

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1322

**ΜΕΛΕΤΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΟΥ
ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΕ
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:

ΚΟΝΤΟΥΛΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:

ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑ

ΠΑΤΡΑ- 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα συστήματα θερμοκηπίου βελτιώνουν τις συνθήκες καλλιέργειας των λαχανικών, φρούτων και των καλλωπιστικών φυτών. Η κάλυψη του θερμοκηπίου προστατεύει τα φυτά από δυσμενείς ατμοσφαιρικούς παράγοντες και, μαζί με κατάλληλο εξοπλισμό, επιδρούν και τελικά τροποποιούν το μικροκλίμα των καλλιεργειών, επιμηκύνοντας έτσι τη διαθεσιμότητα στην αγορά των προϊόντων, βελτιώνουν την ποιότητάς τους και επιτρέπουν υψηλότερες αποδόσεις. Η παραγωγή του θερμοκηπίου έχει υψηλότερη απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας από καλλιέργειες σε ανοιχτό χώρο καλλιέργειας, αλλά απαιτεί τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας για τη λειτουργία του εξοπλισμού αφενός και αφετέρου παράγει τεράστιες ποσότητες αποβλήτων. Η προστατευόμενη καλλιέργεια (θερμοκήπια) μπορεί να είναι εχθρική προς το περιβάλλον, ιδιαίτερα σε περιοχές με μεγάλη συγκέντρωση θερμοκηπίων. Ως εκ τούτου, η σταθερή αύξηση παγκοσμίως στον τομέα που καλύπτεται από θερμοκήπια, δημιούργησε την ανάγκη για την ανάπτυξη βιώσιμων προστατευόμενων καλλιεργειών.

Βιώσιμη καλλιέργεια θερμοκηπίου μπορεί να επιτευχθεί μέσω διαφορετικών τεχνικών καλλιέργειας, με κατάλληλη διαχείριση του εξοπλισμού και των καινοτόμων υλικών με στόχο τη μείωση των αγρο-χημικών ουσιών και τη χρήση ενέργειας, την κατανάλωση νερού και την παραγωγή αποβλήτων.

Ο βέλτιστος έλεγχος του κλίματος και η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση κατάλληλων ενεργητικών και παθητικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των κατάλληλων στρατηγικών ελέγχου για τον εξοπλισμό και τη χρήση καινοτόμων υλικών κάλυψης. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τεχνολογιών, όπως η ηλιακή θερμική και τα φωτοβολταϊκά συστήματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων αλλά και για αυτονομία ηλεκτρικής ενέργειας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) για την ενεργειακή αυτάρκεια των θερμοκηπίων και ο τρόπος με τον οποίο θα ελέγχετε ο φωτισμός και η θερμοκρασία στον εσωτερικό χώρο των θερμοκηπίων, για να βελτιστοποιηθούν οι συνθήκες ανάπτυξης των θερμοκηπιακών καλλιεργειών.

Στη παρούσα πτυχιακή θα ασχοληθούμε με τα φωτοβολταϊκά ως πηγή ενέργειας τα οποία θα τα χρησιμοποιήσουμε στα θερμοκήπια για τις ανάγκες τους σε ρεύμα, για τροφοδοσία φωτιστικών στοιχείων μέσα στα θερμοκήπια και των διάφορων αισθητήρων θερμοκρασίας.

Θα γίνει μελέτη της εγκατάστασης με στόχο τη βέλτιστη αξιοποίηση των φωτοβολταϊκών, ώστε να καλύπτει τις ανάγκες ενός θερμοκηπίου.

Με την ηλιακή ενέργεια αυτό που πετυχαίνουμε είναι να αντικαθιστούμε τις συμβατικές πηγές ενέργειας, με πηγές που θα εξοικονομούν ενέργεια (φωτοβολταϊκά) και θα προστατεύουν το περιβάλλον. Με την χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας για την κάλυψη των αναγκών του θερμοκηπίου μπορούμε με διάφορους απορροφητές οι οποίοι τοποθετούνται για την αποφυγή της υπερέκθεσης των φυτών σε αυτή να μειώσουμε την περίοδο φωτισμού της ημέρας. Με αυτό τον τρόπο οδηγούμαστε σε αποθήκευση θερμότητας ή και ηλεκτρισμού για την διάρκεια της νύχτας, όπου υπάρχουν ανάγκες διατήρησης του επιπέδου της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	1
Εισαγωγή	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	4
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	4
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.2 Αιολική Ενέργεια	4
1.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια	7
1.4 Γεωθερμική ενέργεια	8
1.5 Παλιρροϊκή ενέργεια από τα κύματα	9
1.6 Ενέργεια από βιομάζα	9
1.7 Ηλιακή ενέργεια.....	12
1.7.1 Τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας.....	13
1.8 Θερμοκήπια.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	21
ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ.....	21
2.1 Φωτισμός στα θερμοκήπια.....	21
2.2 Επίδραση της ακτινοβολίας στην ανάπτυξη των φυτών.....	22
2.3 Χρήση τεχνητού φωτός στα θερμοκήπια.....	23
2.3.1 Λυχνίες πυρακτώσεως	23
2.3.2 Λυχνίες φθορισμού	24
2.3.4 Λυχνίες νατρίου υψηλής πίεσης	24
2.4 Λυχνίες φωτισμού LED για τα θερμοκήπια	24
2.4.1 Πρακτική εφαρμογή των LEDs	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	28

ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ.....	28
3.1 Εισαγωγή	28
3.2 Συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων.....	28
3.2.1 Συστήματα αποθήκευσης νερού	28
3.2.1.1 Αποθήκευση νερού στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε πλαστικές σακούλες ή σωλήνες.....	30
3.2.1.2 Αποθήκευση νερού στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε δεξαμενές νερού.....	30
3.2.1.3 Αποθήκευση νερού εξωτερικά του θερμοκηπίου	31
3.3 Σύστημα θέρμανσης με κλίνη από πέτρα.....	33
3.4 Αποθήκευση με αλλαγή φάσης υλικού	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	38
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	38
4.1 Εισαγωγή	38
4.2 Τεχνολογίες ψύξης για θερμοκήπια	38
4.2.1 Αερισμός.....	38
4.2.2 Φυσικός αερισμός.....	39
4.2.3 Εξαναγκασμένος αερισμός	40
4.2.4 Σκίαση.....	41
4.2.5 Ψύξη με εξάτμιση	42
4.3 Σύνθετα συστήματα	43
4.3.1 Σύστημα εναλλακτών θερμότητας από την γή προς τον αέρα.....	43
4.3.2 Σύστημα εναλλάκτη θερμότητας με υδροφορέα κοιλότητα	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	44
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	44
5.1 Οικονομοτεχνική μελέτη	44
5.2 Μελέτη.....	44

5.2.1 Διαστάσεις χώρου	44
5.2.2 Ενεργειακές ανάγκες.....	44
5.2.3 Φωτισμός του χώρου	45
5.2.4 Θερμοκρασία του χώρου	45
5.2.5 Ψύξη.....	46
5.2.6 Αυτοματισμοί.....	46
5.3 Ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου	47
5.3.1 Εξαερισμός σε kWh.....	47
5.3.2 Φωτισμός σε kWh.....	47
5.3.3 Δροσισμός σε kWh	48
5.3.4 Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας.....	49
5.4. Εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών.....	49
5.5 Αποτελέσματα μελέτης εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σε θερμοκήπιο.....	53
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	54
Βιβλιογραφία	56

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Παράδειγμα υβριδικού συστήματος αιολικής – ηλιακής ενέργειας (Bergey, 2000)	6
Σχήμα 1.2: Πρωτογενής παραγωγή και απώλειες διοξειδίου του άνθρακα (Behrenfeld, M.J,2001)	11
Σχήμα 1.3 Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του μήκους κύματος.....	12
Σχήμα 1.4: Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο(Wenham, 2007).....	14
Σχήμα 1.5: Μονοκρυσταλλικό κελί πυριτίου(Garcia, 2004).....	15
Σχήμα 1.6: Κυψέλη πολυκρυσταλλικού πυριτίου(Garcia, 2004).....	16
Σχήμα 1.7: Φωτοβολταϊκό κελί τελουριούχου καδμίου.....	17
Σχήμα 1.8: Θερμοκήπιο αγγλικού τύπου	19
Σχήμα 1.9: Θερμοκήπιο πλαστικού θαλάμου.....	20
Σχήμα 2.1 Η ευαισθησία της διαδικασίας φωτοσύνθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία (ArgusControlSystem, 2010).	21
Σχήμα 2.2: Βασική δομή μιας λυχνίας LED	26
Σχήμα 2.3: Σχηματική αναπαράσταση του μηχανισμού εκπομπής φωτός σε έναν πυκνωτή LED	27
Σχήμα 3.1: Παθητικό ηλιακό θερμοκήπιο με αποθήκευση νερού σε α) πλαστικές σακούλες και β) σε δεξαμενές νερού (Sethi, andSharma, 2008).....	29
Σχήμα 3.2: Μονάδα αποθήκευσης θερμότητας εσωτερικά του θερμοκηπίου (Alkilani, etal. 2011).....	31
Σχήμα 3.3: Μονάδα αποθήκευσης εξωτερικά του θερμοκηπίου (KurkloA. ,1998).....	32
Σχήμα 3.4: Θερμοκήπιο με αποθήκευση σε πέτρινη κλίνη τοποθετημένη στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (SheshiandSharma, 2008).....	33
Σχήμα 3.5: Σχέση ανάμεσα στη συνολική θερμοχωρητικότητα της αποθήκευση με πέτρινη κλίνη και α) της επιφάνειας του θερμοκηπίου, β) των διαφόρων υλικών κάλυψης του θερμοκηπίου και γ) της συνολικής θερμοχωρητικότητας του χρησιμοποιούμενου χαλκιού και της επιφάνειας του θερμοκηπίου (SethiandSharma, 2008).....	35
Σχήμα 3.6: Οι θερμοφυσικές ιδιότητες των PCMs που χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια.36	

Σχήμα 5.1 Ανεμιστήρες για εξαερισμό του θερμοκηπίου	47
Σχήμα 5.2 Λαμπτήρες φθορισμού χαμηλής πίεσης νατρίου	47
Σχήμα 5.3 Τοποθέτηση πάνελ κατά την κατασκευή του θερμοκηπίου.....	48
Σχήμα 5.4 Σύστημα δροσισμού με πάνελ.....	48
Σχήμα 5.5 Θερμοκήπιο τύπου MULTISPAN	53

Εισαγωγή

Τα θερμοκήπια αποτελούν έναν τρόπο παραγωγής αγροτικών προϊόντων με ρυθμό μεγαλύτερο από τον ρυθμό παραγωγής στα κανονικά χωράφια. Τα λαχανικά, τα διακοσμητικά φυτά και τα φρούτα καλλιεργούνται παγκοσμίως σε συνθήκες θερμοκηπίου. Ο εξοπλισμός των θερμοκηπίων και τα υλικά του δημιουργούν μια ελεγχόμενη κατάσταση μικροκλίματος που μπορεί να υιοθετηθεί για τις ανάγκες των καρπών οδηγώντας σε μεγαλύτερες αποδόσεις καλύτερη ποιότητα και επιμήκυνση της περιόδου διαθεσιμότητας τους στην αγορά των προϊόντων. Η παραγωγή στα θερμοκήπια απαιτεί τη χρήση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, νερού και αγροτοχημικών προϊόντων και συνήθως οδηγεί στην παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων. Η επένδυση, το εργατικό και το ενεργειακό κόστος ανά μονάδα ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερα στη βιομηχανία των θερμοκηπίων σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο αγροτικό τομέα.

Η βιώσιμη αγροτική παραγωγή ορίζεται ως η ικανότητα των αγροτικών συστημάτων να συνεχίσουν την παραγωγή και στο μέλλον. Η αέναη (αυτή που δεν παύει ποτέ να ρέει) αγροτική παραγωγή σημαίνει πρακτικά την υιοθέτηση συστημάτων που επιτρέπουν την αξιοποίηση των φυσικών πηγών για τις μελλοντικές γενιές μέσω της υιοθέτησης νέων τεχνολογιών. Η αποτελεσματικότητα των καινοτόμων τεχνολογιών αποσκοπεί κυρίως στη βελτίωση της προστατευόμενης βιωσιμότητας που εκτιμώνται με βάση την εκτίμηση του κύκλου ζωής.

Ο στόχος στο σχεδιασμό ενός βιώσιμου θερμοκηπίου είναι: α) η αποτελεσματική διαχείριση των κλιματικών παραμέτρων, β) η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για τη λειτουργία τους, η χρήση καινοτόμων υλικών για την κατασκευή του θερμοκηπίου με κατάλληλες φυσικές ιδιότητες και χαμηλή παραγωγή αποβλήτων και δ) η ολοκληρωμένη διαχείριση των συστημάτων για μείωση των προβλημάτων λειτουργίας τους.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα παρουσιαστεί η μελέτη για την χρήση της ηλιακής ενέργειας στον φωτισμό και στον έλεγχο θερμοκρασίας του θερμοκηπίου. Στο πρώτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που μπορεί να αξιοποιηθούν για τη λειτουργία ενός θερμοκηπίου και συγκεκριμένα θα γίνει αναφορά στην αιολική, τη γεωθερμική, την υδροηλεκτρική ενέργεια, την ενέργεια από τα κύματα και τη βιομάζα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα στοιχεία για το φωτισμό των θερμοκηπίων ενώ στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα στοιχεία θέρμανσης και ψύξης τους καθώς και οι βασικές παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για το σχεδιασμό τους. Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο θα γίνει η μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών στοιχείων για τις ανάγκες του θερμοκηπίου και σύνοψη των βασικών συμπερασμάτων που προκύπτουν από την βιβλιογραφική ανασκόπηση των παραπάνω.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χαρακτηρίζονται οι πηγές εκείνες οι οποίες μπορούν να αναπαραχθούν από φυσικές διαδικασίες με ρυθμό συγκρίσιμο ή γρηγορότερο από το ρυθμό κατανάλωσης τους. Η ηλιακή ενέργεια, η αιολική και η υδροηλεκτρική αποτελούν χαρακτηριστικές μορφές ενέργειας που δεν παρουσιάζουν κίνδυνο από την μακροχρόνια χρήση τους. Άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η γεωθερμική και η βιομάζα πρέπει να υπόκεινται σε προσεκτική διαχείριση έτσι ώστε να αποφεύγεται η περιβαλλοντική ικανότητα στην ανανέωση τους. Η εκτίμηση της δυνατότητας ανανέωσης τους μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της εκτίμησης του κύκλου ζωής τους. Ο όρος κύκλος ζωής περιλαμβάνει στην έννοια της βιωσιμότητας του φυσικού περιβάλλοντος.

Οι τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελούν τις τεχνολογίες εκείνες που δεν κινδυνεύουν από υποβάθμιση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η ηλιακή ενέργεια η αιολική, η υδροηλεκτρική, η γεωθερμική ενέργεια και η βιομάζα. Δεδομένου του ορισμού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και του γεγονότος πως το χρησιμοποιούμενο νερό αποτελεί στοιχείο του υδρολογικού κύκλου η υδροηλεκτρική ισχύς θεωρείται κοινό στοιχείο όλων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (FreyandLinke, 2002).

Οι διάφορες πηγές ενέργειας όπως η ηλιακή η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελούν μια απλή, αξιόπιστη και αποτελεσματική λύση για τη διατήρηση της αποτελεσματικής χρήσης των μη ανανεώσιμων ορυκτών πηγών ενέργειας χωρίς να οδηγούν σε επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου παρουσιάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθούν στον αγροτικό τομέα για αποτελεσματική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2 Αιολική Ενέργεια

Η αυξανόμενη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια αναπτύσσεται με την αύξηση του πληθυσμού ειδικά στις αγροτικές περιοχές που δεν είναι συνδεδεμένες με το ηλεκτρικό δίκτυο. Κατά συνέπεια η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στις αγροτικές περιοχές και ειδικά στις απομακρυσμένες μπορεί να επιτευχθεί με φθινό τρόπο μέσω της χρήσης αιολικών συστημάτων τα οποία πλεονεκτούν των υπόλοιπων συμβατικών συστημάτων επειδή αποφεύγονται η επέκταση των γραμμών ισχύος ή άλλων ειδών ορυκτών καυσίμου που είναι δύσκολο να μεταφερθούν σε κακοτράχαλους δρόμους.

Η αιολική ενέργεια χρειάζεται να προωθηθεί πρώτα στα αγροκτήματα που χρειάζονται μεγάλες ποσότητες ηλεκτρισμού να συνεισφέρουν σημαντική βελτίωση στην καλλιέργεια καρπών. Μικρές ανεμογεννήτριες με μεγάλη απόδοση μπορούν να εγκατασταθούν σε αγροτικές περιοχές. Το κόστος εγκατάστασης τους είναι παραπλήσιο με το κόστος εγκατάστασης ηλεκτρικών πόλων, της υπερκάλυψης γραμμών ισχύος και άλλων

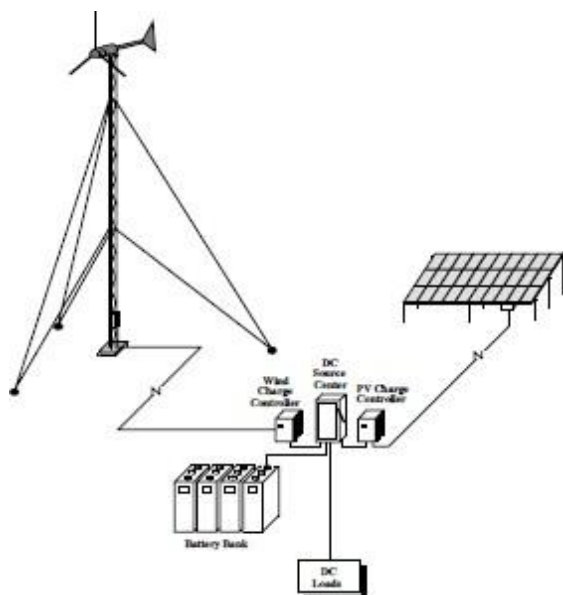
εξοπλισμών απαραίτητων για τη σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το πλεονέκτημα αυτών των ανεμογεννητριών είναι ο ιδιοκτήτης ενός αγροκτήματος έχει στην ιδιοκτησία του τον σχετικό εξοπλισμό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και είναι απελευθερωμένος από τους λογαριασμούς ηλεκτρικού ρεύματος (Chel, 2011) .

Οι πρώτες εφαρμογές της αιολικής ενέργειας στον αγροτικό τομέα καταγράφονται στην Αμερική από το 1870 έως το 1930 όπου η αιολική ενέργεια χρησιμοποιούνταν για την άντληση νερού και την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Σε παγκόσμιο επίπεδο η αιολική ενέργεια αποτελεί έναν ανερχόμενο εξελισσόμενο τομέα με ετήσια μέση ανάπτυξη 32% από το 1998 έως το 2002 (Union of Concerning Scientists).

Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών παρέχει ταυτόχρονα μηχανική και ηλεκτρική ενέργεια. Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν βασιζόμενες σε μια απλή αρχή λειτουργίας. Συγκεκριμένα ο άνεμος περιστρέφει τα φτερά των ανεμογεννητριών που κινούν μια ηλεκτρική γεννήτρια μετατρέποντας την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Ο άνεμος είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και τα φτερά των γεννητριών δεν παράγουν επιβλαβή αέρια για το περιβάλλον. Οι ανεμογεννήτριες κλίμακας μπορεί να έχουν μέγεθος από 750kWμέχρι 5MWκαι οι περισσότερες ανεμογεννήτριες είναι μεγαλύτερες από 1 MW. Οι ανεμογεννήτριες συνήθως χρησιμοποιούνται με τη μορφή αιολικών πάρκων που παρέχουν μέση ισχύ στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το εύρος των μικρών ανεμογεννητριών κυμαίνεται από 0,4 έως 1,5kWγια μικρά φορτία όπως η φόρτιση μπαταριών και από 3 έως 15kWγια οικιακά συστήματα ενώ μπορούν να φτάσουν σε αυτά που παράγουν πάνω από 100kWκαι αφορούν σε μεγαλύτερα φορτία για μικρές εμπορικές εφαρμογές (Fisheretal. 2006).

Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών είναι σε διευρυμένη χρήση εξαιτίας της προοδευτικής τους προόδου στη μείωση κόστους για τις περιοχές που είναι εκτεθειμένες σε μεγάλες ταχύτητες ανέμου. Στο τέλος του 2005 η αιολική ενέργεια ήταν υπεύθυνη για την ηλεκτρική παραγωγή 9149 MWστις ΗΠΑ. Με ένα μέσο συντελεστή χωρητικότητας της τάξης του 31% αυτό είναι ισοδύναμο στην παραγωγή της ετήσιας ποσότητας ηλεκτρισμού που χρησιμοποιείται από 2 εκατομμύρια αμερικανικά νοικοκυριά ενώ υπάρχουν 30 τουλάχιστον πολιτείες με εγκαταστάσεις ανεμογεννητριών (ACORE, 2014).

Η σημερινή τεχνολογία των ανεμογεννητριών που λειτουργούν σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό, μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με μικρό κόστος ανά κιλοβατώρα που είναι ανταγωνίσιμο με το κόστος των μονάδων παραγωγής ενέργειας με ορυκτά καύσιμα. Τα μικρά συστήματα ανεμογεννητριών μπορούν να λειτουργήσουν στον αγροτικό τομέα με τον παραδοσιακό τρόπο για την άντληση νερού ή το άλεσμα σιτηρών. Καθώς το κόστος μειώνεται τα μικρά συστήματα που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι επίσης οικονομικά αποφεύγοντας τα έξοδα των καλωδίων εγκατάστασης μετάδοσης ειδικά στις πιο απομακρυσμένες περιοχές. Όταν συνδέονται στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας τα μικρά αιολικά πάρκα μπορούν να παράγουν οικονομικό κέρδος από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από τις εσωτερικές απαιτήσεις. Τα αποκεντρωμένα αιολικά συστήματα μπορούν να συνδυαστούν με άλλες ενεργειακές πηγές για τη δημιουργία υβριδικών ενεργειακών συστημάτων στα οποία το χαμηλό κόστος και η ενδιάμεση αιολική πηγή εφαρμόζονται με μικρότερες γεννήτριες ή μπαταρίες έτσι ώστε να αποδώσουν ισχύ που είναι σχετικά φθηνή και αξιόπιστη (Bergey, 2000).



Σχήμα 1.1: Παράδειγμα υβριδικού συστήματος αιολικής – ηλιακής ενέργειας (Bergey, 2000)

Μια από τις ευρύτερες χρήσεις στον αγροτικό τομέα της αιολικής ενέργειας είναι για την καλλιέργεια σιτηρών και όσπριων. Πολύ πριν την ανακάλυψη του ηλεκτρισμού η χρήση των ανεμογεννητριών για την καλλιέργεια των σιτηρών ήταν πολύ χρήσιμη και αποτελεσματική. Τα αιολικά πάρκα χρησιμοποιούνταν σε πολλές περιοχές της Ευρώπης τις τελευταίες δεκαετίες για την κίνηση των μολόπετρων που με τη σειρά τους χρησιμοποιούνταν για το άλεσμα σιτηρών και την παραγωγή αλευριού.

Η χρήση της αιολικής ενέργειας στον αγροτικό τομέα αποτελεί όπως ήδη αναφέρθηκε μια περιβαλλοντικά φιλική επιλογή με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (Chel, 2011):

- Είναι χωρίς την παραγωγή ρύπων ενώ παράλληλα μειώνει την μόλυνση του αέρα και τον θόρυβο.
- Δεν απαιτεί καύσιμο για τη λειτουργία του.
- Δεν παράγει τοξικά ή ραδιενεργά απόβλητα
- Δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Μειώνει τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του διοξειδίου του θείου (SO₂) και των οξειδίων του αζώτου (NO_x) και κατά συνέπεια μειώνει την όξινη βροχή.
- Όταν μεγάλες περιοχές ανεμογεννητριών εγκαθίστανται απαιτούν μόνο το 2% της γης για την εγκατάστασή τους ενώ η υπόλοιπη είναι διαθέσιμη για καλλιέργεια και άλλες χρήσεις.

- Οι ιδιοκτήτες των ανεμογεννητριών μπορεί να τις χρησιμοποιήσουν για την εξοικονόμηση εισοδήματος πουλώντας την περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας που παράγουν.
- Έχουν μικρό κόστος και κόστος συντήρησης
- Δεν έχουν κόστος καυσίμου
- Μειώνουν την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα μειώνοντας σημαντικά τους παραγόμενους από αυτά ρύπους.

Η αποδοχή των αιολικών συστημάτων από τους κατοίκους της περιοχής εγκατάστασης συχνά είναι μικρή δεδομένου ότι δεν υπάρχει κατάλληλη εκπαίδευση στους κατοίκους έτσι ώστε να είναι εύκολα αντιλήψιμη η χρησιμότητα των εγκαταστάσεων.

Όπως κάθε τεχνολογία έτσι και τα αιολικά συστήματα παρουσιάζουν μειονεκτήματα που ειδικά για τη χρήση τους στον αγροτικό τομέα συνοψίζονται στα παρακάτω (Chel, 2011).

- Υψηλό κόστος εγκατάστασης: για να εγκατασταθεί μια ανεμογεννήτρια από έναν αγροτικό παραγωγό απαιτείται μεγάλο κόστος που πολλές φορές δεν είναι αντιμετωπίσιμο. Χαρακτηριστικό κόστος εγκατάστασης για μια ανεμογεννήτρια μικρή για οικιακή χρήση είναι \$22000-29000. Αυτό το ποσό είναι πολύ μεγάλο για το μέσο αγρότη.
- Τα αιολικά συστήματα δεν έχουν κινητά μέρη. Οι ανεμογεννήτριες και τα συστατικά τους δεν κατασκευάζονται σε όλες τις περιοχές και για αυτό η αντικατάσταση των κατεστραμμένων ή παλιών κομματιών δεν είναι εύκολη.
- Έλλειψη εκπαιδευμένου προσωπικού για την επισκευή των ανεμογεννητριών. Εξαιτίας της μη ευρέως χρήση των ανεμογεννητριών σε πολλές περιοχές δεν υπάρχουν πολλοί εξειδικευμένοι τεχνικοί που να μπορούν να τις επισκευάσουν. Αυτό σημαίνει ότι στις περιοχές αυτές πρέπει να έρθουν από το εξωτερικό έτσι αυξάνεται το κόστος συντήρησης.
- Μικρή αποδοχή από το κοινό. Η αποδοχή από το κοινό όπως ήδη αναφέρθηκε σε πολλές περιοχές είναι μικρή εξαιτίας της μη ενημέρωσης για τα πλεονεκτήματα και τα οικονομικά οφέλη της τεχνολογίας.

1.3 Υδροηλεκτρική ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από τη φυσική ροή του νερού. Η ενέργεια που παράγεται από την πτώση του νερού γυρίζει τα φτερά ενός στροβίλου ο οποίος είναι συνδεδεμένος σε μια γεννήτρια που μετατρέπει την ενέργεια σε ηλεκτρισμό. Η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ένα σύστημα εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που διέρχεται από το στρόβιλο και το ύψος από το οποίο πέφτει το νερό. Όσο μεγαλύτερη είναι η ροή και το ύψος πτώσης τόσο περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια παράγεται (Alberta, ca.).

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια καθαρή ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που παρέχει φθηνή ηλεκτρική ενέργεια και δεν παράγει ρύπους. Σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα η υδροηλεκτρική ενέργεια δεν καταστρέφει το νερό κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελεί επιπλέον τη μόνη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που μπορεί να αντικαταστήσει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα και παράλληλα καλύπτει τις αυξανόμενες ενεργειακές ανάγκες.

Τα υδροηλεκτρικά συστήματα διαφέρουν σε μέγεθος ανάλογα με τις εφαρμογές τους. Τα μικροϋδροηλεκτρικά εργοστάσια είναι τα μικρότερα είδη υδροηλεκτρικών συστημάτων και μπορούν να παράγουν από 1kW έως 1MW ισχύος ενώ είναι ιδανικά για την τροφοδότηση με ισχύ των μικρότερων υπηρεσιών όπως είναι οι μηχανές κατεργασίας, οι μικρές αγροτικές περιοχές και κοινότητες. Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά συστήματα παράγουν μεγάλα ποσά ενέργειας και χρησιμοποιούνται κυρίως στις μεγάλες πόλεις.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί την πιο αποδοτική πηγή παραγωγής ενέργειας και μπορεί να μετατρέψει το 90% της διαθέσιμης ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια τη στιγμή τα ορυκτά καύσιμα μετατρέπουν μόνο το 60%. Τα κύρια πλεονεκτήματα της χρήσης υδροηλεκτρικής ισχύος είναι το ότι είναι ανανεώσιμη. Τα υδροηλεκτρικά σχέδια επίσης περιλαμβάνουν πλεονεκτήματα όπως στην ανάκτηση των δεξαμενών ή στο νερό κάτω από τα φράγματα.

Η υδροηλεκτρική ισχύς είναι ανανεώσιμη επειδή σχεδιάζει την κατάλληλη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας που οδηγούν στον υδρολογικό κύκλο που παρέχει συνεχή ροή νερού. Αφού το νερό δεν εναλλάσσεται καθώς κινείται μέσω των στροβίλων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλες πηγές ή να παράγει μεγαλύτερες ποσότητες ενέργειας.

Συγκρίνοντας την υδροηλεκτρική ενέργεια με άλλες πηγές ενέργειας είναι πιο χρονοβόρα στον σχεδιασμό αλλά παρουσιάζει μικρότερο κόστος λειτουργίας και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Ένα υδροηλεκτρικό εργοστάσιο έχει αμελητέο κόστος συντήρησης ενώ η διάρκεια ζωής του εργοστασίου μπορεί να επεκταθεί με αντικατάσταση μηχανημάτων. Η διάρκεια ζωής του μπορεί να φτάσει έως τα 50 έτη.

1.4 Γεωθερμική ενέργεια

Οι γεωθερμικές τεχνολογίες παράγουν ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Υπάρχουν τρία είδη γεωθερμικών μονάδων: τα εργοστάσια υγρού ατμού, τα εργοστάσια ανάφλεξης υδρατμού και τα εργοστάσια δυαδικού κύκλου. Οι γεωθερμικές πηγές υψηλής θερμοκρασίας (μεγαλύτερων από 300°C) είναι αυτές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ισχύος. Οι μεμονωμένες μονάδες παραγωγής ισχύος μπορεί να κυμαίνονται από 100kW έως 100MW. Η τεχνολογία αυτή ενδείκνυται για αγροτικά μικρά ηλεκτρικά δίκτυα αλλά και για εφαρμογές στα μεγάλα εθνικά δίκτυα. Η θερμότητα από την γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί αμέσως. Τα γεωθερμικά ρευστά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες εφαρμογές όπως τη θέρμανση κτηρίων την ανάπτυξη φυτών στα θερμοκήπια, την αφυδάτωση κρεμμυδιών, τη θέρμανση του νερού στα ιχθυοτροφεία και την παστερίωση του γάλακτος (Nguyen, 2015).

Γενικά οι πηγές χαμηλής προς μέση θερμοκρασία (ανάμεσα στους 70°F και στους 300°F) είναι οι πιο χρησιμοποιούμενες. Άλλη τεχνολογία οι αντλίες γεωθερμικής θερμότητας μπορούν να παρέχουν θερμότητα και ψύξη σε κλειστούς χώρους. Αυτή η τεχνολογία δεν

απαιτεί πηγή υδροθερμική αλλά χρησιμοποιεί τις πλησιέστερες πηγές στο έδαφος ως πηγή θερμότητας κατά τις θερμές εποχές και ως δεξαμενές θερμότητας στις ψυχρές εποχές.

Αφού τα κόστη των γεωθερμικών ηλεκτρικών εργοστασίων εξαρτώνται από τα κόστη των πηγών το μέσο κόστος των γεωθερμικών ηλεκτρικών εργοστασίων μειώνεται. Το 1980 το κόστος της γεωθερμικής ηλεκτρικής ενέργειας ήταν από 10 έως 14 cents ανά kWh. Εξαιτίας της βελτίωσης της τεχνολογίας σήμερα κυμαίνεται στα 4 - 7 cents/kWh.

Η εγκατεστημένη ισχύς γεωθερμικής ενέργειας στις ΗΠΑ ανέρχεται στα 2500 MW με συντελεστές δυνατότητας που συχνά ξεπερνούν το 90%. Αυτό είναι ισοδύναμο με την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών τουλάχιστον 2 εκατομμυρίων νοικοκυριών. Η άμεση ή έμμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας παρέχει πάνω από 100000 MW θερμικής ισχύος συμπεριλαμβανομένου και των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Η ισχύς από την άμεση χρήση των συστημάτων μετρείται σε MW θερμότητας αντίθετα με τις μονάδες ισχύος που μετράνε την ισχύ σε MW ηλεκτρικής ενέργειας (Nguyen, 2015).

Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα για κάλυψη των αναγκών θέρμανσης και ισχύος βελτιώνοντας το οικονομικό κόστος. Η γεωθερμική πηγή χαμηλής-μέσης θερμοκρασίας είναι πιο ελκυστική στη χρήση από τις πηγές υψηλής θερμοκρασίας.

Η γεωθερμική ενέργεια έχει πολλές αγροτικές εφαρμογές. Η ανάπτυξη λαχανικών λουλουδιών και διαφόρων άλλων φυτών ευνοείται σε θερμοκήπια που θερμαίνονται από τη γεωθερμική ενέργεια. Οι αγροτοβιομηχανικές εφαρμογές περιλαμβάνουν την αφυδάτωση τροφίμων, την ξήρανση σιτηρών και την καλλιέργεια μανιταριών. Η ξήρανση των κρεμμυδιών αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες βιομηχανικές αγροτικές εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας (Nguyen, 2015).

Οι υπόγειες θερμικές αντλίες θερμότητας βρίσκουν διάφορες εφαρμογές στις αγροτικές περιοχές. Εκτιμάται ότι μόνο στις ΗΠΑ υπάρχουν 600000-800000 υπόγειες αντλίες θερμότητας με τις κυριότερες εγκαταστάσεις να αναφέρονται στη μεσοδυτική και νότια περιοχή.

1.5 Παλιρροϊκή ενέργεια από τα κύματα

Η παλιρροϊκή ενέργεια επίσης μια καθαρή μορφή ενέργειας που όμως όπως και η υδροηλεκτρική δεν χρησιμοποιείται ευρέως. Η ενέργεια των κυμάτων αποτελεί μια μορφή ηλιακής ενέργειας που ενδείκνυται για χρήση σε μικρούς σταθμούς παραγωγής ισχύος. Η ενέργεια των κυμάτων είναι συνάρτηση του μεγέθους των κυμάτων και της συχνότητας τους και ανέρχεται περίπου στα 10kWανά μέτρο κύματος ενώ για την παραγωγή 1000 MWχρειάζεται μήκος ακτής τουλάχιστον 400km ενώ ο συντελεστής μετατροπής υπολογίζεται στο 25%.

1.6 Ενέργεια από βιομάζα

Η ενέργεια από τη βιομάζα αποτελεί μια από τις πλέον υποσχόμενες ανανεώσιμες πηγές παραγωγής ενέργειας. Οι πηγές παραγωγής βιομάζας έχουν τη δυνατότητα να αυξήσουν την ενεργειακή ασφάλεια σε περιοχές χωρίς άφθονα αποθέματα ορυκτών καυσίμων για να αυξηθούν οι προμήθειες ορυκτών καυσίμων μεταφοράς υγρών και να μειώσουν τις καθαρές απώλειες άνθρακα στην ατμόσφαιρα ανά μονάδα μεταφερόμενης ενέργειας. Παρόλα αυτά η αυξανόμενη αξιοποίηση της ενέργειας από βιομάζα εγκυμονεί τον κίνδυνο καταστροφής

φυσικών περιοχών για τη διαχείριση μονοειδών, την μόλυνση της διατροφικής αλυσίδας μέσω των αυξανόμενων ρύπων διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα και της αποψίλωσης των δασών για την ανάπτυξη των ενεργειακών τεχνολογιών.

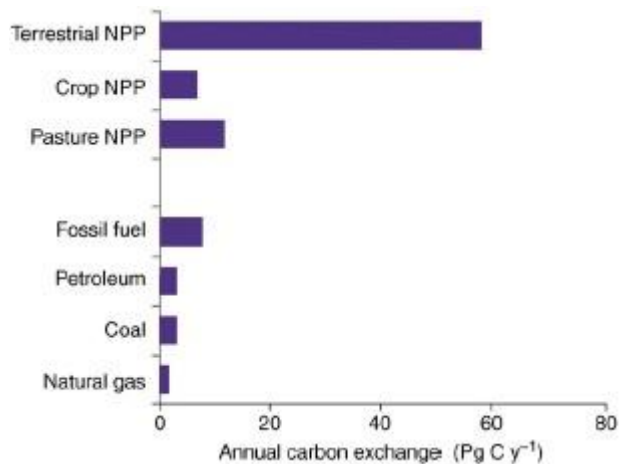
Η ενέργεια από βιομάζα στο παγκόσμιο ενεργειακό σύστημα εξαρτάται από τέσσερις κύριους παράγοντες. Ο πρώτος είναι η τεχνολογία μετατροπής και οι δυνατότητες χρήσης νέων εργοστασίων και ποικιλιών μικροβίων όπως επίσης και οι καινοτόμες διαδικασίες μετατροπής βιομάζας σε καύσιμο για την αύξηση του πεδίου της χρήσιμης ενέργειας από κάθε μονάδα διαθέσιμης γης ή νερού (Raghu, S, 2006). Ο δεύτερος παράγοντας αφορά στην παραγωγική δυνατότητα της γης και των οικοσυστημάτων των ωκεανών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενεργειακή παραγωγή από βιομάζα. Ο τρίτος παράγοντας σχετίζεται με τις εναλλακτικές χρήσεις της γης και των πηγών νερού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ενεργειακή παραγωγή βιομάζας. Τέλος ο τέταρτος παράγοντας αφορά στις επιπτώσεις των ενεργειακών τεχνολογιών της βιομάζας για τα χωροτακτικά είδη και για τα επίπεδα μόλυνσης του αέρα και του νερού.

Αυτοί οι παράγοντες πρέπει να θεωρηθούν αποτελεσματικά έτσι ώστε να μεγιστοποιηθούν τα πλεονεκτήματα και να ελαχιστοποιηθεί το κοινωνικό κόστος από την παραγόμενη ενέργεια από τη βιομάζα. Ειδικότερα, οι περιορισμοί που αφορούν στα χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος, τον ανταγωνισμό από τις εναλλακτικές χρήσεις του εδάφους και τις βελτιώσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε πρακτικά ή επιθυμητά επίπεδα της ενεργειακής παραγωγής από τη βιομάζα που είναι πολύ μικρότερα από τα θεωρητικά επίπεδα (Raghu, S, 2006).

Ο όρος ενέργεια από βιομάζα αναφέρεται σε κάθε πηγή θερμικής ενέργειας που παράγεται από μη ορυκτά βιολογικά υλικά. Η ενέργεια της βιομάζας μπορεί να προέλθει από τους ωκεανούς και τα γλυκά νερά όπως επίσης και από το έδαφος. Η ενέργεια της βιομάζας κυμαίνεται από το ξύλο έως την αιθανόλη που παράγεται από το καλαμπόκι ή τα ζαχαροκάλαμα και μέχρι το μεθάνιο από τα εδάφη. Πιθανές μελλοντικές πηγές ενέργειας όπως το υδρογόνο από τη μηχανική κατεργασία μικροοργανισμών ή από τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης μπορεί να συμπεριληφθούν στην ενέργεια από τη βιομάζα. Το 2000 η ενέργεια από βιομάζα υπολογίζεται στο 7% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης το 2000 (Fernandes, S.D. etal. 2007) ή σχεδόν το ένα τρίτο της ενέργειας από τις άλλες πηγές εκτός των ορυκτών καυσίμων (Sabine, 2004).

Στις ανεπτυγμένες χώρες η ενέργεια από τη βιομάζα είναι ευρέως χρησιμοποιήσιμη στο μαγείρεμα και στη θέρμανση ενώ χρησιμοποιείται και για την παραγωγή σε βιομηχανική κλίμακα θερμότητας ιδιαίτερα στις χαρτοβιομηχανίες (Farlaetal. 1997). Παρά το γεγονός ότι μεγάλο μέρος της πρόσφατης ερευνητικής δραστηριότητας στη βιομάζα ως πηγή παραγωγής ενέργειας εστιάζεται στη μεταφορά υγρών καυσίμων αυτά αποτελούν μόνο το 2% της παγκόσμιας ενέργειας από βιομάζα (Coyle 2007). Όμως η συνεισφορά της ενέργειας από βιομάζα στα συστήματα μεταφοράς διαφέρει από χώρα σε χώρα με την αιθανόλη να χρησιμοποιείται στο 30% των αυτοκινήτων της Βραζιλίας ως καύσιμο (IEA 2004).

Σε παγκόσμια κλίμακα η ετήσια ανάπτυξη μονάδων ή η πρωτογενής παραγωγή παράγει δεδομένη ποσότητα CO₂ σε σχέση με αυτή που καταναλώνεται στα βιομηχανικά ενεργειακά συστήματα. Οι συνολικές απώλειες CO₂ από την καύση των ορυκτών καυσίμων ήταν η πρωτογενής παραγωγή διέθεσε περίπου 57 δισεκατομμύρια τόνους άνθρακα στο έδαφος (Raupach, 2007).



Σχήμα 1.2: Πρωτογενής παραγωγή και απώλειες διοξειδίου του άνθρακα (Behrenfeld, M.J.,2001)

Το μεγαλύτερο μέρος της βιομάζας μετατρέπεται σε ενέργεια μέσω της διαδικασίας της καύσης. Η θερμότητα χρησιμοποιείται απευθείας για τη θέρμανση των κτηρίων, την ξήρανση των σιτηρών και βιομηχανικές διεργασίες. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ατμού και ηλεκτρικής ενέργειας.

1.7 Ηλιακή ενέργεια

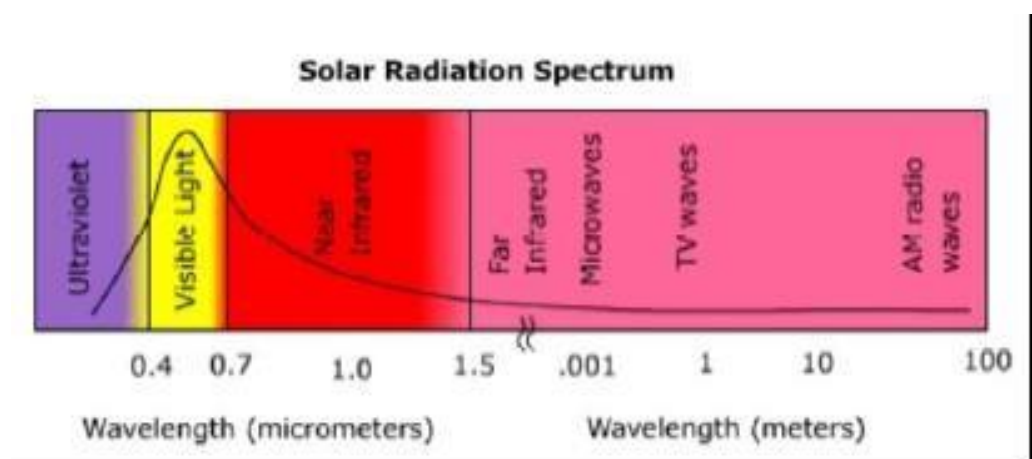
Το γεγονός πως τα βασικά αέρια που συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα δημιουργεί σε παγκόσμιο επίπεδο ανησυχία σχετικά με τους τρόπους που μπορούν να επιφέρουν μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από το διοξείδιο του άνθρακα. Στο πλαίσιο αυτό έχουν αναπτυχθεί διάφορες πολιτικές για τη μείωση του διοξειδίου του άνθρακα που βασίζονται κυρίως στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που χρησιμοποιούν αποτελεσματικούς τρόπους τόσο για τη χρήση όσο και για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Ο ήλιος αποτελεί μια από τις πιο ισχυρές και άφθονες ενεργειακές πηγές στον κόσμο. Πολλές από τις υπόλοιπες πηγές ενέργειας όπως ο άνεμος, τα ορυκτά καύσιμα, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η ενέργεια από τη βιομάζα έχουν πηγή προέλευσης την ηλιακή ακτινοβολία (Worldwatch Institute, 2009).

Το δυναμικό για κάθε εναλλακτική πηγή ενέργειας είναι όπως ήδη αναφέρθηκε υπολογίσιμο και μπορεί να αυξηθεί παράλληλα με την αύξηση της τεχνολογίας. Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί την μόνη εναλλακτική πηγή ενέργειας που μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά την αύξηση της ζήτησης στην ενέργεια.

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές όπως την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εφαρμογές ηλιακής πρόωσης, ηλιακής αφαλάτωσης και έλεγχο της θερμοκρασίας.

Η ηλιακή ακτινοβολία ορίζεται ως η μεταφορά της ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός που για το κενό είναι της τάξης των $3 \times 10^8 \text{m/sec}$. Ο χρόνος που χρειάζεται το φως από τον Ήλιο να φτάσει στη Γη είναι 8 λεπτά και 20 δευτερόλεπτα. Η μετάδοση θερμότητας από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία γίνεται μέσω του κενού. Οποιοδήποτε σώμα βρίσκεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη του απόλυτου μηδενός εκπέμπει ακτινοβολία στο γύρω περιβάλλον του η οποία ορίζεται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας ενώ τη μεγαλύτερη διακύμανση την παρουσιάζει η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.



Σχήμα 1.3 Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας συναρτήσει του μήκους κύματος .

Το ορατό φως παρουσιάζει μήκος κύματος από 0,4 έως 0,71 μm και ο ήλιος εκπέμπει μόνο ένα μέρος της ακτινοβολίας σε αυτό το εύρος και συγκεκριμένα το 44%. Η ηλιακή

ακτινοβολία καλύπτει το φάσμα από τα 0,1 έως τα 4μm. Περίπου το 7% των ηλιακών εκπομπών είναι στο μήκος κύματος από 0,1 έως 0,4μm που είναι η περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας ενώ το 48% της ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτει στην περιοχή μεταξύ 0,71-4μm.

Η ποσότητα της ακτινοβολίας που περνάει μέσω μιας ειδικής επιφάνειας είναι αντιστρόφως ανάλογη στο τετράγωνο της απόστασης από την πηγή ενέργειας. Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη Γη και σε οποιονδήποτε πλανήτη επηρεάζεται από την ατμόσφαιρα εξαιτίας της ικανότητας μερικών σωματιδίων και αερίων της ατμόσφαιρας να απορροφούν την εισερχόμενη ακτινοβολία. Η απορρόφηση είναι η διαδικασία που ορίζεται ως η διαδικασία στην οποία η ηλιακή ακτινοβολία διατηρείται από ένα συστατικό και μετατρέπεται σε θερμότητα. Η θερμότητα προκαλεί το συστατικό να εκπέμπει τη δικιά του ακτινοβολία.

Επιπλέον η ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζεται από την ανάκλαση της στην ατμόσφαιρα. Η ανάκλαση είναι η διαδικασία στην οποία η ηλιακή ακτινοβολία όταν προσκρούσει σε ένα σωματίδιο της ατμόσφαιρας ανακλάται κατά 180° γεγονός που οδηγεί σε 100% απόρριψη της ηλιακής ακτινοβολίας. Το μεγαλύτερο ποσοστό ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας πραγματοποιείται στα σύννεφα όταν η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνάει σωματίδια της ατμόσφαιρας με υγρασία και παγωμένο νερό. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι στη γη φτάνει μόνο ένα μικρό μέρος από την παραγόμενη ακτινοβολία. Αυτό το μέρος της παραγόμενης ακτινοβολίας που φτάνει στη γη αποτελεί έμμεση πηγή σχεδόν οποιασδήποτε μορφής ενέργειας που χρησιμοποιείται σήμερα.

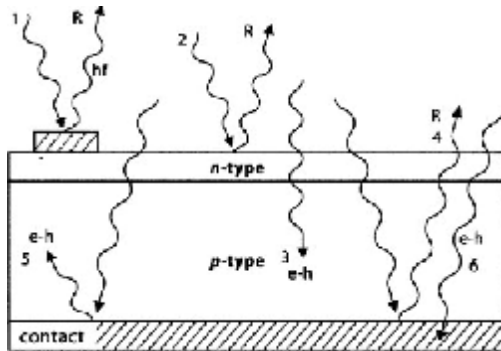
1.7.1 Τεχνολογίες ηλιακής ενέργειας

Η ηλιακή ενέργεια βρίσκει πολλές εφαρμογές με κύρια την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που μπορούν να χαρακτηριστούν ως γεννήτριες ηλιακής ενέργειας. Για να είναι αποτελεσματική η λειτουργία μιας γεννήτριας ηλιακής ενέργειας απαιτείται να υπάρχουν ένας συλλέκτης και μια μονάδα αποθήκευσης. Ο συλλέκτης συλλέγει την ακτινοβολία που πέφτει σε αυτόν και παράγει ηλεκτρική ενέργεια ενώ η μονάδα αποθήκευσης αποθηκεύει το πλεόνασμα της παραγόμενης ενέργειας και το αποδίδει στις περιόδους που η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί για την παραγωγή ισχύος όπως συμβαίνει κατά τη διάρκεια της νύκτας ή κατά τη διάρκεια συννεφιασμένων ημερών.

Η συλλογή των φωτονίων που αποτελούν τους βασικούς φορείς του φωτός δεν συνεπάγεται απαραίτητα την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος απαιτεί τη δημιουργία μιας τάσης και ενός ηλεκτρικού ρεύματος. Η παραγωγή δυναμικού σε μια ηλιακή κυψέλη πραγματοποιείται από μια διαδικασία που είναι γνωστή ως φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Η συλλογή των φορέων παραγωγής ηλιακού φωτός από μια σύνδεση δύο ημιαγωγών p-n προκαλεί την κίνηση των ηλεκτρονίων στην πλευρά του n ημιαγωγού και την δημιουργία οπών στον p ημιαγωγό. Σε συνθήκες βραχυκυκλώματος δεν υπάρχει δημιουργία φορτίου και οι φορείς εξέρχονται από τη συσκευή με τη μορφή ρεύματος (PV education).

Αν οι φορείς παραγωγής ρεύματος εμποδίζονται από το να εξέλθουν από το ηλιακό κελί τότε η συλλογή των φορέων παραγωγής ρεύματος προκαλούν μια αύξηση στον αριθμό των ηλεκτρονίων στον αγωγό τύπου n της σύνδεσης p-n και παράλληλα αύξηση των οπών στον ημιαγωγό. Ο διαχωρισμός του φορτίου δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο στη σύνδεση που είναι αντίθετο με αυτό που υπάρχει οδηγώντας σε μείωση του καθαρού ηλεκτρικού πεδίου.

Το δημιουργούμενο ηλεκτρικό πεδίο αναπαριστά ένα ισοζύγιο στη ροή του ρεύματος διάχυσης. Η μείωση του ηλεκτρικού πεδίου είναι συνάρτηση του ρεύματος διάχυσης. Μια νέα ισορροπία επιτυγχάνεται και δημιουργείται διαφορά δυναμικού στη σύνδεση p-n.



Σχήμα 1.4: Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο(Wenham, 2007)

Το ρεύμα από σε μια ηλιακή κυψέλη είναι η διαφορά ανάμεσα στο οριακό ρεύμα που αναπτύσσεται και το προς τα μπρός ρεύμα. Σε συνθήκες ανοικτού κυκλώματος η προς τα εμπρός ώθηση του κόμβου αυξάνει σε ένα σημείο όπου το παραγόμενο ρεύμα από το φως εξισορροπείται από το μπροστινό ρεύμα του κόμβου και το καθαρό ρεύμα είναι ίσο με το μηδέν. Το απαιτούμενο δυναμικό για αυτά τα δύο ρεύματα ονομάζεται δυναμικό ανοικτού κυκλώματος.

Τα ηλιακά κελιά είναι μια άλλη ονομασία των φωτοβολταϊκών στοιχείων και είναι συσκευές που μετατρέπουν άμεσα την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία εμφανίστηκαν για πρώτη φορά το 1954 από την Bell Telephone Laboratories και σήμερα αποτελούν την πιο γρήγορα αναπτυσσόμενη τεχνολογία που αναμένεται να έχει σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια παραγωγή ενέργειας (IRENA, 2012).

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των φωτοβολταϊκών μπορούν να συνοψιστούν στα (IRENA, 2012):

- Η ηλιακή ισχύς αποτελεί ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που είναι πάντα διαθέσιμη.
- Τα φωτοβολταϊκά είναι μικρά σε όγκο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε σε αντίθεση με ότι συμβαίνει με άλλες τεχνολογίες.
- Σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα παραγωγής ισχύος που χρησιμοποιούν άνθρακα πυρηνική ενέργεια, πετρέλαιο και φυσικό αέριο τα φωτοβολταϊκά δεν έχουν κόστος καυσίμου και έχουν πολύ μικρό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Ένα τυπικό σύστημα φωτοβολταϊκών αποτελείται από ηλιακά κελιά που ενώνονται μεταξύ τους δημιουργώντας το φωτοβολταϊκό στοιχείο και τα βοηθητικά στοιχεία που περιλαμβάνουν τον μετατροπέα και τον αντιστροφέα. Στην αγορά υπάρχει ένα πλήθος φωτοβολταϊκών κελιών με διαφορετικά υλικά. Τα φωτοβολταϊκά ανάλογα με το υλικό

κατασκευής τους ταξινομούνται σε πρώτης γενιάς, δεύτερης και τρίτης γενιάς φωτοβολταϊκά στοιχεία,

Τα φωτοβολταϊκά πρώτης γενιάς αποτελούνται από κρυσταλλικό πυρίτιο είτε πολυκρυσταλλικό είτε μονοκρυσταλλικό. Τα δεύτερης γενιάς φωτοβολταϊκά αποτελούνται από λεπτούς υμένες που μπορεί να είναι από άμορφο και μικρομορφικό πυρίτιο, κάδμιο – τελλούριο και χαλκό, ίνδιο σελήνιο και χαλκό - ίνδιο - γάλλιο – δισελένιο. Τα τρίτης γενιάς φωτοβολταϊκά στοιχεία που περιλαμβάνουν τα συγκεντρωμένα φωτοβολταϊκά στοιχεία και τα οργανικά φωτοβολταϊκά που δεν είναι εμπορεύσιμα ακόμα και βρίσκονται υπό ανάπτυξη.

Η πρώτη γενιά φωτοβολταϊκών κατασκευάζεται από υλικά με κρυσταλλική δομή πυριτίου (Si) για την παραγωγή των ηλιακών κελιών. Η συγκεκριμένη τεχνολογία αναπτύσσεται σταθερά για τη βελτίωση της δυνατότητας και της απόδοσης. Στις κρυσταλλικές δομές περιλαμβάνονται τα μονοκρυσταλλικά και τα πολυκρυσταλλικά κελιά.

Αυτός ο τύπος κελιού είναι ο πιο συνηθισμένος και αποτελεί το 80% της αγοράς και θα συνεχίσει να ηγείται της συγκεκριμένης αγοράς μέχρι να αναπτυχθεί μια πιο αποτελεσματική και οικονομικότερη τεχνολογία. Το χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων κελιών είναι οι διασυνδέσεις πυριτίου p-n. Η κατασκευή των μονοκρυσταλλικών κρυστάλλων πυριτίου γίνεται με έναν μονό κρύσταλλο που διαμορφώνεται με τη μέθοδο Czochralski. Το πυριτικό υλικό ενισχύει την απόδοση η οποία περιορίζεται από την ενέργεια που παράγεται από τα φωτόνια ενώ μειώνεται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. Η ακτινοβολία με μεγαλύτερα μήκη κύματος οδηγεί σε θερμική διάχυση και προκαλεί τη θέρμανση του κελιού και την μείωση της απόδοσης του.

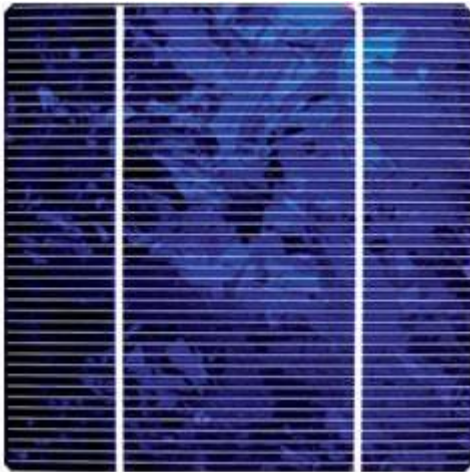
Για το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο η μέγιστη απόδοση φτάνει στο 23% σε κανονικές συνθήκες. Εξαιτίας του συνδυασμού της αντίστασης του ηλιακού κελιού η ηλιακή αντανάκλαση της ακτινοβολίας και οι μεταλλικές επαφές που είναι διαθέσιμες στο πάνω μέρος παράγονται απώλειες. Στη συνέχεια το εσωτερικό του Si, κατασκευάζεται σε μια διάμετρο ανάμεσα στα 10-15cm και στη συνέχεια κόβεται σε φύλλα με πάχος 0,3mm και αποδίδουν κατά προσέγγιση 35mA/cm² με δυναμικό 0,55V. Μερικά άλλα ημιαγώγιμα υλικά με διαφορετικά μήκη κύματος μπορούν να φτάσουν στο 30% σε Κ.Σ.(SunPower). Παρόλα αυτά οι αποδόσεις των στοιχείων είναι συνήθως μικρότερες από τις αποδόσεις των συστοιχιών και σήμερα η απόδοση των εμπορικών κυψελών φτάνει στα 20,4%(Sunpower).



Σχήμα 1.5: Μονοκρυσταλλικό κελί πυριτίου

Τα σημερινά εμπορικά φωτοβολταϊκά κελιά αναμένεται να έχουν καλύτερη διάρκεια ζωής και το κόστος τους είναι λιγότερο ανταγωνιστικό προς τις υπάρχουσες πηγές ενέργειας. Η τεχνολογία κατεργασίας ηλιακού πυριτίου έχει πολλά σημεία κοινά με τη μικροηλεκτρονική βιομηχανία και έχει πολλά πλεονεκτήματα αλλά η τεχνολογία κατεργασίας οδηγεί στην βελτίωση της απόδοσης των εργαστηριακών κελιών και καθιστούν την τεχνολογία πιο προσιτή (Sunpower).

Η σύγχρονη βιομηχανία των φωτοβολταϊκών στοχεύει στη μείωση του κόστους και παράλληλα στην αύξηση της παραγωγής και οδήγησε στην ανάπτυξη της τεχνολογίας νέων τεχνικών κρυσταλλοποίησης. Αρχικά το πολυκρυσταλλικό πάνελ κυριάρχησε στην ηλιακή βιομηχανία ενώ το κόστος του πυριτίου ήταν ιδιαίτερα υψηλό. Όμως ακόμα και όταν η τιμή του πυριτίου μειώθηκε περισσότερο από το μισό η συγκεκριμένη τεχνολογία έγινε πιο ελκυστική επειδή το κόστος κατασκευής είναι μικρότερο ακόμα και αν αυτές οι κυψέλες είναι λιγότερο αποτελεσματικές από τις μονοκρυσταλλικές. Το πλεονέκτημα της μετατροπής της παραγωγής των κρυσταλλικών ηλιακών κελιών από μονοκρυσταλλικά σε πολυπυριτικά μειώνει τις βαθμίδες στη μεταλλική συμπίκνωση και την κρυσταλλική δομή (Manna, 2007).



Σχήμα 1.6: Κυψέλη πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Garcia, 2004)

Τα πολυκρυσταλλικά κελιά κατασκευάζονται αρχικά με τήξη του πυριτίου και στερεοποίηση του σε κρυστάλλους με δεδομένη κατεύθυνση παράγοντας ορθογώνιες ράβδους ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο που μοιράζεται σε μπλοκ και τελικά σε λεπτά πλακίδια(Evergreen Solar).

Συγκριτικά με τα κελιά κρυσταλλικού πυριτίου η τεχνολογία λεπτού υμένα προωθεί τη μείωση του κόστους του φωτοβολταϊκού με την κατασκευή λιγότερου υλικού και χωρίς εκπτώσεις στη διάρκεια ζωής των κελιών.

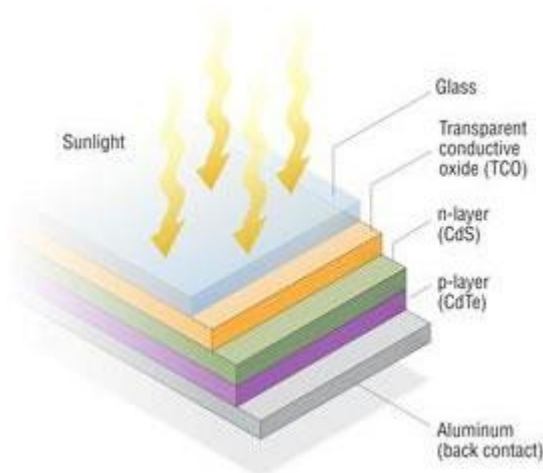
Αντίθετα από τις κρυσταλλικές δομές των ηλιακών κελιών όπου τα κομμάτια των ημιαγωγών συμπίεζονται ανάμεσα στα γυάλινα πάνελ έτσι ώστε να δημιουργηθούν τα στοιχεία. Τα πάνελ λεπτού υμένα δημιουργούνται με την εναπόθεση λεπτών στρωμάτων από συγκεκριμένα υλικά στο υπόστρωμα γυαλιού ή χάλυβα χρησιμοποιώντας εργαλεία εναπόθεσης. Το πλεονέκτημα αυτής της μεθοδολογίας εντοπίζεται στο γεγονός ότι το πάχος των εναποτιθέμενων στρωμάτων είναι ελάχιστα μικρό συγκριτικά με τις κρυσταλλικές

ράβδους που τείνουν να είναι μερικές εκατοντάδες μικρά. Το συγκεκριμένο πλεονέκτημα οδηγεί σε μικρότερο κατασκευαστικό κόστος εξαιτίας της υψηλής διαδικασίας εναπόθεσης όπως επίσης και σε μικρότερο κόστος υλικών. Από τεχνική άποψη τα πολύ λεπτά στρώματα οδηγούν σε μικρότερες απαιτήσεις φωτοβολταϊκού υλικού για την απορρόφηση ηλιακής ακτινοβολίας. Παρά το γεγονός όμως πως στα συγκεκριμένα φωτοβολταϊκά υπάρχει η δυνατότητα εναπόθεσης διαφορετικών στρωμάτων υλικών και κραμάτων τα συγκεκριμένα φωτοβολταϊκά παρουσιάζουν καλύτερες αποδόσεις. Επιπλέον, η ευελιξία και η ευρωστία των φωτοβολταϊκών λεπτού υμένα τα οδηγεί στο να κατέχουν μεγάλο μερίδιο στην αγορά που φτάνει στο 20% (von Roedern B, 2005).

Υπάρχουν τέσσερα είδη κελιών λεπτού υμένα που προωθούνται στην αγορά: τα άμορφα κελιά πυριτίου, τα πολυκρυσταλλικά κελιά πυριτίου σε υπόστρωμα χαμηλού κόστους, το κελί χαλκού ινδίου δισελήνιου / θειϊκού καδμίου και το κελί καδμίου τελλουριού/ θειϊκού καδμίου.

Το άμορφο πυρίτιο είναι μια από τις πρώτες τεχνολογίες που χρησιμοποιήθηκαν για τα φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα (Carlson, 1976). Η συγκεκριμένη τεχνολογία διαφέρει από την τεχνολογία του κρυσταλλικού πυριτίου στο γεγονός ότι τα άτομα του πυριτίου τοποθετούνται τυχαία μεταξύ τους. Η τυχαία αυτή διάταξη επιδρά σημαντικά στις ηλεκτρονικές ιδιότητες του υλικού προκαλώντας ένα μεγαλύτερο δυναμικό ζώνης από το κρυσταλλικό πυρίτιο που επιτρέπει στα κελιά του άμορφου πυριτίου να απορροφούν το ορατό τμήμα του ηλιακού φάσματος πιο ισχυρά από το υπεριώδες. Το υπόστρωμα σε αυτές τις τεχνολογίες μπορεί να είναι γυαλί, χάλυβα, διπλά συνδεδεμένα στρώματα ή παράλληλα στρώματα.

Το τελλουριούχο κάδμιο έχει βέλτιστο δυναμικό ζώνης με μεγάλο συντελεστή απορρόφησης για ένα υλικό ηλιακής απορρόφησης και αποτελεί ένα από τα πλέον υποσχόμενα υλικά για τα φωτοβολταϊκά λεπτού υμένα. Τα μικρής επιφάνειας κελιά τελλουριούχου καδμίου μπορεί να δώσουν αποδόσεις μεγαλύτερες από 15% ενώ έχουν καταγραφεί και αποδόσεις στοιχείων μεγαλύτερες από 9% (Britt, 1993).



Σχήμα 1.7: Φωτοβολταϊκό κελί τελλουριούχου καδμίου

Τα φωτοβολταϊκά που κατασκευάζονται από χαλκό ινδίο σελήνιο είναι συσκευές που περιέχουν ημιαγώγιμα στοιχεία από τις ομάδες I, III και VI του περιοδικού πίνακα τα οποία χαρακτηρίζονται από πολύ καλούς συντελεστές οπτικής απορρόφησης και ηλεκτρικά

χαρακτηριστικά που επιτρέπουν το συντονισμό της συσκευής. Επιπλέον επιτυγχάνεται στα συγκεκριμένα κελιά καλύτερη ομοιομορφία μέσω της χρήσης του σελήνιου οδηγώντας σε καλύτερες κβαντικές αποδόσεις των κελιών.

Τα φωτοβολταϊκά κελιά έχουν πολλά χαρακτηριστικά που ενισχύουν την ελκυστικότητα της τεχνολογίας. Μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα των συγκεκριμένων κελιών είναι (NREL, 1999):

- Η υψηλή αξιοπιστία: τα φωτοβολταϊκά αρχικά προορίζονταν για διαστημικές εφαρμογές όπου οι επισκευές τους ήταν αδύνατες ή εξαιρετικά ακριβές. Κατά συνέπεια η αξιοπιστία αποτελεί από την αρχή της ανακάλυψής τους το βασικό πλεονέκτημα αφού ακόμα και σήμερα η διάρκεια ζωής τους είναι ιδιαίτερα μεγάλη αφού φτάνει στα 20-30 χρόνια.
- Το χαμηλό λειτουργικό τους κόστος: τα φωτοβολταϊκά κελιά χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος κατά συνέπεια δεν έχουν κόστος καυσίμου. Επιπλέον δεν έχουν κινητά μέρη και έχουν μικρό κόστος συντήρησης για αυτό θεωρούνται ελκυστικά για οικιακές και όχι μόνο εφαρμογές.
- Είναι φιλικά προς το περιβάλλον: επειδή δεν χρησιμοποιούν καύσιμο τα φωτοβολταϊκά είναι φιλικά προς το περιβάλλον και ήσυχα στη λειτουργία τους.
- Εύκολα στην κατασκευή τους: ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να κατασκευαστεί σε οποιοδήποτε μέγεθος προκειμένου να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις. Επιπλέον το μέγεθος μπορεί να αλλάξει αν οι ενεργειακές ανάγκες αλλάξουν.
- Φορητότητα: ένα φωτοβολταϊκό σύστημα μπορεί να μετακινηθεί εύκολα από τόπο σε τόπο αν αυτό κριθεί απαραίτητο.

Στα βασικά μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συγκαταλέγονται τα ακόλουθα (NREL, 1999):

- Είναι σχετικά ακριβή τεχνολογία: η διαδικασία κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ακόμα ακριβή παρά τις σημαντικές μειώσεις κόστους που έχουν επιτευχθεί τα τελευταία χρόνια. Επιπλέον αν η εγκατάσταση πραγματοποιηθεί σε περιοχές που δεν υπάρχει ηλεκτρικό δίκτυο το κόστος μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.
- Εξάρτηση από τις καιρικές συνθήκες: παρά το γεγονός πως τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι άκρως αξιόπιστα η ηλιακή ενέργεια δεν είναι πάντα διαθέσιμη. Για αυτό τα φωτοβολταϊκά δεν παράγουν ενέργεια το βράδυ ενώ παρά το ότι παράγουν ενέργεια τις συννεφιασμένες μέρες αυτή δεν είναι η ίδια με την ενέργεια που παράγεται τις ηλιόλουστες ημέρες.
- Απαίτηση για μεγάλο χώρο εγκατάστασης: για την ικανοποιητική παραγωγή ενέργειας πρέπει να χρησιμοποιείται ο κατάλληλος χώρος εγκατάστασης και να μην υπάρχουν εμπόδια ως προς την πρόσληψη ηλιακής ενέργειας.
- Χρήση επιπλέον εξοπλισμού: ανάλογα με το είδος του χρησιμοποιούμενου συστήματος φωτοβολταϊκού και τη χρήση του μπορεί να χρειάζεται να

χρησιμοποιηθεί ένας αντιστροφείας ή ένας συσσωρευτής ή και τα δύο γεγονός που αυξάνει το κόστος των φωτοβολταϊκών

1.8 Θερμοκήπια

Τα θερμοκήπια αποτελούν κατασκευές που χρησιμοποιούνται για τη προστασία των φυτών από ακραίες καιρικές συνθήκες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη δημιουργία καλύτερων συνθηκών ανάπτυξης συνήθως διατηρώντας υψηλότερες εσωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας σε σχέση με τις εξωτερικές. Το προστατευόμενο περιβάλλον μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με άλλους τρόπους όπως για παράδειγμα για τη διατήρηση συνεχούς παροχής νερού στα φυτά σε περιόδους λειψυδρίας. Επιπλέον είναι δυνατή η προστασία των φυτών από ανέμους και μικρόβια. Αυτή η ευελιξία του σχεδιασμού είναι που επέτρεψε στα θερμοκήπια να χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιοχές ανεξάρτητα από τις ατμοσφαιρικές τους συνθήκες.

Από τη δεκαετία του 1950 τα θερμοκήπια αποτέλεσαν αντικείμενο μελέτης για τη βελτίωση της εμπορικής διαθεσιμότητας των καρπών που παράγονται από αυτά. Στο τέλος της δεκαετίας του 1970 η έρευνα ενισχύθηκε στον τομέα της θέρμανσης εξαιτίας του αυξανόμενου κόστους του πετρελαίου (CrittenandBailey, 2002).

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι θερμοκηπίων που χρησιμοποιούνται ευρέως. Ο ένας αφορά στα παραδοσιακά αγγλικά θερμοκήπια που μπορεί να είναι με ένα ή πολλαπλά ανοίγματα με κάθε άνοιγμα να έχει πλάτος 6,7m και υποστηρίζεται από κατακόρυφους ορθοστάτες κάθε φορά. Τα ολλανδικά θερμοκήπια επίσης ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία και έχουν πολλαπλά ανοίγματα πλάτους 3.2m



Σχήμα 1.8: Θερμοκήπιο αγγλικού τύπου

Άλλη κατηγορία είναι οι πλαστικοί θάλαμοι με ένα ή πολλαπλά ανοίγματα και αποτελούνται από ένα σύνολο κυκλικών τόξων πάνω από τους οποίους υπάρχει τοποθετημένο ένα φύλλο πολυαιθυλενίου. Το πλάτος ανοιγμάτων είναι το ίδιο με την περίπτωση της πρώτης κατηγορίας.



Σχήμα 1.9: Θερμοκήπιο πλαστικού θαλάμου

Η Τρίτη κατηγορία συνηθέστερων θερμοκηπίων αφορά στα καναδικού τύπου θερμοκήπια που χρησιμοποιούνται στη Μεσόγειο και περιλαμβάνουν μια σειρά από γαλβανιζέ σωλήνες με απόσταση 3m μεταξύ τους που συνδέονται με μεταλλικές ράβδους. Η οροφή τους είναι σχεδόν οριζόντια και είναι κατασκευασμένη από ξύλινα πηγάκια με απόσταση 60cm μεταξύ τους πάνω από τα οποία τοποθετείται το κάλυμμα που είναι μια πλαστική μεμβράνη.

Στα επόμενα κεφάλαια θα παρουσιαστούν τα βασικά στοιχεία που μελετώνται στην κατασκευή των θερμοκηπίων και αφορούν στο φωτισμό, στη θέρμανση και στην ψύξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

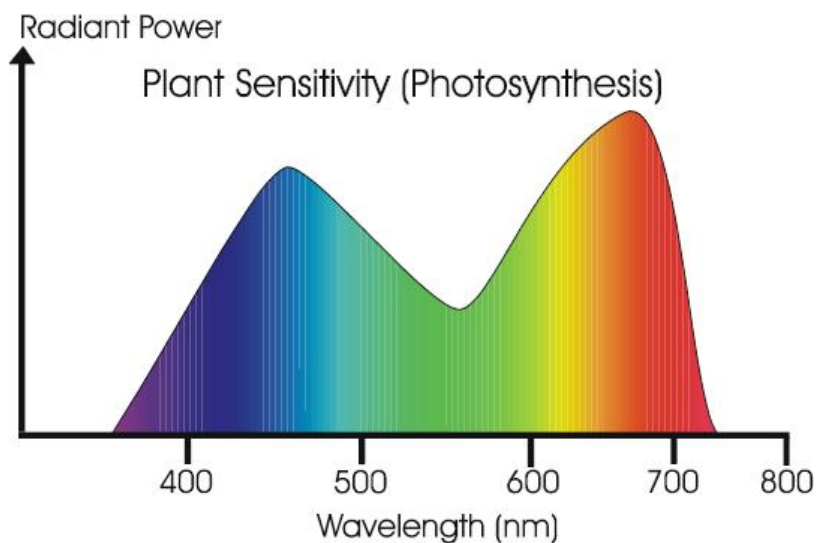
ΦΩΤΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

2.1 Φωτισμός στα θερμοκήπια

Ο στόχος του θερμοκηπίου είναι να προωθήσει μια δομή για τα αναπτυσσόμενα φυτά που είναι διαφανή στο φως του ήλιου και είναι επαρκώς για να μειωθεί η απώλεια της θερμότητας με συναγωγή. Μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διέρχεται από την κάλυψη του υλικού που παράγει θερμότητα και μέρος αυτού χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση του φωτός και οδηγεί στην παραγωγή της χρήσιμης βιομάζας.

Το φως είναι ένας σχηματισμός ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που είναι ορατός στο ανθρώπινο. Η ακτινοβολία που χαρακτηρίζεται ως ηλιακό φως ή το ορατό φάσμα αποτελεί ένα μικρό μέρος του συνολικού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που περιλαμβάνει τις ακτίνες γ τις ακτίνες X και τα ραδιοκύματα. Το μικρότερο μήκος κύματος το έχουν οι μωβ ακτίνες φωτός και το μεγαλύτερο το ερυθρό χρώμα. Η ηλιακή ακτινοβολία όταν διαπερνάει ένα πρίσμα ή ένα σύνολο σταγόνων νερού στην ατμόσφαιρα τα φωτεινά κύματα οργανώνονται ή αντανakλώνται σε ορατά φάσματα χρώματος παράγοντας το φαινόμενο του ουράνιου τόξου (Argus Control System, 2010).

Η απορρόφηση του φωτός από τον άνθρωπο γίνεται εντελώς διαφορετικά σε σχέση με τα φυτά. Για τη φωτοσύνθεση, τα φυτά ανταποκρίνονται στο φως με το μπλε και το κόκκινο του φάσματος καθώς και στο υπέρυθρο μήκος κύματος για την περίοδο της ανάπτυξης και τον έλεγχο της βλάστησης. Η πυκνότητα, η διάρκεια, και η ποιότητα του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνουν τα φυτά έχει άμεση επίδραση στην φωτοσύνθεση, στην ανάπτυξη και στις κλιματικές μεταβολές και το σχήμα των φυτών.



Σχήμα 2.1 Η ευαισθησία της διαδικασίας φωτοσύνθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία (Argus Control System, 2010).

Παρά το γεγονός πως τα φυτά θεωρούνται ακίνητοι, παθητικοί μικροοργανισμοί που εξαρτώνται από το περιβάλλον, στην πραγματικότητα είναι πολύ δραστικοί οργανισμοί που αντιδρούν στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Δεδομένου ότι το φυσικό ηλιακό φως είναι ένα φαινόμενο με μεγάλη μεταβλητότητα, τα φυτά περιλαμβάνουν μηχανισμούς που επιτρέπουν την μέτρηση την αντίδραση σε διαφορετικές ροές και κύκλους του φυσικού φωτός. Ως ανταπόκριση στις συνθήκες φωτισμού μπορούν να ελέγξουν το ρυθμό εξατμισοδιαπνοής και ρυθμού λήψης νερού, το μήκος των κόμβων τους, το μέγεθος των φύλλων τους τον προσανατολισμό και την πυκνότητα των χλωροπλαστών όπως επίσης και καθορίζουν το βέλτιστο χρόνο βλάστησης και τις υπόλοιπες φυσιολογικές διαδικασίες. Επίσης είναι δυνατόν να καθοριστεί η κατεύθυνση του φωτός και ο προσανατολισμός των φύλων τους και οι συνήθειες ανάπτυξης τους για να λάβουν το βέλτιστο πλεονέκτημα από τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας (Argus Control System, 2010).

Τα φυτά που αναπτύσσονται στα θερμοκήπια συχνά παρουσιάζουν διαφορές σε σχέση με τα ίδια που αναπτύσσονται σε εξωτερικές συνθήκες εξαιτίας της ελλιπούς απόκρισης τους στις κλιματικές αλλαγές και του γεγονότος πως δεν επηρεάζεται η ποσότητα, η ποιότητα και η διάρκεια του φωτός που λαμβάνουν.

2.2 Επίδραση της ακτινοβολίας στην ανάπτυξη των φυτών

Μέσα στους χλωροπλάστες των φυτών η φωτεινή ενέργεια χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του ατμοσφαιρικού άνθρακα στους υδατάνθρακες μέσω της διαδικασίας φωτοσύνθεσης. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί πλήρως η διαδικασία της φωτοσύνθεσης απαιτείται πολύ μικρή ποσότητα ακτινοβολίας της τάξης των 80-110W /m². Παρόλα αυτά τα περισσότερα αναπτυσσόμενα φυτά αποτελούνται από ένα πλήθος φύλλων από τα οποία τα περισσότερα λαμβάνουν άμεση ηλιακή ακτινοβολία και τα υπόλοιπα λαμβάνουν ένα μίγμα άμεσης και έμμεσης ακτινοβολίας με μεγαλύτερες εντάσεις φωτός που διασφαλίζουν ότι τα φύλλα λαμβάνουν το μέγιστο δυναμικό φωτοσύνθεσης (Argus Control System, 2010).

Λιγότερο από το 5% της συνολικής φωτεινής ενέργειας που λαμβάνει ένα φυτό το χρησιμοποιεί για τη φωτοσύνθεση. Για παράδειγμα το πράσινο χρώμα του φυλλώματος οφείλεται στην απορρόφηση περισσότερου από το 60% του πράσινου ηλιακού φάσματος. Σε συνθήκες πλήρους ακτινοβολίας η μη χρησιμοποιούμενη ακτινοβολία τείνει να παράγει επιβλαβή θερμότητα στην επιφάνεια των φύλλων. Τα φυτά έχουν διάφορους μηχανισμούς για να το αντιμετωπίσουν αυτό. Μπορούν να διαχέουν τη θερμότητα με διάφορους τρόπους όπως η ανάκλαση, η αγωγή, η συναγωγή η ακτινοβολία και η εξάτμιση. Από αυτές τις μεθόδους η εξάτμιση είναι η πιο αποτελεσματική. Περισσότερο από το 90% της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιείται για την εξάτμιση του νερού από τα φύλλα με την οποία πετυχαίνονται δύο πράγματα. Από τη μια η διαδικασία της εξάτμισης ψύχει τις ηλιακά θερμαινόμενες επιφάνειες των φυτών ενώ από την άλλη η προς τα πάνω κίνηση του νερού αντικαθιστά την απώλεια νερού μέσω της εξάτμισης μεταφέροντας τα διαλυμένα θρεπτικά συστατικά που εισέρχονται από τις ρίζες των φυτών.

Όσο μεγαλύτερη ακτινοβολία λαμβάνουν τα φυτά τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός εξάτμισης παρά το γεγονός πως η τάση ατμών μειώνεται επιδρώντας επιπλέον στην ανάπτυξη των φυτών. Παρόλα αυτά υπάρχει ένα σημείο εξάτμισης κάτω από υψηλές συνθήκες φωτισμού στο οποίο το φυτό καλείται να εξάτμισει περισσότερο νερό από αυτό που προέρχεται από το έδαφος και μεταφέρεται στα φύλλα. Πάνω από αυτό το σημείο η αύξηση του φωτός οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας και μειώνεται η διαδικασία της

φωτοσύνθεσης και μπορεί να υπάρξει ζημιά στους ιστούς του φυτού (Argus Control System, 2010).

Η επίδραση της φωτοπερίοδου στα φυτά χαρακτηρίζεται από τις μεταβολές του φυτοχρώματος. Το μόριο του φυτοχρώματος μπορεί να υπάρχει με δύο μορφές η μία απορροφά το ερυθρό φως και η άλλη απορροφά το υπέρυθρο φως. Κατά συνέπεια το μήκος κύματος του φωτός επιτρέπει στο φυτόχρωμα να δρα ως χημικό. Στην πραγματικότητα είναι αυτό που επιτρέπει στα φυτά να «αισθανθούν» αν είναι νύκτα ή μέρα και να μετρηθεί το μήκος της νυκτερινής περιόδου προκειμένου να πραγματοποιηθεί η βελτιστοποίηση διαδικασιών όπως η βλάστηση.

Εκτός από την επίδραση της φωτοπερίοδου στο φυτόχρωμα υπάρχουν πολλές περιπτώσεις φυτών που χρησιμοποιούν ειδικά μήκη κύματος και πυκνότητες φωτός έτσι ώστε να ρυθμίσουν τους ρυθμούς ανάπτυξης τους. Η φωτομορφογένεση περιγράφει την επίδραση του φωτός στο είδος και στο σχήμα του φυτού ενώ ο φωτοτροφισμός περιγράφει την ικανότητα των φυτών να προσανατολίζονται τα τμήματά τους μακριά από τις φωτεινές πηγές (Argus Control System, 2010).

2.3 Χρήση τεχνητού φωτός στα θερμοκήπια

Ο τεχνητός φωτισμός στα θερμοκήπια επιτυγχάνεται με τη χρήση λυχνιών. Στην ηλεκτρολογία ο όρος λυχνία αναφέρεται στον λαμπτήρα ενώ ο όρος φωτιστικό σύστημα αφορά σε όλο το σύστημα φωτισμού δηλαδή λάμπα, ανακλαστήρας, έρμα και κάλυψη. Η σύγκριση των διαφόρων συστημάτων φωτισμού είναι η σύγκριση των λυχνιών που χρησιμοποιούνται και οι οποίες αφορούν συγκεκριμένες εφαρμογές. Η ιδανική τεχνητή πηγή φωτισμού μετατρέπει 100% της ηλεκτρικής ενέργειας σε φως σε ένα φάσμα βέλτιστο για την ανάπτυξη των φυτών. Η εκτίμηση των τεχνητών πηγών φωτός επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Η απόδοση της λάμπας η διάρκεια λειτουργίας της η πυκνότητα η ποιότητα του φάσματος το κόστος και οι ηλεκτρικές απαιτήσεις πρέπει να ισοσταθμίζονται απέναντι στις απαιτήσεις των καλλιεργειών (Argus Control Systems, Ltd., 2010)

Οι συνήθεις λυχνίες που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: στις λυχνίες πυρακτώσεως, φθορισμού και εκκένωσης.

2.3.1 Λυχνίες πυρακτώσεως

Οι λυχνίες πυρακτώσεως συνήθως εκπέμπουν φως ως αποτέλεσμα της θέρμανσης ενός νήματος βολφραμίου σε θερμοκρασία 2500°C. Σε αυτήν τη θερμοκρασία το φάσμα εκπομπής από το νήμα περιλαμβάνει ένα σημαντικό ποσοστό ορατής ακτινοβολίας. Μόνο το 15% της ενέργειας που εφαρμόζεται σε μια λυχνία πυρακτώσεως ακτινοβολείται στο φάσμα της ενεργής ακτινοβολίας φωτοσύνθεσης. Το 75% εκπέμπεται ως υπέρυθρη ακτινοβολία και το υπόλοιπο 10% εκπέμπεται ως θερμική ενέργεια.

Δεδομένου ότι δεν είναι αποτελεσματικά φωτεινές και ότι έχουν μια σχετικά μικρή διάρκεια ζωής οι λάμπες πυρακτώσεως αποτελούν συνήθως μη ικανοποιητικές πηγές ακτινοβολίας για την ενίσχυση της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης. Είναι όμως χρήσιμες την φωτοπερίοδο που εξαρτάται από το φυτόχρωμα ενώ είναι σχετικά φθηνές για την εγκατάσταση και τη λειτουργία και έχουν την δυνατότητα παραγωγής μεγάλων ποσοτήτων ερυθρής και υπέρυθρης ακτινοβολίας. Αυτός είναι και ο λόγος που οι πηγές πυρακτώσεως επιλέγονται κυρίως για νυκτερινή λειτουργία. Τυπικά οι λυχνίες πυρακτώσεως

χρησιμοποιούνται για να σπάσουν τη νύκτα σε δυο ή περισσότερα μικρά διαστήματα προσομοιώνοντας με αυτόν τον τρόπο την ανάπτυξη μιας μακράς μέρας και την απόκριση της καλλιέργειας. Αυτή η προσομοίωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση της άνθισης φυτών όπως οι αζαλέες ή για την επιβράδυνση της άνθισης σε μικροπρόθεσμα είδη όπως τα χρυσάνθεμα και οι μιγκόνιες.

2.3.2 Λυχνίες φθορισμού

Αντίθετα από τις λάμπες πυρακτώσεως που εκπέμπουν φως από τη θέρμανση ενός μεταλλικού νήματος οι λυχνίες φθορισμού παράγουν φως από την διέγερση ατμού υδραργύρου σε μικρή πίεση σε ένα μίγμα αερίων. Μια υψηλή διαφορά δυναμικού στα ηλεκτρόδια του σωλήνα της λυχνίας παράγει ένα τόξο μέσω του οποίου το αέριο μίγμα διεγείρει τα ηλεκτρόνια του υδραργύρου που στη συνέχεια εκπέμπονται σε μικρά μήκη κύματος καθώς πέφτουν σε κατάσταση γείωσης. Ειδικά καλύμματα φθορισμού στα γυάλινα τοιχώματα του σωλήνα ενεργοποιούνται από αυτή τη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία παράγοντας μείωση του ορατού φάσματος ακτινοβολίας από τη λάμπα. Εναλλάσσοντας τη σύνθεση των καλυμμάτων φθορισμού επιτυγχάνεται μεταβολή στο φάσμα εξόδου.

Οι λάμπες φθορισμού είναι πιο ισχυρές από τις λάμπες πυρακτώσεως και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Επίσης ψύχονται και παράγεται ένα ισορροπημένο φάσμα στο πεδίο της φωτοσύνθεσης. Λειτουργούν καλύτερα σε θερμοκρασίες υψηλές με μέγιστο φως να αποδίδεται όταν το τοίχωμα της λάμπας φτάσει στους 38°C. Καθώς μειώνεται η θερμοκρασία το φως εξόδου μειώνεται σημαντικά μέχρι το 50% όταν η θερμοκρασία του τοιχώματος είναι 16°C. Το φως επίσης μειώνεται καθώς η ηλικία των λυχνιών μειώνεται στο 60% μετά από 10000 ώρες λειτουργίας (Argus Control Systems, Ltd., 2010)

Οι λυχνίες φθορισμού υπάρχουν σε τρεις διαφορετικούς τύπους φορτίου: της κανονικής εξόδου των 400 mA, της υψηλής εξόδου των 800 mA και της πολύ υψηλής εξόδου των 1500 mA. Ένα από τα μειονεκτήματά τους είναι ο σχετικός όγκος τους σε σχέση με την έξοδο τους. χρησιμοποιούνται συνήθως στους θαλάμους ανάπτυξης και ειδικότερα στις εφαρμογές πολλαπλών βαθμίδων αφού οι σχετικά μικρές θερμοκρασίες λειτουργίας τους επιτρέπουν την τοποθέτηση τους κοντά στις επιφάνειες των φυτών.

2.3.4 Λυχνίες νατρίου υψηλής πίεσης

Οι λυχνίες νατρίου υψηλής πίεσης είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος λυχνίας που χρησιμοποιείται στα θερμοκήπια. Είναι οι πιο αποτελεσματικές στο φάσμα της φωτοσύνθεσης παρά το γεγονός πως έχουν μια αραιή κατανομή φάσματος που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα κηπευτικά. Οι συγκεκριμένες λυχνίες παράγουν φως από την εκπομπή ενός αγωγίμου τόξου σε ένα μίγμα ατμού νατρίου και υδραργύρου. Το φάσμα εκπομπής έχει μεγάλη συγκέντρωση στο πεδίο κίτρινο-πορτοκαλί- κόκκινο αλλά είναι πολύ χαμηλό στην περιοχή του μπλε.

2.4 Λυχνίες φωτισμού LED για τα θερμοκήπια

Η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος τεχνητού φωτισμού στα θερμοκήπια είναι οι δίοδοι εκπομπής φωτός (Light emission diode, LED) (MitchellCA,2012). Τα LED αποτελούν ένα είδος ημιαγώγιμης δίοδου που επιτρέπει τον έλεγχο της φασματικής σύστασης και την υιοθέτηση της πυκνότητας του φωτός έτσι ώστε να ενεργοποιούνται οι φυτικοί υποδοχείς και

να επιτυγχάνεται η καλύτερη ανάπτυξη και επιρροή στη μορφολογία των φυτών καθώς και σε διάφορες φυσιολογικές διεργασίες όπως η άνθηση και η φωτοσύνθεση (Yeh, 2009).

Τα LEDs έχουν την ικανότητα να παράγουν υψηλής έντασης φως με χαμηλή θερμότητα ακτινοβολίας διατηρώντας την ισχύ τους μακροπρόθεσμα. Οι λαμπτήρες πυρακτώσεως και φθορισμού περιέχουν ίνες που πρέπει να αντικαθίστανται τακτικά και καταναλώνουν μεγάλη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας κατά την παραγωγή θερμότητας (TennessenDJ, SingaasEL&SharkeyTD. 1994). Αντίθετα τα LEDs δεν έχουν νήματα και κατά συνέπεια δεν καίγονται όπως αυτά των λαμπτήρων πυρακτώσεως και φθορισμού. Εξαιτίας της χαμηλής παραγωγής θερμότητας με ακτινοβολία τα LED μπορούν να τοποθετούνται κοντά στα φυτά και να διαμορφώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να εκπέμπουν υψηλή ροή φωτός σε υψηλές εντάσεις (Tennessen, etal. 1994).

Τα LEDs είναι συσκευές στερεάς κατάστασης και μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε ψηφιακά συστήματα ελέγχου δημιουργώντας σύνθετα προγράμματα φωτισμού έτσι ώστε να μεταβάλλεται η ένταση ή η φασματική σύσταση στα διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών (Yeh, 2009). Το φως αποτελεί καθοριστικό παράγοντα ο οποίος επιδρά στην ανάπτυξη και στη φυσιολογία των φυτών με έναν σύνθετο τρόπο (OlleM&VirsilA, 2013).

Η ποιότητα του φωτός και η ποσότητα του επηρεάζει το φυτόχρωμα, το κρυπτόχρωμα και τις φωτοτροφίνες που μεταβάλλουν την έκφραση διαφόρων γονιδίων. Χρησιμοποιώντας τα LEDs ως πηγές φωτισμού είναι δυνατόν όχι μόνο να βελτιστοποιηθεί η ποιότητα του φάσματος για τα διάφορα φυτά και τις διάφορες φυσιολογικές διαδικασίες αλλά επίσης και να δημιουργηθεί ένα ψηφιακά ελεγχόμενο και ενεργειακά αποδοτικό σύστημα φωτισμού (LiQ&KubotaC. 2009).

Το μεγάλο κόστος των φωτεινών συστημάτων LED, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που καθυστερεί την εγκατάσταση της τεχνολογίας των LED στο φωτισμό του θερμοκηπίου. Παρόλα αυτά η τεχνολογική ανάπτυξη και η μαζική παραγωγή αναμένεται να μειώσει τόσο το κόστος εγκατάστασης όσο και το κόστος λειτουργίας σημαντικά (Morrow, 2008).

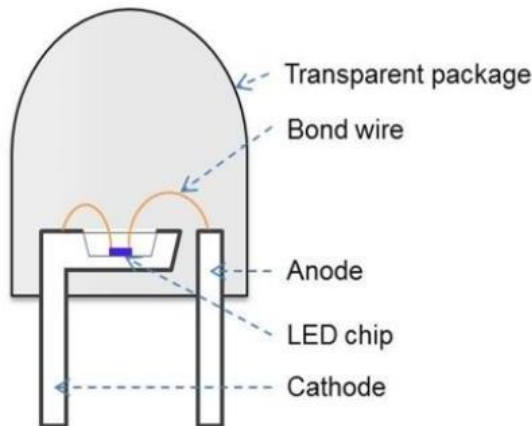
Ένα κατάλληλα σχεδιασμένο σύστημα φωτισμού με LED μπορεί να αποδώσει υψηλή απόδοση και μακροπρόθεσμα κατά πολύ μεγαλύτερη από τις παραδοσιακές πηγές φωτισμού (Bourget, 2008).

2.4.1 Πρακτική εφαρμογή των LEDs

Η ενέργεια αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα που συνεισφέρει το 20-30% του συνολικού κόστους παραγωγής στη βιομηχανία των θερμοκηπίων (BrumfieldR.,2007). Ο κατάλληλος φωτισμός για τις καλλιέργειες, αποτελεί αναγκαιότητα για τη βιομηχανία των θερμοκηπίων ειδικά σε εκείνες τις περιοχές, όπου η εποχιακή φωτοπερίοδος μεταβάλλεται και δεν υπάρχει ικανοποιητικός φωτισμός για τη βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών. Σήμερα οι πιο συνηθισμένες λάμπες φωτισμού που χρησιμοποιούνται είναι οι λάμπες νατρίου υψηλής πίεσης στα θερμοκήπια οι οποίες λειτουργούν σε υψηλή θερμοκρασία και οδηγούν σε σημαντική εκπομπή θερμότητας με ακτινοβολία στο περιβάλλον (OpdamJG, SchoonderbeekGG, HellerEB&GelderA., 2005). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι λάμπες νατρίου υψηλής πίεσης, να μην μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στα φυτά και απαιτούν ένα σύστημα αερισμού έτσι ώστε να αποφεύγονται οι υψηλές θερμοκρασίες κοντά στα φυτά. Αυτός είναι

και ο βασικός λόγος που οι συγκεκριμένες λάμπες πρέπει να αντικατασταθούν στα θερμοκήπια (IeperenVW&Trouwborst G. 2008).

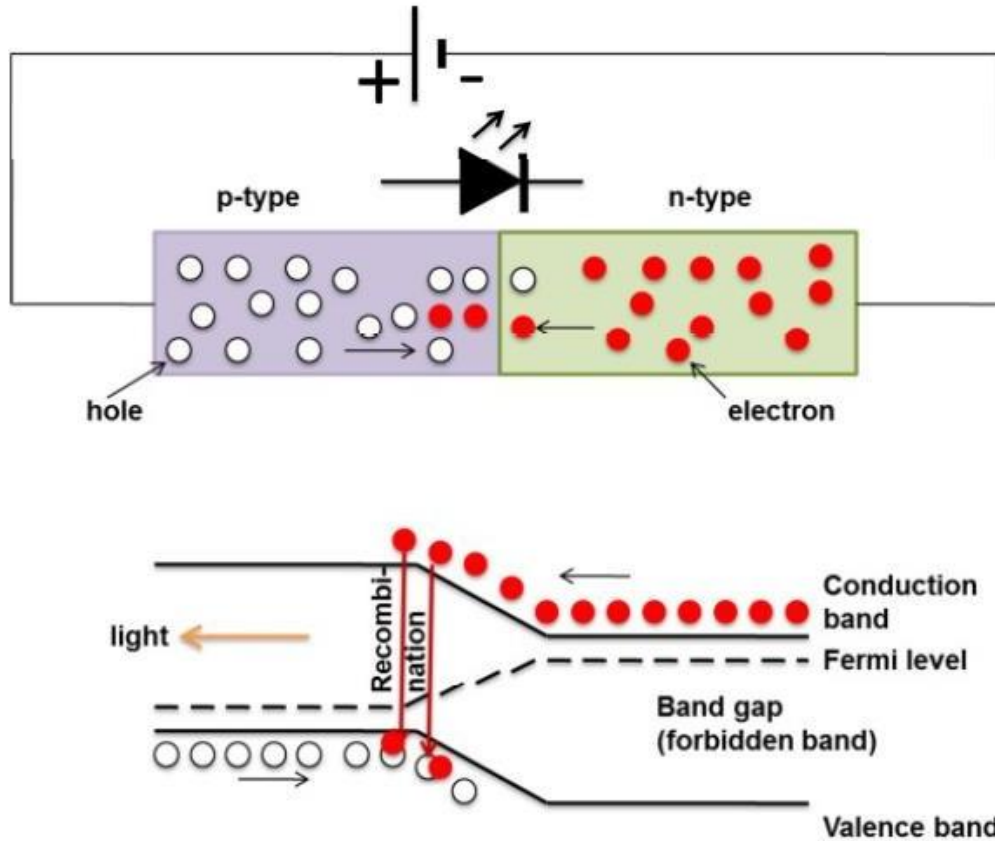
Οι λυχνίες LED αποτελούν έναν ενεργειακά αποτελεσματικό τρόπο φωτισμού για τα θερμοκήπια και παρουσιάζουν τεχνικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα παραδοσιακά μέσα φωτισμού, με εύθραυστες ίνες ηλεκτρόδια ή λάμπες με αέρια υπό πίεση (Bourget 2008). Επιπλέον τα LED μπορούν να καλύψουν διαφορετικές ανάγκες στα θερμοκήπια. Τα LED αποτελούνται από έναν πυκνωτή, ένα πλαίσιο οδηγό και το περίβλημα που προστατεύει τη μήτρα (Yeh N & ChungJP, 2009).



Σχήμα 2.2: Βασική δομή μιας λυχνίας LED

Τα LEDs κατασκευάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποβάλλεται το λευκό φως ή το φως του φάσματος μικρού μήκους κύματος, ειδικό για διάφορες εφαρμογές όπως στην ανάπτυξη των φυτών. Στα LEDs η θερμότητα διαχωρίζεται από τις επιφάνειες που εκπέμπουν φως μέσω ενεργών πηγών θερμότητας. Αυτό είναι σημαντικό για τα LEDs μεγάλης πυκνότητας, επειδή η φωτεινή πηγή μπορεί να τοποθετηθεί κοντά στις επιφάνειες των καλλιεργειών, χωρίς τον κίνδυνο υπερθέρμανσης και καταπόνησης των φυτών (Bourget 2008).

Ο πυκνωτής των συγκεκριμένων λυχνιών είναι μια δίοδος που σχεδιάζεται έτσι ώστε να επιτρέπει στα ηλεκτρόνια και στις οπές να συνδυάζονται για την παραγωγή φωτονίων. Τα ενεργειακά στρώματα των αποβαλλόμενων φωτονίων εξαρτώνται από τη δομή του κενού-ζώνης σθένους των θεωρούμενων πυκνωτών.



Σχήμα 2.3: Σχηματική αναπαράσταση του μηχανισμού εκπομπής φωτός σε έναν πυκνωτή LED

Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης των LEDs στα θερμοκήπια, είναι:

- Η μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης σε ποσοστά μεγαλύτερα από το 70% συγκριτικά με τις κοινές λάμπες φωτισμού,
- η γρήγορη επίτευξη σταθερών συνθηκών λειτουργίας και
- το γεγονός της απλής ηλεκτρονικής τους δομής.

Στα πλεονεκτήματα επίσης περιλαμβάνεται η μικρότερη χρήση καλωδίων και κατά συνέπεια μείωση του αντίστοιχου κόστους, καθώς και η υψηλή σχετική κβαντική απόδοση. Στις συγκεκριμένες λυχνίες το ερυθρό φως παρουσιάζει μεγαλύτερη σχετική κβαντική απόδοση και για αυτό επιταχύνει τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης ενώ το μπλε φως είναι κατά 75% το ίδιο αποτελεσματικό με το ερυθρό.

Άλλο βασικό πλεονέκτημα θεωρείται η σταθερότητα της θερμοκρασίας που επιτυγχάνεται στο θάλαμο ανάπτυξης των θερμοκηπίων όπως επίσης και η δυνατότητα ελέγχου στη φασματική σύνθεση του μπλε, πράσινου, του κόκκινου και του υπέρυθρου μήκους κύματος. Επιπλέον με τις συγκεκριμένες λυχνίες μειώνεται η θερμική καταπόνηση των φυτών, η συντήρηση της ύδρευσης και του αερισμού ενώ παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μικρότερο μέγεθος σε σχέση με τα κοινά φωτιστικά μέσα (MassaGD, KimHH, 2008).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Τα θερμοκήπια όπως ήδη αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια αποτελούν μια πρακτική που χρησιμοποιείται στις ψυχρότερες περιοχές προκειμένου να παραταθεί η παραγωγική περίοδος διάφορων φυτών και καλλιεργειών οι οποίες δεν αναπτύσσονται κατά τον βέλτιστο τρόπο. Σήμερα τα θερμοκήπια αποτελούν συστήματα που χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλες τις περιοχές ακόμα και τις τροπικές για τις αγροτικές καλλιέργειες (Fitz-Rodríguez et. al.2010).

Γενικά τα θερμοκήπια μπορούν να χαρακτηριστούν ως ηλιακοί συλλέκτες οι οποίοι μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες θερμότητας τους χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και αποθηκεύοντας την θερμική ενέργεια. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης των θερμοκηπίων σε συνδυασμό με τα συστήματα αποθήκευσης που χρησιμοποιούνται σε αυτά.

Το κατάλληλο σύστημα θέρμανσης μπορεί να συνδυαστεί με το θερμοκήπιο προκειμένου να διασφαλιστεί η κατάλληλη θερμοκρασία στις καλλιέργειες. Τα θερμοκήπια με σύστημα θέρμανσης ταξινομούνται σε ενεργά και παθητικά συστήματα (Santamouriset al., 1994). Ένα σύστημα θέρμανσης για θερμοκήπιο χρησιμοποιείται για την αύξηση της αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας ή τη μεταφορά του πλεονάσματος της θερμότητας από το εσωτερικό του θερμοκηπίου στην περιοχή της αποθήκευσης της θερμότητας. Αυτή η θερμότητα ανακτάται τη νύκτα προκειμένου να καλύψει τις ανάγκες θερμότητας του θερμοκηπίου. Τα βασικότερα συστήματα θέρμανσης του θερμοκηπίου είναι η αποθήκευση του νερού, η αποθήκευση σε πέτρινη στήλη και η αποθήκευση σε αλλαγή φάσης υλικού. Εκτός από αυτές τις μεθόδους η κινητή μόνωση οι υπόγειοι αέριοι συλλέκτες και η αποθήκευση στο βόρειο τοίχωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αύξηση της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου.

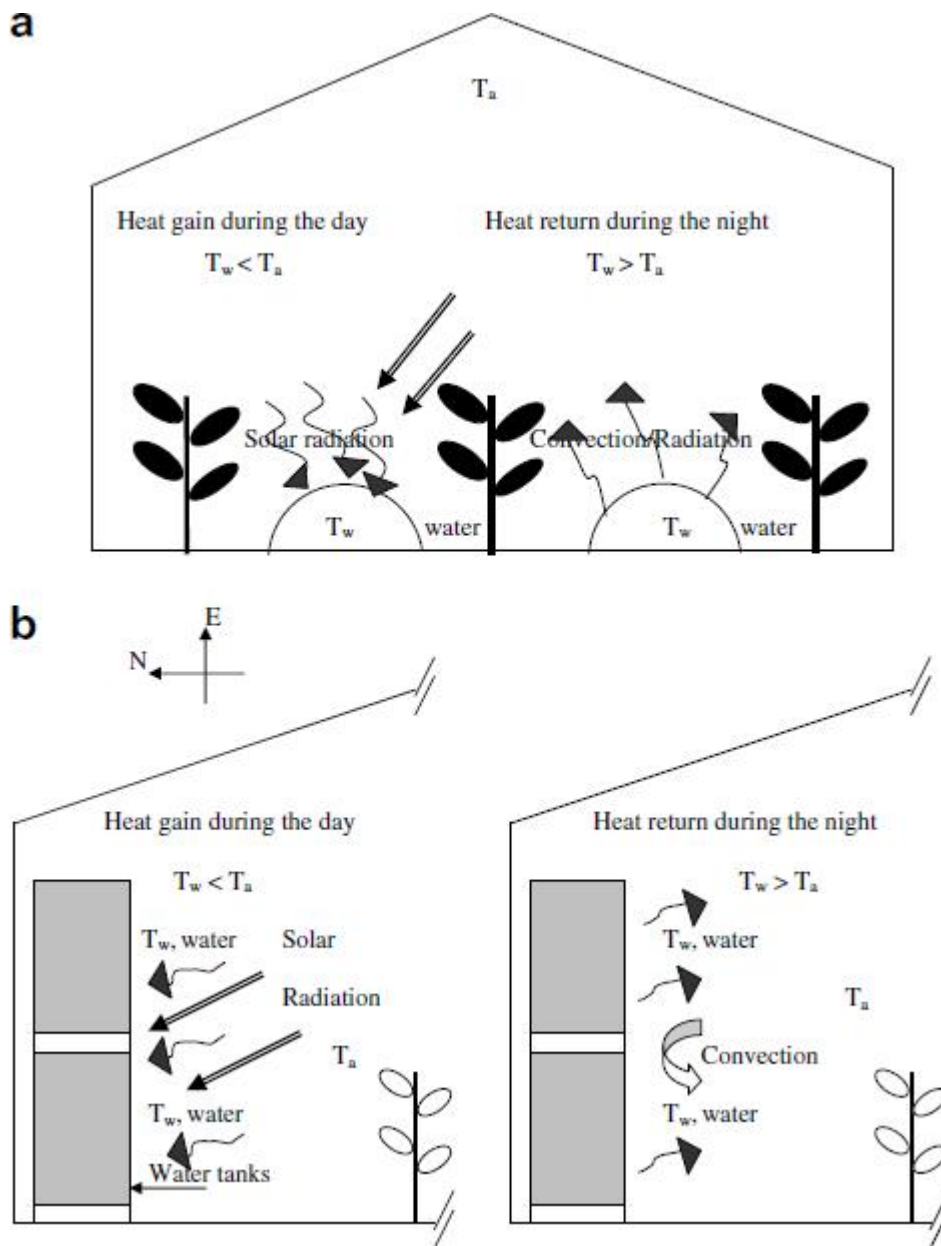
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν το σχεδιασμό του συστήματος θέρμανσης ενός θερμοκηπίου και θα παρουσιαστούν τα βασικά πλεονεκτήματα μειονεκτήματα και οι περιορισμοί που παρουσιάζει καθένα από τα συστήματα θέρμανσης.

3.2 Συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων

3.2.1 Συστήματα αποθήκευσης νερού

Το νερό σε ένα θερμοκήπιο καλύπτει τις πλαστικές σακούλες και τους υπόγειους σωλήνες τα οποία μπορούν να τοποθετηθούν εσωτερικά στο θερμοκήπιο ανάμεσα στις σειρές των φυτών ή σε ειδικές δεξαμενές νερού κατά μήκος του βόρειου τοιχώματος του θερμοκηπίου που λειτουργεί ταυτόχρονα ως ηλιακός συλλέκτης και ως μέσο αποθήκευσης.

Αυτά τα συστήματα απορροφούν και παγιδεύουν τη τυχαία ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας ενώ κατά τη διάρκεια της νύκτας η αποθηκευμένη θερμότητα επιστρέφει στο εσωτερικό του θερμοκηπίου μέσω συναγωγής και ακτινοβολίας.



Σχήμα 3.1: Παθητικό ηλιακό θερμοκήπιο με αποθήκευση νερού σε α) πλαστικές σακούλες και β) σε δεξαμενές νερού (Sethi, and Sharma, 2008)

Το μέσο αποθήκευσης θερμότητας μπορεί επίσης να τοποθετηθεί εξωτερικά από το θερμοκήπιο αλλά σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να χρησιμοποιηθεί το κατάλληλο ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Το πλεόνασμα της θερμότητας που είναι διαθέσιμο στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να μεταφερθεί με ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Γενικά ο εσωτερικός θερμός αέρας του θερμοκηπίου χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμότητας στο αποθηκευμένο νερό μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Το σύστημα αποθήκευσης μπορεί να τοποθετηθεί επίσης στην επιφάνεια έτσι ώστε να εκτίθεται επίσης

στην τυχαία ηλιακή ακτινοβολία ή επίσης στο έδαφος. Τη νύχτα η αποθηκευμένη θερμότητα μεταφέρεται στον αέρα του θερμοκηπίου που έχει μικρότερη θερμοκρασία.

3.2.1.1 Αποθήκευση νερού στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε πλαστικές σακούλες ή σωλήνες

Στην αποθήκευση νερού στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε πλαστικές σακούλες ή σωλήνες, η αποθήκευση της θερμότητας γίνεται σε διαφανείς σακούλες πολυαιθυλενίου / σωλήνες τοποθετούνται στις γραμμές των μονοπατιών κατά μήκος του εδάφους κοντά στα φυτά. Ένα μαύρο φιλμ πολυαιθυλενίου μπορεί επίσης να τοποθετηθεί πάνω από αυτές τις σακούλες ή τους σωλήνες στο έδαφος προκειμένου να αυξηθεί η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι βασικές παράμετροι που εξετάζονται σε αυτό το σύστημα αφορούν την επιφάνεια του χρησιμοποιημένου θερμοκηπίου ο όγκος του αποθηκευμένου νερού που χρησιμοποιείται στο θερμοκήπιο οι εξωτερικές συνθήκες το είδος της καλλιέργειας και η απόδοση της θερμότητας.

Οι σακούλες από πολυαιθυλένιο γεμίζονται με νερό και τοποθετούνται σε γραμμές κατά μήκος της επιφάνειας του εδάφους, σε ένα θερμοκήπιο 500m² στη Θεσσαλονίκη (Grafadellis, 1986). Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη αναφορά ο όγκος του νερού που αποθηκεύεται στις σακούλες είναι 10m³ και το σύστημα αποδείχθηκε ικανό για να διατηρήσει τη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα 2-4°C υψηλότερη από τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα.

Νερό αποθηκεύτηκε επίσης σε διαφανείς σακούλες πολυαιθυλενίου σε 150m² θερμοκηπίου που καλύπτονταν από απλό πολυαιθυλένιο και βρίσκονταν στην Αθήνα και χρησιμοποιούταν για τομάτες (Santamouris, 1994).

Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ένα λεπτό στρώμα 2-3cm μονωτικού υλικού από πολυστυρένιο που χρησιμοποιήθηκε πάνω από τους επίγειους σωλήνες για να μειώσει την απώλεια θερμότητας προς το έδαφος ενώ υπάρχουν και αναφορές χωρίς τη χρήση μονωτικών πλαισίων (Grafadellis, 1986).

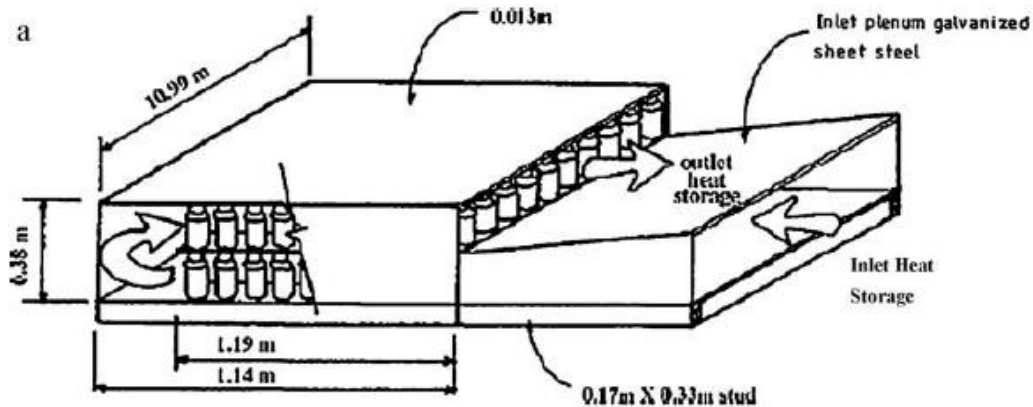
Η θερμοχωρητικότητα της αποθηκευμένης θερμότητας μπορεί να βελτιωθεί με την επανακυκλοφορία του νερού μέσα στους σωλήνες σε πολύ χαμηλή πίεση. Η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα είναι 3-4°C υψηλότερη από αυτή του ατμοσφαιρικού αέρα.

3.2.1.2 Αποθήκευση νερού στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε δεξαμενές νερού

Οι δεξαμενές νερού τοποθετούνται στο έδαφος για να αποθηκεύσουν 1m³ νερού σε 30m² θερμοκηπίου που είναι καλυμμένο με πολυαιθυλένιο (VonZabeltitz, 1985). Στη συγκεκριμένη εφαρμογή η βόρεια πλευρά του θερμοκηπίου είναι μονωμένη προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες θερμότητας. Οι δεξαμενές είναι βαμμένες μαύρες για να αυξηθεί η απορρόφηση θερμότητας. Η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα διατηρήθηκε στους 2-3°C υψηλότερη από την ατμοσφαιρική θερμοκρασία. Το νερό αποθηκεύτηκε σε μαύρα χαλύβδινα βαρέλια που ήταν τοποθετημένα στο βόρειο τμήμα για να φτάσει στην εσωτερική θερμοκρασία στα 167 m² filon του θερμοκηπίου (Santamouris, 1994). Το filon είναι ένα ημιδιαφανές γυαλί με φύλλα ενισχυμένου πολυεστέρα. Η θερμοκρασία στο

εσωτερικό του αέρα παρατηρήθηκε στους 13-22°C υψηλότερα από την ελάχιστη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα (0°C).

Τα βαρέλια του νερού χρησιμοποιήθηκαν για αποθήκευση 4m³ νερού σε 190m² γυάλινου θερμοκηπίου στη Γαλλία για την ανάπτυξη φυτών. Η μέση θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα παρατηρήθηκε ότι είναι 10°C μεγαλύτερη συγκριτικά με τις χειμερινές συνθήκες (Mercier, 1982).



Σχήμα 3.2: Μονάδα αποθήκευσης θερμότητας εσωτερικά του θερμοκηπίου (Alkilani, etal. 2011)

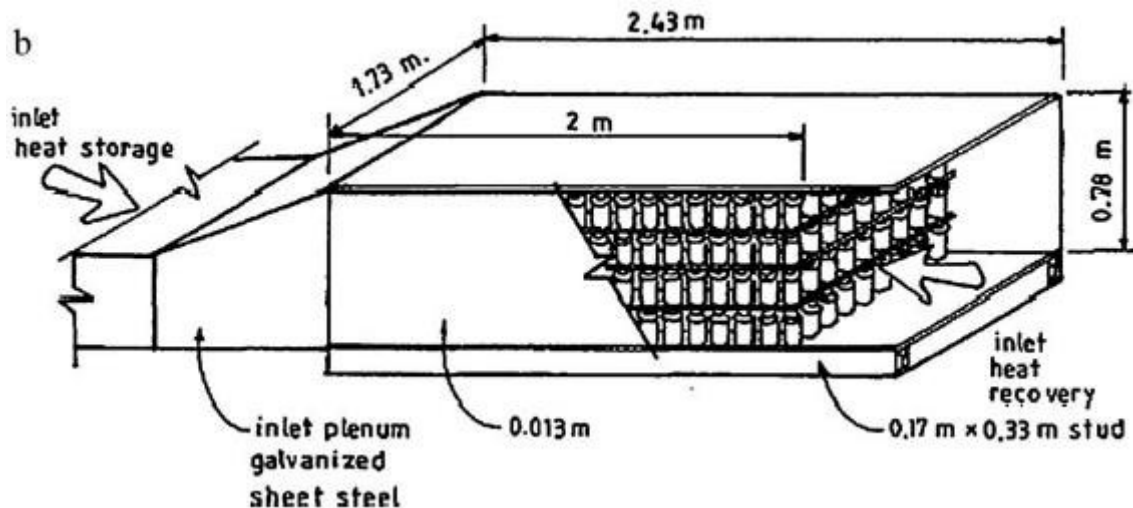
Η ροή της ηλιακής ακτινοβολίας στις δεξαμενές αυξήθηκε σε όρους ανάκλασης από το βόρειο τοίχο με ανακλασιμότητα από 0,7-0,8. Το νερό αποθηκεύτηκε σε μια μονωμένη δεξαμενή και τοποθετήθηκε κατά μήκος του βόρειου τοιχώματος σε διάφορες εφαρμογές θερμοκηπίων για την ανάπτυξη φυτών (Santamouriset al. 1994).

Στις περισσότερες από αυτές τις εφαρμογές η ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται από το βόρειο τοίχωμα του θερμοκηπίου και ο εσωτερικός αέρας έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη κατά 4-5°C υψηλότερη από την ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία. Η χρήση του αναφλεκτικού τοιχώματος επίσης αναφέρεται, σε θερμοκήπια τομάτας στα οποία η εσωτερική θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη κατά 3-4°C από την εξωτερική.

3.2.1.3 Αποθήκευση νερού εξωτερικά του θερμοκηπίου

Ένα σύστημα που συνδυάζει την αποθήκευση θερμότητας σε υπόγειο νερό, είναι επίσης δυνατόν να χρησιμοποιηθεί με το νερό να αποθηκεύεται σε δεξαμενές και τα λαχανικά να αναπτύσσονται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Το συγκεκριμένο σύστημα είναι εφικτό να διατηρήσει την εσωτερική θερμοκρασία 5-6°C υψηλότερη από τις εξωτερικές συνθήκες (Grafidellis, 1987). Επιπλέον είναι εφικτή η τοποθέτηση μεγάλων εναλλακτών θερμότητας στο έδαφος. Σε αυτήν περίπτωση κατά τη διάρκεια της ημέρας το νερό σε μια θερμοκρασία 2-6°C αντλείται στους εναλλάκτες θερμότητας αέρα- νερού από το ψυχρό νερό που είναι αποθηκευμένο στο εξωτερικό μέρος του θερμοκηπίου (VonZabelvitz, 1986). Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας ο αέρας του θερμοκηπίου μεταφέρεται μαζί με το πλεόνασμα της θερμότητας στο νερό με αποτέλεσμα ο αέρας του θερμοκηπίου να ψύχεται και το αποθηκευμένο ψυχρό νερό να θερμαίνεται στους 18-24°C. Η περίσσεια θερμότητας από το θερμοκήπιο αποθηκεύεται σε δύο δεξαμενές νερού και το θερμαινόμενο νερό στο θερμοκήπιο ψύχεται πάλι από μια αντλία θερμότητας νερού- νερού.

Παραλλαγή του συγκεκριμένου συστήματος, περιλαμβάνει πύργο ψεκασμού που χρησιμοποιεί έναν εναλλάκτη θερμότητας αέρα- νερού για την απαγωγή της θερμότητας του αέρα κατά τη διάρκεια της μέρας ενώ κατά τη διάρκεια της νύκτας το θερμό νερό ψεκάζεται στον ανακυκλοφορούμενο αέρα απελευθερώνοντας την αποθηκευμένη θερμότητα πίσω στον αέρα. Μεταξύ της εξωτερικής και της εσωτερικής θερμοκρασίας του αέρα η διαφορά μπορεί να φτάσει στους 11°C (Zabeltitz, 1986).



Σχήμα 3.3: Μονάδα αποθήκευσης εξωτερικά του θερμοκηπίου (KurkloA., 1998)

Εξωτερικά από το θερμοκήπιο είναι εφικτή η εγκατάσταση επίπεδων ηλιακών συλλεκτών οι οποίοι μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη θέρμανση ενός αγροτικού θερμοκηπίου. Παράγοντες σημαντικοί για την ανάπτυξη των φυτών την θερμοκρασία του χώρου και τη θερμοκρασία του νερού είναι το βάθος της δεξαμενής νερού και η επιφάνεια των συλλεκτών (Kumari, N., Tiwari, G.N., Sodha, M.S., 2003). Αποδεικνύεται πως η θερμοκρασία των φυτών, του εσωτερικού αέρα και του νερού στο θερμοκήπιο αυξάνεται σημαντικά, με την αύξηση της επιφάνειας του συλλέκτη, τη μείωση της μάζας του νερού και την αύξηση της μάζας των φυτών (Wangetal., 2005).

Η επιφάνεια των συλλεκτών μπορεί να καλυφτεί με ένα μαύρο επιλεκτικό χρώμα. Από μελέτες που έχουν γίνει, καθόρισαν την εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού αλλά και την απαγόμενη θερμική ενέργεια, που απαιτούνται για ένα αγροτικό θερμοκήπιο (Hazami, 2005).

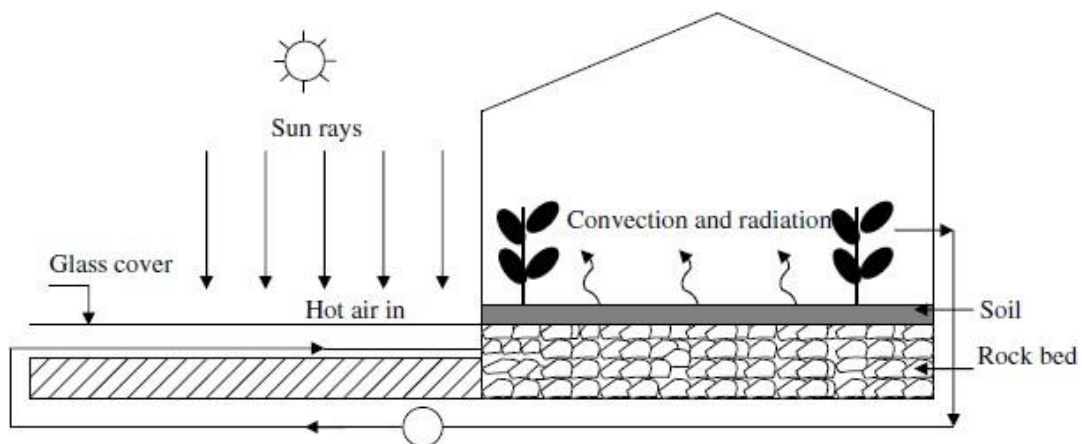
Επιπλέον στις συγκεκριμένες εφαρμογές θέρμανσης του θερμοκηπίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί θερμό νερό ως πηγή θερμότητας και η θέρμανση επιτυγχάνεται μέσω ενός συστήματος άντλησης (Conellan, 1986). Σε αυτήν την περίπτωση το νερό με θερμοκρασία 20-25°C, περνάει μέσα από ένα απλό σύστημα σωλήνων πολυαιθυλενίου, που βρίσκεται τοποθετημένο σε απόσταση 15cm πάνω από την επιφάνεια του εδάφους και αποδεικνύεται πως το αποβαλλόμενο νερό από το σύστημα θέρμανσης, αποτελεί καλό δείγμα για τη διατήρηση της ενέργειας.

Για την ανάπτυξη των φυτών σημαντικό ρόλο έχουν και οι κλιματικές συνθήκες της περιοχής εγκατάστασης του θερμοκηπίου. Το αποβαλλόμενο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου ακόμα και σε μεσογειακά κλίματα. Το νερό με θερμοκρασία 20-25°C, περνάει μέσα από ένα απλό δίκτυο σωλήνων πολυαιθυλενίου. Ο εναλλάκτης θερμότητας που χρησιμοποιείται, δίνει τη δυνατότητα θέρμανσης του

θερμοκηπίου, χωρίς να απαιτείται εφεδρικό σύστημα θέρμανσης (Malfa, G., Noto, G., Parrini, F., 1992).

3.3 Σύστημα θέρμανσης με κλίνη από πέτρα

Ένα ευρέως διαδεδομένο και οικονομικό υλικό αποθήκευσης θερμότητας είναι η πέτρινη κλίνη (βότσαλα, χαλίκια και τούβλα). Η ευαίσθητη αποθήκευση θερμότητας με τον αέρα ως μηχανισμό μεταφοράς ενέργειας τοποθετείται υπόγεια και έχει το πλεονέκτημα ότι δημιουργεί μια μεγάλη και φθηνή επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας. Η μεγάλη πέτρινη κλίνη αποθήκευσης είναι βολικό να τοποθετείται στο εσωτερικό του εδάφους σε βάθος 40-50cm ή αλλιώς θα πρέπει να τοποθετείται εξωτερικά του θερμοκηπίου. Η πέτρα μπορεί να βρίσκεται στο εσωτερικό ενός μονωμένου στρώματος σκυροδέματος. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το πλεόνασμα θερμότητας μεταφέρεται από το εσωτερικό του θερμοκηπίου στην υπόγεια αποθήκευση με τη βοήθεια ενός εξαεριστήρα. Κατά τη διάρκεια της νύκτας γίνεται η αντίστροφη διαδικασία. Ο ψυχρός αέρας κινείται μέσω της αποθήκευσης, όπου η θερμότητα μεταφέρεται από το χαλίκι στον ψυχρότερο αέρα και στην συνέχεια επιστρέφει στο θερμοκήπιο. Η πτώση πίεσης ανάμεσα στο ανώτερο και στο κατώτερο στρώμα, πρέπει να είναι ικανοποιητική για να διασφαλίζει την ομοιόμορφη κατανομή της ροής αέρα στην πέτρινη κλίνη, έτσι ώστε μεγάλο μέρος της θερμοχωρητικότητας της πέτρινης κλίνης να χρησιμοποιείται (Sheshi and Sharma, 2008).



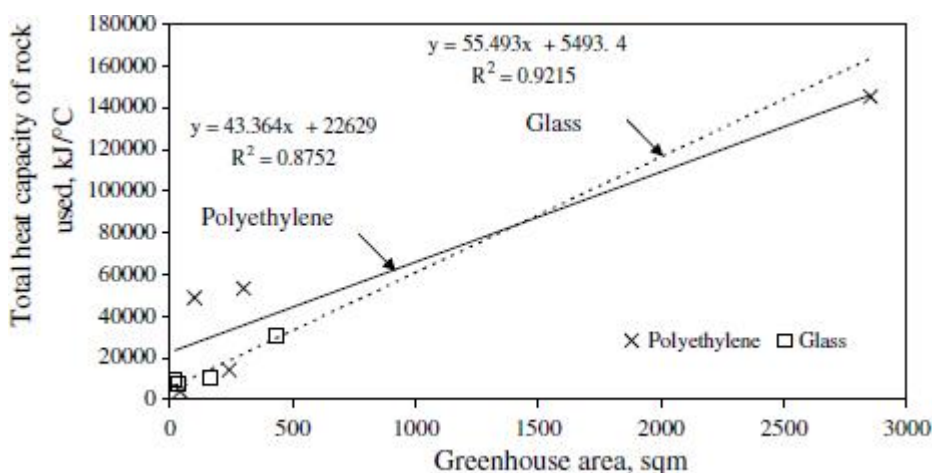
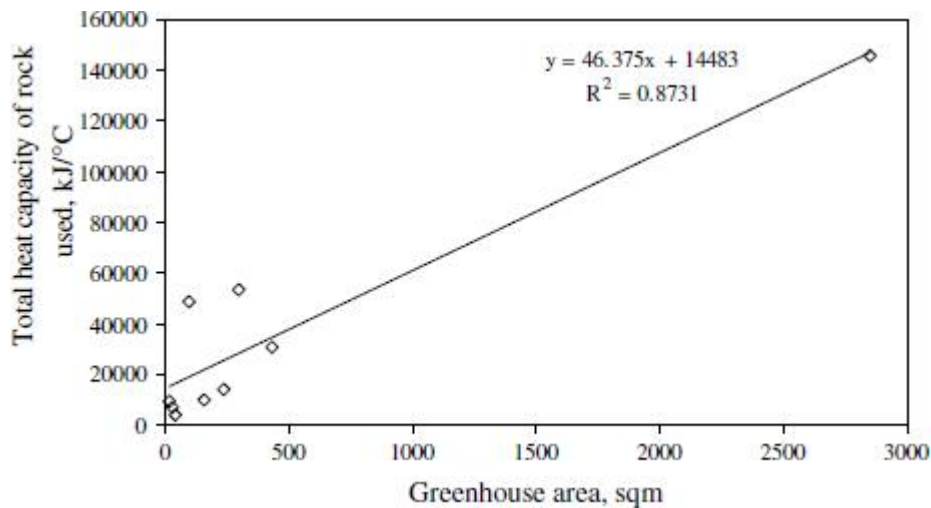
Σχήμα 3.4: Θερμοκήπιο με αποθήκευση σε πέτρινη κλίνη τοποθετημένη στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Sheshi and Sharma, 2008).

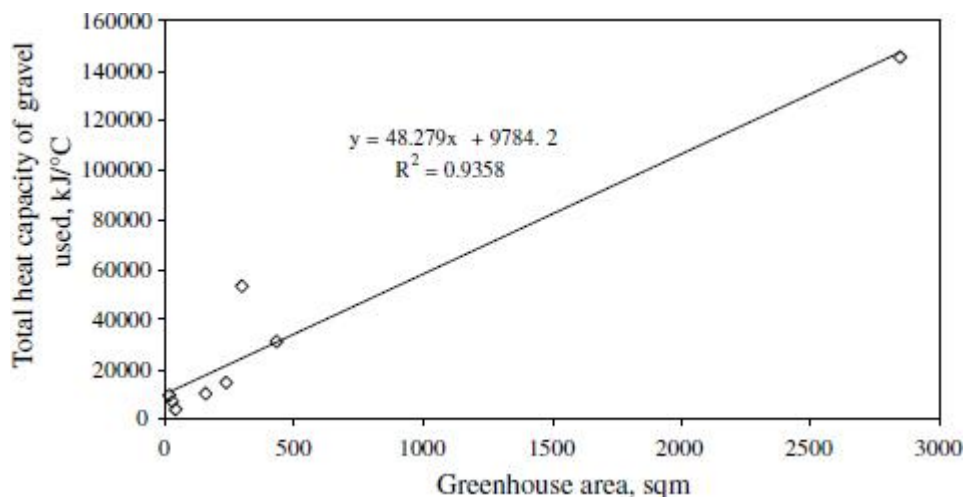
Η πέτρινη κλίνη αποτελείται από ένα στρώμα χαλικιού 2-3cm τοποθετημένο στα 0,5m από το έδαφος και το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορα ήδη θερμοκηπίου (Arizon, A., Niyazon, S.K., 1980).

Ως εφεδρικό σύστημα σε αυτό το είδος θέρμανσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια θερμική αντλία που θα χρησιμοποιεί το υπόγειο νερό ως πηγή θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας. Το σύστημα αυτό μπορεί να καλύψει έως το 20% των ετήσιων αναγκών θερμότητας (Santamouris, 1994).

Εκτός από το χαλίκι μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως μέσο αποθήκευσης θερμότητας σε εφαρμογές θερμοκηπίων. Σε αυτά τα συστήματα επιτυγχάνεται επανακυκλοφορία του αέρα στο στρώμα των τούβλων που τοποθετούνται κάτω από το πάτωμα του θερμοκηπίου. Το συγκεκριμένο σύστημα ανακτά μεγαλύτερο μέρος από μισό ποσοστό της αποθηκευμένης ενέργειας.

Οι παράμετροι που επιδρούν στην απόδοση των συγκεκριμένων συστημάτων είναι η εσωτερική και η εξωτερική θερμοκρασία της πέτρινης κλίνης και η ηλιακή ακτινοβολία. Το πιο συνηθισμένο υλικό που χρησιμοποιείται ως πέτρινη κλίνη είναι το χαλίκι με μέση διάμετρο 20-100mm. Ως υλικά κάλυψης του θερμοκηπίου χρησιμοποιούνται συνήθως το γυαλί και το πολυαιθυλένιο. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες εμπειρικές σχέσεις που συνδέουν την συνολική θερμοχωρητικότητα της πέτρας συναρτήσει της επιφάνειας του θερμοκηπίου του πολυαιθυλενίου και του τζαμιού ως μέσα κάλυψης των θερμοκηπίων και του χαλικιού ως μέσο αποθήκευσης θερμότητας.





Σχήμα 3.5: Σχέση ανάμεσα στη συνολική θερμοχωρητικότητα της αποθήκευσης με πέτρινη κλίνη και α) της επιφάνειας του θερμοκηπίου, β) των διαφόρων υλικών κάλυψης του θερμοκηπίου και γ) της συνολικής θερμοχωρητικότητας του χρησιμοποιούμενου χαλικιού και της επιφάνειας του θερμοκηπίου (Sethi and Sharma, 2008).

Οι εμπειρικές αυτές σχέσεις μπορούν να θεωρηθούν ένα χρήσιμο εργαλείο στον αρχικό σχεδιασμό ενός θερμοκηπίου και επιτρέπουν την προσέγγιση της συνολικής θερμοχωρητικότητας της απαιτούμενης πέτρας για δεδομένη επιφάνεια θερμοκηπίου με γυάλινο κάλυμμα ή από πολυαιθυλένιο και μέσο αποθήκευσης το χαλίκι.

3.4 Αποθήκευση με αλλαγή φάσης υλικού

Η αποθήκευση της λανθάνουσας θερμότητας με την αλλαγή φάσης των υλικών (PCM), αποτελεί έναν από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας. Αντίθετα με την αποθήκευση της αισθητής θερμότητας, η λανθάνουσα θερμότητα αποθήκευσης, παρέχει μεγαλύτερη πυκνότητα αποθήκευσης με μια μικρότερη διαφορά θερμότητας ανάμεσα στην αποθηκευμένη και στην απελευθερωμένη. Τα PCM μπορούν να αποθηκεύουν μεγάλα ποσά θερμότητας, στη μεταβολή της φάσης από το στερεό στο υγρό σε μια σταθερή θερμοκρασία ανάλογα με τη θερμοκρασία μετάπτωσης. Στον κύκλο διάχυσης της θερμότητας, ένα ρευστό ανακύκλωσης που μπορεί να είναι ο αέρας ή το νερό, μπορεί να απάγει θερμότητα από τη μονάδα αποθήκευσης, που προκαλεί τη μεταβολή φάσης στη στερεοποίηση (Lane 1980).

Υπάρχει μεγάλο πλήθος PCMs που τήκονται και στερεοποιούνται σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, καθιστώντας τα, ελκυστικά για διάφορες εφαρμογές. Οι ιδιότητες των συγκεκριμένων υλικών στο θερμοκρασιακό εύρος 0-120°C, έχουν μελετηθεί ως προς τις ιδιότητες τήξης τους και πήξης τους. Όμως οι πιο σημαντικοί υποψήφιοι που τήκονται από τους 15 έως τους 65°C, έχουν μεγαλύτερη εφαρμογή για τα θερμοκήπια και τις εφαρμογές αποθήκευσης θερμότητας σε αυτά.

Compound	Freezing/melting temperature range (°C)	Density (kg m ⁻³)	Heat of fusion (kJ kg ⁻¹)	Thermal conductivity (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Specific heat at 100 °C (kJ kg ⁻¹ K ⁻¹)
<i>(a) Inorganic compounds</i>					
KF · 4H ₂ O	18.50	1455 (18 °C)	231.00	–	1.84 (solid)
CaCl ₂ · 6H ₂ O	29.00	1710 (25 °C)	190.80	0.54 (38.7 °C)	1.45 (s)
Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	32.40	1485 (s)	254.00	0.54 (38.7 °C)	1.93 (s)
Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O	35.00	1520 (s)	281.00	0.514 (32 °C)	1.34 (s)
Zn(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	36.40	2065 (14 °C)	147.00	–	1.46 (s)
Na ₂ S ₂ O ₃ · 5H ₂ O	48.00	1730 (s)	201.00	–	1.45 (s)
<i>(b) Organic compounds</i>					
Paraffin 5913	22–24	900 (20 °C)	189.00	0.21(s)	2.1
<i>n</i> -Octadecane	28.00	814 (20 °C)	244.00	0.15(s)	2.16
Paraffin 6106	42–44	910 (20 °C)	189.00	0.21(s)	2.1
Paraffin 116	45–48	817 (20 °C)	210.00	0.21(s)	2.5
Paraffin 5838	48–50	912 (20 °C)	189.00	0.21(s)	2.1
Polyglycol E 600	22.00	–	127.20	0.189 (38.6 °C)	–
<i>Fatty acids</i>					
Caprylic acid	16.50	1033 (10 °C)	148.50	0.148 (20 °C)	–
Capric acid	32.00	886 (40 °C)	152.70	0.153 (38.6 °C)	–
Lauric acid	42–44	870 (50 °C)	178.00	0.147 (50 °C)	–
Myristic acid	52.2	844 (80 °C)	187.00	–	–
Palmitic acid	61.2	847(80 °C)	187.00	0.165 (70 °C)	1.6 (s)
Stearic acid	67.8	941(40 °C)	203.00	0.172 (70 °C)	2.35 (125 °C)
<i>(c) Eutectic compounds</i>					
CaCl ₂ (41%) + MgCl ₂ (10%) + H ₂ O (49%)	25.00	–	175.00	–	–
CaCl ₂ (48%) + NaCl (4.3%) + KCl (0.4%) + H ₂ O (47.3%)	26.80	–	185.00	–	–
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O (67%) + Mg(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O (33%)	30.00	–	136.00	–	–
Urea (45.3%) + NH ₄ NO ₃ (54.7%)	46.00	–	218.00	–	–
Propionamide (25.1%) + Palmitic acid (74.9%)	50.00	–	192.00	–	–
0.925Ca(NO ₃) ₂ · 4.06H ₂ O + 0.075CaCl ₂ · 6.11H ₂ O	35.6	–	–	–	–
0.9CH ₃ CONH ₂ + 0.1Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	27.7	–	–	–	–

Σχήμα 3.6: Οι θερμοφυσικές ιδιότητες των PCMs που χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια.

Τα σημαντικότερα από αυτά τα υλικά είναι τα οργανικά στοιχεία, τα ενυδατωμένα άλατα και τα ευτηκτικά μίγματα.

Ένα από τα βασικά στοιχεία της κατηγορίας των υδριδίων των μετάλλων που χρησιμοποιούνται ευρέως στα θερμοκήπια είναι CaCl₂ · 6H₂O με θερμοκρασία τήξης τους 29°C και λανθάνουσα θερμότητα σύντηξης 191kJ/kg και χρησιμοποιείται κυρίως ως μονάδα αποθήκευσης θερμότητας (Santamouris 1994).

Ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας στα υδρίδια των μετάλλων επηρεάζεται από τα προστιθέμενα πρόσθετα (Hamada, Y., Ohtsu, W., Fukai, J., 2003). Τα υδρίδια των μετάλλων εμφανίζουν σημεία διάβρωσης όταν έρχονται σε άμεση επαφή με μεταλλικούς σωλήνες πλάκες ή καλύμματα (Anthony, NortonandKeneddy, 2006).

Τα οργανικά συστατικά θεωρητικά αλλά και πειραματικά έχει αποδειχθεί πως είναι ελκυστικά για χρήση στα θερμοκήπια. Η παραφίνη αποτελεί αντιπροσωπευτικό είδος αυτής της κατηγορίας και έχει αποδειχθεί ότι αν συμπεριληφθούν και τα φαινόμενα συναγωγής και η τήξη της, το 30-50% της αντίστασης στη μεταφορά θερμότητας οφείλεται στη ροή του αέρα (Farid, M.M., Yacoub, K., 1989).

Από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας μπορεί κανείς να την επιτύχει χρησιμοποιώντας το $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ το οποίο παρουσιάζει την βέλτιστη μεταβολή φάσης και διασφαλίζει ικανοποιητική απόδοση τόσο για τη συλλογή θερμότητας όσο και για τη διατήρησή της στα θερμοκήπια. Επιπλέον το συγκεκριμένο υλικό έχει τις κατάλληλες ιδιότητες που απαιτούνται για τα θερμοκήπια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΥΞΗΣ ΓΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

4.1 Εισαγωγή

Αντίθετα με τη θέρμανση για την οποία η τεχνολογία είναι καλά εδραιωμένη η ψύξη των θερμοκηπίων συχνά παρουσιάζει σημαντικά προβλήματα. Η καλύτερη κατανόηση της θερμικής συμπεριφοράς των θερμοκηπίων μπορεί στις περισσότερες περιπτώσεις να οδηγήσει στη χρήση των συστημάτων ψύξης που δίνουν ικανοποιητική απόδοση σε όλες τις συνθήκες εκτός από τις πολύ ακραίες. Ο φυσικός εξαερισμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές περιπτώσεις και μεγάλοι εξαεριστήρες πολλές φορές τοποθετούνται αφού το μόνο που απαιτούν είναι ένας ανεμιστήρας ή ένα σκίαστρο προκειμένου να αποτραπεί η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας που υπερβαίνει την απαιτούμενη από τα φυτά.

Στις περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες να φτάνουν στους 33°C ο αερισμός και η σκίαση είναι αποτελεσματικοί ενώ σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες (40°C) πιο αποτελεσματικός τρόπος ψύξης των θερμοκηπίων είναι η ψύξη με εξάτμιση που μπορεί να μειώσει σημαντικά την εσωτερική θερμοκρασία του αέρα σημαντικά κάτω από την ατμοσφαιρική.

Εκτός από τα συνηθισμένα μέσα ψύξης υπάρχουν και σύνθετα συστήματα όπως οι εναλλάκτες θερμότητας γης προς αέρα και του εναλλάκτη θερμότητας με υδροφορέα και κοιλότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη στα θερμοκήπια. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν τα βασικά συστήματα ψύξης που μπορεί να χρησιμοποιηθούν στα θερμοκήπια.

4.2 Τεχνολογίες ψύξης για θερμοκήπια

4.2.1 Αερισμός

Οι υψηλές θερμοκρασίες του καλοκαιριού οδηγούν στην ανάγκη για απομάκρυνση της θερμότητας από τα θερμοκήπια. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί από την αντικατάσταση του υπάρχοντος αέρα στο θερμοκήπιο με ψυχρότερα ρεύματα αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον της κατασκευής. Αν η εξωτερική θερμοκρασία είναι εξαιρετικά χαμηλή και αν η θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου είναι πολύ υψηλή ο θερμός αέρας μπορεί να απομακρυνθεί μέσω των ανοιγμάτων της οροφής. Η πάνω και η κάτω κίνηση των θερμών ρευμάτων αέρα οδηγεί στην είσοδο του κρύου αέρα από το πλάι ή από τα ακριανά ανοίγματα του θερμοκηπίου. Αυτό το σύστημα είναι πιο αποτελεσματικό το χειμώνα την άνοιξη και το φθινόπωρο. Είναι περιορισμένης απόδοσης για το καλοκαίρι δεδομένου ότι η εισερχόμενη ακτινοβολία και η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ υψηλές για τις δυνατότητες του συστήματος.

4.2.2 Φυσικός αερισμός

Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους για να μειωθεί η διαφορά ανάμεσα στην εσωτερική και στην εξωτερική θερμοκρασία του αέρα είναι να βελτιωθεί ο αερισμός του θερμοκηπίου. Ο φυσικός ή παθητικός αερισμός χρησιμοποιεί πολύ μικρή ποσότητα εξωτερικής ενέργειας. Βασίζεται στη διαφορά της πίεσης ανάμεσα στο θερμοκήπιο και το εξωτερικό περιβάλλον, την οποία δημιουργεί ή ο εξωτερικός άνεμος ή η θερμοκρασία του θερμοκηπίου.

Αν το θερμοκήπιο είναι εξοπλισμένο με ανοίγματα αερισμού στο έδαφος και στην οροφή τότε ο φυσικός αερισμός αντικαθιστά τον εσωτερικό θερμικό αέρα με τον εξωτερικό ψυχρότερο που εισέρχεται στο θερμοκήπιο από τα χαμηλότερα ανοίγματα ενώ ο θερμός αέρας εξέρχεται από τα ανώτερα ανοίγματα στην οροφή εξαιτίας της διαφορετικής πυκνότητας ανάμεσα στις μάζες αέρα με διαφορετική θερμοκρασία που θα οδηγήσουν στη μείωση της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου.

Η φυσική συναγωγή που λαμβάνει χώρα στα ανοίγματα καθώς και εφαρμογές της στον αερισμό των θερμοκηπίων μελετήθηκε με βάση μια θεωρία που αναπτύχθηκε (Bruce, J.M., 1978) και βασίζεται στην υπόθεση ότι ορίζεται ένα ουδέτερο στρώμα σε τέτοιο ύψος που η θερμικά παραγόμενη διαφορά πίεσης στις δύο πλευρές των ανοιγμάτων είναι ίση με το μηδέν. Αυτή η θεωρία αποδείχθηκε και πειραματικά χρησιμοποιώντας μοντέλα ημικλίμακας και οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι όταν το ουδέτερο στρώμα είναι πάνω από τα πλευρικά ανοίγματα η θεωρία προσεγγίζει το ρυθμό αερισμού ικανοποιητικά (Down and Foster, 1997).

Ο φυσικός αερισμός των θερμοκηπίων επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους όπως η γωνίες ανοίγματος και η διαφορά ανάμεσα στην εσωτερική και στην εξωτερική θερμοκρασία και στην ταχύτητα ανταλλαγής του αέρα. Επιπλέον η κατεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου όπως και η διαφορά της θερμοκρασίας σε διάφορες θέσεις τοποθέτησης του αερισμού έχουν μελετηθεί θεωρώντας παράλληλα και την επίδραση του ανοίγματος αερισμού τη θέση και το είδος αερισμού αλλά και την επίδραση του στις καλλιέργειες (Boulard, T., Feuilloley, P., Kittas, C., 1997.)

Μέσω των μετρήσεων της ταχύτητας του αέρα στα ανοίγματα των θερμοκηπίων δημιουργήθηκαν κατάλληλα μοντέλα υπολογιστικής ρευστομηχανικής που είναι δυνατόν να περιγράψουν με ικανοποιητική ακρίβεια τη ροή στο εσωτερικό των θερμοκηπίων (Okushima, L., Sase, S., Nara, M., 1989). Στις μελέτες όπου η ροή του αέρα και ο ρυθμός αερισμού στο θερμοκήπιο μετρείται χρησιμοποιώντας την υπολογιστική ρευστομηχανική τα μοτίβα της ροής συλλέγοντας μέσω τρισδιάστατου υπερηχητικού ανεμόμετρου και ο ρυθμός αερισμού του θερμοκηπίου προσδιορίζεται από μια τεχνική ανίχνευσης αερίου (Bartzanas, T., Boulard, T., Kittas, C., 2004).

Έχει αποδειχθεί ότι ο αερισμός μπορεί να συνεισφέρει στο βέλτιστο έλεγχο της θερμοκρασίας, της υγρασίας και της συγκέντρωσης των αερίων όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Μειώνοντας την περίσσεια των στρωμάτων υγρασίας είναι απαραίτητο να παρεμποδίζεται η μείωση των καλλιεργειών αλλά και η ανάπτυξη μυκητιάσεων στα φυτά. Επίσης τα συστήματα φυσικού αερισμού προσφέρουν περιορισμένο έλεγχο στη ροή του αέρα μέσω του θερμοκηπίου και απαιτείται περισσότερη ανάλυση των απαιτούμενων μηχανισμών για την κατανόηση του ρόλου των βασικών κινητήριων δυνάμεων του φυσικού αερισμού όπως είναι η αιολική και η θερμική άνωση (Mistriotis, A., Bot, G.P.A., Picuno, P., Scarascia, M., 1997).

Τα στατικά συστήματα αερισμού για την ψύξη των θερμοκηπίων είναι λιγότερο αποτελεσματικά από τα δυναμικά και δεν είναι αποτελεσματικά κατά τη διάρκεια ηλιόλουστων ημερών χωρίς ανέμους (Silva, & Rosa, 1985). Η συνολική επιφάνεια αερισμού έχει προσδιοριστεί ότι πρέπει να είναι 15-30% της επιφάνειας του πατώματος αφού σε αναλογίες μεγαλύτερες από 30% η επίδραση της πρόσθετης επιφάνειας αερισμού είναι σχεδόν αμελητέα.

Το συνδυαστικό αποτέλεσμα της επίδρασης του φυσικού αερισμού και ενός συστήματος νέφους στην θερμοκρασία του θερμοκηπίου έχει μελετηθεί και αποδείχθηκε ότι η ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία εσωτερικά μπορεί να επιτευχθεί για διάφορες διαδικασίες ψύξης (Boulard, T., Baille, A., 1993).

4.2.3 Εξαναγκασμένος αερισμός

Συστήματα όπως οι ανεμιστήρες ή οι φυσητήρες μπορούν να αποδώσουν ικανοποιητικούς ρυθμούς ανταλλαγής αέρα οποτεδήποτε αυτό θεωρείται απαραίτητο. Υπάρχουν απλά και σύνθετα συστήματα που αυξάνουν σημαντικά το ρυθμό ανταλλαγής αέρα από το θερμοκήπιο και επιτρέπουν τη διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας σε ένα επίπεδο μεγαλύτερο από την εξωτερική θερμοκρασία αυξάνοντας τον αριθμό των μεταβολών του αέρα.

Όταν άλλες μέθοδοι αερισμού δεν είναι διαθέσιμες η κίνηση του αέρα στο θερμοκήπιο μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση ανεμιστήρων και παρατηρείται πιθανή μείωση της εσωτερικής θερμοκρασίας. Η αποτελεσματικότητα των απαιτούμενων συστημάτων κυκλοφορίας του αέρα στην ανάπτυξη της ντομάτας έχει επίσης μελετηθεί και αποδείχθηκε πως τα διάφορα συστήματα επηρεάζονται από την συναγωγή, κάθετα και οριζόντια και τον πλευρικό αερισμό. Η χρήση των ανεμιστήρων δημιουργεί μεγάλη ανομοιογένεια στο θερμοκρασιακό πεδίο και η αποτελεσματικότητά του μειώνεται γρήγορα όσο αυξάνεται η απόσταση από τον ανεμιστήρα. Τόσο ο μηχανισμός ελεύθερης συναγωγής όσο και της εξαναγκασμένης πραγματοποιείται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου (Papadakis, G., Mermier, M., Meneses, F., Boulard, T., 1996).

Διάφορες μέθοδοι αερισμού όπως η κύλιση αντίθετων τοιχωμάτων, η ενεργοποίηση δύο ανεμιστήρων σε ένα άνοιγμα του θερμοκηπίου και η ίδια διαμόρφωση με εξωτερικό ανεμιστήρα και πλήρως κλειστό το θερμοκήπιο μελετήθηκαν ως προς την απόδοση τους στη διάχυση θερμότητας (Fuchs, M., Dayan, E., Presnov, E., 2006) και αποδείχθηκε ότι το 62% της τυχαίας ηλιακής ακτινοβολίας που μεταδίδεται από την οροφή παρέχει το θερμικό φορτίο του συστήματος (Fuchs, M., Dayan, E., Shmuel, D., Zipori, I., 1997). Τα ανοίγματα στους απέναντι τοίχους παράγουν ικανοποιητική μείωση στο ρυθμό ανταλλαγής αέρα της τάξης των 44 όγκων ανά ώρα. Η λειτουργία ενός ή περισσοτέρων ανεμιστήρων παράγουν ανταλλαγές 8 και 13 όγκων ανά ώρα αντίστοιχα πολύ κάτω από τον ειδικό ρυθμό της συσκευής γεγονός που οφείλεται στην απώλεια πίεσης κατά μήκος των σίτων στους αερισμούς.

Κλείνοντας στο θερμοκήπιο περιορίζεται η ανταλλαγή του αέρα στους 3 όγκους ανά ώρα. Για τις κλιματικές συνθήκες του πειράματος η εξωτερική ταχύτητα του ανέμου και οι εσωτερικές δυνάμεις άνωσης επηρεάζονται από τον παθητικό αερισμό αλλά δεν έχει σημαντικές επιδράσεις στον αερισμό του ανεμιστήρα. Αναφέρεται πως εκτός από την ξήρανση του ανώτερου στρώματος του εδάφους η ροή της λανθάνουσας θερμότητας παραμένει ένας σημαντικός όρος στο ενεργειακό ισοζύγιο. Οι μεγάλοι ρυθμοί αερισμού

ελαχιστοποιούν τη ροή θερμότητας στο έδαφος αυξάνοντας την αισθητή ροή θερμότητας και μειώνοντας ελαφρώς τη ροή της λανθάνουσας θερμότητας. Επιπλέον έχει αποδειχθεί πως η οριζόντια ροή του αέρα σε ένα θερμοκήπιο εξαρτάται από τον αριθμό και τη θέση των ανεμιστήρων ανακυκλοφορίας του αέρα (Fernandez, J.E., Bailey, B.J., 1992)

Επιπλέον έχει αποδειχθεί ότι χρησιμοποιώντας μόνο την ψύξη με ανεμιστήρα υπάρχει μικρό πλεονέκτημα εξαιτίας της αύξησης της ροής του αέρα. Ο συντελεστής εξάτμισης συγκρίθηκε με θερμοκήπια με πολλαπλό εξαερισμό και μονό εξαερισμό και αποδείχθηκε πως η διαφορά ανάμεσα στην εσωτερική και εξωτερική θερμοκρασία του αέρα σχετίζεται ισχυρά με το ρυθμό εξαερισμού και με την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (Kittas, C., Draoui, B., Boulard, T., 1995).

4.2.4 Σκίαση

Η είσοδος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στα καλύμματα του θερμοκηπίου αποτελούν την πρωταρχική πηγή μέγιστης εξοικονόμησης θερμότητας. Η είσοδος ανεπιθύμητης ακτινοβολίας μπορεί να ελεγχθεί από τη χρήση σκιάστρων ή ανακλαστήρων. Η σκίαση μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους όπως με τη χρήση βαφής εξωτερικών σκιάστρων, χρήση περσίδων, διχτυών σε διάφορα χρώματα, μερικώς ανακλαστικές οθόνες, τοποθέτηση φιλμ νερού στις οροφές και τοποθέτηση υγρών αφρών ανάμεσα στα τοιχώματα του θερμοκηπίου. Οι βαφές απομακρύνονται αυτόματα μετά την καλοκαιρινή περίοδο εξαιτίας των βροχών. Η εφαρμογή στοιχείων σκίασης στο κάλυμμα του θερμοκηπίου μπορεί να μειώσει το υπέρυθρο τμήμα του ηλιακού φάσματος που ευθύνεται για την ενίσχυση της θερμικής ενέργειας στα θερμοκήπια. Η επίδραση του άσπρου χρώματος στην οροφή των θερμοκηπίων έχει μελετηθεί και αποδείχθηκε πως μειώνει τον συντελεστή μετάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας στο μισό (Baille, A., Kittas, C., Katsoulas, N., 2001). Ως αποτέλεσμα η θερμοκρασία του αέρα η πτώση πίεσης του ατμού και η διαφορά θερμοκρασίας μεταβάλλεται ενώ ο ρυθμός διαπνοής δεν αλλάζει σημαντικά μετά το άσπρισμα. Το άσπρισμα της κορυφής είναι φθηνή μέθοδος με θετική επίδραση στο μικροκλίμα και στη συμπεριφορά των καλλιεργειών ενώ διαχειρίζεται αποτελεσματικά το μεγάλο φορτίο θερμότητας κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Το κύριο μειονέκτημα της υγρής σκίασης είναι ότι πυκνότητα της σκίασης δεν μεταβάλλεται εύκολα και για αυτό πρέπει να απομακρύνεται μετά το καλοκαίρι.

Μια επίσης αποτελεσματική μέθοδος για τη μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η χρήση των φύλλων ανάκλασης κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Οι επιφάνειες ανάκλασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάκλαση του πλεονάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας από την οροφή του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών και εξαρτάται από την έκταση του πλεονάσματος της ακτινοβολίας (Cohen, S., Fuchs, M., 1999).

Η χρήση των φιλμ νερού πάνω στην οροφή του θερμοκηπίου ως σκίαστρο αποδείχθηκε πως απορροφά μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Το πάχος των συγκεκριμένων φιλμ είναι περίπου 0,5mm για κλίση οροφής 20°. Η εσωτερική θερμοκρασία του θερμοκηπίου σε αυτήν την περίπτωση μειώνεται περίπου 5°. Επιπλέον η χρήση ενός φιλμ νερού έχει την ιδιότητα να διαπερνάει η ηλιακή ακτινοβολία από το φιλμ στο θερμοκήπιο και να απορροφάται με τη μορφή θερμότητας από το φιλμ και να απομακρύνεται (Garzoli, K.V., 1989).

Ένας άλλος τρόπος σκίασης είναι η χρήση αφρού ως μονωτικό μέσο ανάμεσα στα τοιχώματα του θερμοκηπίου στα θερμά κλίματα. Έχει αποδειχθεί ότι ο αφρός είναι αποτελεσματικός στη διατήρηση της θερμικής ακτινοβολίας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται

πως ένα στρώμα 25mmαφρού μπορεί να μεταφέρει 50% της ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο οδηγώντας στη μείωση της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο. Επιπλέον υπάρχει άμεση συσχέτιση ανάμεσα στις παραμέτρους της ακτινοβολίας στο υγρό φίλτρο και της θερμικής απόδοσης του θερμοκηπίου.

4.2.5 Ψύξη με εξάτμιση

Η ψύξη με εξάτμιση δεν περιλαμβάνει μεταβολές στο περιεχόμενο της θερμότητας του μίγματος αέρα/ νερού. Καθώς το νερό εξατμίζεται απομακρύνεται θερμότητα από τον αέρα μειώνοντας τη θερμοκρασία του. Αυτά τα συστήματα βασίζονται στη μετατροπή της αισθητής θερμότητας σε λανθάνουσα του νερού εξάτμισης με το νερό να παρέχεται μηχανικά. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας η συνολική θερμότητα του αέρα παραμένει σταθερή. Η μέθοδος για την ελάττωση της θερμοκρασίας του αέρα με εξάτμιση του νερού είναι τέτοια ώστε να επιτευχθεί ο πιο αποτελεσματικός τρόπος ελέγχου της θερμοκρασίας και της υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο.

Τα συνηθέστερα συστήματα ψύξης με εξάτμισης που χρησιμοποιούνται είναι: το σύστημα ανεμιστήρα- πλέγματος, το σύστημα δημιουργίας ομίχλης και η ψύξη των αναθυμιάσεων της στέγης.

Το σύστημα ανεμιστήρα αποτελείται από έναν ανεμιστήρα που είναι τοποθετημένος στη μια πλευρά του τοίχου και στην άλλη πλευρά τοποθετείται ένα επίθεμα. Η αρχή της ψύξης με εξάτμιση εφαρμόζεται με τη ροή ενός ρεύματος νερού πάνω στο επίθεμα και την απομάκρυνση του αέρα από τους ανεμιστήρες με εξάτμιση.

Τα συστήματα ανεμιστήρα-πλέγματος μεταβάλλει τον αέρα που εξέρχεται από το πλέγμα. Ο αέρας γίνεται ψυχρότερος και αυξάνεται και η υγρασία του. Το δυναμικό ψύξης για το θερμοκήπιο καθορίζεται μέσω απλών εξισώσεων ενώ η απόδοση του υπολογίζεται με υπολογιστικές μεθόδους. Η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από τη μέση θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια από το ενεργειακό φορτίο της ακτινοβολίας. Έχει αποδειχθεί πως η ελεύθερη διαπνοή των καλλιεργειών μπορεί να πραγματοποιηθεί με μείωση της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό κατά 8-12°C (Landsberg, J.J., White, B., Thorpe, M.R., 1979).

Η ψύξη με εξάτμιση με συστήματα ανεμιστήρων-πλέγματος έχει μελετηθεί για τα εμπορικά θερμοκήπια και έχει αποδειχθεί ότι η ογκομετρική ροή εξάτμισης από το πλέγμα μπορεί να καθοριστεί από τον αριθμό των μεταβολών του αέρα ανά ώρα ενώ οι 20 μεταβολές του αέρα είναι ικανές για να οδηγήσουν σε ανθεκτικές συνθήκες μέσα στο θερμοκήπιο σε ξηρές καιρικές συνθήκες (Jamal, K.A., 1994).

Το απαιτούμενο νερό για την ψύξη με εξάτμιση μπορεί να καθοριστεί μέσω μαθηματικών μοντέλων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του ρυθμού εξάτμισης του νερού, του ρυθμού ροής του αέρα και την επίδραση της ψύξης στις καλλιέργειες (Abdel-wahab, S., 1994). Η βελτίωση της απόδοσης ψύξης και της κάλυψης της οροφής του θερμοκηπίου με την εξωτερική σκίαση μπορεί να εξοικονομήσει σημαντικό ποσό ενέργειας και κατανάλωσης νερού. Η μεταβολή της θερμοκρασίας και της υγρασίας κατά την περίοδο του καλοκαιριού μπορεί να φτάσει στο 80% της απόδοσης (Kittas, C., Bartzanas, T., Jaffarin, A., 2001). Επιπλέον αποδεικνύεται πως η μείωση της θερμοκρασίας σε ένα θερμοκήπιο με πλέγματα για ψύξη με εξάτμιση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση μερικών σκίαστρον στην οροφή που θα περιορίζουν την απορρόφηση της ακτινοβολίας. Ανάμεσα στους άλλους

παράγοντες που επηρεάζουν τη ψύξη περιλαμβάνονται ο ρυθμός αερισμού, η σκίαση της οροφής και η διαπνοή της καλλιέργειας.

Το σύστημα δημιουργίας ομίχλης βασίζεται στον ψεκάσμο του νερού με τη μορφή μικρών σταγόνων με μεγάλη πίεση στον αέρα πάνω από τα φυτά προκειμένου να αυξηθεί η επιφάνεια του νερού που έρχεται σε επαφή με τον αέρα. Η ταχύτητα της ελεύθερης πτώσης των σταγόνων είναι μικρή και τα αέρια ρεύματα μέσα στο θερμοκήπιο μπορούν εύκολα να μεταφέρουν τις σταγόνες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλη απόδοση της εξάτμισης του νερού συνδυαστικά με τη διατήρηση της ξήρανσης. Το νέφος που δημιουργείται επίσης βοηθάει στη δημιουργία μεγάλης υγρασίας παράλληλα με τη ψύξη στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Επιπλέον μπορεί να χρησιμοποιηθούν και συστήματα με ακροφύσια για την παραγωγή νέφους υψηλής πίεσης (Willits, 1993.). Το βασικό μειονέκτημα του συγκεκριμένου συστήματος είναι ότι απαιτεί μεγάλη ισχύ λειτουργίας με αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος του συστήματος και η λειτουργία του.

4.3 Σύνθετα συστήματα

4.3.1 Σύστημα εναλλακτών θερμότητας από την γή προς τον αέρα

Χρησιμοποιώντας τη γήινη μάζα το δυναμικό θέρμανσης ενός εναλλάκτη γής- αέρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά. Το δυναμικό του εδάφους μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την ψύξη των θερμοκηπίων το καλοκαίρι εξαιτίας του ότι η ετήσια θερμοκρασία του είναι σταθερή. Σε αυτήν την περίπτωση ο θερμός αέρας του θερμοκηπίου ανακυκλοφορεί μέσω σωλήνα και διαχέεται η θερμότητα στο υπόγειο έδαφος.

Η ακριβής απόδοση ψύξης αυτών των συστημάτων δεν είναι προσδιορισμένη αλλά μπορεί να εκτιμηθεί εμπειρικά με τη χρήση αριθμητικών μοντέλων. Το δυναμικό ψύξης αποτελεί έναν απόλυτα ελεγχόμενο παράγοντα για την επιφάνεια του εδάφους που μπορεί να βελτιστοποιηθεί σημαντικά από τη χρήση των συγκεκριμένων εναλλακτών θερμότητας (Mihalakakou, G., Santamouris, M., Asimakopoulos, D., Papanikolaou, N., 1994). Η απόδοση των συγκεκριμένων συστημάτων εξαρτάται από το μέγεθος των σωλήνων και την ταχύτητα του αέρα.

4.3.2 Σύστημα εναλλάκτη θερμότητας με υδροφορέα κοιλότητα

Τα συγκεκριμένα συστήματα μπορεί να χρησιμοποιηθούν εξίσου αποδοτικά για τη θέρμανση και ψύξη των αγροτικών θερμοκηπίων. Το σύστημα χρησιμοποιεί το νερό του υπόγειου υδροφορέα μέσω ενός σωλήνα που εξέρχεται από το έδαφος σε σταθερή θερμοκρασία. Επιπλέον προστίθεται μια απλή διαδικασία εξάτμισης για την αντιμετώπιση ακραίων καιρικών συνθηκών (Sethi, V.P., Sharma, S.K., 2007). Στα συγκεκριμένα συστήματα η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα είναι συνήθως 7°C μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

5.1 Οικονομοτεχνική μελέτη

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση της μελέτης, πρέπει να θεωρήσουμε σαν δεδομένο ότι η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων, συμφέρει όταν η απαιτούμενη ισχύς εγκατάστασης σε σχέση και με την απόσταση της πλησιέστερης παροχής ρεύματος από την ΔΕΗ, είναι τέτοια που θα αποβεί κερδοφόρα.

Σε σύγκριση με την τιμή της βιομηχανικής KWh (0.079 €) και της αγροτικής (0,055 €), το κόστος της μιας ηλεκτρικής κιλοβατώρας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος (0.57€), δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να δικαιολογηθεί οικονομικά η αυτονόμηση αγροτικής εγκατάστασης που βρίσκεται δίπλα στο δίκτυο της ΔΕΗ .

Εκεί βέβαια που η αυτονóμηση είναι πραγματικά συμφέρουσα, είναι όταν το θερμοκήπιο μας απέχει κάποιον αριθμό χιλιομέτρων από το δίκτυο της ΔΕΗ. Όσο όμως μεγαλώνει το σύστημα από άποψη ισχύος, το κόστος ισορροπείται.

Αυτό σημαίνει πως πρέπει να γίνεται οικονομοτεχνική μελέτη για κάθε συγκεκριμένη εγκατάσταση για να μπορεί να κριθεί με ορθότητα η απόφαση για αυτονóμηση ή για διασύνδεση.

Για την εγκατάσταση που ενδιαφερόμαστε γίνεται η παραδοχή ότι υπάρχει ο απαραίτητος χώρος για την εγκατάσταση των αυτόνομων συστημάτων. Το σωστότερο βέβαια είναι να γίνει η ανάλυση για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της 10ετίας, έτσι ώστε να γίνεται πιο συμφέρουσα η επένδυση στο αυτόνομο σύστημα από ότι με διασύνδεση στο δίκτυο της ΔΕΗ.

5.2 Μελέτη

5.2.1 Διαστάσεις χώρου

Για τις ανάγκες της μελέτης έχει βρεθεί θερμοκήπιο που ασχολείται με την καλλιέργεια ντομάτας, στην περιοχή της Καλαμάτας, διαστάσεων 150m².

Οι ακριβείς διαστάσεις των χώρων είναι οι εξής:

-Χώρος θερμοκηπίου: 10m X 15m = 150m²

5.2.2 Ενεργειακές ανάγκες

Οι ενεργειακές ανάγκες ενός θερμοκηπίου ποικίλουν και εξαρτώνται κυρίως από:

- α) Τον τρόπο κατασκευής του
- β) Την τοποθεσία και τη περιοχή που είναι εγκατεστημένο
- γ) Το είδος των φυτών που καλλιεργούνται

δ) Τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται καθώς και τον βαθμό αυτοματισμού τους.

5.2.3 Φωτισμός του χώρου

Για άριστη απόδοση της καλλιέργειας ενός θερμοκηπίου απαιτείται η βέλτιστη ηλιακή ακτινοβολία. Η διάρκεια και η ποιότητα του φωτισμού έχουν πολύ σημαντική επίδραση στην ποσότητα και ποιότητα των παραγόμενων από την φωτοσύνθεση προϊόντων. Για να καλυφθούν οι ανάγκες σε φωτεινή ενέργεια για την φωτοσύνθεση των περισσότερων κηπευτικών καλλιεργειών εντός του θερμοκηπίου, πρέπει να υπάρχει ένταση στην μικρού μήκους ηλιακή ακτινοβολία (200-3000 nm) τουλάχιστον 235 W/m^2 . Βέβαια το χειμώνα όπου η φωτεινότητα μειώνεται λόγω των καιρικών φαινομένων, παρατηρείται και μείωση του χρόνου ανάπτυξης των φυτών. Είναι επιβεβλημένη λοιπόν η ανάγκη ύπαρξης τεχνητού φωτισμού, σε συνδυασμό βέβαια με την ανεπηρέαστη είσοδο στο θερμοκήπιο των ηλιακών ακτίνων.

5.2.4 Θερμοκρασία του χώρου

Όσον αφορά την θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου, πολλές φορές δημιουργείται υπερθέρμανση και κάποιες άλλες φορές χρειαζόμαστε ενίσχυση της θερμοκρασίας του χώρου. Βέβαια αυτό επηρεάζει άμεσα και την υγρασία του χώρου του θερμοκηπίου. Η συντεταγμένη θέση του διαφανούς κελύφους του θερμοκηπίου, ως προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία καθώς και οι κλιματολογικές συνθήκες της τοποθεσίας καθορίζουν τις ιδανικότερες συνθήκες λειτουργίας του θερμοκηπίου.

Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος του φυτού και η θερμοκρασία του εδάφους που είναι σημαντικές για την ανάπτυξη του φυτού εξαρτώνται από την πυκνότητα του φωτός, την λήψη CO_2 , την υγρασία, και την ταχύτητα του αέρα. Για να επιτευχθούν βέλτιστες εσωτερικές συνθήκες, είναι απαραίτητη η θέρμανση, ιδιαίτερα κατά την διάρκεια των ψυχρών εποχών.

Μια ιδανική πηγή θέρμανσης και ασφαλώς οικονομικότερο υποκατάστατο των συμβατικών καυσίμων για την θέρμανση του θερμοκηπίου είναι η ηλιακή ενέργεια. Ηλιακή θερμότητα αποθηκεύεται κατά την διάρκεια της ημέρας και αποδίδεται την νύχτα για να διασφαλίσει επαρκώς τις θερμικές ανάγκες του θερμοκηπίου.

Άλλες πηγές είναι η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια από θερμικά απόβλητα, η βιομάζα, οι οποίες συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος.

Τα ηλιακά συστήματα στο θερμοκήπιο από την αντίθετη πλευρά, εμφανίζουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης. Με τη συνεχή όμως βελτίωσή τους και την αύξηση της τιμής των καυσίμων, δεν αποκλείεται σύντομα να εφαρμοστούν με θετικό οικονομικό αποτέλεσμα σε μεγάλη έκταση. Επιτακτική λοιπόν είναι η ανάγκη ύπαρξης ενός βοηθητικού συστήματος θέρμανσης, το οποίο θα καλύπτει τις απαιτήσεις σε θερμότητα τις συννεφιασμένες περιόδους.

Υπολογίζεται ότι για εμβαδόν επιφανείας θέρμανσης, θερμοκηπίου, 150m^2 απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια, περίπου, **8 KW**.

Αν υποθέσουμε ότι το σύστημα θέρμανσης πρέπει να λειτουργεί κατά μέσο όρο 7 ώρες ημερησίως τότε θα καταναλώνονται 56 KWh/ημέρα . Με αναγωγή στην μηνιαία κατανάλωση, προκύπτει 1680 KWh/μήνα .

Οι ανάγκες σε θέρμανση εντοπίζονται κατά τους μήνες Νοέμβριο έως Απρίλιο. Άρα για 6 μήνες τον χρόνο η κατανάλωση είναι: **10000 KWh.**

5.2.5 Ψύξη

Το θερμοκήπιο αποτελεί ένα ηλιακό συλλέκτη όπου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες στο εσωτερικό του. Οι θερμοκρασίες αυτές γίνονται υπερβολικές όταν η ηλιακή ακτινοβολία είναι έντονη άρα κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχος της θερμοκρασίας. Τα θερμοκήπια χρειάζεται να ψύχονται με το ρεύμα αερισμού. Θα πρέπει να διατηρείται το κλίμα στο εσωτερικού του θερμοκηπίου στην ιδανική κατάσταση. Αυτό περιλαμβάνει θέρμανση εδάφους και αέρα, αερισμό και δροσισμό, έλεγχο υγρασίας, εμπλουτισμό με CO₂ και εφαρμογή λίπανσης.

Μια ουσιαστική διαδικασία είναι η εναλλαγή αέρα μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου. Είναι προφανές ότι είναι πολύ πιο δύσκολο να ψυχθεί ένα θερμοκήπιο το καλοκαίρι από το να θερμανθεί τον χειμώνα. Η εξάλειψη αυτής της πλεονάζουσας ενέργειας δεν μπορεί να γίνει με κλασικά ψυκτικά μηχανήματα που είναι πολύ ακριβά, αλλά πρέπει να γίνει με μεθόδους όσο το δυνατόν λιγότερο δαπανηρές όπως ο αερισμός (φυσικός ή δυναμικός εξαερισμός), ο δροσισμός, η τεχνική ομίχλη, η σκίαση ή συνδυασμός περισσότερων του ενός από αυτά τα συστήματα.

5.2.6 Αυτοματισμοί

Πρώτιστο μέλημα στην μελέτη των αυτοματισμών που απαιτούνται είναι το ποιους παράγοντες θέλουμε να ελέγχονται. Αυτοί οι παράμετροι που θα ελέγχονται από τους αντίστοιχους αισθητήρες είναι:

- Η ηλιοφάνεια
- Η θερμοκρασία
- Η υγρασία του χώματος
- Η ποιότητα του αέρα (επίπεδα CO₂)

Το κεντρικό σύστημα ελέγχου θα έχει αποθηκευμένα τα κατώτερα και ανώτερα όρια των επιθυμητών τιμών αυτών των παραμέτρων. Όταν θα φτάνουν πληροφορίες από τους αισθητήρες θα συγκρίνονται αυτές οι τιμές με τις επιθυμητές και αν υπάρχουν αποκλίσεις, το σύστημα ελέγχου θα προβαίνει σε διορθώσεις.

Παράδειγμα αυτών των διορθώσεων είναι τα παρακάτω:

1. Για την ηλιοφάνεια η διόρθωση θα γίνεται με μετακίνηση σκιάστρων
2. Για την Θερμοκρασία η διόρθωση θα γίνεται με άνοιγμα θερμοκηπικών σωμάτων
3. Για την υγρασία του χώματος η διόρθωση θα γίνεται με πότισμα από αυτόματα μπεκ
4. Για την ποιότητα του αέρα (επίπεδα CO₂) η διόρθωση θα γίνεται με άνοιγμα του εξαερισμού.

Όταν οι τιμές των ελεγχόμενων παραμέτρων φτάσουν το άνω επιθυμητό όριο, η δράση θα παύεται αυτόματα.

5.3 Ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου

5.3.1 Εξαερισμός σε kWh

Ο αερισμός του θερμοκηπίου γίνεται με φυσικό και δυναμικό εξαερισμό. Ο δυναμικός εξαερισμός γίνεται με ανεμιστήρες στην μικρή πλευρά του θερμοκηπίου και είσοδο αέρα από την αντίθετη πλευρά.

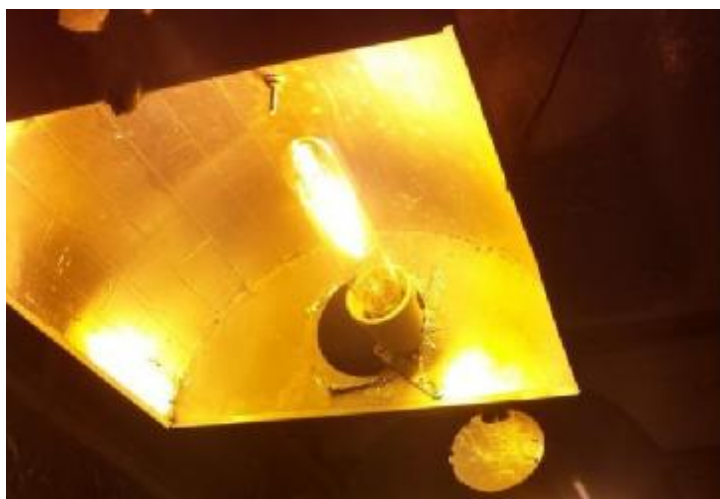


Σχήμα 5.1: Ανεμιστήρες για εξαερισμό του θερμοκηπίου

Η μέση ετήσια κατανάλωση (≈ 8 μήνες) ηλεκτρικής ενέργειας για εξαερισμό του θερμοκηπίου είναι κατά μέσο όρο 35 MJ/m^2 . Άρα για το θερμοκήπιο των 150 m^2 η συνολική απαιτούμενη ενέργεια είναι 5250 MJ . Επειδή ισχύει ($1 \text{ kWh} = 3.6 \text{ MJ}$) θα έχουμε κατανάλωση **1458 kWh**.

5.3.2 Φωτισμός σε kWh.

Για τον φωτισμό μέσα στο θερμοκήπιο χρησιμοποιούνται 10 λαμπτήρες φθορισμού χαμηλής πίεσης νατρίου των 150 W .



Σχήμα 5.2: Λαμπτήρες φθορισμού χαμηλής πίεσης νατρίου

Η συνολική ισχύς των λαμπτήρων είναι 1500W και στο σύνολο των ωρών και ημερών κάθε μήνα που απαιτείται να χρησιμοποιούνται η συνολική ενέργεια είναι **885 kWh**.

Μήνες	Ώρες λειτουργίας	Ημέρες	Συνολικός χρόνος σε ώρες	Ισχύς	kWh
Απρίλιος Σεπτέμβριος	2	20	2X2X20=80	1500	120
Μάρτιος Οκτώβριος	2	30	2X2X30=120	1500	180
Φεβρουάριος Νοέμβριος	3	30	2X3X30=180	1500	225
Δεκέμβριος Ιανουάριος	4	30	2X4X30=240	1500	360
ΣΥΝΟΛΟ (8 μήνες)					885

Πίνακας 5.1: Η απαιτούμενη διάρκεια φωτισμού σε ώρες (h) και η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται.

5.3.3 Δροσισμός σε kWh.

Ο δροσισμός του θερμοκηπίου γίνεται με πάνελ δροσισμού. Υπάρχει δηλαδή ένα υγρό τοίχωμα, μία δεξαμενή νερού και μία σειρά ανεμιστήρων που βρίσκονται στην πλευρά απέναντι από υγρό τοίχωμα. Μέσω της αντλίας το πάνελ διαβρέχεται με νερό. Στην ακριβώς απέναντι από το πάνελ πλευρά του θερμοκηπίου, τοποθετείται μια σειρά ανεμιστήρων. Οι ανεμιστήρες τοποθετούνται σε πλαίσια και λειτουργούν έτσι ώστε να αντλούν τον αέρα από το εσωτερικό του θερμοκηπίου προς το εξωτερικό περιβάλλον.



Σχήμα 5.3: Τοποθέτηση πάνελ κατά την κατασκευή του θερμοκηπίου



Σχήμα 5.4: Σύστημα δροσισμού με πάνελ.

Η ισχύς των κινητήρων πρέπει να είναι 5 W/m^2 . Στο συγκεκριμένο θερμοκήπιο 150m^2 χρησιμοποιούνται δύο (2) ανεμιστήρες, οπότε απαιτούνται συνολικά $(5 \times 150) \times 2 = 1500 \text{ W}$. Οι μήνες που πρέπει οι ανεμιστήρες να εργάζονται είναι: Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος και Σεπτέμβριος και για περίπου 2 ώρες ημερησίως. Δηλαδή $5 \text{ μήν.} \times 2 \text{ ώρ.} \times 30 \text{ ημέρ.} = 300 \text{ ώρες ετησίως}$. Άρα απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια ετησίως $1500 \times 300 = \underline{450 \text{ KWh}}$

Ενεργειακές ανάγκες	Ετήσιες KWh
Θέρμανση	10000
Εξαερισμό	1458
Φωτισμό	885
Δροσισμό	450
Σύνολο	12793

Πίνακας 5.2: Συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου που εξετάζουμε

5.3.4 Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας

- E, η συνολική ημερήσια κατανάλωση ενέργειας [kWh] **$E = 12793 / 365 = 35 \text{ KWh}$**
- E₁, η άμεση τροφοδοσία της κατανάλωσης σε ποσοστό 40% [kWh] **$E_1 = 35 \times 0.4 = 14 \text{ KWh}$**
- E₂, η έμμεση (μέσω συσσωρευτών) τροφοδοσία της κατανάλωσης σε ποσοστό 60% [kWh] **$E_2 = 35 \times 0.6 = 21 \text{ KWh}$**

Αποδόσεις

- $\eta_1 = 0$, 141 ο βαθμός απόδοσης των Φ/Β γεννητριών
- $\eta_2 = 0$, 96 ο βαθμός απόδοσης του ελεγκτή φόρτισης
- $\eta_3 = 0$, 9 ο βαθμός απόδοσης των συσσωρευτών κατά τη φόρτιση
- $\eta_4 = 0$, 9 ο βαθμός απόδοσης των συσσωρευτών κατά την εκφόρτιση
- $\eta_5 = 0$, 98 ο βαθμός απόδοσης inverter

5.4 Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών

Οι Φ/Β γεννήτριες θα έχουν νότιο προσανατολισμό και γωνία κλίσης 30° ως προς το οριζόντιο επίπεδο και χωρίς σκιάσεις.

Η τάση του συστήματος

- 24 V στους συσσωρευτές
- 230 V, 50Hz στην κατανάλωση

Συσσωρευτές

- Στοιχεία των 2 V
- Βάθος εκφόρτισης 60%
- Αυτονομία 3 ημέρες

Φωτοβολταϊκές γεννήτριες

- Στοιχεία των 2 V
- Επιφάνεια Φ/Β γεννήτριας $1,28\text{m}^2$

- Τάση 36,8 V και Ρεύμα 4,9 A
- Ισχύς 180 Wp

Λιαστασιολόγηση

Με βάση τις παραπάνω παραδοχές θα υπολογισθούν:

- Ο αριθμός των Φ/Β πλαισίων που απαιτούνται
- Ο αριθμός και το μέγεθος των συσσωρευτών

Και θα επιλεγούν

- Ο ή οι ελεγκτές φόρτισης
- Ο inverter

Η συνολική απαιτούμενη προσπίπτουσα ενέργεια στην επιφάνεια των συλλεκτών

$$E' = E_1' + E_2'$$

$$E_1' = E_1 / (\eta_1 * \eta_2 * \eta_5) = \frac{14}{0.141 \cdot 0.96 \cdot 0.98} = 105.5 \text{ kWh}$$

$$E_2' = E_2 / (\eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4 * \eta_5) = \frac{21}{0.141 \cdot 0.96 \cdot 0.9 \cdot 0.9 \cdot 0.98} = 195 \text{ kWh}$$

Συνεπώς

$$E' = E_1' + E_2' = 105.5 + 195 = 300 \text{ kWh}$$

Ηλιοφάνεια του τόπου εγκατάστασης.

Γωνία κλίσης = 30°

Μήνας Προσπίπτουσα Ακτινοβολία
(kWh)

Ιανουάριος	101
Φεβρουάριος	118
Μάρτιος	158
Απρίλιος	180
Μάιος	200
Ιούνιος	203
Ιούλιος	208
Αύγουστος	206
Σεπτέμβριος	187
Οκτώβριος	155
Νοέμβριος	105
Δεκέμβριος	85.7
Μέσος όρος έτους	159
Συνολικό χρόνο	1910

Το φωτοβολταϊκό σύστημα θα πρέπει να καλύψει τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια ακόμη και στις δυσμενέστερες συνθήκες που είναι κατά τον μήνα Δεκέμβριο. Στο μήνα Δεκέμβριο, η μέση ημερήσια προσπίπτουσα ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας είναι:
85,7 / 31 = 2,76 kWh

Και αντίστοιχα η συνολική επιφάνεια των πλαισίων
300 / 2,76 = 108.7 m²

Με πλαίσια εμβαδού 1,28 m² θα χρειαστούν
108.7/1,28 = **84 Πλάισια (Φ/Β γεννήτριες)**

Συσσωρευτές

Για αυτονομία 3 ημερών και βάθος εκφόρτισης 60% η χωρητικότητα των συσσωρευτών είναι

$$(3 \cdot E) / (0,6 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5) = \frac{3 \cdot 35}{0,6 \cdot 0,9 \cdot 0,98} = 198,4 \text{ kWh}$$

Ή για τάση 24 V

$$198400 / 24 = 8267 \text{ Ah}$$

Οπότε θα χρησιμοποιήσουμε μια συστοιχία με **12 στοιχεία** των 2 V και **729 Ah** η κάθε μια, σε σειρά (24V) και με χωρητικότητα περίπου 8748 Ah.

Ο τύπος των ηλιακών χρησιμοποιήθηκε στην εργασία είναι της εταιρίας IBC SOLAR και το μοντέλο είναι **MOLL OPzV solar 7/790**

Συνδεσμολογία

Συνδέονται σε σειρά 84 Φ/Β γεννήτριες - πλαίσια. Με αυτή τη συνδεσμολογία επιτυγχάνεται κατάλληλη τάση για φόρτιση των συσσωρευτών (>24 V) και ρεύμα **84·4.9 = 411.6 A**

Ηλιακά πλαίσια -Μονοκρυσταλλικού τύπου

Σε αυτό το σημείο θα αναφερθούμε στο τύπο των ηλιακών πλαισίων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία. Τα πλαίσια είναι της εταιρίας IBC SOLAR και το μοντέλο είναι **TSM-180DC01**

Πλεονεκτήματα προϊόντος:

-Κατάλληλο για διασυνδεδεμένα συστήματα και αυτόνομα συστήματα 24V

-Εγγυήσεις ισχύος: 25 χρόνια (80 %) και 12 χρόνια (90%)

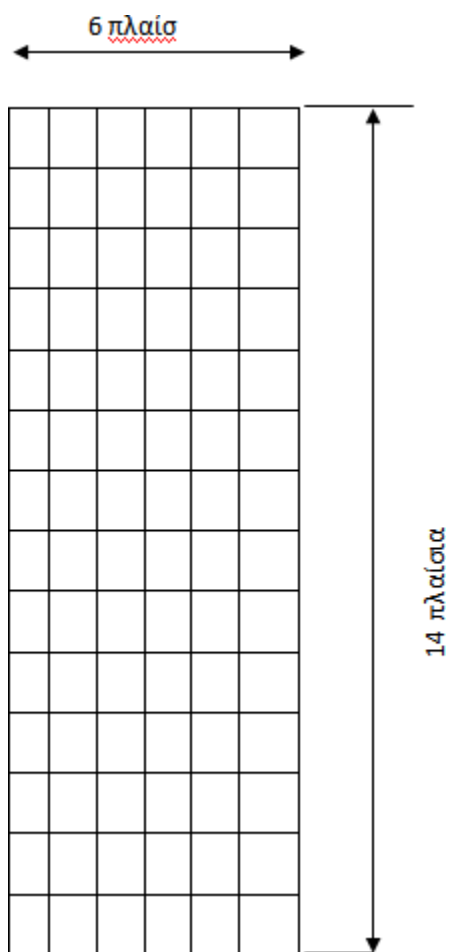
-5 χρόνια εγγύηση προϊόντος

-Απόκλιση ισχύος± 3 %

-Ελεγμένο και πιστοποιημένο κατά IEC 61215

-IEC 61730, Application Class A για τάση συστήματος ως 1000 V

-84 μονοκρυσταλλικές κυψέλες (125 mm X 125 mm) διατεταγμένες γεωμετρικά σε διάταξη 6 χ 14 συνδεδεμένες σε σειρά



Ελεγκτής φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια απλή ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών (μπαταριών) του φωτοβολταϊκού συστήματος. Ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και σταματά τη φόρτιση όταν διαπιστώσει ότι η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως. Αλλιώς θα υπήρχε ο σοβαρός κίνδυνος να καταστραφεί η μπαταρία.

Επιλέγουμε **4 ελεγκτές** με αντίστοιχο ονομαστικό ρεύμα 100A. Με τη βοήθεια του ηλιακού ελεγκτή φόρτισης είναι δυνατός ο γρήγορος και εύκολος έλεγχος της φόρτισης των μπαταριών-συσσωρευτών . Επιλέγουμε από την εταιρεία Wholesale Solar το μοντέλο **Magnum Energy PT-100 Charge Controller**.

Inverter

Επιλέγουμε inverter με ονομαστική ισχύ **10 KVA** η οποία καλύπτει την συνολική εγκατεστημένη ισχύ του θερμοκηπίου, με συνεχή τάση εισόδου 24V και τάση εξόδου 230V και συχνότητα 50Hz.

5.5 Αποτελέσματα μελέτης εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σε θερμοκήπιο

Τα στάδια μελέτης που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:

1) Μελέτη τοποθεσίας θερμοκηπίου

Αποφασίζοντας να διενεργηθεί αυτή η μελέτη, το πρώτο πράγμα που θα έπρεπε να διευθετηθεί ήταν η τοποθεσία του θερμοκηπίου προς εγκατάσταση φωτοβολταϊκών.

Η διαδικασία επιλογής του χώρου έγινε με βάση κάποια κριτήρια, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι:

- Προσβασιμότητα του χώρου
- Ύπαρξη δικτύου παροχής ρεύματος, δικτύου ύδρευσης
- Κατάλληλο υπέδαφος
- Κατάλληλη ποιότητα εδάφους

2) Διαστάσεις θερμοκηπίου

Επιλέχθηκε το συγκεκριμένο θερμοκήπιο λόγω της σύντομης πρόσβασης από τον τόπο που διαμένω μόνιμα, αλλά κυρίως λόγω των πολύ φιλικών σχέσεων που διαθέτω με τους ιδιοκτήτες του. Η πρόσβαση σε σημαντικές πληροφορίες, που μου παρείχαν σε ένα άγνωστο για μένα χώρο ήταν σημαντικότερος παράγοντας.

Το θερμοκήπιο καλύπτει συνολική έκταση 150m². Το θερμοκήπιο είναι τύπου “MULTISPAN”, το οποίο είναι ένα τοξωτό θερμοκήπιο προηγμένης.



Σχήμα 5.5: θερμοκήπιο τύπου MULTISPAN

Οι συνολικές διαστάσεις του είναι:

Πλάτος :	10 m
Μήκος :	15 m
Εμβαδόν :	150 m ²

3) Ενεργειακές απαιτήσεις (ετήσιες KWh)

Οι ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου καλύπτονται μέχρι τώρα, μέσω ηλεκτροδότησης από το δίκτυο της ΔΕΗ.

Στην μελέτη μου προβλέπεται η κάλυψη με διαφανή φωτοβολταϊκά, τα οποία θα καλύπτουν εξ ολοκλήρου τις ενεργειακές απαιτήσεις του.

Κλείνοντας, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η ανάλυση των οικονομικών στοιχείων της μελέτης θα πρέπει να γίνει σε βάθος 20ετίας, έτσι ώστε να φανεί η οικονομική σκοπιμότητα του εγχειρήματος.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν τα βασικά στοιχεία μελέτης και προσδιορισμού για τη δημιουργία ενός θερμοκηπίου σε αγροτικές περιοχές για αγροτικές καλλιέργειες. Ο βασικός στόχος ενός θερμοκηπίου είναι να διατηρεί τις κατάλληλες συνθήκες για την καλλιέργεια των φυτών ανεξάρτητα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε ένα θερμοκήπιο η ηλιακή ενέργεια θεωρείται ως μια φθηνή και αποτελεσματική μέθοδος που μπορεί να αξιοποιηθεί για τις διάφορες δραστηριότητες στο θερμοκήπιο και ιδίως για τη θέρμανση και την ψύξη του.

Ο φωτισμός αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία του σχεδιασμού των θερμοκηπίων αφού επηρεάζει την ανάπτυξη των καλλιεργειών με διάφορους τρόπους και πραγματοποιείται κυρίως με τεχνητά μέσα.

Σύμφωνα με όσα παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο για τις τεχνολογίες της θέρμανσης υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι που μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας σε θερμοκήπια διαφόρων μεγεθών και σε παγκόσμιο επίπεδο. Η απόδοση του κάθε συστήματος είναι συνάρτηση της τοποθεσίας, των κλιματικών συνθηκών και το μέγεθος του θερμοκηπίου.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται τα συστήματα αποθήκευσης που χρησιμοποιούν πλαστικές σακούλες / σωλήνες παρατηρείται αύξηση μέχρι 6°C στη θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα σε θερμοκήπια μικρής ως μεγάλης επιφάνειας. Η χρήση των δεξαμενών νερού απαιτεί μικρότερο χώρο στο εσωτερικό του θερμοκηπίου σε σχέση με τους επίγειους σωλήνες. Οι δεξαμενές τοποθετούνται κατά μήκος του βόρειου τοιχώματος και βάφονται μαύρες για μεγαλύτερη απορρόφηση. Τα συστήματα αυτά πλεονεκτούν επειδή δεν χρειάζονται επιπλέον πηγές εξωτερικής ενέργειας αλλά παρουσιάζουν προβλήματα διάβρωσης.

Όσον αφορά στα συστήματα ψύξης η επιλογή του κατάλληλου συστήματος βασίζεται στην απόδοση του τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και το είδος της καλλιέργειας. Πολλές θεωρητικές και πειραματικές μελέτες σχετικά με το φυσικό αερισμό μέσω των πλαϊνών ανοιγμάτων ή των ανοιγμάτων της οροφής απέδειξαν πως ο αερισμός μπορεί να μειώσει την εσωτερική θερμοκρασία σε σχέση με την εξωτερική. Ο κρίσιμος παράγοντας για την ψύξη των θερμοκηπίων με ανοίγματα πλαϊνά ή στην οροφή είναι ο ρυθμός μετάδοσης της ελεύθερης συναγωγής. Αυτός ο ρυθμός ανταλλαγής αυξάνεται με αύξηση της διαφοράς

θερμοκρασίας ανάμεσα στην εσωτερική και στην εξωτερική θερμοκρασία. Η συνολική επιφάνεια αερισμού που απαιτείται για αποτελεσματική ψύξη είναι το 15-30% της επιφάνειας του πατώματος. Επιφάνειες αερισμού μεγαλύτερες από 30% δεν επηρεάζουν το ρυθμό ψύξης.

Τα συστήματα φυσικού αερισμού είναι λιγότερο αποτελεσματικά ιδιαίτερα τις ηλιόλουστες ημέρες σε περιοχές με θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 35°C και θερμοκρασίες θερμοκηπίου μεγαλύτερες των 42°C.

Ο εξαναγκασμένος αερισμός μεταβάλλει σημαντικά τη μεταβολή του αέρα στο εσωτερικό του θερμοκηπίου αλλά η έρευνα επικεντρώνεται στη χρήση ανεμιστήρων για την απομάκρυνση του θερμού αέρα. Ο μόνος τρόπος που ο εξαναγκασμένος αερισμός μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του αέρα έχει μικρότερη απόδοση από την φυσική συναγωγή και είναι τα σχετικά μεγάλα ανοίγματα μέσω των οποίων ο αέρας εισέρχεται στο θερμοκήπιο,

Η σκίαση αποτελεί μια εύκολη και αποτελεσματική μέθοδο για τον έλεγχο της περίσσειας ηλιακής ακτινοβολίας ιδιαίτερα την καλοκαιρινή περίοδο. Η χρήση αλουμινένιων ανακλαστικών φύλλων μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία του θερμοκηπίου κατά 3-6°C συγκριτικά με τον έλεγχο του θερμοκηπίου εκτός από τον έλεγχο της ελαφράς έντασης ακτινοβολίας. Τα φιλμ του νερού στο θερμοκήπιο μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά 6°C.

Περαιτέρω μείωση της θερμοκρασίας μπορεί να επιτευχθεί με τα συστήματα ανεμιστήρα - πλέγματος η οποία όταν τα συγκεκριμένα συστήματα χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με σκίαστρα μπορεί να φτάσει και τους 12°C. Τα υψηλά επίπεδα υγρασίας που υπάρχουν μέσα στο θερμοκήπιο ευνοούν την ανάπτυξη μικροοργανισμών που βλάπτουν την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Τα πλέγματα απαιτούν συνεχή συντήρηση δεδομένου ότι καθώς το νερό εξατμίζεται τα άλατα συσσωρεύονται στο πλέγμα και οι εναποθέσεις αυτές μπλοκάρουν την κίνηση του αέρα και παρεμποδίζουν την ομοιόμορφη διαβροχή.

Τα δημιουργούμενα νέφη παράγουν μικρές σταγόνες με υψηλή πίεση για την ψύξη του εσωτερικού αέρα. Τα συστήματα αυτά έχουν πιο ομοιόμορφη κατανομή πίεσης από την ψύξη με ανεμιστήρα και ομοιόμορφη κατανομή υγρασίας αλλά είναι πιο ακριβή μέθοδος ψύξης αφού απαιτεί την χρήση μεγάλων ακροφυσίων κατά μήκος του δικτύου των σωληνώσεων.

Σε κάθε περίπτωση τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης ενός θερμοκηπίου παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και η τελική επιλογή τους γίνεται με διάφορους παράγοντες όπως η τοποθεσία εγκατάστασης οι κλιματικές συνθήκες και το είδος της καλλιέργειας. Ο αποτελεσματικός σχεδιασμός τους είναι μια διαδικασία που απαιτεί τη λεπτομερή γνώση των βασικών παραμέτρων και βασίζεται στις ανάγκες που καλείται να καλύψει το θερμοκήπιο με γνώμονα πάντα το ελάχιστο κόστος.

Βιβλιογραφία

- Abdel-wahab, S., (1994).Energy and water management in evaporative cooling systems in Saudi Arabia.Resources, Conservation and Recycling 12 (3–4), 135–146.
- ACORE, (2014), TheoutlookofrenewableenergyinAmerica, http://www.acore.org/files/pdfs/ACORE_Outlook_for_RE_2014.pdf
- Alberta, (2014), Hydroelectric Power, Alberta Argiculture and rural environment, [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/eng4431](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/eng4431)
- Alkilani, M.M, Sopian, K., Alghoul, M.A., Sohif, M., Ruslan, M.H., (2011) Review of solar air collectors with thermal storage units, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 1476-1490
- Anthony, J.F., Norton, B., Kennedy, D.M., (2006). Corrosive effects of salhydrate phase change materials used with aluminum and copper.Journal of Materials Processing Technology 175 (1–3), 198–205.
- Argus Control Systems, Ltd., (2010) Lighting and Light Control in greenhouses, <http://www.arguscontrols.com/resources/Light-and-Lighting-Control-in-Greenhouses.pdf>
- Arizov, A., Niyazov, S.K., 1980. Rock-bed as a heat storage material forgreenhouse applications. Applied Solar Energy 16, 430–437
- Baille, A., Kittas, C., Katsoulas, N., (2001). Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. Agriculture and Forest Meteorology 107 (4), 293–306, 19.
- Barreiro R, GuiametJJ, Beltrano J &Montaldi ER.(1992) Regulation of the photosynthetic capacityof primary bean leaves by the red: far-red ratio and photosynthetic photon flux density ofincident light. Physiol. Plant. 85:97–101.
- Bartzanas, T., Boulard, T., Kittas, C., (2004).Effect of vent arrangement on windward ventilation of a tunnel greenhouse.Biosystem Engineering88 (4), 479–490.
- Bergey, M., (2000), Small wind systems for rural energy supply, Village Power, Washington, December 4-8, 2000
- Behrenfeld, M.J. et al. (2001) Biospheric primary production during anENSO transition. Science 291, 2594–2597
- Boulard, T., Baille, A., (1993).A simple greenhouse climate control model incorporating effects of ventilation and evaporative cooling. Agricultureand Forest Meteorology 65 (3–4), 145–157.
- Boulard, T., Feuilloley, P., Kittas, C., (1997).Natural ventilation performance of six greenhouse and tunnel types. Journal of Agricultural Engineering Research 67 (4), 249–266.

- Britt, J., Feredekides, C (1993). Thin-film CdS/CdTe solar cell with 15.8% efficiency. *Applied Physics Letters*, 62, 2851.
- Bruce, J.M.,(1978). Natural convection through openings and its application to cattle building ventilation. *Journal of Agricultural Engineering Research* 23, 151–167.
- Brumfield R.(2007) Dealing with rising energy costs. *GPN*. 17:24-31.
- Bourget CM.(2008) An introduction to light-emitting diodes. *Hort Science*., 43:1944–1946.
- Bula RJ, Morrow RC, Tibbits TW, Barta RW, Ignatius RW & Martin TS. (1991) Light emitting diodes as a radiation source for plants. *Hort Science*.26:203–205.
- Carlson, D. E., Wronski, C.R. (1976). Amorphous silicon solar cell. *Applied Physics Letters*, 28, 671.
- Chel, K.(2011) Renewable energy for sustainable agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag (Germany) 31 (1), pp.91-118.
- Cohen, S., Fuchs, M., (1999). Measuring and predicting radiometric properties of reflective shade nets and thermal screens. *Journal of Agricultural Engineering Research* 73 (3), 245–255.
- Connellan, G., (1986). Solar greenhouse using liquid collectors. *Proceedings of ISES Solar World Congress*, Atlanta, GA, pp. 518–523
- Coyle, W. (2007) The future of biofuels: a global perspective. *Amber Waves* 5, 24–29
- Critten, D.L., Bailey, B. J., (2002), A review of greenhouse engineering developments during the 1990s, *Agricultural and Forest Meteorology*, 112, pp.1-22
- Down, M.J., Foster, M.P., (1990). Experimental verification of a theory for ventilation of livestock buildings by natural convection. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57, 259–279.
- Evergreen solar <http://www.evergreensolar.com/>.
- Farid, M.M., Yacoub, K., (1989). Performance of direct contact latent heat storage unit. *Solar Energy* 43 (4), 237–251
- Farla, J. et al. (1997) Energy efficiency developments in the pulp and paper industry - A cross-country comparison using physical production data. *Energy Policy* 25, 745–758
- Fernandes, S.D. et al. (2007) Global biofuel use, 1850-2000. *Global Biogeochem. Cycles*, 21
- Fernandez, J.E., Bailey, B.J., (1992). Measurement and prediction of greenhouse ventilation rates. *Agriculture and Forest Meteorology* 58, 229–245.
- Feuermann, D., Kopal, R., Zeroni, M., Levi, S., Gale, J., (1998). Evaluation of a liquid radiation filter greenhouse in a desert environment. *Transactions of the ASAE* 41 (6), 1781–1788

- Fisher, J.Finnel J.A., Lavoie, B.D., (2006) Renewable energy in agriculture Back to the future? Choices, 21, available from <http://www.choicesmagazine.org/2006-1/biofuels/2006-1-05.pdf>
- Fitz-Rodríguez E., Kubota C., Giacomelli G. A, Tignor M. E, Wilson S. B, McMahon M. (2010) Dynamic modeling and simulation of greenhouse environments under several scenarios: a web-based application. *Comput Electron Agric*, 70:105–16
- Frey G.W., Linke D.M. (2002) Hydropower as a renewable and sustainable energy resource meeting global energy challenges in a reasonable way *Energy Policy* 30, 141261–141265.
- Fuchs, M., Dayan, E., Shmuel, D., Zipori, I., (1997). Effects of ventilation on the energy balance of a greenhouse with bare soil. *Agriculture and Forest Meteorology* 86 (3–4), 273–282.
- Garcia, M., Balenzategui, J.L. (2004). Estimation of photovoltaic module yearly temperature and performance based on nominal operation cell temperature calculations. *Renewable Energy*, 29, 1997–2010.
- Garzoli, K.V., (1989). Cooling of greenhouse in tropical and sub-tropical climates. *Acta Horticulture* 257, 93–101
- Grafiadellis, M., (1986) Development of a passive solar system for heating greenhouses, *Acta Horticulture*, 191, 245–252
- Hamada, Y., Ohtsu, W., Fukai, J., (2003). Thermal response in thermal energy storage material around heat transfer tubes: effect of additives on heat transfer rates. *Solar Energy* 75, 317–328.
- Hazami, M., Kooli, S., Lazaar, M., Farhat, A., Belghith, A., (2005). Performance of a solar storage collector. *Desalination* 183 (1–3), 167–172.
- Jamal, K.A., 1994. Greenhouse cooling in hot countries. *Energy* 19 (11), 1187–1192
- IEA (2004) Biofuels for Transport: An International Perspective. International Energy Agency <http://www.cti2000.it/Bionett/All-2004-004%20IEA%20biofuels%20report.pdf>
- IEA (2014). Tracking New energy progress 2014. http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Tracking_clean_energy_progress_2014.pdf.
- Ieperen VW & Trouwborst G. (2008) The Application of LEDs as Assimilation Light Source in Greenhouse Horticulture: a Simulation Study. *Acta Hort.* 33:1407–1414.
- IRENA (2012). Solar Photovoltaics. *RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES, Vol.1, available from* http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/RE_Technologies_Cost_Analysis-SOLAR_PV.pdf
- Kittas, C., Draoui, B., Boulard, T., (1995). Quantification of the ventilation of a greenhouse with roof opening. *Agriculture and Forest Meteorology* 77, 95–111

- Kittas, C., Bartzanas, T., Jaffarin, A., (2001). Greenhouse evaporative cooling: measurement and data analysis. *Transactions of the ASAE* 44(3), 683–689.
- Kumari, N., Tiwari, G.N., Sodha, M.S., (2003). Modelling of a greenhouse with integrated solar collector for thermal heating. *International Journal of Ambient Energy* 27 (30), 125–136.
- Kurklo A. (1998) Energy storage applications in greenhouses by means of phase change materials (PCMs): a review. *Renew Energy*, 13(1):89–103.
- Lane, G.A., (1980). Low temperature heat storage with phase change materials. *International Journal of Energy Research* 5, 155–160.
- Landsberg, J.J., White, B., Thorpe, M.R., (1979). Computer analysis of the efficacy of evaporative cooling for glasshouses in high energy environments. *Journal of Agricultural Engineering Research* 24, 29–39.
- Li Q & Kubota C. (2009) Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environ Exp Bot.*;67:59–64.
- Malfa, G., Noto, G., Parrini, F., (1992). Greenhouse heating with waste water in mild winter climatic conditions. *Acta Horticulturae* 287, 39–46
- Manna, T., Mahajan, SM (2007). Nanotechnology in the development of photovoltaic cells. In: *Proceedings of the international conference on clean electrical power*, 379-386.
- Massa GD, Kim HH, (2008) Wheeler RM & Mitchell CA. Plant productivity in response to LED lighting. *Hort Science*. 43:1951–1956
- Mercier, I., (1982). Design and operation of a solar passive greenhouse in south-west France. *Proceedings of the International Congress on Energy Conservation and Fishculture*, London, pp. 212–218.
- Mihalakakou, G., Santamouris, M., Asimakopoulos, D., Papanikolaou, N., (1994). Impact of ground cover on the efficiencies of earth-to-air heat exchangers. *Applied Energy* 48 (1), 19–32.
- Mitchell CA, Both A, Bourget CM, Kubota C, Lopez RG, Morrow RC & Runkle S (2012). LEDs: The future of greenhouse lighting. *Chronica Horticulture*. 55:6-12.
- Mistriotis, A., Bot, G.P.A., Picuno, P., Scarascia, M., (1997). Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation using computational fluid dynamics. *Agriculture and Forest Meteorology* 85, 217–228
- Morrow RC., (2008), LED lighting in horticulture. *Hort Science*. 43:1947–1950.
- NREL, (1999), Photovoltaics in the classroom workshop. http://www.nrel.gov/education/pdfs/educational_resources/high_school/teachers_guide_pv.pdf
- Nguyen, M., Arason, S., Gissurason, M., Pallson, P.G., (2015) Uses of geothermal energy in food and agriculture, Opportunities for developed countries, Food and Agriculture Organization of United Nations, <http://www.fao.org/3/a-i4233e.pdf>

Okushima, L., Sase, S., Nara, M., (1989). A support system for natural ventilation design of greenhouses based on computational aerodynamics. *Acta Horticulturae* 248, 129–136.

Olle M & Virsile A. (2013) The effect of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agric Food Sci.*;22:223-234.

Opdam JG, Schoonderbeek GG, Heller EB & Gelder A. (2005) Closed greenhouse: a starting point for sustainable entrepreneurship in horticulture. *Acta Hort.* 691:517-524

Papadakis, G., Mermier, M., Meneses, F., Boulard, T., (1996). Measurement and analysis of air exchange rates in a greenhouse with continuous roof and side opening. *Journal of Agricultural Engineering Research* 63, 219–228.

PV Education, The photovoltaic effect. <http://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/photovoltaic-effect>

Raghu, S. et al. (2006) ECOLOGY: Adding biofuels to the invasive species fire? *Science* 313, 1742

Raupach, M.R. et al. (2007) Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 104, 10288–10293

Sabine, C.L. et al. (2004) Current status and past trends of the carbon cycle. pp. 17-44, Island, ftp://ftp.lalinet.org/Publications_Paulo_Artaxo/2003/Current%20Status%20and%20Past%20Trends%20of%20the%20Global%20Carbon%20Cycle%20SCOPE_Chapter%201%20Artaxo%202003.pdf

Santamouris, M., Balaras, C.A., Dascalaki, E., Vallindras, M., (1994). Passive solar agricultural greenhouses: a worldwide classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes. *Solar Energy* 53 (5), 411–426.

Sethi, V.P., Sharma, S.K., 2007. Thermal modeling of a greenhouse integrated to an aquifer coupled cavity flow heat exchanger system. *Solar Energy Journal* 81 (6), 723–741

Sethi, Sharma SK. 2008 Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Sol Energy* 82:832–59.

Silva, A.M., Rosa, R., 1985. Means of cooling greenhouse in a hot climate. *Acta Horticulture* 174, 81–86.

SUNPOWER www.sunpower.com

Tennessen DJ, Singsaas EL & Sharkey TD. (1994) Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. *Photosynth Res.* 39:85–92.

.Union of concerned Scientists, Farming the Wind: Wind Power and Agriculture, http://www.ucsusa.org/clean_energy/smart-energy-solutions/increase-renewables/farming-the-wind-wind-power.html#.VTNLGyHtmko

VON Roedern B, U. H. 2005. The role of polycrystalline thin film PV technologies in competitive PV modules markets. 31st IEEE photovoltaic specialists conference

Von Zabeltitz, 1986 Greenhouse heating with solar energy, *Energy Agriculture*, 5, 111-120

Yeh N & Chung JP.(2009) High-brightness LEDs – energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. *Renew SustEnergRev*.13:2175–2180.

Wang, Y., Tian, W., Liu, Y., Yang, Z., Zhu, L., Zhang, J., Yuan, B., 2005. System modeling of greenhouse type solar water heater. *International Solar Energy Conference*, pp. 395–401

Wenham, S., Green, M.A,Watt, M.E, Corkish, R. 2007. Applied photovoltaics. *Earthscan*;

Willits, D.H., 1993. Greenhouse cooling. *North Carolina Flowers Growers Bulletin* 38 (2), 15–18

WORLDWATCH INSTITUTE 2009. State of the World – Into a Warming World 2009.
http://www.worldwatch.org/files/pdf/SOW09_chap3.pdf.