

Σε κάθε περίπτωση, προκειμένου να αναλυθεί συστηματικά η ικανότητα κάθε συστήματος να καλύψει τις ανάγκες των θερμοκηπίων είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθεί ενδελεχής οικονομοτεχνική μελέτη η οποία θα αποφαινεται για την βιωσιμότητα των συστημάτων αυτών. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οικονομικοί, τεχνολογικοί καθώς και περιβαλλοντικοί παράγοντες, έτσι ώστε να διαμορφωθεί πλήρη εικόνα για την κάθε τεχνολογία.

Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε μπορούν να εξαχθούν ορισμένα πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Αρχικά, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του θερμοκηπίου παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθότι συνδυάζει τρία βασικά χαρακτηριστικά:

- 1) Παροχή θερμότητας στο θερμοκήπιο για την κάλυψη των θερμικών του αναγκών
- 2) Παροχή ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο
- 3) Φιλικότητα προς το περιβάλλον

Εν συνεχεία, η χρήση κυψελών καυσίμου (fuelcells) που συνδυάζει παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το δίκτυο και θερμότητας για το θερμοκήπιο χρήζει περαιτέρω διερεύνησης, καθώς ακόμα δεν έχει εφαρμοστεί σε σημαντική κλίμακα, ώστε να αποδειχθεί η βιωσιμότητά της τόσο από οικονομικής όσο και από περιβαλλοντικής άποψης. Ο εμπλουτισμός CO<sub>2</sub> αυξάνει σημαντικά την παραγωγή όπως διαπιστώνεται και μπορεί να αποτελέσει σημαντική βοήθεια στην έμμεση εξοικονόμηση επιπλέον ενέργειας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΡΕΥΝΑ

Από την έρευνα που προηγήθηκε πέρα από ορισμένα ενδιαφέροντα συμπεράσματα, παρατίθενται και ένα σύνολο προτάσεων που αξίζει να διερευνηθούν και να αναλυθούν περαιτέρω.

- 1) Θα ήταν χρήσιμο να μελετηθεί η παράλληλη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και άλλων συστημάτων με τον εμπλουτισμό CO<sub>2</sub> σε ένα θερμοκήπιο.
- 2) Η χρήση κυψελών καυσίμου για παράλληλη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού πρέπει να αναλυθεί τόσο από οικονομικής απόψεως, όσο από την άποψη της αξιοπιστίας ως σύστημα.
- 3) Για την κάλυψη των θερμικών αναγκών πέρα από την παραγωγή της απαιτούμενης θερμότητας για την διατήρηση ιδανικών θερμοκρασιών, είναι ιδιαίτερο σημαντική η χρήση υλικών που θα ελαχιστοποιούν την εκροή θερμότητας προς το περιβάλλον. Η εύρεση επιπλέον υλικών, ικανών να περιορίζουν το φαινόμενο αυτό κρίνεται αναγκαία.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΒΑΦΕΙΑΔΗ Θ.Δ.. *ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΜΕ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟ CO<sub>2</sub>*, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ: ; 2008.
2. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ. *ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ*.  
<http://geotherm.gr/buildings/greenhouses> (accessed 10 Οκτωβρίου 2015).
3. ΔΡΑΓΑΣΑΚΗ Ε. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΓΝΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΣΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΦΥΤΟΦΑΡΜΑΚΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΙΕΡΑΠΕΤΡΑΣ. 2010; (): .
4. Κατσούλας Ν. ,Κίττας Κ.. *Συστήματα Θέρμανσης θερμοκηπίων*. : ; .
5. Καυγά Α., Natural Gas, Γεωπονική Α.Ε, Αλεξόπουλος Γ. , Πανίδης Θ.. Αξιολόγηση του ενεργειακού οφέλους της υπέρυθρης θέρμανσης (IR) σε θερμοκήπιο παραγωγής. ; (): .
6. ΚΑΥΓΑ Α.. *ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΜΕ ΥΠΕΡΥΘΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΙΚΡΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (NIR)*, ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ . ΠΑΤΡΑ: ; 2010
7. Κίττας Κ. , Tchamitchian Μ., Μπαρτζάνας Θ.. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΒΙΟΦΥΣΙΚΟΥ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΤΗΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΤΟΥ. ; (): .
8. Κίττας Κ, Κατσούλας Ν. Η. . ΧΡΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΟΥΡΤΙΝΑΣ ΓΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ. ;

9. Μαυρογιαννόπουλος Ν. Γ., Θερμοκήπια, Περιβάλλον-Υλικά-Κατασκευή-Εξοπλισμός, Δ΄ έκδοση, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε, Αθήνα 2005
10. ΜΕΙΝΤΑΝΗΣ Χ.. ΚΑΛΥΨΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ, ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΑΘΗΝΑ: ; 2010.
11. ΝΤΙΝΑΣ Γ.Κ.. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ: ; 2012.
12. ΝΤΙΝΑΣ Γ. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΣΕ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ. <http://docplayer.gr/4163373-Tehnikes-exoikonomisis-energeias-kai-kataskeyastika-themata-se-thermokipia.html> (accessed 11 Οκτωβρίου 2014).
13. Πετκέλη Σ. Χ., Γάκου Ε. Χ. . ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ, ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ: ; 2009.
14. <http://www.aua.gr/~maurog/greenbookgr.html>
15. <http://mavrogiannopoulosgeorge.blogspot.gr/2013/01/blog-post.html>

