

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΚΑΛΥΨΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΩΝ
ΑΝΑΓΚΩΝ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΑΕΡΙΣΜΟ ΕΝΟΣ
ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ
ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΖΕΡΒΑ ΑΘΗΝΑ (Α.Μ. 4799)

ΡΟΔΙΤΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ (Α.Μ. 4818)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:

ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΘΕΟΔΩΡΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στην κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών ενός υφιστάμενου θερμοκηπίου με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η Ελλάδα διαθέτει πλούσιο εκμεταλλεύσιμο δυναμικό σε Α.Π.Ε. έτσι μπορούμε να προχωρήσουμε σε αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται για θέρμανση στον αγροτικό τομέα για να επιτύχουμε εξοικονόμηση ενέργειας, προστασία του περιβάλλοντος και ανεξαρτητοποίηση από ενεργειακές πηγές του εξωτερικού.

Στην αρχή της Πτυχιακής Εργασίας γίνεται αναφορά στα είδη των θερμοκηπίων εν συνεχεία γίνεται ανάλυση των Α.Π.Ε. έπειτα προχωράμε στον υπολογισμό των συνολικών θερμικών απωλειών του θερμοκηπίου. Έπειτα μελετάται η αντικατάσταση του συμβατικού λέβητα θέρμανσης με λέβητα βιομάζας. Τέλος γίνεται ο υπολογισμός των ενεργειακών αναγκών και παρατίθεται η μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος το οποίο θα αντικαταστήσει το συμβατικό σύστημα θέρμανσης που χρησιμοποιείται και το οποίο λειτουργεί με πετρέλαιο θέρμανσης το κόστος του οποίου είναι απαγορευτικό.

Ευχαριστούμε θερμά τον υπεύθυνο της Πτυχιακής Εργασίας μας κ. Ιωάννη Καλογήρου, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολογίας και τον κ. Νικόλαο Θεοδωρόπουλο, πρώην Εργαστηριακό Συνεργάτη του Τμήματος Μηχανολογίας για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφεραν καθ όλη τη διάρκεια της μελέτης και της συγγραφής της παρούσας. Θερμές ευχαριστίες οφείλουμε και στον κ. Θεοφάνη Πετρόπουλο ιδιοκτήτη του θερμοκηπίου της παρούσας εργασίας για την ξενάγηση στις εγκαταστάσεις του.

Οι σπουδαστές

Ζέρβα Αθηνά

&

Ροδίτης Ιωάννης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στην κάλυψη των ηλεκτρικών και θερμικών αναγκών ενός θερμοκηπίου που βρίσκεται στην Πόλη της Πάτρας και συγκεκριμένα στην περιοχή Παραλίας Πατρών με χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Για την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών μελετήθηκε η εγκατάσταση Αυτόνομου Φωτοβολταϊκού Συστήματος, ενώ για τις θερμικές ανάγκες μελετήθηκε η αντικατάσταση του υπάρχοντος συστήματος θέρμανσης το οποίο περιλαμβάνει αερολέβητα πετρελαίου θέρμανσης με αερολέβητα βιομάζας και συγκεκριμένα ελαιοπυρήνα.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε επτά Κεφάλαια. Στο πρώτο Κεφάλαιο γίνεται ιστορική αναφορά στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις από την εμφάνιση τους μέχρι και σήμερα, των ειδών των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων καθώς και των προβλημάτων που υπάρχουν στα θερμοκήπια της χώρας μας.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο αναλύονται τα είδη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και οι εφαρμογές τους. Αναλύονται τα είδη των φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς και οι συνθήκες ανάπτυξης στον Ελλαδικό χώρο.

Στο τρίτο Κεφάλαιο περιγράφεται το θερμοκήπιο στο οποίο βασίστηκε η μελέτη. Αναλύεται ο εξοπλισμός του στον οποίο περιλαμβάνεται ο αερολέβητας, οι ανεμιστήρες, ο φωτισμός καθώς και το κόστος λειτουργίας τους.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο γίνεται ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών του θερμοκηπίου. Συγκεκριμένα υπολογίζονται οι απώλειες θερμότητας λόγω διαφυγών του αέρα από και προς το θερμοκήπιο, οι συνδυασμένες απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας και οι απώλειες θερμότητας με αγωγιμότητα προς το έδαφος.

Στο πέμπτο Κεφάλαιο υπολογίζουμε τις ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου σε θέρμανση, σε εξαερισμό, σε φωτισμό και προτείνουμε την αντικατάσταση του αερολέβητα πετρελαίου με αερολέβητα βιομάζας.

Στο έκτο Κεφάλαιο γίνεται ο σχεδιασμός του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος το οποίο θα καλύψει τις ηλεκτρικές και θερμικές ανάγκες του συγκεκριμένου θερμοκηπίου. Επίσης επιλέξαμε μια βοηθητική πηγή για την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση βλάβης του συστήματος καθώς και την κάλυψη των φορτίων αιχμής.

Στο έβδομο Κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις και γίνεται οικονομική ανάλυση της επένδυσης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

1.1	Εισαγωγή στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις	1
1.2	Η διαδρομή των θερμοκηπίων με τη πάροδο των χρόνων	1
1.3	Σε τι χρησιμεύουν οι θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις	4
1.3.1	Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα των θερμοκηπίων στην Ελλάδα.....	4
1.4	Εκλογή τοποθεσίας αγκύρωσης θερμοκηπίου	5
1.5	Κατηγοριοποίηση θερμοκηπίων σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές Προδιαγραφές ..	5
1.5.1	Κατηγοριοποίηση θερμοκηπίων με βάση την ποιότητα κατασκευής.....	6
1.6	Είδη θερμοκηπίων σύμφωνα με το σχήμα της κατασκευαστικής τους μονάδας	7
1.6.1	Είδη θερμοκηπίων σύμφωνα με τα υλικά σκελετού που το απαρτίζουν	10
1.6.2	Είδη θερμοκηπίων βάση των υλικών κάλυψης.....	12
1.6.3	Είδη θερμοκηπίων με βάση τη σύνθεση τους.....	15
1.6.4	Είδη θερμοκηπίων σύμφωνα με το διαθέσιμο σύστημα εξαερισμού	15
1.7	Η ανάπτυξη των θερμοκηπίων στην Ελλάδα και στον Κόσμο.....	17
1.8	Προβλήματα των θερμοκηπίων στην Ελλάδα	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1	Εισαγωγή.....	20
2.2	Είδη Ήπιων Μορφών Ενέργειας.....	20
2.2.1	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ	21
2.2.2	ΑΠΕ & Αγροτικές Περιοχές.....	22
2.3	Ηλιακή Ενέργεια	23
2.4	Φωτοβολταϊκό Σύστημα	24
2.4.1	Ιστορική αναδρομή στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο	24
2.4.2	Τα πρώτα φωτοβολταϊκά συστήματα	25
2.4.3	Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών	25
2.4.4	Βαθμός Απόδοσης	28
2.4.5	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Φ/Β.....	29
2.4.6	Δομή ενός Φ/Β συστήματος	29
2.4.7	Βασικές μονάδες Φ/Β	30
2.4.8	Αρχή λειτουργίας Φ/Β	31
2.4.9	Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων	32
2.4.10	Η κατάσταση των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα.....	34

2.5	Βιομάζα.....	34
2.5.1	Η Βιομάζα σήμερα.....	35
2.5.2	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα	36
2.5.3	Η Βιομάζα στην Ελλάδα.....	36
2.5.4	Ενεργειακή αξιοποίηση - Εφαρμογές της Βιομάζας.....	38
2.6	Γεωθερμία	39
2.6.1	Εφαρμογές της Γεωθερμίας	40
2.7	Υδραυλική Ενέργεια	40
2.7.1	Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Υδροηλεκτρικής Ενέργειας	41
2.8	Αιολική Ενέργεια	42
2.8.1	Αιολικά Πάρκα	43
2.8.2	Είδη και τρόπος λειτουργίας Ανεμογεννητριών	43
2.8.3	Πλεονεκτήματα Ανεμογεννητριών	45
2.8.4	Μειονεκτήματα Ανεμογεννητριών	45
2.8.5	Η κατάσταση στην Ελλάδα.....	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

3.1	Χαρακτηριστικά Στοιχεία Θερμοκηπίου	48
3.2	Βασικός Εξοπλισμός Θερμοκηπίου	51
3.2.1	Θέρμανση θερμοκηπίου.....	51
3.2.1.1	Υπολογισμός κατανάλωσης πετρελαίου.....	52
3.2.2	Εξαερισμός θερμοκηπίου.....	53
3.2.3	Φωτισμός θερμοκηπίου	54
3.2.4	Πότισμα θερμοκηπίου.....	54
3.2.5	Δροσισμός θερμοκηπίου	56
3.3	Εγκατεστημένη ισχύς θερμοκηπίου πριν τη μελέτη	58
3.3.1	Κόστος θερμοκηπίου σε ηλεκτρικό ρεύμα	58

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

4.1	Βασικοί Μηχανισμοί Μετάδοσης Θερμότητας	60
4.1.1	Αγωγή	60
4.1.2	Συναγωγή	61
4.1.3	Συνδυασμός Αγωγής και Συναγωγής.....	62
4.1.4	Ακτινοβολία	62
4.2	Παράμετροι για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών	64
4.2.1	Συντελεστές Συναγωγής	65
4.2.2	Συντελεστής Εκπομπής.....	66
4.2.3	Θερμοκρασία Ουρανού.....	66
4.2.4	Αριθμός Εναλλαγών του Αέρα (n).....	68
4.3	Υπολογισμός γεωμετρικών στοιχείων θερμοκηπίου.....	69
4.4	Υπολογισμός συνολικών θερμικών απωλειών θερμοκηπίου.....	72

4.4.1 Απώλειες Θερμότητας Λόγω Διαφυγών του Αέρα από και προς το Θερμοκήπιο.....	72
4.4.2 Συνδυασμένες Απώλειες Θερμότητας από το Κάλυμμα λόγω Συναγωγής και Ακτινοβολίας	73
4.4.3 Απώλειες Θερμότητας με Αγωγιμότητα προς το Έδαφος.....	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

5.1 Εισαγωγή.....	76
5.2 Συστήματα Θέρμανσης Θερμοκηπίων.....	77
5.3 Κεντρικά Συστήματα Θέρμανσης.....	77
5.4 Θέρμανση με Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	79
5.5 Φυσικός και Τεχνητός Φωτισμός.....	81
5.6 Αερισμός	82
5.7 Φυσικός Εξαερισμός.....	83
5.8 Δυναμικός Εξαερισμός	86
5.9 Υπολογισμός Ενεργειακών Αναγκών του Θερμοκηπίου	88
5.9.1 Ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου για θέρμανση σε kWh.....	88
5.9.1.1 Υπολογισμός κατανάλωσης πυρηνόξυλου	90
5.9.2 Ενεργειακές ανάγκες θερμοκηπίου για εξαερισμό σε kWh.....	91
5.9.3 Ενεργειακές ανάγκες θερμοκηπίου για φωτισμό σε kWh	91

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗ ΠΑΤΡΑΣ

6.1 Υπολογισμός των Ηλεκτρικών Καταναλώσεων του Θερμοκηπίου	94
6.2 Προσδιορισμός Κλίσης PV- πλαισίων.....	96
6.3 Χρόνος Αυτοδυναμίας του Συστήματος.....	97
6.3.1 Διόρθωση των τιμών των φορτίων εξαιτίας των απωλειών	98
6.4 Επιλογή PV-πλαισίων που θα εγκατασταθούν	99
6.4.1 Υπολογισμός και οργάνωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	101
6.5 Επιλογή Συσσωρευτών	102
6.5.1 Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης	104
6.6 Επιλογή Μετατροπέα DC/AC.....	105
6.7 Υπολογισμός της Έκτασης της Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης.....	106
6.8 Επιλογή Βοηθητικής Πηγής.....	108
6.8.1 Τελική μορφή εγκατάστασης.....	108
6.9 Κόστος Εγκατάστασης.....	109

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	113
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	117
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	120
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	122
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	124
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	128

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Q_{cond}	αγωγή, [W]
k	θερμική αγωγιμότητα του υλικού η οποία αποτελεί το μέτρο της ικανότητας ενός υλικού να άγει θερμότητα, [$W m^{-1} K^{-1}$]
A	η επιφάνεια μέσω της οποίας άγεται η θερμότητα, [m^2]
L	το πάχος του υλικού, [m]
ΔT	η διαφορά θερμοκρασίας στις πλευρές του υλικού, [K]
Q_{conv}	συναγωγή, [W]
T_{∞}	θερμοκρασία του ρευστού αρκετά μακριά από την επιφάνεια, [K]
T_s	θερμοκρασία επιφάνειας, [K]
h	συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μέσω συναγωγής, [$W m^{-2} K^{-1}$]
Q_c	απώλειες θερμότητας, [W]
A_c	επιφάνεια καλύμματος, [m^2]
T_i-T_o	η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος, [K]
U	ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του καλύμματος, [$W m^{-2} K^{-1}$]
h_{co}	συντελεστής συναγωγής, [$W m^{-2} K^{-4}$]
u	ταχύτητα ανέμου, [$m s^{-1}$]
ϵ_c	συντελεστή εκπομπής εξωτερικής επιφάνειας
ϵ_p	συντελεστής εκπομπής των φυτών
T_{sky}	θερμοκρασία ουρανού, [K]
T_{α}	απόλυτη θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου, [K]
N	αριθμός εναλλαγών του αέρα
r	ακτίνα τόξου, [m]

Π_K	πλάτος κόλπου, [m]
H_K	ύψος κόλπου ή θερμοκηπίου, [m]
Y	ύψος υδρορροής, [m]
ϕ	γωνία τόξου, [rad]
F_{Π}	παράπλευρη επιφάνεια του θερμοκηπίου, [m ²]
M_K	μήκος κόλπου, [m]
z	αριθμός κόλπων
F_{OP}	επιφάνεια οροφής, [m ²]
V_{Π}	όγκο ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου θερμοκηπίου, [m ³]
V_{OP}	όγκος οροφής θερμοκηπίου, [m ³]
V	συνολικός όγκος θερμοκηπίου, [m ³]
Q_{total}	συνολικές ενεργειακές απώλειες, [W]
Q_1	ενεργειακές απώλειες λόγω διαφυγών του αέρα, [W]
C_{pa}	ειδική θερμότητα αέρα, [J Kg ⁻¹ K ⁻¹]
ρ_a	πυκνότητα αέρα, [Kg m ⁻³]
Q_2	συνδυασμένες απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας, [W]
Q_{2_conv}	απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα λόγω συναγωγής, [W]
T_c	θερμοκρασία καλύμματος του θερμοκηπίου, [K]
Q_{2_rad}	απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα λόγω ακτινοβολίας, [W]
σ	σταθερά Stefan-Boltzmann = $5.6705 \cdot 10^{-8}$, [W m ⁻² K ⁻⁴]
Q_3	απώλειες θερμότητας με αγωγιμότητα προς το έδαφος, [W]
K_p	ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το έδαφος του θερμοκηπίου, [W m ⁻² K ⁻¹]
A_p	εμβαδόν εδάφους του θερμοκηπίου, [m ²]
T_p	θερμοκρασία φυτού, [K]

T_{in}	μέση θερμοκρασία θερμοκηπιακών ειδών, [K]
Q	ενεργειακές ανάγκες θερμοκηπίου σε θέρμανση, [W]
K	συντελεστής θερμοπερατότητας του καλύμματος, [W/m ² °C]
t	χρόνος, [h]
d	ημέρες
M	μήνας
P	ισχύς, [W]
P_m	μέση ετήσια ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας, [W _p]
PSH	χρονική διάρκεια πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας, [h]
T_c	θερμοκρασίας λειτουργίας, [°C]
T_a	μέση θερμοκρασία αέρα, [°C]
$NOCT$	ονομαστική τιμή θερμοκρασίας λειτουργίας, [°C]
I_T	ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας, [kW/m ²]
FF	συντελεστής πλήρωσης
i_m	ονομαστικό ρεύμα πλαισίου, [A]
V_m	ονομαστική τάση, [V]
i_{sc}	ρεύμα βραχυκύκλωσης, [A]
V_{oc}	τάση διαστασιοποίησης, [V]
$V_{max,inv}$	μέγιστη τάση του inverter, [V]
$V_{oc,pv}$	τάση διαστασιοποίησης των πλαισίων, [V]
E	ικανότητα αποθήκευσης συσσωρευτών, [kWh]
C_N	ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών, [Ah]
S_π	εμβαδόν πλαισίων, [m ²]
S_K	συνολική επιφάνεια των πάνελ, [m ²]
S_o	οριζόντια προβολή πλαισίων, [m ²]

S_e εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης γης, [m²]

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΠΕ	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
ΥΑΑ&Τ	Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων
ΚΑΠΕ	Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
AC	Εναλλασσόμενο Ρεύμα
DC	Συνεχές Ρεύμα
Φ/Β	Φωτοβολταϊκά
ΔΕΗ	Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
PE	Πολυαιθυλένιο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Το θερμοκήπιο ορίζεται σαν ένα μέσο παραγωγής και ανάπτυξης των φυτών και έχει σαν στόχο τη βελτίωση του μικροκλίματος που επικρατεί στο θερμοκήπιο για αποδοτικότερη ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών (Μαυρογιαννόπουλος, 2001). Ως μικροκλίμα ορίζεται το σύνολο των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν σε ένα ομοιογενή χώρο περιορισμένης έκτασης κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Τα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται για την παραγωγή προϊόντων εκτός εποχής για ερευνητικούς λόγους, αλλά και για εμπορικούς σκοπούς, όπως η αύξηση του κέρδους λόγω της μειωμένης προσφοράς του προϊόντος τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Ο σκελετός τους είναι κατασκευασμένος από ξύλο ή χάλυβα και καλύπτονται από γυαλί ή εύκαμπτα φύλλα πλαστικού, έτσι αλλάζει σημαντικά το περιβάλλον της καλλιέργειας. Το πιο απλό και άμεσο αποτέλεσμα είναι η μείωση της ταχύτητας του ανέμου συγκριτικά με εκείνη στον αγρό.

Στα θερμοκήπια ειδικότερα, οι κλιματικοί παράγοντες που επηρεάζονται και τροποποιούνται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των φυτών είναι κυρίως η θερμοκρασία (μέσω θέρμανσης, εξαερισμού, σκίασης κλπ.) και δευτερευόντως η ατμοσφαιρική υγρασία και η διάρκεια φωτισμού (φωτοπερίοδος). Παράλληλα, μέσα στο χώρο των θερμοκηπίων καθίσταται επιπλέον δυνατή και η τροποποίηση της συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα καθώς και η ένταση του φωτισμού. Η ρύθμιση αυτών των εσωτερικών συνθηκών λειτουργίας του θερμοκηπίου απαιτεί τον κατάλληλο εξοπλισμό. Στον απαραίτητο εξοπλισμό ενός σύγχρονου θερμοκηπίου περιλαμβάνονται το σύστημα θέρμανσης, το σύστημα αερισμού και ένα σύστημα ρύθμισης της σχετικής υγρασίας του χώρου.

1.2 Η ΔΙΑΔΡΟΜΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΔΟ ΤΩΝ ΧΡΟΝΩΝ

Οι πρώτες υποτυπώδεις θερμοκηπιακές κατασκευές χρονολογούνται γύρω στο 7000 π.χ. στις τότε ακμάζουσες περιοχές της Μεσοποταμίας και της κοιλάδας του Νείλου, καθώς βέβαια στην Ελλάδα και στην Ρώμη. Συγγραφείς του 5^{ου} αιώνα π.χ. όπως ο Πλάτωνας αναφέρουν τους περίφημους κήπους του Άδωνη όπου αναπτύσσονταν φυτά με ταχύτατο ρυθμό σε ειδικούς χώρους προστατευμένους από το κρύο.

Ένα από τα πιο γνωστά θερμοκήπια κατασκευάστηκε γύρω στο 30 μ.Χ. για το Ρωμαίο Αυτοκράτορα Τιβέριο. Η εφεύρεση του γυαλιού δεν είχε πραγματοποιηθεί και έτσι η «Ανακλαστικότητα» δημιουργήθηκε επιμελώς από μικροσκοπικά ημιδιαφανή φύλλα μαρμαρυγίας (ορυκτός λίθος). Χρησιμοποιούσαν θερμαινόμενους λάκκους με ημιδιαφανείς πλάκες για τον σχηματισμό των πρώτων αρχέγονων θερμοκηπίων (Γραφιαδέλλης, 1980).



Εικόνα 1.1 : Μαρμαρυγία (ορυκτός λίθος). Υλικό από το οποίο κατασκευάστηκαν τα πρώτα θερμοκήπια, (www.aboutgarden.com)

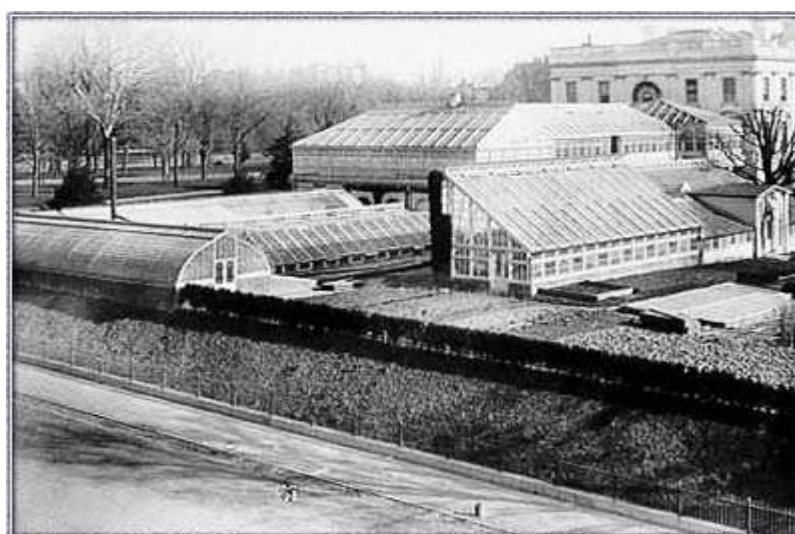
Το 1599 το πρώτο πρακτικό θερμοκήπιο σχεδιάστηκε από έναν Γάλλο βοτανολόγο τον Jules Charles. Κατασκευάστηκε στο Λέιντεν της Ολλανδίας και χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την καλλιέργεια τροπικών φυτών για ιατρικούς λόγους. Η σύλληψη της ιδέας είχε πραγματοποιηθεί και τα θερμοκήπια άρχισαν να εξαπλώνονται σε ολόκληρη την Ευρώπη. Ένα οικοδόμημα το οποίο χτίστηκε από τον Solauan de Caus το 1619 στο Heidelberg περιείχε δέντρα από πορτοκαλιές. Το 17^ο αιώνα ξεκίνησαν οι πειραματισμοί με τοιχώματα από γυαλί υπό γωνία και σωλήνες θέρμανσης για την βελτίωση της αποτελεσματικότητας των θερμοκηπίων. Νέες τεχνολογίες και βελτιωμένο γυαλί οδήγησαν σε μεγαλύτερες και περισσότερο περίτεχνες δομές που στέγαζαν φυτά για να ικανοποιούν την όραση της Ευρωπαϊκής Αριστοκρατίας.

Το Παλάτι των Βερσαλλιών ήταν ένα παράδειγμα των περίτεχνων προσπαθειών των Βασιλέων να κατασκευάσουν μεγαλύτερους και περισσότερο θεαματικούς πορτοκαλεώνες. Ο πορτοκαλεώνας των Βερσαλλιών είχε μήκος 500 πόδια (152,4 μέτρα) και ύψος 45 πόδια (13,7 μέτρα). Ήταν προσανατολισμένος προς το νότο για φως και θερμότητα. Παρά την τεχνική αυτών των κατασκευών η Βικτωριανή Εποχή στην Αγγλία αποτέλεσε τον χρυσό αιώνα για το θερμοκήπιο. Το θερμοκήπιο στους Κήπους Kew Gardens στην Αγγλία αποτελεί παράδειγμα Βικτωριανού θερμοκηπίου όπως αυτό φαίνεται στην εικόνα 1.2. Ένα πανομοιότυπο υπάρχει στο Golden gate park στο Σαν Φραντσίσκο αποκαλούμενο ως το θερμοκήπιο των λουλουδιών.



Εικόνα 1.2 : Βικτωριανό θερμοκήπιο κατασκευασμένο το 1842. Έχει μήκος 110 μέτρα, πλάτος 30 μέτρα, και ύψος μεγαλύτερο των 20 μέτρων (www.aboutgarden.com)

Στην Αμερική το πρώτο καταγεγραμμένο θερμοκήπιο κατασκευάστηκε γύρω στο 1737 από τον Άντριου Φανέιλι, έναν πλούσιο έμπορο από τη Βοστώνη και το χρησιμοποίησε για τη καλλιέργεια φρούτων. Τον 18^ο αιώνα εμφανίστηκε η καινοτομία της διαφανής αμφικλινούς στέγης, με τον βόρειο τοίχο να παραμένει κτιστός. Αυτές οι κατασκευές συνέχισαν να βελτιώνονται με την αύξηση των συνεχόμενων επιφανειών γυαλιού, με την χρήση νέων υλικών σκελετού όπως ο σίδηρος, την προσθήκη διαφόρων μηχανισμών όπως αυτών για το άνοιγμα των παραθύρων καθώς διαφόρων εξελιγμένων συστημάτων θέρμανσης. Το 1801 δόθηκε στον Anderson η πρώτη πατέντα για χειροκίνητο μηχανισμό ανοίγματος παραθύρων σε γυάλινο θερμοκήπιο. Το 1816 χρησιμοποιήθηκε ο πρώτος αυτόματος μηχανικός θερμοστάτης για τον εξαερισμό θερμοκηπίου.



Εικόνα 1.3 : Θερμοκήπιο κατασκευασμένο το 1890 στο Λευκό Πύργο των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (www.aboutgarden.com)

Το 1935 ο Αμερικανός Warp κατασκευάζει το πρώτο πλαστικό θερμοκήπιο. Η χρησιμοποίηση αυτών των υλικών έδωσε τη δυνατότητα να κατασκευαστούν φθηνά θερμοκήπια, γεγονός που επέτρεψε τη γρήγορη εξάπλωση τους. Τον 20^ο αιώνα η καλλιέργεια σε θερμοκήπια γίνεται σχεδόν επαγγελματική υπόθεση με ραγδαία ανάπτυξη μετά το 1945. Στην Ελλάδα οι πρώτες γυάλινες θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις έγιναν το 1955 στην Αττική, στη Σύρο, και στην Ερμιονίδα. Από το 1961 που άρχισε η κάλυψη των θερμοκηπίων με μαλακό πλαστικό, όπως πολυαιθυλένιο, παρατηρείται ανάπτυξη στη Λακωνία, στην Κρήτη, στη Σύρο και στη Θεσσαλονίκη. Η χρήση του μαλακού πλαστικού είχε χαμηλό κόστος κατασκευής, γι' αυτό υπήρξε θεαματική ανάπτυξη των εγκαταστάσεων και με τον τρόπο αυτό άρχισε να γίνεται ένας από τους δυναμικούς κλάδους της ελληνικής γεωργίας. Το 1977 μπορούσαν ήδη να ελεγχθούν και να ρυθμιστούν αυτόματα η υγρασία του αέρα, η διαχείριση του νερού, η τεχνητή νέφωση, η θερμοκρασία, ο έλεγχος της ηλιακής ακτινοβολίας, ο φωτισμός, το επίπεδο του CO₂ και πολλοί άλλοι παράγοντες.

Όσον αφορά την χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στα θερμοκήπια ως εναλλακτικοί τρόποι για την εξοικονόμηση συμβατικών ενεργειακών πηγών, έχουν χρησιμοποιηθεί με καλά αποτελέσματα η ηλιακή ενέργεια, η γεωθερμία και η βιομάζα. Η αιολική ενέργεια λόγω υψηλού κόστους εγκατάστασης και συντήρησης έχει χρησιμοποιηθεί λιγότερο ή έχει χρησιμοποιηθεί συμπληρωματικά με κάποια από τις παραπάνω Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

1.3 ΣΕ ΤΙ ΧΡΗΣΙΜΕΥΟΥΝ ΟΙ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ

Η χρήση των θερμοκηπίων εξασφαλίζει στους αγρότες την δυνατότητα ρύθμισης των συνθηκών που επικρατούν, ώστε να αναπτυχθούν τα διάφορα είδη των καλλιεργειών. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία στα θερμοκήπια εξασφαλίζονται τα ακόλουθα:

1. Ύπαρξη χρονοδιαγράμματος στη παραγωγή γεωργικών προϊόντων.
2. Προστασία καλλιεργειών από δυσμενείς καιρικές συνθήκες.
3. Δυνατότητα ρύθμισης των διαφόρων παραγόντων του περιβάλλοντος των φυτών, όπως η υγρασία, η θερμότητα, το οξυγόνο το διοξείδιο του άνθρακα καθώς και το pH χρησιμοποιώντας βέβαια τα κατάλληλα συστήματα.
4. Καλύτερη εφαρμογή φυτοπροστασίας ώστε να αποθαρρύνεται υπερβολική εξάλειψη των εντόμων και των διαφόρων ασθενειών καθώς ελλοχεύει ο κίνδυνος παγίωσης τους (Κυρίτσης & Μαυρογιαννόπουλος, 1996).

1.3.1 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα των θερμοκηπίων στην Ελλάδα

Πλεονεκτήματα

1. Η μεγάλη διάρκεια της ημέρας κατά τους χειμερινούς μήνες.
2. Η αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία κατά τους χειμερινούς μήνες.
3. Η χαμηλή νέφωση που υπάρχει κατά τη διάρκεια του έτους.
4. Το ήπιο κλίμα, καθώς λίγες φορές παρατηρείται καταστροφή των φυτών κατά τη διάρκεια του χειμώνα.
5. Η γεωργική πολιτική του κράτους που ενθάρρυνε την προώθηση των καλλιεργειών αυτών με θέσπιση οικονομικών κινήτρων και την εκτέλεση αρδευτικών και άλλων έργων.

6. Η αύξηση της ζήτησης των θερμοκηπιακών προϊόντων στην εσωτερική αγορά.

Μειονεκτήματα

1. Οι υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν τους καλοκαιρινούς μήνες.
2. Η αλατότητα των εδαφών ορισμένων περιοχών της χώρας μας (Κυρίτσης & Μαυρογιαννόπουλος, 1996).

1.4 ΕΚΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Η θέση του θερμοκηπίου και ο προσανατολισμός του αποτελούν σημαντικά στοιχεία καθώς επηρεάζουν το κόστος θέρμανσης, τη δυνατότητα παραγωγής προϊόντων κατά τους μήνες με τη μικρότερη ηλιοφάνεια, την εξεύρεση εργατικών χεριών, τις δαπάνες μεταφοράς καθώς και τη συχνή εμφάνιση ασθενειών.

Για την εκλογή της θέσης εγκατάστασης του θερμοκηπίου ακολουθείται μια διαδικασία μελέτης της εκάστοτε περιοχής και λαμβάνονται υπόψη μια σειρά από παραμέτρους οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω.

Σημαντικός παράγοντας θεωρείται ο προσανατολισμός του θερμοκηπίου, σαν προσανατολισμό εννοούμε την διεύθυνση του κορφιά του θερμοκηπίου. Έτσι για την εκλογή προσανατολισμού σημαντικό ρόλο παίζει η διεύθυνση του πνέοντος πιο ισχυρού ανέμου, δηλαδή προσανατολίζουμε το θερμοκήπιο παράλληλα προς την διεύθυνση του πιο ισχυρού ανέμου που πνέει στην περιοχή εγκατάστασης.

Ακόμα μας ενδιαφέρει η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που παρατηρείται στην περιοχή εγκατάστασης τα δεδομένα αυτά γίνονται γνωστά από τον πιο κοντινό μετεωρολογικό σταθμό, επίσης μπορούμε να κάνουμε χρήση των ηλιακών χαρτών. Έτσι θα πρέπει να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή φωτεινότητα κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου η διάρκεια της ημέρας είναι μικρή, καθώς και η μείωση των απωλειών θερμότητας, ενώ κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου απαιτείται καλός εξαερισμός.

Η προβλεπόμενη θέση για το θερμοκήπιο πρέπει να είναι αρκετά ευρύχωρη για να το περιβάλλει, προτιμώνται οι πλαγιές με καλή έκθεση προς νότο. Πρέπει να καθορίσουμε όλα τα εμπόδια διαρκή ή εποχιακά στη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας στην εκλεγείσα περιοχή και ιδιαίτερα της νότιας πλευράς του θερμοκηπίου ώστε να αποφεύγονται οι σκιάσεις.

Τέλος τα καλλιεργήσιμα εδάφη πρέπει να είναι βαθιά, καλά στραγγιζόμενα μέσης σύστασης επίσης θεωρείται δεδομένη η δυνατότητα ποτίσματος.

1.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΙΣ ΕΥΡΩΠΑΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Τα θερμοκήπια, σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές (EN13031-1) των οποίων το υλικό κάλυψης δεν συμμεταβάλλεται με τις μεταβολές του σκελετού του θερμοκηπίου (π.χ. υαλόφρακτα) χαρακτηρίζονται ως θερμοκήπια κατηγορίας Α και είναι σχεδιασμένα για διάρκεια οικονομικής ζωής 15 ή 10 ετών και αναφέρονται ως Α15 και Α10 αντίστοιχα. Τα θερμοκήπια των οποίων το υλικό κάλυψης

συμμεταβάλλεται με τις μεταβολές σκελετού του θερμοκηπίου (π.χ. καλυμμένα με φύλλο πολυαιθυλενίου) χαρακτηρίζονται ως θερμοκήπια κατηγορίας B και είναι σχεδιασμένα για διάρκεια οικονομικής ζωής 15 ή 10 ή 5 ετών και αναφέρονται ως B15, B10 και B5 αντίστοιχα. Τα διάφορα θερμοκήπια ταξινομούνται σε κατηγορίες, οι οποίες παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 1.1 : Κατηγορίες θερμοκηπίων σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές (www.agroengineering.org)

Κατηγορία	Ελάχιστη διάρκεια οικονομικής ζωής		
	15 έτη	10 έτη	5 έτη
A	A15	A10	-----
B	B15	B10	B5

Τα τελευταία χρόνια εφαρμόστηκαν αρκετοί νεωτερισμοί στην κατασκευή των θερμοκηπίων, που αφορούσαν κυρίως τη χρησιμοποίηση νέων υλικών κατασκευής, καθώς και τη μείωση του όγκου των σκελετικών στοιχείων. Τα διάφορα θερμοκήπια μπορεί να τα διακρίνει κάποιος ανάλογα με το σχήμα και τις διαστάσεις της βασικής κατασκευαστικής τους μονάδας τα χρησιμοποιούμενα υλικά σκελετού και κάλυψης καθώς και ανάλογα με το σύστημα εξαερισμού που διαθέτουν. Ως βασική κατασκευαστική μονάδα νοείται το μικρότερο πλήρες τμήμα του θερμοκηπίου το οποίο επαναλαμβάνόμενο κατά μήκος και πλάτος σχηματίζει το σύνολο του θερμοκηπίου*.

1.5.1 Κατηγοριοποίηση θερμοκηπίων με βάση την ποιότητα κατασκευής

Στον Ελλαδικό χώρο οι θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις διακρίνονται σε:

- Τυποποιημένες εγκαταστάσεις (δηλαδή αυτές που κατασκευάζονται στον τριτογενή τομέα), οι οποίες αντιπροσωπεύουν ποσοστό της τάξεως του 61% επί του συνόλου των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων. Καλύπτονται από γυαλί ή φύλλο πολυαιθυλενίου, ο σκελετός των οποίων προέρχεται από ξύλο ή μέταλλο.
- Εγκαταστάσεις χωρικού τύπου οι οποίες καλύπτονται από φύλλο πολυαιθυλενίου και διαθέτουν μεταλλικό ή ξύλινο σκελετό και κατασκευάζονται εξολοκλήρου από τους ιδιοκτήτες-καλλιεργητές.

Τέλος χωρίζονται σε θερμαινόμενα ή μη θερμαινόμενα θερμοκήπια εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι μόνο το 24% των θερμοκηπίων διαθέτει κάποιο σύστημα εξασφάλισης της επιθυμητής θερμοκρασίας ανάπτυξης των φυτών κατά την χειμερινή περίοδο που παρατηρούνται πολύ χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της νύχτας (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

* Greenhouse design and construction Part1: Commercial production greenhouses, CEN-European committee for standardization (2001), Bruxelles.

1.6 ΕΙΔΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΣΧΗΜΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΤΟΥΣ ΜΟΝΑΔΑΣ

Τα θερμοκήπια κατασκευάζονται σε διάφορα σχήματα, δύο όμως είναι τα βασικότερα στα οποία στηρίζονται σχεδόν όλα τα άλλα το τοξωτό και το αμφικλινές.

A. Τα τοξωτά θερμοκήπια

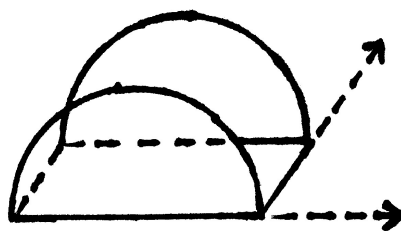
Έχουν απλή κατασκευαστική μονάδα, η οποία καθορίζεται από δυο συνεχόμενα τόξα, όπως φαίνεται παρακάτω.

Πλεονεκτήματα

- Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους επαναλαμβανόμενα ομοιόμορφα τόξα και γι' αυτό είναι εύκολα στη κατασκευή τους.
- Έχουν ελαφρύτερο σκελετό και επομένως είναι φθηνότερα.

Μειονεκτήματα

- Δεν προσφέρουν ευκολίες στην κατασκευή του παθητικού εξαερισμού οροφής.
- Λόγω του χαμηλού ύψους στις δύο άκρες του τόξου δημιουργούνται δυσκολίες στην εργασία του ανθρώπου (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).



Σχήμα 1.1 : Τοξωτό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992)

➤ Τοξωτό απλό θερμοκήπιο

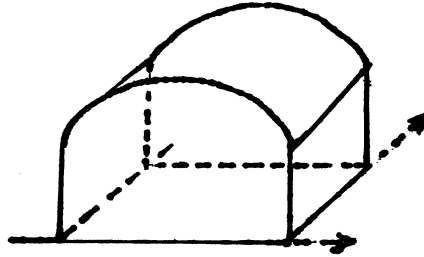
Ονομάζεται το θερμοκήπιο που σχηματίζεται με την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής μονάδας.



Σχήμα 1.2 : Τοξωτό απλό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992)

➤ Τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο

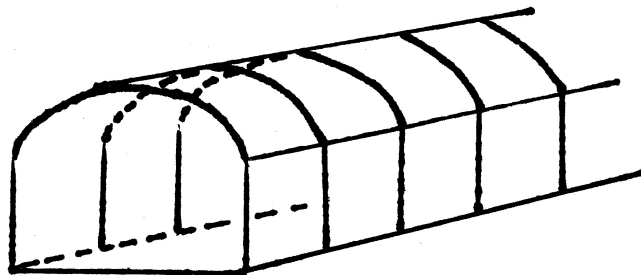
Είναι το θερμοκήπιο του οποίου η απλή κατασκευαστική του μονάδα έχει το παρακάτω σχήμα (ορθοστάτες και τοξωτή στέγη).



Σχήμα 1.3 : Τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992)

➤ Τροποποιημένο τοξωτό απλό θερμοκήπιο

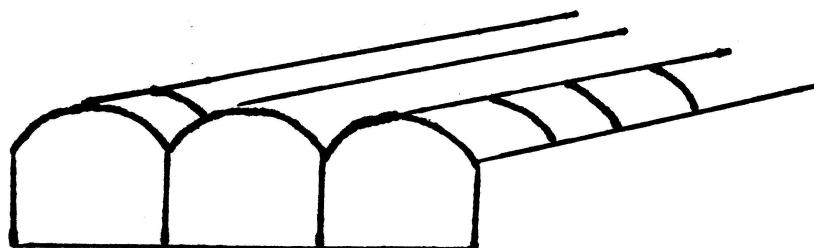
Είναι το θερμοκήπιο που σχηματίζεται από την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής του μονάδας.



Σχήμα 1.4 : Τροποποιημένο τοξωτό απλό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992)

➤ Τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό θερμοκήπιο

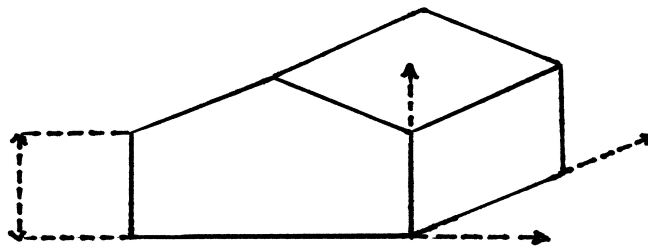
Είναι το θερμοκήπιο που σχηματίζεται από την κατά μήκος και πλάτος επανάληψη της κατασκευαστικής του μονάδας.



Σχήμα 1.5 : Τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992)

B. Τα αμφικλινή θερμοκήπια

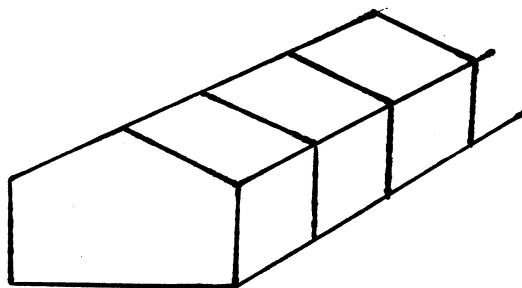
- Τυποποιούνται εύκολα.
- Είναι ευρύχωρα.
- Προσφέρουν δυνατότητες για την κατασκευή καλού παθητικού αερισμού οροφής και πλευρικού.
- Η επιφάνειά τους αποτελείται από επίπεδα και γι' αυτό προσφέρουν τη δυνατότητα χρησιμοποίησης και των υαλοπινάκων στη κάλυψη των θερμοκηπίων.



Σχήμα 1.6 : Αμφικλινές θερμοκήπιο
(Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992)

➤ Αμφικλινές απλό θερμοκήπιο

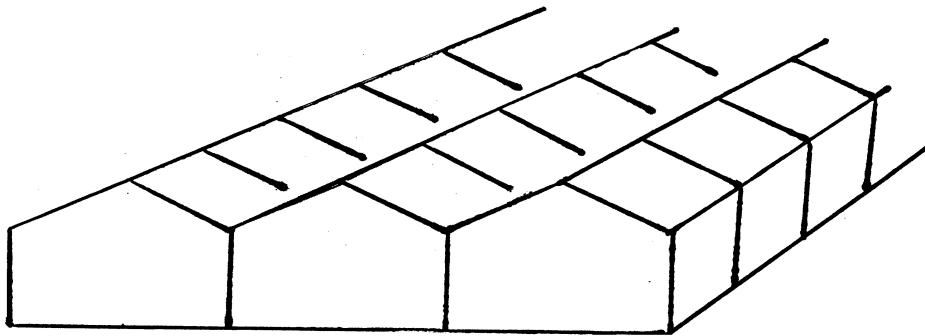
Είναι το θερμοκήπιο που σχηματίζεται από την κατά μήκος επανάληψη της κατασκευαστικής του μονάδας.



Σχήμα 1.7 : Αμφικλινές απλό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992)

➤ Αμφικλινές πολλαπλό θερμοκήπιο

Είναι το θερμοκήπιο που σχηματίζεται από την κατά μήκος και πλάτος επανάληψη της κατασκευαστικής του μονάδας.



Σχήμα 1.8 : Αμφικλινές πολλαπλό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992)

1.6.1 Είδη θερμοκηπίων σύμφωνα με τα υλικά σκελετού που το απαρτίζουν

Ο σκελετός των θερμοκηπίων μελετάται με γνώμονα να επιτρέπει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ενέργειας να μπαίνει στο θερμοκήπιο (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

- **Ξύλινα θερμοκήπια**

Τα πρώτα θερμοκήπια κατασκευάστηκαν από ξύλο και αυτό γιατί βρήκε μεγάλη απήχηση στους καλλιεργητές καθώς μπορούσαν να κάνουν τα δικά τους θερμοκήπια και μάλιστα με πολύ χαμηλό κόστος επένδυσης. Παρά το χαμηλό κόστος κατασκευής, παρουσιάζουν μικρή διάρκεια ζωής σε σχέση με αυτά που κατασκευάζονται από χάλυβα ή αλουμίνιο (περίπου στα 4 χρόνια) καθώς με τη πάροδο του χρόνου τα ξύλα υπόκεινται στρεβλώσεις οι οποίες δημιουργούν προβλήματα στεγανότητας και έτσι απαιτείται αντικατάσταση τους, καθώς δεν παρέχουν καμία μόνωση στον αέρα και στο νερό.



Εικόνα 1.4 : Θερμοκήπιο κατασκευασμένο από ξύλο
(www.aboutgarden.com)

Επιπροσθέτως το ξύλο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πλάτος κατασκευαστικής μονάδας θερμοκηπίου μεγαλύτερο των 6 μέτρων και καθίσταται δύσκολη η διάνοιξη παραθύρων οροφής, έτσι είναι λιγότερο φωτεινά το οποίο είναι αποτρεπτικό για τη φωτοσυνθετική ικανότητα των καλλιεργημένων φυτών.

- **Μεταλλικά θερμοκήπια από γαλβανισμένο χάλυβα**

Τα θερμοκήπια από γαλβανισμένο χάλυβα έχουν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τα ξύλινα είναι περισσότερο φωτεινά άρα επιτυγχάνεται ομαλή λειτουργία της φωτοσυνθετικής ικανότητας των φυτών, και οι μηχανισμοί εξαερισμού αυτοματοποιούνται εύκολα. Τέλος αν ο καλλιεργητής επιθυμεί μετεγκατάσταση του θερμοκηπίου του αυτό είναι δυνατό σε αυτή την κατηγορία θερμοκηπίων.



Εικόνα 1.5 : Θερμοκήπιο κατασκευασμένο από μέταλλο
(www.giardino.it/)

- **Θερμοκήπια από αλουμίνιο**

Τα θερμοκήπια από αλουμίνιο διαθέτουν πολύ ελαφρύτερο σκελετό, δεν υπόκεινται διαβρώσεις έτσι χαρακτηρίζονται από μεγάλη διάρκεια ζωής. Παρουσιάζουν μικρές διατομές με ανακλαστική επιφάνεια που ευνοούν την φωτεινότητα του χώρου. Υπάρχει η δυνατότητα εύκολης αυτοματοποίησης του παθητικού εξαερισμού. Βέβαια είναι ακριβότερη η αγορά και η εγκατάσταση τους σε σχέση με τα μεταλλικά και τα ξύλινα θερμοκήπια.



Εικόνα 1.6 : Θερμοκήπιο κατασκευασμένο από αλουμίνιο
(www.giardino.it)

1.6.2 Είδη θερμοκηπίων βάση των υλικών κάλυψης

Η πιο σημαντική ιδιότητα ενός υλικού κάλυψης είναι η διαπερατότητα της ηλιακής ακτινοβολίας τόσο στην ορατή όσο και στην αόρατη (υπεριώδης- υπέρυθρη). Ο λόγος είναι γιατί όπως γνωρίζουμε οι ακτινοβολίες διαφορετικών μήκους κύματος που προέρχονται από τον ήλιο είναι απαραίτητες για την λειτουργία του φυτού και οι τυχόν απώλειες προκαλούν σημαντικές διαταραχές στην ανάπτυξη των φυτών (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Έχει μεγάλη σημασία το υλικό να παρουσιάζει τη μέγιστη διαφάνεια και διαπερατότητα στις μικρού και μεσαίου μήκους κύματος ακτινοβολίες και την ελάχιστη στις μεγάλου μήκους υπέρυθρες ακτινοβολίες που αποδίδουν θερμότητα. Έτσι όταν οι ακτινοβολίες μικρού και μεσαίου μήκους κύματος μπου μέσα στο θερμοκήπιο, χτυπούν στο έδαφος και τα φυτά απορροφούνται από αυτά και τα θερμαίνουν.

Αυτά με τη σειρά τους εκπέμπουν υπέρυθρη ακτινοβολία (μεγάλου μήκους κύματος) η οποία δεν διαπερνά το υλικό κάλυψης και έτσι η θερμοκρασία του υλικού αυτού ανεβαίνει και διαχέεται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου κατά 50% περίπου και το άλλο 50% στο εξωτερικό περιβάλλον.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των θερμοκηπίων είναι το γυαλί, το διαφανές κάλυμμα από εύκαμπτα φύλλα πλαστικού, και το διαφανές κάλυμμα από φύλλα σκληρού πλαστικού ή πλαστικές πλάκες. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι τύποι αυτών των θερμοκηπίων:

✓ Υαλόφρακτα θερμοκήπια

Το γυαλί είναι σταθερό στις μηχανικές και οπτικές ιδιότητες με την πάροδο του χρόνου σε αντίθεση με τα πλαστικά υλικά. Μειονέκτημα του είναι η μειωμένη στεγανότητα στις θέσεις τοποθέτησης του ο κίνδυνος ραγίσματος του από διαστολή και συστολή του σκελετού, ο κίνδυνος καταστροφής από χαλάζι, απροσεξία ή βανδαλισμούς. Ακόμα το μεγάλο βάρος του σε σχέση με τα πλαστικά. Έτσι ο σκελετός του θερμοκηπίου κατασκευάζεται αρκετά βαρύτερος και όλο το σύνολο

πρέπει να παρουσιάζει μικρή ελαστικότητα γιατί αυξάνεται ο κίνδυνος να ραγίσουν οι υαλοπίνακες.

Διατηρούν πολύ καλή περατότητα στο φως για πάρα πολλά χρόνια, απαιτούν όμως μεγαλύτερο σκελετό μεγαλύτερης αντοχής, άκαμπτο χωρίς να παραμορφώνεται. Μειονεκτούν στο γεγονός ότι συγκρατείται η σκόνη και αυτό συνεπάγεται συνήθως 10% απώλειες φωτός, καθώς και στο ότι θρυμματίζεται αν πέσει χοντρά χαλάζι (Γραφιαδέλλης,1980).



Εικόνα 1.7 : Υαλόφρακτο θερμοκήπιο
(www.giardino.it)

- ✓ **Θερμοκήπια με διαφανές κάλυμμα από εύκαμπτα φύλλα πλαστικού (όπως πολυαιθυλένιο, πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), ή πολυεστέρες).**

Τα τελευταία χρόνια έχει διαδοθεί πολύ η χρήση μερικών πλαστικών φωτοδιαπερατών που έχουν ανάλογη διαφάνεια με το γυαλί. Δυστυχώς όμως τα φυσικοχημικά τους χαρακτηριστικά μεταβάλλονται με το χρόνο λόγω της οξειδωσης τους που οφείλεται στην καταλυτική δράση των υπεριωδών ακτίνων και της θερμοκρασίας (φαινόμενο γήρανσης). Δηλαδή έχουμε σπάσιμο των μορίων που μπορούν να παρομοιαστούν με αλυσίδες(κρίκοι). Έτσι έχουμε τη λεγόμενη φωτοχημική ή θερμική διάσπαση με αποτέλεσμα να ελαττώνονται οι αρχικές ιδιότητες του πλαστικού όπως η διαφάνεια , η ελαστικότητα, και γενικά οι μηχανικές του αντοχές. Έτσι γίνεται αυτό που λέμε το «το πλαστικό κάηκε». Ορισμένα από τα πλαστικά αυτά περιέχουν ένα μίγμα 2-3 ουσιών που λέγονται σταθεροποιητές φωτός που προστατεύουν το πλαστικό από την ηλιακή ακτινοβολία και επιβραδύνουν τη φωτοχημική διάσπαση με αποτέλεσμα την επιμήκυνση της ζωής του πλαστικού (Γκράτσιου,1966).

Το ποσοστό , η ποιότητα και η καλή διασπορά των σταθεροποιητών έχουν μεγάλη σημασία στη διάρκεια ζωής του πλαστικού. Σημειώνουμε εδώ ότι οι σταθεροποιητές φωτός(οι σταθεροποιητές υπεριώδους ακτινοβολίας) δεν αυξάνουν τις αρχικές αντοχές του πλαστικού αλλά απλώς βοηθούν να διατηρηθούν αυτές για περισσότερο χρόνο.

Έτσι χρησιμοποιήθηκε και χρησιμοποιείται φύλλο πολυαιθυλενίου που είναι εύκαμπτο, ελαφρό και φθινό. Η διαπερατότητα του στην ηλιακή ακτινοβολία φθάνει το 70% περίπου αλλά είναι δυστυχώς και αρκετά διαπερατό και στην υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπεται από το εσωτερικό του θερμοκηπίου προς τα έξω με

αποτέλεσμα να έχουμε σημαντική απώλεια ενέργειας .Οι ισχυροί άνεμοι και οι υψηλές θερμοκρασίες το καλοκαίρι προκαλούν σύντομα την φυσικοχημική του υποβάθμιση ακόμα και σε ένα χρόνο. Η μηχανική του αντοχή δεν ξεπερνά τα 2-3 χρόνια και πρέπει να αντικατασταθεί γιατί σκληραίνει και θρυμματίζεται (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Οι πλάκες από PVC πλεονεκτούν από το γυαλί γιατί είναι ελαφρότερες έχουν καλές φυσικοχημικές και μηχανικές ιδιότητες και έχουν επίσης σημαντική αντοχή στην υποβάθμιση λόγω οξείδωσης και διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 10 χρόνια, έχουν εύκολη συντήρηση μειονεκτούν σε ότι αφορά την διαπερατότητα του φωτός και το κόστος.

- ✓ **Θερμοκήπια με διαφανές κάλυμμα από φύλλα σκληρού πλαστικού ή πλαστικές πλάκες (όπως ακρυλικές πλάκες, fiber glass, πολυκαρβονικές πλάκες, πλάκες πολυβινυλοχλωριδίου, PMMA).**

Τα θερμοκήπια αυτά απαιτούν ελαφρύτερο σκελετό, με μεγάλη ποικιλία σχημάτων είναι ανθεκτικά στο χαλάζι και εξασφαλίζουν σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Με τη πάροδο του χρόνου όμως παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερη περατότητα στο φως από αυτή των υαλόφρακτων. Η διάρκεια ζωής τους υπολογίζεται στα 6-8 χρόνια περίπου. Τα θερμοκήπια που καλύπτονται από σκληρά φύλλα πλαστικού είναι πολύ ακριβότερα από αυτά που καλύπτονται με εύκαμπτο πλαστικό και φθηνότερα από τα υαλόφρακτα.



Εικόνα 1.8 : Θερμοκήπιο από Fiber glass
(www.giardino.it)

Τέλος έχουν κατασκευαστεί πλαστικά υλικά που έχουν καλύτερη ικανότητα συγκράτησης του νερού συμπύκνωσης περιλαμβάνουν και προσκολλητικές ουσίες οι οποίες διευκολύνουν την διαρροή και όχι την απόσπαση πολύ μικρών σταγόνων οι οποίες σχηματίζονται στην εσωτερική επιφάνεια των θερμοκηπίων.

1.6.3 Είδη θερμοκηπίων με βάση τη σύνθεση τους

➤ Απλά θερμοκήπια

Πλεονεκτήματα

- Τα απλής γραμμής θερμοκήπια επιτρέπουν μεγαλύτερη διείσδυση του φωτός στο εσωτερικό τους, γιατί δέχονται περισσότερο διάχυτο φωτισμό. Όταν τοποθετούνται πολλά θερμοκήπια σε μια περιοχή η μεταξύ τους απόσταση να είναι μεγαλύτερη από τα 2/3 του ύψους τους.
- Έχουν αποτελεσματικό φυσικό αερισμό .
- Είναι ασφαλή για τις χιονόπληκτες περιοχές, επειδή το χιόνι απομακρύνεται γρήγορα από την οροφή τους.

Μειονεκτήματα

- Η μικρότερη αξιοποίηση της έκτασης αγροτικών εκτάσεων.
- Οι μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας κατά την θέρμανση.

➤ Πολλαπλά ή σύνθετα θερμοκήπια

Τα πολλαπλά θερμοκήπια προέρχονται από απλά που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους κατά μήκος. Με την ένωση των πλευρών της οροφής των θερμοκηπίων, σχηματίζεται η υδροροφή, απ' όπου απομακρύνεται το νερό της βροχής ή του λιωμένου χιονιού. Το κατασκευαστικό στοιχείο σε αυτά επαναλαμβάνεται κατά μήκος και πλάτος.

Τα σύνθετα θερμοκήπια:

- Έχουν μεγάλο συνεχόμενο χώρο, κατάλληλο για την εκμηχάνιση.
- Παρουσιάζουν οικονομία στη θέρμανση, διότι έχουν μικρότερη επιφάνεια καλύμματος ανά μονάδα επιφάνειας του εδάφους.
- Όταν καλύπτουν μεγάλη έκταση δεν έχουν καλό παθητικό αερισμό, γι' αυτό σε θερμές περιοχές θα πρέπει να αποφεύγονται σύνθετα θερμοκήπια πολύ μεγάλης έκτασης.
- Στην οροφή τους συγκρατείται το χιόνι, γι' αυτό σε περιοχές με πρόβλημα χιονοπτώσεων θα πρέπει να προβλεφθεί ασφαλές σύστημα θέρμανσης, ώστε να βοηθά στο λιώσιμο του χιονιού.

1.6.4 Είδη θερμοκηπίων σύμφωνα με το διαθέσιμο σύστημα εξαερισμού

Τα θερμοκήπια βάσει του διαθέσιμου συστήματος εξαερισμού χωρίζονται σε θερμοκήπια με φυσικό εξαερισμό και σε θερμοκήπια με δυναμικό εξαναγκασμό.

1. Θερμοκήπια με φυσικό εξαερισμό

Ο εξαερισμός σε αυτά τα θερμοκήπια επιτυγχάνεται από τα παράθυρα, πλευρικά και οροφής (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).



Εικόνα 1.9 : Θερμοκήπιο με ανοίγματα οροφής και πλαϊνά
(www.agroengineering.org)

Πλεονεκτήματα

- 1) Θερμοκήπια με φυσικό εξαερισμό δεν εξαρτώνται από την ύπαρξη ηλεκτρικής ενέργειας.
- 2) Δεν απαιτείται κάποιου είδους ενέργεια για τη λειτουργία του.
- 3) Οποιαδήποτε βλάβη στο σύστημα μπορεί να αποκατασταθεί και από τον ίδιο το καλλιεργητή.

Μειονεκτήματα

- 1) Για τη σωστή λειτουργία του συστήματος φυσικού εξαερισμού απαιτούνται κατασκευές θερμοκηπίου μεγάλου ύψους.
- 2) Είναι αδύνατη η επίτευξη χαμηλών θερμοκρασιών εντός του θερμοκηπίου όταν επικρατεί άπνοια.

Τα θερμοκήπια στα οποία εφαρμόζεται παθητικός εξαερισμός διακρίνονται σε:

- Θερμοκήπια με πλευρικά ανοίγματα. Το κόστος των θερμοκηπίων αυτών είναι μικρότερο αλλά εάν το πλάτος του υπερβαίνει τα 16m δεν εξαερίζονται ικανοποιητικά, ιδιαίτερα σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου.
- Θερμοκήπια με ανοίγματα πλευρικά και συνεχόμενα οροφής. Το κόστος εδώ είναι αυξημένο αλλά ο χώρος τους εξαερίζεται πολύ καλύτερα από τα παραπάνω.

2. Θερμοκήπια με δυναμικό εξαερισμό

Ο εξαερισμός στα θερμοκήπια αυτά γίνεται με δυναμικά μέσα (εξαεριστήρες).

Πλεονεκτήματα

- 1) Παρέχουν ικανοποιητική ανανέωση του αέρα σε θερμοκήπια όπου καθίσταται τεχνικά και οικονομικά δύσκολη η κατασκευή συστήματος παθητικού εξαερισμού.
- 2) Παρέχουν ικανοποιητική ανανέωση του αέρα του θερμοκηπίου ακόμα και όταν επικρατεί άπνοια.
- 3) Απαιτούν θερμοκήπια μικρότερου όγκου και με μικρότερες απώλειες ενέργειας κατά τη διάρκεια της περιόδου θέρμανσης.

- 4) Εδώ μπορεί να λειτουργήσει σύστημα δροσισμού (με εξάτμιση νερού), ώστε η θερμοκρασία του χώρου να μπορεί να μειωθεί κάτω της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα.

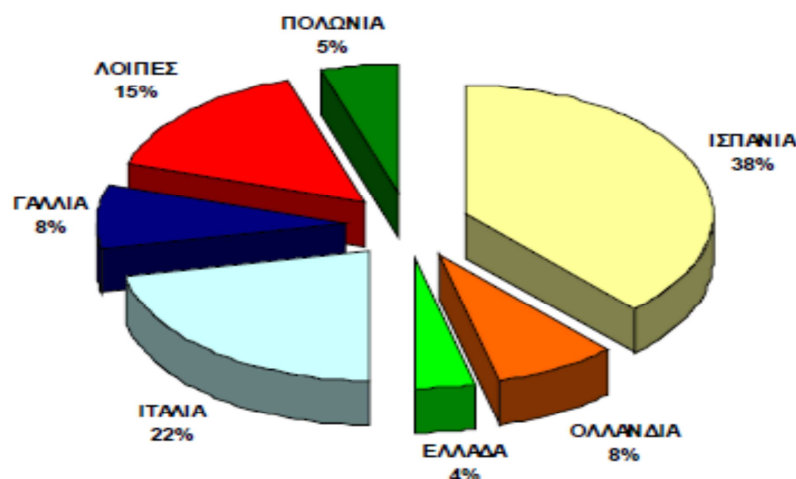
Μειονεκτήματα

- 1) Η λειτουργία του δυναμικού εξαερισμού καταναλίσκει σημαντικές ποσότητες ενέργειας κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου.
- 2) Όταν δεν υπάρχει σύστημα δροσισμού μειώνει σημαντικά τη σχετική υγρασία του χώρου του θερμοκηπίου, με δυσμενείς επιπτώσεις σε ορισμένα φυτά.
- 3) Δεν είναι δυνατόν να τοποθετηθεί σε περιοχές όπου δεν υπάρχει ηλεκτρική ενέργεια.
- 4) Δεν εγκαθίσταται σε περιοχές όπου μια ζημιά στο σύστημα του δυναμικού εξαερισμού δεν μπορεί να επισκευασθεί σύντομα γιατί υπάρχει κίνδυνος καταστροφής της φυτείας.

1.7 Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΚΟΣΜΟ

Η τεχνολογία των θερμοκηπίων που εφαρμόζεται ανά τον κόσμο εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην εκάστοτε περιοχή εγκατάστασης, από την ισχύουσα οικονομική κατάσταση, από την δυνατότητα εισαγωγής καινοτομιών και τεχνολογικών επιτευγμάτων καθώς και από τα είδη τα οποία ευδοκιμούν εκεί.

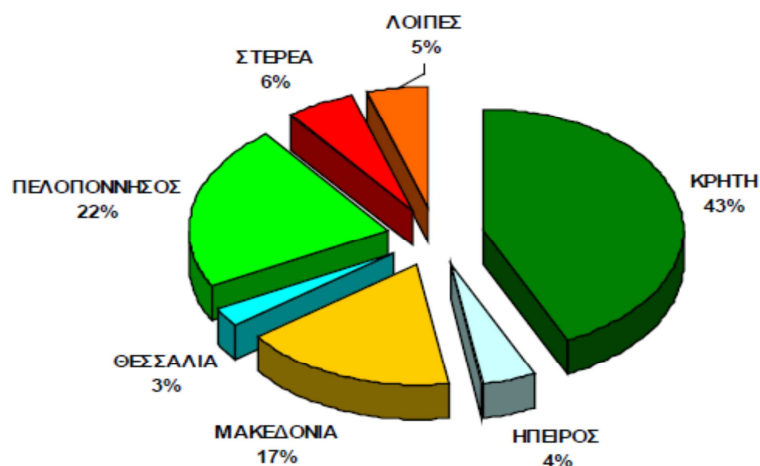
Η παγκόσμια έκταση των θερμοκηπίων ανέρχόταν το 2002 σε 2.800.000 στρέμματα. Οι εκτάσεις οι οποίες καλύπτονται από θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανέρχονται σε 1.260.000 στρέμματα. Από τις Ευρωπαϊκές χώρες τη πρώτη θέση σε εγκαταστάσεις θερμοκηπίων κατέχει η Ισπανία ακολουθεί η Ιταλία ενώ παραδόξως η Ελλάδα διαθέτοντας άριστες κλιματολογικές συνθήκες βρίσκεται στην έκτη θέση (Eurostat,2008).



Σχήμα 1.9 : Ποσοστιαία σχηματική παράσταση των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Πηγή: Eurostat 2008).

Έτσι διαφαίνεται πως παρά τα οφέλη τα οποία θα μπορούσαμε να καρπωθούμε εξαιτίας του Μεσογειακού κλίματος που επικρατεί στη χώρα μας δεν υπάρχει η αναμενόμενη ανάπτυξη θερμοκηπίων, ενώ την ίδια στιγμή οι θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις ακμάζουν σε χώρες με ελάχιστη ηλιοφάνεια.

Στις περιοχές της χώρας μας όπου επικρατούν ήπιοι χειμώνες και υπάρχει υψηλή συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας συγκεντρώνονται και οι περισσότερες θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις, τέτοιες περιοχές είναι η Κρήτη κατά κύριο λόγο και ακολουθεί η Πελοπόννησος, και οι δυο κατέχουν το 65% του συνόλου των θερμοκηπίων της χώρας. Έτσι δεν προκύπτει η ανάγκη ύπαρξης συστήματος θέρμανσης.



Σχήμα 1.10 : Ποσοστιαία σχηματική παράσταση των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας (www.statistics.gr)

Στην χώρα μας η καλλιέργεια ανθοκομικών ειδών στα θερμοκήπια είναι περιορισμένη και αντιπροσωπεύει μόνο το 7% του συνόλου των καλλιεργήσιμων εκτάσεων, αντίθετα τα κηπευτικά με κυρίαρχο προϊόν την τομάτα αντιπροσωπεύει το 62% του συνόλου(Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992).

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια αύξησης των θερμοκηπίων η έκτασή τους ανέρχεται στα 51.000 στρέμματα όμως ακόμα δεν έχουν γνωρίσει την ανάλογη ανάπτυξη. Εδώ αξίζει να αναφερθούμε σε κάποιες περιοχές με αρκετά μεγάλη δυναμική όπως η κεντρική Μακεδονία και η Αττική οι οποίες θα μπορούσαν να αναδειχθούν σε μεγάλα κέντρα παραγωγής μαζί βέβαια με το κομμάτι της Ηπείρου.

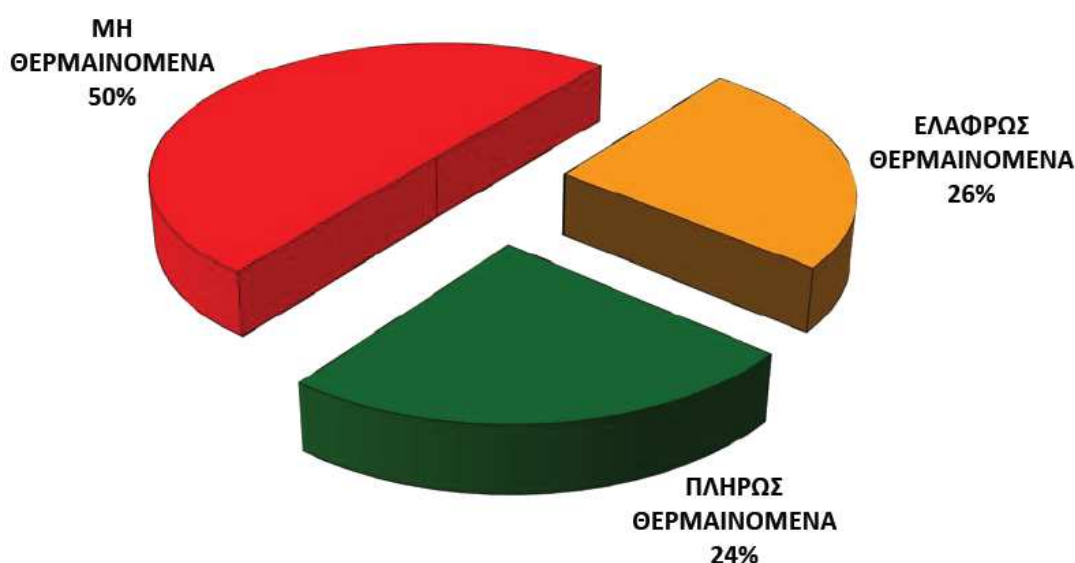
1.8 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Το θερμοκήπιο έχει σαν σκοπό την ανάπτυξη των φυτών, έτσι επιδιώκεται η βελτίωση (τεχνική και οικονομική) του περιβάλλοντος με σκοπό την αποδοτικότερη ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

Το χαμηλό κόστος επένδυσης συχνά υπερισχύει της απόφασης αγοράς σύγχρονου θερμοκηπίου με τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα εξελιγμένα θερμοκήπια. Έτσι οι θερμοκηπιακές κατασκευές στη χώρα μας και ο εξοπλισμός τους δεν εμφανίζουν ιδιαίτερη ποιότητα, η οποία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην

εξασφάλιση της δυνατότητας ικανοποιητικής ρύθμισης του κλίματος του θερμοκηπίου.

Το περιβάλλον που δημιουργείται τελικά στο εσωτερικό του θερμοκηπίου απέχει πολύ από το ευνοϊκό για την ανάπτυξη και παραγωγή καλλιεργειών. Έτσι η πλειονότητα των ελληνικών θερμοκηπίων κατά τη χειμερινή περίοδο αντιμετωπίζει αδυναμία ρύθμισης της θερμοκρασίας μιας και η πλειονότητα των ελληνικών θερμοκηπίων δεν διαθέτει κάποιο σύστημα θέρμανσης. Το πρόβλημα των χαμηλών θερμοκρασιών μπορεί να αντιμετωπιστεί με την τοποθέτηση συστήματος θέρμανσης, αντίθετα το καλοκαίρι λόγω της υψηλής έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας οι καλλιέργειες υφίστανται θερμική καταπόνηση η οποία μπορεί να αντιμετωπιστεί με αύξηση του εξαερισμού, με σκίαση ή με συστήματα δροσισμού (υδρονέφωση, υγρό τοίχωμα).



Σχήμα 1.11 : Ποσοστιαία σχηματική παράσταση της έκτασης των Ελληνικών θερμοκηπίων ανάλογα με τη δυνατότητα θέρμανσης (www.statistics.gr)

Η σχετική υγρασία επηρεάζει την υδατική κατάσταση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών και όλες τις διαδικασίες που σχετίζονται με την διαπνοή όπως η υδατική ισορροπία, η ψύξη του φύλλου και η μεταφορά των ιόντων. Οι πολύ υψηλές τιμές της σχετικής υγρασίας κυρίως κατά την διάρκεια της νύχτας μειώνει δραστικά την διαπνοή των καλλιεργειών προκαλώντας την εμφάνιση φυσιολογικών ανωμαλιών και ευνοώντας την ανάπτυξη μυκητολογικών ασθενειών με τελικό αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής των καλλιεργούμενων φυτών. Όμως η διεξαγωγή ερευνών για αποτελεσματικές πρακτικές επί του ζητήματος δεν είναι σημαντικές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) ή Ήπιες Μορφές Ενέργειας, ή Νέες Πηγές Ενέργειας, ή Πράσινη Ενέργεια είναι μορφές ενέργειας που εκμεταλλευόμαστε και προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως είναι ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Με τον όρο «ήπιες» αναφερόμαστε σε δυο βασικά χαρακτηριστικά. Πρώτον, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως είναι η εξόρυξη, ή άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς το πώς εκμεταλλευόμαστε την ήδη υπάρχουσα ροή ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, χωρίς επιβλαβείς συνέπειες προς το περιβάλλον, καθώς δεν αποδεσμεύουν ποσότητες υδρογονανθράκων, διοξείδιο του άνθρακα ή άλλα τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι οι ΑΠΕ θεωρούνται στις μέρες ως η απαρχή για να επιλυθούν τα οικολογικά προβλήματα που υπάρχουν στη γη (Καπλάνης Σ., 2003).

Σαν «Ανανεώσιμες πηγές» θεωρούμαι τις εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός «Ανανεώσιμες» θα λέγαμε ότι είναι κάπως καταχρηστικός, αφού ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται με το πέρασμα των χρόνων. Έτσι σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο τεράστιο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Τελευταία η Ευρωπαϊκή Ένωση, αλλά και άλλα πολλά μεμονωμένα κράτη, υιοθετούν νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη. Οι ΑΠΕ, μπορούμε να πούμε ότι είναι η βάση ενός μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας, αλλά και ένα κεντρικό σημείο ώστε σχολές οικονομικών επιστημών να ασχοληθούν με αυτό το μοντέλο ανάπτυξης (Τσούτσος Θ. , Κανάκης Ι., 2012).

2.2 ΕΙΔΗ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Τα είδη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι, α) η Αιολική Ενέργεια, που χρησιμοποιήθηκε παλαιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια και για μηχανικές εφαρμογές, β) η Ηλιακή Ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των ΑΠΕ από το Ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση, γ) η Υδραυλική Ενέργεια η οποία είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας, δ) η Βιομάζα, που χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με

σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ' το φυτό με τη φωτοσύνθεση, ε) η Γεωθερμική Ενέργεια, που προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης και τέλος στ) η Θαλάσσια Ενέργεια που περιλαμβάνει, την ενέργεια από παλίρροιες, την ενέργεια από τα κύματα και την ενέργεια από τους ωκεανούς.

Οι ΑΠΕ στην Ελλάδα, μπορούν να αξιοποιηθούν σχεδόν όλες, λόγω των καιρικών συνθηκών που επικρατούν όλο το χρόνο. Ειδικά η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, έχουν πολλές δυνατότητες αν αξιοποιηθούν, ώστε να αποδώσουν τεράστια ποσοστά ενέργειας, καλύπτοντας σημαντικές ανάγκες στον τομέα της παραγωγής ρεύματος. Επίσης, και είδη ΑΠΕ που δεν είναι ευρέως γνωστά ακόμα στη χώρα μας, όπως η θαλάσσια ενέργεια, η οποία προκύπτει από τα κύματα, όπου φυσικά οι δυνατότητες που υπάρχουν στον ελλαδικό χώρο είναι απεριόριστες, τόσο στο Ιόνιο πέλαγος όσο και στο αιγαίο πέλαγος.

2.2.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των ΑΠΕ

- **Πλεονεκτήματα**

Τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ, είναι οι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον ιδιότητες τους, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα, δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ και θα υπάρχουν σε απεριόριστες ποσότητες στη φύση, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χώρων όπως θα μπορούσε να είναι και η Ελλάδα, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου, το οποίο κάποια στιγμή είναι πιθανό να μην επαρκεί για να καλύψει τις σύγχρονες ανάγκες του ανθρώπου. Επίσης είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις, ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής και τέλος επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

- **Μειονεκτήματα**

Τα μειονεκτήματα των ΑΠΕ, είναι ότι έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξεως του 30% ή και χαμηλότερο, έτσι απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Η παροχή της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται. Η χώρα μας είναι σίγουρα μια από τις χώρες που μπορούν καθ όλη τη διάρκεια του έτους να έχουν τεράστιες ποσότητες από τις προαναφερθείσες πηγές ενέργειας. Τέλος τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

2.2.2 ΑΠΕ & Αγροτικές Περιοχές

Στην Ελλάδα, η αγροτική γη δέχεται μεγάλες πιέσεις τόσο από την οικιστική ανάπτυξη, την κατασκευή αυτοκινητοδρόμων, την ερημοποίηση όσο και από βιομηχανικές και μεταποιητικές δραστηριότητες και επομένως επιβάλλεται η προστασία της από την άναρχη διασπορά δραστηριοτήτων και εγκαταστάσεων που γίνεται ευκαιριακά και χωρίς συγκροτημένο σχέδιο.

Η δυνατότητα εγκατάστασης ΑΠΕ σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας που δεν θα υπερβαίνει ωστόσο το 1% του συνόλου των καλλιεργούμενων εκτάσεων του Νομού σύμφωνα με το Ν. 3851/2010, με τα συνεπακόλουθα έργα που απαιτούνται (έργα ΔΕΗ, διάνοιξη δρόμων), ενδέχεται να επιφέρει περαιτέρω αλλοίωση του αγροτικού χαρακτήρα των περιοχών.

Επιπρόσθετα, η μείωση τιμών των αγροτικών προϊόντων και η αύξηση του κόστους των αγροτικών εφοδίων θα ωθήσει πολλούς αγρότες στην εγκατάλειψη της αγροτικής δραστηριότητας και στην χρησιμοποίηση των αγρών τους για εγκατάσταση ΑΠΕ με σκοπό την πώληση του παραγόμενου ρεύματος σε επιδοτούμενες τιμές.

Όλα αυτά σε μία χρονική περίοδο στην οποία το έλλειμμα του αγροτικού εμπορικού ισοζυγίου αυξάνεται κατά 11% ετησίως κατά την δεκαετία 1998-2008 και έχει φθάσει τα 3 δις. €, ενώ το αγροτικό προϊόν έχει συρρικνωθεί στο 2,92% του ΑΕΠ από 5,74% που ήταν το 2000 (Καβαδάκης, 2009).

Από την άλλη πλευρά, αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι αποτελεί πρόκληση για τον πρωτογενή τομέα η αρμονική ενσωμάτωση των ΑΠΕ στον κύκλο των δραστηριοτήτων του με πολλαπλά οφέλη. Οι ΑΠΕ μπορούν να συνεισφέρουν στη μείωση του κόστους παραγωγής των αγροτικών εκμεταλλεύσεων και στον περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη λειτουργία τους.

Με την ανάπτυξη λ.χ. κατάλληλων συνεταιριστικών σχημάτων οι αγρότες, με τη βοήθεια του κράτους θα μπορούσαν να επενδύσουν στην ιδιοπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για τις ανάγκες των μονάδων τους (κτηνοτροφικές μονάδες, θερμοκήπια, άρδευση κλπ.). Σημαντική θα ήταν και η συνδυασμένη προσπάθεια παραγωγής βιοαερίου και διαχείρισης των αποβλήτων κτηνοτροφικών μονάδων όχι μόνο με στόχο τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος αλλά και προς εκμετάλλευση αυτών για παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας (Καβαδάκης, 2009).

Αν και η χρήση γεωργοκτηνοτροφικών αποβλήτων για την παραγωγή ενέργειας είναι ήδη ευρέως διαδεδομένη στον ευρωπαϊκό βορρά, στην Ελλάδα εξακολουθεί να υπάρχει υστέρηση, εξαιτίας μιας σειράς αποτρεπτικών παραγόντων. Αυτή οφείλεται στην ελλιπή ενημέρωση επιχειρήσεων, κράτους και αγροτών, στο υψηλό κόστος εγκατάστασης και στην έλλειψη οικονομικών κινήτρων τα οποία πρέπει να θεσμοθετηθούν από την ελληνική πολιτεία. Επιπλέον, το βιοαέριο που παράγεται από κτηνοτροφικές μονάδες, μπορεί να αναβαθμιστεί σε «βιοφυσικό αέριο» (με περιεκτικότητα μεγαλύτερη του 96% σε μεθάνιο) και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο είτε στις μεταφορές είτε στην τροφοδοσία δικτύου φυσικού αερίου. Πέρα από τα κτηνοτροφικά απόβλητα ένας ακόμη ενεργειακός «θησαυρός» βρίσκεται κρυμμένος στα παραπροϊόντα της ελιάς.

Ονομάζεται πυρηνόξυλο και παράγεται κατά την επεξεργασία της ελιάς. Είναι φιλικό προς το περιβάλλον και μπορεί να αντικαταστήσει σε πολλές περιπτώσεις τη χρήση του πετρελαίου. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση κατοικιών και επαγγελματικών χώρων. Χαρακτηριστικά του πυρηνόξυλου είναι το χαμηλό κόστος (0,05 ευρώ ανά κιλό) σε σχέση με τη θερμική του αξία, το ότι είναι

ένας εγγώριος ενεργειακός πόρος και τα καυσαέρια από την καύση του δεν περιέχουν ενώσεις του θείου, ενώ η στάχτη του είναι ένα καλό λίπασμα (Κωτσόπουλος, 2010).

Εν κατακλείδι, οι ΑΠΕ που εγκαθίστανται σε αγροτικές περιοχές μπορούν να αφορούν σε:

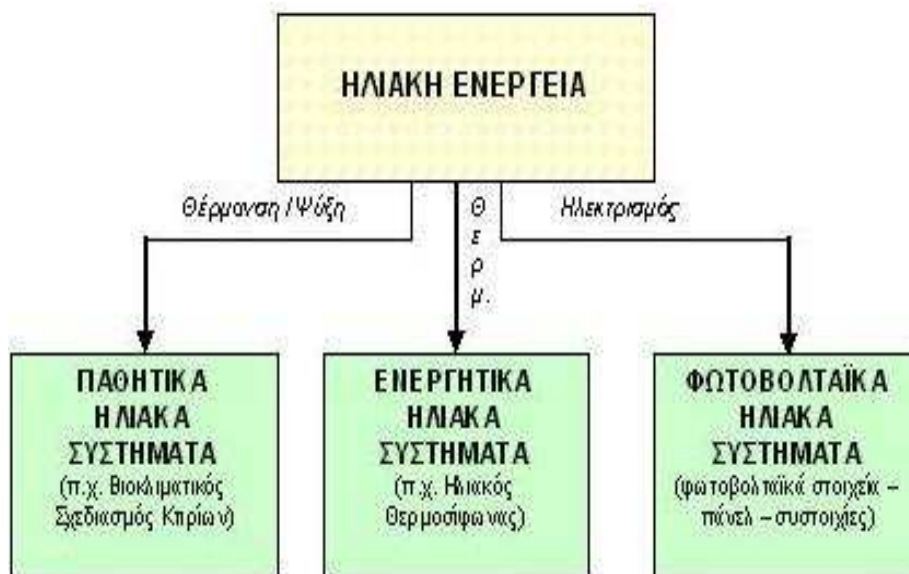
- εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε γεωργικές και κτηνοτροφικές εκμεταλλεύσεις και σε αγροτικές, αλλά και σε μεταποιητικές εγκαταστάσεις,
- αξιοποίηση οργανικών αποβλήτων και υπολειμμάτων για την παραγωγή κυρίως βιοαερίου και εδαφοβελτιωτικού υλικού,
- ενίσχυση του κλάδου των βιοκαυσίμων και των ενεργειακών καλλιεργειών,
- γενικότερη αξιοποίηση των ΑΠΕ (γεωθερμική, αιολική, ηλιακή ενέργεια) με σκοπό την ανάπτυξη δικτύων τηλεθέρμανσης, τη θέρμανση και δροσισμό των θερμοκηπίων, τη θέρμανση κτηνοτροφικών μονάδων, την ανάπτυξη υπόγειας θέρμανσης για την καλλιέργεια των σπαραγγιών, τη λειτουργία ξηρατηρίων, ζωοτροφών, καλαμποκιού, αλλά και αγροτικών προϊόντων όπως σταφίδας και καπνού, στην αντιπαγετική προστασία των καλλιεργειών, στην άντληση νερού, στις αρδεύσεις, σε μηχανήματα αγρού και μεταφοράς αγροτικών προϊόντων και τέλος στη μεταποίηση αγροτικών προϊόντων.

2.3 Ηλιακή Ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολο της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, ένα από τα σημαντικότερα φυσικά αγαθά που μπορεί να εκμεταλλευτεί ο άνθρωπος, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στο σχήμα 2.1, βλέπουμε σχηματικά τις βασικές εφαρμογές των ηλιακών συστημάτων. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου, το οποίο θα αναλύσουμε παρακάτω. Ένα είδος παθητικού ηλιακού συστήματος είναι ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίων, στα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ανήκει ο ηλιακός θερμοσίφωνας, ενώ στα φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα ανήκουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, τα φωτοβολταϊκά πάνελ και οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες. Η χώρα μας λόγω της τεράστιας ηλιοφάνειας που έχει μπορεί να εκμεταλλευτεί σε πολύ μεγάλο βαθμό την ηλιακή ενέργεια (Duffie J. and Beckman W., 1980).



Σχήμα 2.1 : Εφαρμογές ηλιακών συστημάτων (Τσούτσος Θ. , Κανάκης Ι., 2012)

2.4 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Τα φωτοβολταϊκά (ή Φ/Β) συστήματα αποτελούν μια από τις εφαρμογές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, με τεράστιο ενδιαφέρον για την Ελλάδα. Με την πλήρη εκμετάλλευση του φωτοβολταϊκού φαινομένου, θα παραχθούν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας από την ηλιακή ενέργεια.

2.4.1 Ιστορική αναδρομή στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Στην σημερινή εποχή έχουμε μεγάλη έξαρση των περιβαλλοντικών προβλημάτων σε συνδυασμό με την εξάντληση των ενεργειακών πόρων και τα τεράστια βήματα στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων κάνουν εφικτή την χρήση τους. Ποια όμως είναι η ιστορία των φωτοβολταϊκών;

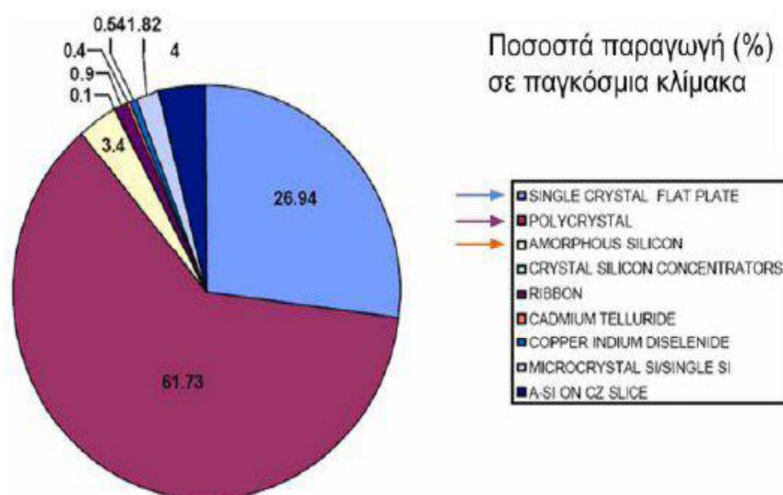
Ο άνθρωπος που ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ήταν ο γάλλος φυσικός Edmond Becquerel το 1839, κατά την διάρκεια πειραμάτων με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δυο μεταλλικά ηλεκτρόδια. Όμως ακολούθησαν και άλλα σπουδαία βήματα, όπως αυτό του Adams και του φοιτητή του Day, οι οποίοι παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως. Κατά την διάρκεια του 1908, ο Πολωνός Czochralski πρόσθεσε στις προηγούμενες ανακαλύψεις την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) μετά από έρευνα που έκανε και η οποία χρησιμοποιείται βελτιωμένη ακόμα και σήμερα. Μια ακόμη σημαντική ανακάλυψη πραγματοποιήθηκε το 1949 από τους Mott και Schottky, οι οποίοι ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Οι Chapin, Fuller και Pearson δημιούργησαν το πρώτο ηλιακό κελί στα εργαστήρια της Bell το 1954. Η απόδοση του τότε ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (Κρητικός Α.,2010).

2.4.2 Τα πρώτα φωτοβολταϊκά συστήματα

Το 1958 η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων έχει σημαντική εφαρμογή στην διαστημική τεχνολογία, όταν και τοποθετήθηκε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα στον δορυφόρο Vanguard I. Αυτό το σύστημα ήταν σε λειτουργία για 8 χρόνια και ήταν ένα από τα πρώτα φωτοβολταϊκά συστήματα. Η μεγαλύτερη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση στον κόσμο πραγματοποιήθηκε το 1962 στην Ιαπωνία από την Sharp, σε έναν φάρο με εγκατεστημένη ισχύ 242W_p. Στην Καλιφόρνια των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, το 1980 γίνεται η πρώτη εγκατάσταση που φτάνει το 1MW από την ARCO Solar. Αρκετά χρόνια αργότερα, το 1999, η εταιρία Spectrolab σε συνεργασία με το NREL αναπτύσσουν φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 32,3%. Το 2004 αποτελεί χρονιά ορόσημο για τα φωτοβολταϊκά, αφού εντοπίζεται μαζική είσοδος μεγάλων εταιριών στον χώρο. Κυρίαρχες χώρες στην παραγωγή φωτοβολταϊκών είναι η Γερμανία και η Ιαπωνία (Φραγκιαδάκης Ι.,2007)

2.4.3 Τεχνολογία Φωτοβολταϊκών

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (ή πλαίσια όπως λέγονται συχνά στο εμπόριο, «κρύσταλλα») φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή «κυψελών», ή «κυττάρων»), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή.



Σχήμα 2.2 : Υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών κυττάρων σε παγκόσμια Κλίμακα (Κ.Α.Π.Ε.)

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-160mm. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό.



Εικόνα 2.1 : Φωτοβολταϊκό στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon,sc-Si), (www.selasenergy.gr)

Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια ζωής της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία.



Εικόνα 2.2 : Φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si), (www.selasenergy.gr)

Στην αγορά πωλούνται φωτοβολταϊκά πλαίσια, τα οποία είναι παρά πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με τη τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, ένα πάνελ 60 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 200-300W (Καπλάνης Σ.,2004).



Εικόνα 2.3 : Φωτοβολταϊκό στοιχείο ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon),
(www.selasenergy.gr)

Εκτός από το πυρίτιο χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, όπως το Κάδμιο (Cd) ή το Τελλούριο (Te) και ο ινδοδισεληνιούχος χαλκός. Σε αυτές τις κατασκευές, η μορφή του στοιχείου διαφέρει σημαντικά από αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου, και έχει συνήθως τη μορφή λωρίδας πλάτους μερικών χιλιοστών και μήκους αρκετών εκατοστών.



Εικόνα 2.4 : Λεπτά Φιλμ άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si),
(www.selasenergy.gr)

Τα πάνελ αφού συνδεθούν μεταξύ τους δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, στην οποία μπορούμε να τοποθετήσουμε από 2 έως αρκετές εκατοντάδες φωτοβολταϊκές γεννήτριες. Ένα παράδειγμα φωτοβολταϊκής συστοιχίας απεικονίζεται στην εικόνα 2.2 που ακολουθεί παρακάτω.



Εικόνα 2.5 : Φωτοβολταϊκή συστοιχία (Κάπος Μ.,2009)

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Φ/Β συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC), και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης. Με την συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας, υπήρξε και σημαντική αύξηση του βαθμού απόδοσης, καθώς δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές, οι αναστροφείς (inverters), που έχουν σκοπό να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της Φ/Β συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό, το Φ/Β σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη εγκατάσταση που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).

2.4.4 Βαθμός Απόδοσης

Ο βαθμός απόδοσης εκφράζει το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια στο φωτοβολταϊκό στοιχείο. Τα πρώτα Φ/Β στοιχεία, που σχεδιάστηκαν τον 19^ο αιώνα, είχαν πολύ μικρή απόδοση της τάξεως 1-2%, ενώ το 1954 τα εργαστήρια Bell Laboratories δημιούργησαν τα πρώτα Φ/Β στοιχεία πυριτίου με απόδοση 6%. Στην πορεία του χρόνου όλο και αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης, έτσι σήμερα ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13-19%, ο οποίος, συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού, υδροηλεκτρικού κλπ.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός (Κρητικός Α.,2010). Αυτό σημαίνει ότι ένα φωτοβολταϊκό σύστημα χρειάζεται αρκετά μεγάλη έκταση γης προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ. Οι προϋποθέσεις αξιοποίησης των Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα είναι από τις καλύτερες στην Ευρώπη, αφού η συνολική ενέργεια που δέχεται κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας στην διάρκεια ενός έτους κυμαίνεται από 1400-1800 kWh.

2.4.5 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Φ/Β

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

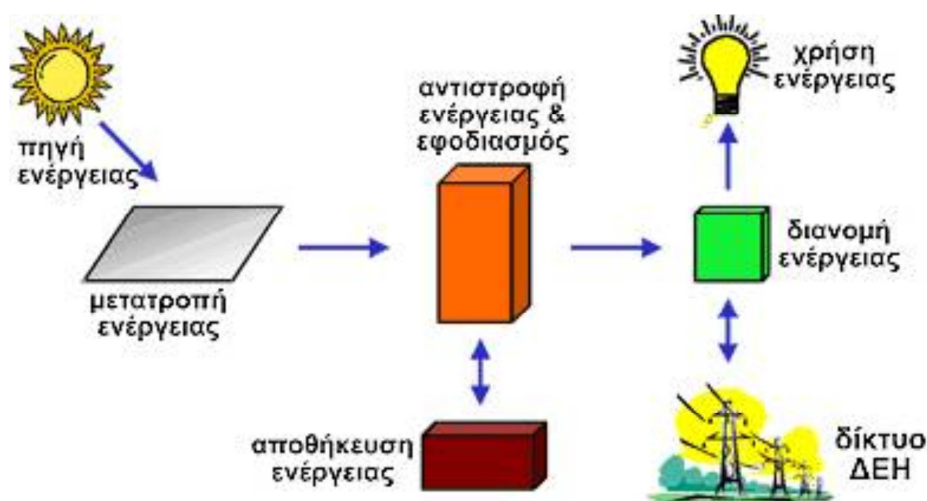
- Τεχνολογία φιλική προς το περιβάλλον, έτσι δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν κοστίζει απολύτως τίποτα.
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής.
- Η λειτουργία του συστήματος είναι αθόρυβη.
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών.
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου.
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου (Δ.Ε.Η.).

Ως μειονέκτημα θα μπορούσε να καταλογίσει κανείς στα φωτοβολταϊκά συστήματα το κόστος τους, το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 3000 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση απαιτεί από 1,5 έως 3,5 κιλοβάτ, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο. Το ποσό αυτό, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 5-6 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 25 χρόνια.

2.4.6 Δομή ενός Φ/Β συστήματος

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται φυσικά από τα φωτοβολταϊκά πάνελ, αλλά και έναν αριθμό μερών ή υποσυστημάτων:

- Τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια με τη μηχανική υποστήριξη και πιθανόν ένα σύστημα παρακολούθησης της ηλιακής τροχιάς.
- Μπαταρίες (υποσύστημα αποθήκευσης), χρησιμοποιούνται σε απομακρυσμένες εγκαταστάσεις, διαφορετικά η σύνδεση του πάνελ γίνεται απευθείας με το υφιστάμενο δίκτυο της ΔΕΗ.
- Καθορισμό ισχύος και συσκευή ελέγχου που περιλαμβάνει φροντίδα για μέτρηση και παρατήρηση.
- Εφεδρική γεννήτρια. Η επιλογή του πως και ποια από αυτά τα στοιχεία ολοκληρώνονται μέσα στο σύστημα εξαρτάται από ποικίλες εκτιμήσεις.



Σχήμα 2.3 : Τα κυριότερα μέρη ενός Φ/Β συστήματος (Κρητικός Α.,2010)

2.4.7 Βασικές μονάδες Φ/Β

Συνήθως τα ηλιακά στοιχεία σε μια βασική μονάδα συνδέονται μεταξύ τους σε μια βασική σειρά. Αυτό οφείλεται στα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του κάθε ηλιακού στοιχείου. Ένα τυπικό (διαμέτρου 4 ιντσών) ηλιακό στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου ή ένα (10cm X 10cm) πολυκρυσταλλικό στοιχείο θα παρέχουν κάτω από κανονικές συνθήκες ισχύ μεταξύ 1 και 1,5 W, εξαρτώμενη από την απόδοση του ηλιακού στοιχείου. Αυτή η ισχύς παρέχεται συνήθως υπό τάση 0,5 ή 0,6 V. Από τη στιγμή που υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές, οι οποίες μπορούν να λειτουργούν σε αυτή την τάση, η άμεση λύση είναι να συνδεθούν τα ηλιακά στοιχεία σε σειρά.

Ο αριθμός των ηλεκτρικών στοιχείων μέσα σε μια βασική μονάδα ρυθμίζεται από την τάση της βασικής μονάδας. Η ονομαστική τάση λειτουργίας του συστήματος συνήθως πρέπει να ταιριάζει με την ονομαστική τάση του υποσυστήματος αποθήκευσης (μπαταρίες). Οι περισσότερες εκ των φωτοβολταϊκών βασικών μονάδων, που κατασκευάζονται βιομηχανικά έχουν, επομένως, σταθερές διατάξεις, οι οποίες μπορούν να συνεργασθούν ακόμη και με μπαταρίες των 2,8,12Volt. Προνοώντας για κάποια υπέρταση προκειμένου να φορτιστεί η μπαταρία και να αντισταθμιστεί χαμηλότερη έξοδος, κάτω από συνθήκες χαμηλότερες των κανονικών, έχει βρεθεί ότι μια ομάδα των 33 έως 36 ηλιακών στοιχείων σε σειρά συνήθως εξασφαλίζουν αξιόπιστη λειτουργία (Καγκαράκη Κ.,1992)

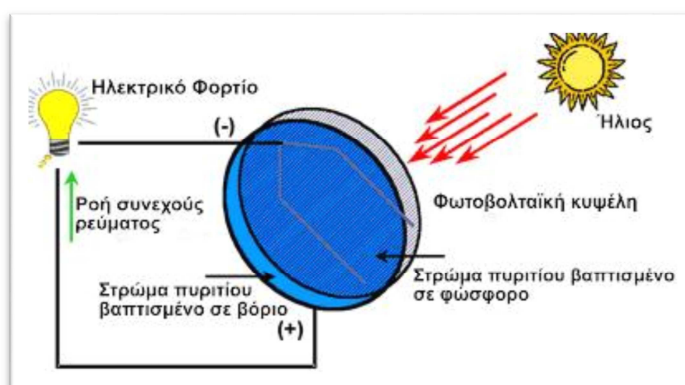
Έτσι η ισχύς των βασικών μονάδων πυριτίου συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 40 και 60 W. Οι παράμετροι της βασικής μονάδας καθορίζονται από τον κατασκευαστή κάτω από τις ακόλουθες κανονικές συνθήκες:

- Ακτινοβολία $1\text{KW}/\text{m}^2$
- Φασματική κατανομή AM 1,5
- Θερμοκρασία ηλιακού στοιχείου $25\text{ }^\circ\text{C}$

Πρόκειται για τις ίδιες συνθήκες με αυτές που χρησιμοποιούνται για να χαρακτηρισθούν τα ηλιακά στοιχεία. Η ονομαστική έξοδος συνήθως ονομάζεται ισχύς κορυφής μιας βασικής μονάδας και εκφράζεται σε W κορυφής (Wp).

2.4.8 Αρχή λειτουργίας Φ/Β

Συνήθως οι φωτοβολταϊκές κυψέλες (βλέπε εικόνα 2.4) αποτελούνται από ένα πολύ λεπτό στρώμα πυριτίου εμβαπτισμένο σε φώσφορο (τύπος N), το οποίο βρίσκεται πάνω σε ένα πιο παχύ στρώμα πυριτίου εμβαπτισμένο σε βόριο (τύπος P). Κοντά στην κορυφή της κυψέλης όπου αυτά τα δυο υλικά εφάπτονται, δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο. Καθώς, το ηλιακό φως προσπίπτει στην επιφάνεια της κυψέλης, αυτό το ηλεκτρικό πεδίο παρέχει ορμή και κατεύθυνση σε ηλεκτρόνια που διεγείρονται από το φως, με αποτέλεσμα τη ροή ρεύματος όταν η κυψέλη είναι συνδεδεμένη σε ηλεκτρικό φορτίο.



Σχήμα 2.4 : Φωτοβολταϊκή κυψέλη (Κρητικός Α.,2010)

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζουμε κατά τον σχεδιασμό μιας φωτοβολταϊκής διάταξης, είναι το που θα στερεωθούν οι βασικές μονάδες, δηλαδή αν θα στερεωθούν σε σταθερές θέσεις (σταθερές βάσεις στήριξης) ή οι προσανατολισμοί τους θα ακολουθούν την κίνηση του ήλιου καθ όλη την διάρκεια της ημέρας (κινήτες βάσεις στήριξης).

Στις περισσότερες διατάξεις οι βασικές μονάδες στερεώνονται σ' ένα σταθερό κεκλιμένο επίπεδο με την πρόσοψη προς τον ισημερινό. Αυτό έχει σαν πλεονέκτημα να μην περιλαμβάνονται κινούμενα τμήματα και να υπάρχει έτσι χαμηλό κόστος. Η άριστη γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία και το είδος του φορτίου.

Τοποθετώντας μια διάταξη πάνω σε σύστημα αποτελούμενο από δυο άξονες παρακολούθησης της ηλιακής ακτινοβολίας, μπορούμε να συλλέξουμε μέχρι και 25% περισσότερη ηλιακή ενέργεια στη διάρκεια ενός έτους, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Κάτι τέτοιο όμως αυξάνει την πολυπλοκότητα και έχει ως αποτέλεσμα την χαμηλή αξιοπιστία της εγκατάστασης και υψηλότερο κόστος συντήρησης. Η μονού άξονα παρακολούθηση είναι λιγότερο σύνθετη αλλά παρουσιάζει μικρότερο κέρδος. Ο προσανατολισμός μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητη λειτουργία, εκεί που η προσφορά εργασίας είναι διαθέσιμη, αυξάνοντας έτσι τις όποιες απολαβές. Έχει υπολογιστεί ότι σε κλίματα με ηλιοφάνεια μια διάταξη επίπεδης κινούμενης πλάκας που έχει κατάλληλη ρύθμιση ώστε να στρέφεται προς

τον ήλιο δύο φορές την ημέρα και να παίρνει την κατάλληλη κλίση τέσσερις φορές το χρόνο, μπορεί να συλλαμβάνει το 95% της ενέργειας, που συλλέγετε με ένα σύστημα δυο αξόνων παρακολούθησης πλήρως αυτοματοποιημένο (Καπλάνης Σ., 2004)

2.4.9 Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο αξιοποίησης τους :

- I. Τα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα
- II. Τα αυτόνομα συστήματα
- III. Τα υβριδικά συστήματα

Στα αυτόνομα και στα διασυνδεδεμένα έχουμε πολλές ομοιότητες μεταξύ τους. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι στα πρώτα υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. και η ενέργεια που παράγεται περνάει σε αυτό, ενώ στα δεύτερα δεν υπάρχει τέτοια σύνδεση και η ενέργεια που παράγεται χρησιμοποιείται για ίδια κατανάλωση.

- ***Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα***

Το αυτόνομο σύστημα (ή σύστημα εκτός δικτύου) αποσκοπεί στο να προσφέρει ενεργειακή αυτονομία σε μια εγκατάσταση. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες απομονωμένων από το δίκτυο συστημάτων.

Κάποιες από αυτές είναι:

- Οικίες απομακρυσμένες από το δίκτυο σε τέτοια απόσταση που το κόστος διασύνδεσης με το δίκτυο της ΔΕΗ είναι απαγορευτικά υψηλό,
- Οικίες που για κάποιους λόγους δεν δύναται να ηλεκτροδοτηθούν,
- Κτηνοτροφικές ή γεωργικές μονάδες απομακρυσμένες από το δίκτυο της ΔΕΗ,
- Τηλεπικοινωνιακές εγκαταστάσεις,
- Αντλητικά συστήματα υδροδότησης,
- Κινητές εγκαταστάσεις (τροχόσπιτα, πλωτά κ.α.),
- Εγκαταστάσεις που απαιτούν υψηλή διαθεσιμότητα (αμυντικές εφαρμογές, διαστημικές εφαρμογές).

Σε αυτό το Φ/Β σύστημα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται σε μπαταρίες. Το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει ανεξάρτητα από το κεντρικό δίκτυο.

Το ηλεκτρικό ρεύμα (DC) που παράγεται από τα Φ/Β πλαίσια, φορτίζει τις μπαταρίες, με τη βοήθεια του ρυθμιστή φόρτισης. Ο μετατροπέας αλλάζει το ρεύμα των συσσωρευτών από συνεχές DC, σε εναλλασσόμενο AC 220V.

- ***Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα***

Το σύστημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το δίκτυο της ΔΕΗ. Στην περίπτωση αυτή, πουλάει κανείς το ρεύμα στη ΔΕΗ έναντι μιας ορισμένης από το νόμο τιμής και συνεχίζει να αγοράζει ρεύμα από τη ΔΕΗ όπως και σήμερα. Έχει δηλαδή ένα διπλό μετρητή για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και

εξερχόμενη ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται για παροχή ηλεκτρικής ενέργειας εφεδρείας (δηλαδή ως συστήματα αδιάλειπτης παροχής-UPS). Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα είναι μεν διασυνδεδεμένο με τη ΔΕΗ, αλλά διαθέτει και μπαταρίες (συν όλα τα απαραίτητα ηλεκτρονικά) για να αναλαμβάνει την κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση διακοπής του ρεύματος και για όσο διαρκεί αυτή.

- **Υβριδικό σύστημα**

Συνδυάζουν ηλεκτρικό ρεύμα που προέρχεται από πετρελαιογεννήτριες, ανεμογεννήτριες, μικρές υδροηλεκτρικές γεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα, ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες που υπάρχουν, αξιοποιώντας τα γεωγραφικά πλεονεκτήματα της περιοχής. Είναι ιδανικά συστήματα για εφαρμογές σε απομακρυσμένες τοποθεσίες όπως:

- Τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και αναμεταδότες
- Στρατιωτικές εγκαταστάσεις και παραμεθόρια χωριά.

Με το υβριδικό σύστημα στην περίπτωση που δεν έχουμε ηλιοφάνεια για ένα διάστημα 4 ημερών, με την εγκατάσταση της Α/Γ και σύμφωνα με τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής έχουμε την δυνατότητα να καλύψουμε τις ανάγκες μας σε ενέργεια από τον άνεμο, είναι πολύ δύσκολο να έχουμε άπνοια και συννεφιά για μια εβδομάδα. Συνεπώς κάθε τεχνολογία στην περίπτωση των υβριδικών συστημάτων καλύπτει τα κενά που δημιουργεί η άλλη.



Σχήμα 2.5 : Κατάσταση Ελληνικής αγοράς φωτοβολταϊκών (www.statistics.gr)

2.4.10 Η κατάσταση των φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα

Η σημερινή ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο πρωτόκολλο του Κιότο και σε άλλες σημαντικές διεθνείς συμφωνίες που ακολούθησαν. Η Ελλάδα έχει υιοθετήσει με την σειρά της κίνητρα για την ταχεία προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, τα οποία είναι ιδιαίτερος ελκυστικά για υποψήφιους επενδυτές.

Εκτός των επενδύσεων που έχουμε σε διασυνδεδεμένα συστήματα (ΔΕΗ), μια άλλη αγορά φωτοβολταϊκών που αναπτύσσεται είναι και αυτή των αυτόνομων συστημάτων, αφού η τιμή της φωτοβολταϊκής κιλοβατώρας ανταγωνίζεται με αξιώσεις αυτήν του πετρελαίου και μάλιστα παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι αυτής. Τα σημαντικότερα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα βρίσκονται προς το παρόν στο Άγιο Όρος, αλλά πλέον υπάρχουν πολλές εγκαταστάσεις σε εξοχικές κατοικίες, απομακρυσμένους τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς, φάρους, κτηνοτροφικές μονάδες κλπ.

2.5 ΒΙΟΜΑΖΑ

Με τον όρο «βιομάζα» αποκαλούμε οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κλπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας.

Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και την χρήση της. Είναι μια Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά την φωτοσύνθεση.

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας. Ο πρωτόγονος άνθρωπος, για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, χρησιμοποίησε την ενέργεια (θερμότητα) που προερχόταν από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας.

Αλλά και μέχρι σήμερα, κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί, τόσο της Αφρικής, της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής, όσο και της Ευρώπης, για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν και να φωτιστούν χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια κ.α.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.α.). Στην εικόνα 2.5, βλέπουμε τη μορφή της βιομάζας pellets (συσσωματώματα) τα οποία προκύπτουν από τη μηχανική συμπίεση πριονιδιού, χωρίς την προσθήκη χημικών ή συγκολλητικών ουσιών. Η μορφή βιομάζας που αποτελείται από pellets, χρησιμεύει στην θέρμανση χώρων μέσω των καυστήρων pellet. Όπως θα δούμε παρακάτω, στο θερμοκήπιο το οποίο μελετήσαμε η θέρμανση του επιτυγχάνεται με καυστήρα με καύσιμο από πυρηνόξυλο, μια από τις πιο γνωστές μορφές βιομάζας, έχοντας ταυτόχρονα και λιγότερες επιβλαβείς επιπτώσεις για το περιβάλλον (Γσούτσος Θ., Κανάκης Ι., 2012).



Εικόνα 2.6 : Μορφή βιομάζας pellets

Όλα τα παραπάνω υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από τον φυτικό κόσμο, αλλά και τα υγρά απόβλητα και το μεγαλύτερο μέρος από τα αστικά απορρίμματα (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.α.) των πόλεων και των βιομηχανιών, μπορούμε να τα μετατρέψουμε σε ενέργεια. Άρα μέσα από την ανακύκλωση αρκετών προϊόντων που χρησιμοποιούμε σε καθημερινή βάση, μπορούμε να παράγουμε σημαντικές ποσότητες βιομάζας.

2.5.1 Η Βιομάζα σήμερα

Η βιομάζα, προέρχεται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών.

Κατά τη φωτοσύνθεση, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες το διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, καθώς και ανόργανα συστατικά και νερό από το έδαφος. Η διεργασία αυτή μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής:

Νερό + Διοξείδιο του άνθρακα + Ηλιακή Ενέργεια + Ανόργανα στοιχεία = Βιομάζα + Οξυγόνο

Από τη στιγμή που σχηματίζεται η βιομάζα, μπορεί πλέον κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας.

Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στη ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο κ.ά.). Η χρήση της βιομάζας ως πηγής ενέργειας δεν είναι νέα. Σε αυτήν εξάλλου, συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας.

2.5.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

• Πλεονεκτήματα

1. Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, επειδή οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.
2. Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου (S) στη βιομάζα συμβάλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO₂) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.
3. Εφόσον η βιομάζα είναι εγχώρια πηγή ενέργειας, η αξιοποίηση της σε ενέργεια συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της εξάρτησης από εισαγόμενα καύσιμα και βελτίωση του εμπορικού ισοζυγίου, στην εξασφάλιση του ενεργειακού εφοδιασμού και στην εξοικονόμηση του συναλλάγματος.
4. Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι, κενάφ) τη δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλιάνθος κ.α.), και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικό-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων έχει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της απασχόλησης τόσο στον αγροτικό όσο και στο βιομηχανικό χώρο.

• Μειονεκτήματα

1. Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.
2. Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.
3. Βάση των παραπάνω παρουσιάζονται δυσκολίες κατά τη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευση της βιομάζας που αυξάνουν το κόστος της ενεργειακής αξιοποίησης.
4. Οι σύγχρονες και βελτιωμένες τεχνολογίες μετατροπής της βιομάζας απαιτούν υψηλό κόστος εξοπλισμού, συγκρινόμενες με αυτό των συμβατικών καυσίμων.

2.5.3 Η Βιομάζα στην Ελλάδα

Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο στον πλανήτη μας υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε 172 δισεκατομμύρια τόνους ξηρού υλικού, με ενεργειακό περιεχόμενο δεκαπλάσιο της ενέργειας που καταναλίσκεται παγκοσμίως στο ίδιο διάστημα. Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος του ανεκμετάλλευτο, καθώς, σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από βιομάζα και αφορά κυρίως τις παραδοσιακές χρήσεις της (καυσόξυλα και λοιπά).

Όσον αφορά την Ελλάδα, τα κατ' έτος διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3 – 4 εκατομμύρια τόνους πετρελαίου ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί, με τα σημερινά δεδομένα, να ξεπεράσει άνετα εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30–40% της ποσότητας πετρελαίου που καταναλώνει ετησίως η χώρα μας. Σημειώνεται ότι 1 τόνος βιομάζας ισοδυναμεί με περίπου 0.4 τόνους πετρελαίου. Εντούτοις, με τα σημερινά δεδομένα, καλύπτεται μόλις το 3% περίπου των ενεργειακών αναγκών της με τη χρήση της διαθέσιμης βιομάζας.

Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή, κατά τον παραδοσιακό τρόπο, θερμότητας στον οικιακό τομέα (μαγειρική, θέρμανση), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, σε ελαιουργία, καθώς και, με τη χρήση πιο εξελιγμένων τεχνολογιών, στη βιομηχανία (εκκοκκιστήρια βαμβακιού, παραγωγή προϊόντων ξυλείας, ασβεστοκάμινοι κ.ά.), σε περιορισμένη όμως κλίμακα. Ως πρώτη ύλη σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται υποπροϊόντα της βιομηχανίας ξύλου, ελαιοπυρηνόξυλα, κουκούτσια ροδάκινων και άλλων φρούτων, τσόφλια αμυγδάλων, βιομάζα δασικής προέλευσης, άχυρο σιτηρών, υπολείμματα εκκοκκισμού κ.ά..

Παρόλα αυτά, οι προοπτικές αξιοποίησης της βιομάζας στη χώρα μας είναι εξαιρετικά ευοίωνες, καθώς υπάρχει σημαντικό δυναμικό, μεγάλο μέρος του οποίου είναι άμεσα διαθέσιμο. Παράλληλα, η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι, σε πολλές περιπτώσεις οικονομικά ανταγωνιστική αυτής που παράγεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας.



Εικόνα 2.7 : Εγκαταστάσεις συλλογής βιομάζας για παραγωγή ηλεκτρικής Ενέργειας
(www.usasolarwind.com)

Από πρόσφατη απογραφή έχει εκτιμηθεί ότι το σύνολο της άμεσα διαθέσιμης βιομάζας στην Ελλάδα συνίσταται από 7.500.000 περίπου τόνους υπολειμμάτων γεωργικών καλλιεργειών (σιτηρών, αραβοσίτου, βαμβακιού, καπνού, ηλίανθου, κλαδοδεμάτων, κληματίδων πυρηνόξυλου κ.ά.), καθώς και από 2.700.000 τόνους

δασικών υπολειμμάτων υλοτομίας (κλάδοι, φλοιοί κ.ά.). Πέραν του ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της βιομάζας παραμένει αναξιοποίητο, πολλές φορές αποτελεί αιτία πολλών δυσάρεστων καταστάσεων (πυρκαγιές, δυσκολία στην εκτέλεση εργασιών, διάδοση ασθενειών κ.ά.).

Από τις παραπάνω ποσότητες βιομάζας, το ποσοστό τους εκείνο που προκύπτει σε μορφή υπολειμμάτων κατά τη δευτερογενή παραγωγή προϊόντων (εκκοκκισμός βαμβακιού, μεταποίηση γεωργικών προϊόντων, επεξεργασία ξύλου κ.ά.) είναι άμεσα διαθέσιμο, δεν απαιτεί ιδιαίτερη φροντίδα συλλογής, δεν παρουσιάζει προβλήματα μεταφοράς και μπορεί να τροφοδοτήσει απευθείας διάφορα συστήματα παραγωγής ενέργειας. Μπορεί δηλαδή η εκμετάλλευση του ποσοστού αυτού να καταστεί οικονομικά συμφέρουσα. Παράλληλα με την αξιοποίηση των διαφόρων γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων, σημαντικές ποσότητες βιομάζας είναι δυνατό να ληφθούν από τις ενεργειακές καλλιέργειες. Συγκριτικά με τα γεωργικά και δασικά υπολείμματα, οι καλλιέργειες αυτές έχουν το πλεονέκτημα της υψηλότερης παραγωγής ανά μονάδα επιφανείας, καθώς και της ευκολότερης συλλογής.

Στο σημείο αυτό, αξίζει να σημειωθεί ότι οι ενεργειακές καλλιέργειες αποκτούν τα τελευταία χρόνια ιδιαίτερη σημασία για τις ανεπτυγμένες χώρες, οι οποίες προσπαθούν μέσω των καλλιεργειών αυτών, να περιορίσουν πέραν των περιβαλλοντικών και ενεργειακών προβλημάτων, και το πρόβλημα των γεωργικών πλεονασμάτων. Όπως είναι γνωστό, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα γεωργικά πλεονάσματα και τα οικονομικά προβλήματα που αυτά δημιουργούν, οδηγούν αναπόφευκτα στη μείωση της γεωργικής γης και της αγροτικής παραγωγής.

Υπολογίζεται ότι κατά την προσεχή δεκαετία θα μπορούσαν να αποδοθούν στις ενεργειακές καλλιέργειες 100 με 150 εκατομμύρια στρέμματα γεωργικής γης, προκειμένου να αποφευχθούν τα προβλήματα των επιδοτήσεων των γεωργικών πλεονασμάτων και της απόρριψης αυτών στις χωματερές, με ταυτόχρονη αύξηση των ευρωπαϊκών ενεργειακών πόρων.

Στη χώρα μας, για τους ίδιους λόγους, 10 εκατομμύρια στρέμματα καλλιεργήσιμης γης έχουν ήδη περιθωριοποιηθεί ή προβλέπεται να εγκαταλειφθούν στο άμεσο μέλλον. Εάν η έκταση αυτή αποδοθεί για την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών, το καθαρό όφελος σε ενέργεια που μπορεί να αναμένεται υπολογίζεται σε 5–6 ΜΤΠ (1 ΜΤΠ = 106 ΤΠ, όπου ΤΠ σημαίνει: Τόνοι Ισοδύναμο Πετρελαίου) δηλαδή στο 50–60% της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου στην Ελλάδα.

Στον ελληνικό χώρο έχει αποκτηθεί σημαντική εμπειρία στον τομέα των ενεργειακών καλλιεργειών. Από την πραγματοποίηση σχετικών πειραμάτων και πιλοτικών εφαρμογών, προέκυψαν τα εξής σημαντικά στοιχεία:

- Η ποσότητα βιομάζας που μπορεί να παραχθεί ανά ποτιστικό στρέμμα ανέρχεται σε 3–4 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 1 – 1.6 ΤΠ.
- Η ποσότητα βιομάζας, που μπορεί να παραχθεί ανά ξηρικό στρέμμα μπορεί να φτάσει τους 2–3 τόνους ξηρής ουσίας, ήτοι 0.7 – 1.2 ΤΠ.

2.5.4 Ενεργειακή αξιοποίηση - Εφαρμογές της Βιομάζας

Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (παραγωγή θερμότητας, ψύξης, ηλεκτρισμού κλπ.) είτε με απευθείας καύση, είτε με μετατροπή της σε αέρια, υγρά ή/και στερεά καύσιμα μέσω θερμοχημικών ή βιοχημικών διεργασιών.

Επειδή η αξιοποίηση της βιομάζας αντιμετωπίζει συνήθως τα μειονεκτήματα της μεγάλης διασποράς, του μεγάλου όγκου και των δυσχερειών συλλογής – μεταποίησης – μεταφοράς – αποθήκευσης, επιβάλλεται η αξιοποίησή της να γίνεται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον τόπο παραγωγής της. Έτσι αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευχερέστερα σε μια πληθώρα εφαρμογών όπως:

- Κάλυψη των αναγκών θέρμανσης – ψύξης ή/και ηλεκτρισμού σε γεωργικές και άλλες βιομηχανίες.
- Τηλεθέρμανση κατοικημένων περιοχών.
- Θέρμανση θερμοκηπίων.
- Παραγωγή υγρών καυσίμων με βιοχημική μετατροπή της βιομάζας.
- Παραγωγή καυσίμων με θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας.
- Ενεργειακές καλλιέργειες.
- Βιοαέριο.
- Παραγωγή οργανοχημικών λιπασμάτων από πτηνοτροφικά απόβλητα.

2.6 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Με τον όρο «Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια» ονομάζουμε τη φυσική θερμική ενέργεια της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

α) Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό 0,04-0,06 W/m².

β) Με ρεύματα μεταφοράς, που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

Μεγάλη σημασία έχει η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών του, καθώς είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Η ενέργεια αυτή, μπορεί κάλλιστα να αξιοποιηθεί στον αγροτικό τομέα, αλλά και στην κτηνοτροφία, δυο σημαντικούς τομείς για την ανάπτυξη της Ελλάδας. Στην εικόνα 2.8, απεικονίζεται ένα είδος γεωθερμίας στον ελλαδικό χώρο. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο μπορεί να έχει τις παρακάτω τρεις χρήσεις:

- Η Υψηλής Ενθαλπίας (>150 °C) χρησιμοποιείται συνήθως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ισχύς τέτοιων εγκαταστάσεων το 1979 ήταν 1.916 MW με παραγόμενη ενέργεια 12×10⁶ kWh/yr.
- Η Μέσης Ενθαλπίας (80 έως 150 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως).
- Η Χαμηλής Ενθαλπίας (25 έως 80 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.



Εικόνα 2.8 : Αποθέσεις αλάτων από την επιφανειακή απορροή της θερμής πηγής (Θέρμες Ξάνθης, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Κ.Α.Π.Ε.)

2.6.1 Εφαρμογές της Γεωθερμίας

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία και περιλαμβάνουν τις εξής εφαρμογές:

- Ηλεκτροπαραγωγή ($\theta > 90$ °C), (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με δυαδικό κύκλο),
- Θέρμανση χώρων (με καλοριφέρ για $\theta > 60$ °C, με αερόθερμα για $\theta > 40$ °C, με ενδοδαπέδιο σύστημα ($\theta > 25$ °C)),
- Ψύξη και κλιματισμό (με αντλίες θερμότητας απορρόφησης για $\theta > 60$ °C, ή με υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας για $\theta < 30$ °C),
- Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών επειδή τα φυτά αναπτύσσονται γρηγορότερα και γίνονται μεγαλύτερα με τη θερμότητα ($\theta > 25$ °C), ή για αντιπαγετική προστασία,
- Ιχθυοκαλλιέργειες ($\theta > 15$ °C) επειδή τα ψάρια χρειάζονται ορισμένη θερμοκρασία για την ανάπτυξη τους,
- Βιομηχανικές εφαρμογές όπως αφαλάτωση θαλασσινού νερού ($\theta > 60$ °C, ξήρανση αγροτικών προϊόντων, και τέλος
- Θερμά λουτρά για $\theta = 25-40$ °C.

2.7 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

«Υδραυλική» και εν μέρει υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η ενέργεια που αποταμιεύεται ως δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο με τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά από τη συνέχιση της ροής του ελεύθερου νερού και αποδίδεται ως κινητική μέσω υδατόπτωσης. Η κινητική ενέργεια, στη συνέχεια, μπορεί είτε να χρησιμοποιείται αυτούσια επιτόπου (π.χ. νερόμυλοι), είτε να μετατρέπεται σε ηλεκτρική ή άλλες, που την αποθηκεύουν, ώστε τελικά να μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις. Στον γήινο κύκλο του νερού η ενέργεια προέρχεται κυρίως από τον ήλιο που εξατμίζει, σηκώνει ψηλά δηλαδή (στην ατμόσφαιρα), μεγάλες ποσότητες νερού (Κάπος Μ., 2009). Η εκμετάλλευση της

ενέργειας στον κύκλο αυτό γίνεται με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων (υδατοταμιευτήρες, φράγματα, κλειστοί αγωγοί πτώσεως, υδροστρόβιλοι, ηλεκτρογεννήτριες, διώρυγες φυγής). Στην εικόνα 2.9 που ακολουθεί, απεικονίζεται το υδροηλεκτρικό φράγμα που βρίσκεται στην λίμνη Πλαστήρα.



Εικόνα 2.9 : Υδροηλεκτρικό φράγμα στη λίμνη Πλαστήρα (Κάπος Μ.,2009)

2.7.1 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Υδροηλεκτρικής Ενέργειας

- **Πλεονεκτήματα**

- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις απαιτηθεί, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς που απαιτούν σημαντικό χρόνο προετοιμασίας.
- Είναι μια "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με οφέλη όπως, εξοικονόμηση συναλλάγματος, φυσικών πόρων και προστασία του περιβάλλοντος.
- Μέσω των υδατοταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού.

- **Μειονεκτήματα**

- Μεγάλο κόστος κατασκευής φραγμάτων και εγκατάστασης εξοπλισμού, καθώς και ο συνήθως μεγάλος χρόνος που απαιτείται για την αποπεράτωση του έργου.

- Η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση της περιοχής του έργου (συμπεριλαμβανομένων της γεωμορφολογίας, της πανίδας και της χλωρίδας), καθώς και η ενδεχόμενη μετακίνηση πληθυσμών, η υποβάθμιση περιοχών, οι απαιτούμενες αλλαγές χρήσης γης. Επιπλέον, σε περιοχές δημιουργίας μεγάλων έργων παρατηρήθηκαν αλλαγές του μικροκλίματος, αλλά και αύξηση της σεισμικής επικινδυνότητας τους.

2.8 ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Γενικά με τον όρο «Αιολική Ενέργεια» ονομάζουμε την ενέργεια η οποία παράγεται από την εκμετάλλευση των ανέμων που πνέουν σε μια περιοχή. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "Ήπια Μορφή Ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στην ξηρά, όπως ο ανεμόμυλος στη εικόνα 2.10. Ονομάζεται αιολική γιατί στην ελληνική μυθολογία ο Αίολος ήταν ο θεός του ανέμου (Κανελλόπουλος Δ.,2008).

Η «Αιολική Ενέργεια» αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής, ειδικά στον Ελλαδικό χώρο που σε πολλές περιοχές έχουμε εντονότατους ανέμους (Αιγαίο Πέλαγος). Το «καύσιμο» είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.



Εικόνα 2.10 : Ο ανεμόμυλος του Κίντερνταϊκ της Ολλανδίας, είναι μια από της παλιότερες μεθόδους εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.)

2.8.1 Αιολικά Πάρκα

Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών στις μέρες μας βασίζεται σε ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα 2 ή 3 πτερυγίων, που αποδίδουν ηλεκτρική ισχύ 200-400kW. Όταν εντοπιστεί μια ανεμώδης περιοχή και εφόσον βέβαια έχουν προηγηθεί οι απαραίτητες μετρήσεις και μελέτες για την αξιοποίηση του αιολικού της δυναμικού τοποθετούνται μερικές δεκάδες ανεμογεννήτριες, οι οποίες απαρτίζουν ένα «αιολικό πάρκο».

Η εγκατάσταση κάθε ανεμογεννήτριας διαρκεί 1-3 μέρες. Αρχικά ανυψώνεται ο πύργος και τοποθετείται τμηματικά πάνω στα θεμέλια. Μετά ανυψώνεται η άτρακτος στην κορυφή του πύργου. Στη βάση του πύργου συναρμολογείται ο ρότορας ή δρομέας (οριζοντίου άξονα, πάνω στον οποίο είναι προσαρτημένα τα πτερύγια), ο οποίος αποτελεί το κινητό μέρος της ανεμογεννήτριας. Η άτρακτος περιλαμβάνει το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στη συνέχεια ο ρότορας ανυψώνεται και συνδέεται στην άτρακτο. Τέλος, γίνονται οι απαραίτητες ηλεκτρικές συνδέσεις. Στις εικόνες 2.11 και 2.15 απεικονίζεται το αιολικό πάρκο που βρίσκεται στην περιοχή του Παναχαϊκού Όρους στο νομό Αχαΐας.



Εικόνα 2.11 : Αιολικό πάρκο Παναχαϊκού (Κ.Α.Π.Ε.)

2.8.2 Είδη και τρόπος λειτουργίας Ανεμογεννητριών

Στις μέρες μας, υπάρχουν πολλών ειδών ανεμογεννήτριες, αλλά κατατάσσονται όλες σε δύο βασικές κατηγορίες:

- α) Ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα
- β) Ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα

Οι ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα κατατάσσονται περαιτέρω σε:

- α) Δίπτερες ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα
- β) Τρίπτερες ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα



Εικόνα 2.12 : Δίπτερη ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα (Κ.Α.Π.Ε.)

Επιπλέον υπάρχουν πολύ σπάνια και ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα με μόνον ένα πτερύγιο.



Εικόνα 2.13 : Τρίπτερη ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα (Κ.Α.Π.Ε.)

Στην παγκόσμια αγορά έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα με δύο ή τρία πτερύγια. Σε αυτές, τα πτερύγια περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα οριζόντιο ως προς το επίπεδο του εδάφους. Αποτελούν την πλέον συνηθισμένη εικόνα ανεμογεννήτριας που έχουμε δει σε αιολικά πάρκα ή μεμονωμένα.

Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα περιλαμβάνει το δρομέα, το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, την ηλεκτρογεννήτρια, το σύστημα πέδης, το σύστημα προσανατολισμού, τον πύργο, τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου.

Ο δρομέας διαθέτει συνήθως δύο ή τρία πτερύγια προσδεμένα σε μία πλήμνη, είτε σταθερά, είτε με δυνατότητα περιστροφής γύρω από τον διαμήκη άξονά τους, ώστε να μεταβάλλεται το βήμα πτερύγωσης. Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης περιλαμβάνει τον κύριο άξονα, τα έδρανά του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού

στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ανεμογεννήτριας.

Η ηλεκτρογεννήτρια, είναι μια σύγχρονη ή επαγωγική μηχανή με 4 ή 6 πόλους, η οποία συνδέεται με την έξοδο του κιβωτίου πολλαπλασιασμού στροφών. Το σύστημα πέδης είναι ένα κοινό δισκόφρενο, τοποθετημένο στον κύριο άξονα της γεννήτριας. Το σύστημα προσανατολισμού, είναι ένα σύστημα που αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου.

Η όλη ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση εδράζεται επάνω στον πύργο, ο οποίος είναι συνήθως μεταλλικός, σωληνωτός ή δικτυωτός. Πιο σπάνια συναντάμε και πύργους από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ το ύψος του πύργου είναι τέτοιο ώστε ο δρομέας να δέχεται αδιατάρακτη από το έδαφος ροή του ανέμου. Ο ηλεκτρονικός πίνακας και ο πίνακας ελέγχου της ανεμογεννήτριας βρίσκονται στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου μπορεί να ρυθμίσει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 2.14 : Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα (Κ.Α.Π.Ε.)

2.8.3 Πλεονεκτήματα Ανεμογεννητριών

Στα πλεονεκτήματα των ανεμογεννητριών, μπορούμε να αναφέρουμε τις ελάχιστες έως μηδαμινές επιπτώσεις προς το περιβάλλον, αλλά και την μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικά δε στην Ελλάδα, η πλήρης εκμετάλλευση των ανεμογεννητριών μπορεί να αποφέρει τεράστια κέρδη στην οικονομία της χώρας.

2.8.4 Μειονεκτήματα Ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες μπορεί να προκαλέσουν τραυματισμούς ή θανατώσεις πουλιών, κυρίως αποδημητικών γιατί τα ενδημικά «συνηθίζουν» την παρουσία των μηχανών και τις αποφεύγουν. Γι' αυτό καλύτερα να μην κατασκευάζονται αιολικά πάρκα σε δρόμους μετανάστευσης πουλιών. Σε κάθε περίπτωση, πριν τη δημιουργία ενός αιολικού πάρκου ή και οποιασδήποτε εγκατάστασης ΑΠΕ θα πρέπει να έχει

προηγηθεί Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ). Πάντως η συχνότητα ατυχημάτων πουλιών σε αιολικά πάρκα είναι πολύ μικρότερη αυτής των ατυχημάτων με αυτοκίνητα. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας και την αυστηρότερη επιλογή του τόπου εγκατάστασης (π.χ. πλωτές πλατφόρμες σε ανοικτή θάλασσα) το παραπάνω πρόβλημα, αλλά και ο θόρυβος από τη λειτουργία των μηχανών, έχουν σχεδόν λυθεί. Επιπλέον, για τη δημιουργία αιολικών πάρκων θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η επιβάρυνση που θα προκληθεί στην τοποθεσία, διότι για να χτιστεί η εγκατάσταση θα πρέπει να κοπούν δέντρα ή γενικώς να καταστραφεί μέρος της γης στην οποία θα γίνει το εγχείρημα. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και την αυστηρότερη επιλογή του τόπου εγκατάστασης (π.χ. πλωτές πλατφόρμες σε ανοικτή θάλασσα) το παραπάνω πρόβλημα, αλλά και ο θόρυβος από τη λειτουργία των μηχανών, έχουν σχεδόν λυθεί.



Εικόνα 2.15 : Αιολικό πάρκο Παναχαϊκού σε πανοραμική λήψη (Κ.Α.Π.Ε.)

2.8.5 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλη ακτογραμμή και τεράστιο πλήθος νησιών. Ως εκ τούτου, οι ισχυροί άνεμοι που πνέουν κυρίως στις νησιωτικές και παράλιες περιοχές προσδίδουν ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη χώρα. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας. Ενέργειες για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας έχουν γίνει σε ολόκληρη τη χώρα, ενώ στο γεγονός αυτό έχει συμβάλει και η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις ΑΠΕ, η οποία ενθαρρύνει και επιδοτεί επενδύσεις στις Ήπιες Μορφές Ενέργειας (Κρητικός Δ., 2008).

Η περιφέρεια της Δυτικής Ελλάδας αν και έχει το μικρότερο αιολικό δυναμικό σε σύγκριση με άλλες περιοχές, διαθέτει ένα ισχυρό ηλεκτρικό δίκτυο και το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη ανεμοδών «νησίδων» (λόφοι, υψώματα κλπ. με εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό) την καθιστούν ενδιαφέρουσα για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων.

Αιολικά πάρκα υπάρχουν και σε πλήθος νησιών, όπως το Αιολικό Πάρκο «Μηνολάτη-Ξερολίμπα» του Δ.Δ. Διλινάτων Δήμου Αργοστολίου στην Κεφαλονιά.

Στο ίδιο νησί έχουν δημιουργηθεί δύο ακόμη αιολικά πάρκα: το Αιολικό Πάρκο «Αγία Δυνατή» του Δήμου Πυλαρέων, και το Αιολικό Πάρκο "Ημεροβίγλι" στα διοικητικά όρια των Δήμων Αργοστολίου και Πυλαρέων. Με τη δημιουργία των τριών αιολικών πάρκων ο Νομός Κεφαλληνίας τροφοδοτεί το δίκτυο ηλεκτροδότησης της χώρας με σύνολο 75,6MW ηλεκτρικής ισχύος. Επιπλέον, σε διαδικασία αδειοδότησης βρίσκονται πέντε ακόμη μονάδες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ανάγκες του νησιού σε ηλεκτρική ενέργεια και σε περίοδο αιχμής (Αύγουστος) ανέρχονται σε 50MW. Η αντιστοιχία μεταξύ της ισχύος που αποδίδει η Κεφαλονιά στο δίκτυο και της ισχύος που καταναλώνει είναι εξαιρετικά ενθαρρυντική για την εξάπλωση της αιολικής ενέργειας και σε πολλά ακόμη νησιά της επικράτειας (Κ.Α.Π.Ε.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το θερμοκήπιο της παρούσας εργασίας εντάσσεται στην κατηγορία των τροποποιημένων τοξωτών θερμοκηπίων, ο σκελετός του οποίου αποτελείται από γαλβανισμένους εν θερμώ χαλύβδινους σωλήνες, οι προσόψεις, οι πλευρές καθώς και η οροφή καλύπτονται από απλό φύλλο πολυαιθυλενίου.

Το θερμοκήπιο της παρούσας μελέτης αποτελείται από ένα κόλπο μήκους 60 m και πλάτους 6.4 m, που επαναλαμβάνεται κατά πλάτος 5 φορές, βρίσκεται στην πόλη της Πάτρας (περιοχή Παραλία Πατρών). Στον Πίνακα 3.1, βλέπουμε τις διαστάσεις του συγκεκριμένου θερμοκηπίου, ενώ στην εικόνα 3.1 που ακολουθεί φαίνεται η πρόσοψη του θερμοκηπίου.



Εικόνα 3.1 : Πρόσοψη θερμοκηπίου

Πίνακας 3.1 : Χαρακτηριστικά στοιχεία θερμοκηπίου

a/a	Χαρακτηριστικά Δεδομένα Θερμοκηπίου	
1	Μήκος Θερμοκηπίου	60 m
2	Πλάτος Θερμοκηπίου	32 m
3	Ύψος Υδρορροής	3 m
4	Αριθμός Κόλπων	5
5	Πλάτος Κόλπου	6,4 m
6	Υλικό Κάλυψης Θερμοκηπίου	Απλό φύλλο πολυαιθυλενίου
7	Υλικό Σκελετού Θερμοκηπίου	Γαλβανισμένοι Χαλύβδini Σωλήνες
8	Έκταση Θερμοκηπίου	1920 m ²

Στις εικόνες που ακολουθούν θα δούμε διάφορες όψεις του θερμοκηπίου τόσο εξωτερικά όσο εσωτερικά. Επίσης θα γίνει λεπτομερής περιγραφή του εξοπλισμού που περιλαμβάνει το θερμοκήπιο, αλλά και το πώς ανταποκρίνονται αυτά στις απαιτήσεις του θερμοκηπίου. Στις εικόνες 3.1 και 3.2 απεικονίζονται η πρόσοψη του θερμοκηπίου και η πλάγια όψη του η οποία έχει και μήκος 60 m, ενώ η πρόσοψη έχει μήκος 32 m.



Εικόνα 3.2 : Πλάγια όψη θερμοκηπίου

Στο θερμοκήπιο κατά την διάρκεια του έτους μπορεί να καλλιεργηθούν αρκετά είδη κηπευτικών, όπως τομάτα, αγγούρι, μελιτζάνα, φασόλι, πιπεριά, κολοκύθι κ.α. Εμείς ερευνήσαμε τις συνθήκες που χρειάζεται η τομάτα για να αναπτυχθεί, αφού πρόκειται για μια αρκετά δύσκολη καλλιέργεια. Έτσι οι υπολογισμοί μας παρακάτω έγιναν με βάση τις θερμοκρασιακές ανάγκες του συγκεκριμένου λαχανικού. Στην εικόνα 3.3 βλέπουμε πως γίνεται η καλλιέργεια τομάτας σε θερμοκήπιο, αφού πρόκειται για συγκεκριμένη ποικιλία τομάτας.



Εικόνα 3.3 : Καλλιέργεια τομάτας σε θερμοκήπιο

Ακόμα με τον ίδιο τρόπο πραγματοποιείται και καλλιέργεια φασιολιού και αγγουριού σε θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις όπως θα δούμε και στις εικόνες 3.4 και 3.5.



Εικόνα 3.4 : Καλλιέργεια αγγουριού σε θερμοκήπιο

Πρόκειται για καλλιέργειες που έχουν μεγάλη εφαρμογή στις θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις, κυρίως κατά την περίοδο του χειμώνα αφού πρόκειται για λαχανικά εποχής και συγκεκριμένα την περίοδο του καλοκαιριού, όπου και καλλιεργούνται στην ύπαιθρο και όχι σε θερμοκήπια. Έτσι μέσα από τις ικανοποιητικές θερμοκρασίες που έχουμε εντός του θερμοκηπίου κατά τους χειμερινούς μήνες, μπορούμε να έχουμε παραγωγή των συγκεκριμένων λαχανικών αλλά και πολλών ακόμα καθ όλη την διάρκεια του έτους.



Εικόνα 3.5 : Καλλιέργεια φασιολιού σε θερμοκήπιο

3.2 ΒΑΣΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Το θερμοκήπιο σαν βασικό εξοπλισμό περιλαμβάνει τον αερολέβητα πετρελαίου, τους ανεμιστήρες, τους λαμπτήρες φωτισμού, την αντλία γεώτρησης μαζί με τα ειδικά σταγονίδια ποτίσματος και τα διάφορα ηλεκτρικά μέρη, όπως αυτά των παραθύρων. Στον Πίνακα 3.2 ταξινομούμε τον εξοπλισμό του θερμοκηπίου με τις ποσότητες των εξαρτημάτων. Το κόστος του θερμοκηπίου μαζί με τον εξοπλισμό του ξεπερνάει τις 50000 €.

Πίνακας 3.2 : Βασικός εξοπλισμός θερμοκηπίου

a/a	Εξοπλισμός θερμοκηπίου	
1	Θέρμανση	Αερολέβητας πετρελαίου
2	Εξαερισμός	10 Ανεμιστήρες
3	Φωτισμός	8 Λαμπτήρες
4	Πότισμα	Αντλία Γεώτρησης
5	Φυσικός Δροσισμός	6 Παράθυρα

3.2.1 Θέρμανση θερμοκηπίου

Η θέρμανση του θερμοκηπίου για να επιτύχουμε την επιθυμητή θερμοκρασία του φυτού γίνεται με έναν αερολέβητα πετρελαίου θέρμανσης όπως αυτόν που βλέπουμε στην εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.6 : Αερολέβητας πετρελαίου Radialand AE 300

Ο συγκεκριμένος αερολέβητας περιλαμβάνει ανεμιστήρα φυγόκεντρο τύπου και ανάλογος σε m^3 και στατικής πίεσης των θερμίδων του αερολέβητα. Στον Πίνακα 3.3 φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αερολέβητα.

Πίνακας 3.3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά αερολέβητα Radialand AE 300

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Αερολέβητα		
a/a		
1	Θερμική ισχύς	348,8 kW ή 300000 Kcal/h
2	Παροχή αέρα	25000 m ³
3	Ισχύς	380 Volt
4	Μήκος	2 m
5	Πλάτος	1,15 m
6	Ύψος	2 m
7	Διάμετρος καμινάδας	300 mm
8	Τουρμπίνα αέρα	7,5 HP
9	Κατανάλωση (ελάχιστη-μέγιστη)	6,7-11,5 Kg/h

Η έξοδος των καυσαερίων γίνεται από καμινάδα με διάμετρο 300 mm και την βλέπουμε στην εικόνα 3.7. Λόγο του μεγάλου κόστους που έχει τη σημερινή εποχή το πετρέλαιο θέρμανσης, αφού η τιμή του ανά τόνο αγγίζει ή και ξεπερνά τα 1500 €, όπως θα δούμε στο Κεφάλαιο 5, προτείνουμε την αντικατάσταση του αερολέβητα πετρελαίου με έναν αερολέβητα πυρηνόξυλου.

3.2.1.1 Υπολογισμός κατανάλωσης πετρελαίου

Σύμφωνα με την κατανάλωση καυσίμου που δίνεται από τον κατασκευαστή του αερολέβητα όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.3 και κυμαίνεται από 6,7 έως 11,5 Kg/h, μπορούμε να υπολογίσουμε την ετήσια κατανάλωση που θα έχει ο συγκεκριμένος λέβητας. Λαμβάνοντας υπόψη μια μέση τιμή κατανάλωσης θα έχουμε :

- Τιμή ανά τόνο πετρελαίου 1500 €/τόνο
- Μέση κατανάλωση καυσίμου 9,1 Kg/h
- Ώρες λειτουργίας λέβητα ανά ημέρα = 9 ώρες
- Περίοδος λειτουργίας λέβητα = 180 ημέρες
- Ημερήσια κατανάλωση καυσίμου = 9,1 Kg/h x 9 h = 81,9 Kg
- Ετήσια κατανάλωση καυσίμου = 81,9 Kg x 180 ημέρες = 14742 Kg ή 14,742 τόνοι ετησίως
- Ετήσιο κόστος πετρελαίου = 14,742 τόνοι x 1500 €/τόνο = 22113 €

Αρα παρατηρούμε ότι τα έξοδα του θερμοκηπίου σε πετρέλαιο θέρμανσης ετησίως ξεπερνά τα 20000 €, πράγμα που σημαίνει ότι επιβάλλεται η αντικατάσταση του αερολέβητα πετρελαίου θέρμανσης με έναν αντίστοιχο αερολέβητα πυρηνόξυλου.



Εικόνα 3.7 : Καμινάδα αερολέβητα

3.2.2 Εξαερισμός θερμοκηπίου

Τα θερμοκήπια χρειάζονται εξαερισμό για να ανακυκλώνεται ο θερμός αέρας που παράγεται και για να μην δημιουργούνται υδρατμοί. Στο θερμοκήπιο της μελέτης υπάρχουν συνολικά 10 ανεμιστήρες με ονομαστική ισχύ 250 Watt. Αυτοί συνήθως λειτουργούν κατά μέσο όρο 3 ώρες ημερησίως κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες. Στην εικόνα 3.8 απεικονίζεται ένας από τους ανεμιστήρες του θερμοκηπίου ενώ στον Πίνακα 3.4 τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.



Εικόνα 3.8 : Ανεμιστήρας θερμοκηπίου RPM s.p.a.

Πίνακας 3.4 : Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμιστήρα RPM s.p.a.

Ισχύς μοτέρ	250 Watt
Τάση	230 V
Συχνότητα	50 Hz
Στροφές	1000/min

3.2.3 Φωτισμός θερμοκηπίου

Ο φωτισμός του θερμοκηπίου επιτυγχάνεται με 8 λαμπτήρες πυρακτώσεως των 60 Watt ο καθένας. Όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 5, προτείνουμε την αντικατάσταση των συγκεκριμένων λαμπτήρων με λάμπες τύπου led για οικονομικότερη κατανάλωση και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των λαμπτήρων. Στην εικόνα 3.9 βλέπουμε έναν από τους λαμπτήρες που αρχικά υπήρχαν στο θερμοκήπιο, ενώ στον Πίνακα 3.5 τα τεχνικά χαρακτηριστικά των λαμπτήρων.

Εμείς εκτός από τους εσωτερικούς λαμπτήρες προτείνουμε και την τοποθέτηση 10 λαμπτήρων led στον εξωτερικό χώρο του θερμοκηπίου προς διευκόλυνση της συγκομιδής κατά τις νυχτερινές ώρες κυρίως την περίοδο του χειμώνα.



Εικόνα 3.9 : Λαμπτήρας θερμοκηπίου

Πίνακας 3.5 : Τεχνικά χαρακτηριστικά λαμπτήρα E14

Τύπος	Λαμπτήρας πυρακτώσεως E14
Ισχύς	60 Watt
Τάση	230 Volt
Χρώμα	Θερμό λευκό
Διαστάσεις	120 mm x 35 mm

3.2.4 Πότισμα θερμοκηπίου

Το πότισμα του θερμοκηπίου γίνεται με άντληση νερού από υποβρύχια ηλεκτροκίνητη αντλία γεωτρήσεων με ισχύ 1,5 HP. Η αντλία είναι της εταιρίας OFT PUMPS και η διάμετρο της αντλίας είναι 4". Το μοτέρ της αντλίας είναι κατασκευασμένο τελείως στεγανό με προστασία για την άμμο, ενώ η μέγιστη θερμοκρασία είναι 30 °C και οι μέγιστες εκκινήσεις φτάνουν τις 20/ώρα.



Εικόνα 3.10 : Υποβρύχια αντλία γεωτρήσεων OFT PUMPS GAMMA 19

Η διαδικασία που ακολουθείτε μετά την άντληση του νερού από την αντλία, είναι η εξής: το νερό καταλήγει πρώτα σε ένα φίλτρο νερού για να έχουμε όσο πιο καθαρό νερό γίνεται για την διαδικασία του ποτίσματος. Εν συνεχεία το νερό περνάει στο θερμοκήπιο μέσω πλαστικού σωλήνα με διάμετρο 1,5". Ακολούθως το νερό καταλήγει στα φυτά με μικρά λάστιχα και σε μορφή σταγονιδίων το πότισμα.

Πίνακας 3.6 : Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας OFT PUMPS GAMMA 19

Ισχύς	1,5 HP
MF	40
Τάση	220 Volt
Διάμετρος παροχής	1" 1/4"
Παροχή	6 m ³ /h max
Μανομετρικό	104 m max

Στις εικόνες παρακάτω θα δούμε το φίλτρο που καταλήγει το νερό μετά την άντληση του από την αντλία γεώτρησης αλλά και εικόνες από την διαδικασία ποτίσματος. Για το συγκεκριμένο θερμοκήπιο απαιτούνται κατά τους χειμερινούς μήνες περίπου 2 m³ νερού την ημέρα, δηλαδή πάνω από 14 m³ την εβδομάδα, ενώ κατά την διάρκεια των θερμών μηνών του χρόνου απαιτούνται περίπου 5 m³ νερού την ημέρα και πάνω από 35 m³ την εβδομάδα. Βέβαια με την προσθήκη κάποιου βοηθητικού μέσου ποτίσματος όπως π.χ. μιας δεξαμενής αποθήκευσης νερού θα μπορούσαμε να έχουμε οικονομία στην κατανάλωση της αντλίας σε ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 3.11 : Φίλτρο καθαρισμού του νερού πριν το πότισμα

Με τα σταγονίδια ποτίσματος επιτυγχάνεται η ομαλή διαδικασία ποτίσματος και η αναλογική κατανομή του νερού σε όλα τα φυτά. Όλες οι σύγχρονες θερμοκηπιακές καλλιέργειες σήμερα περιλαμβάνουν τον συγκεκριμένο τρόπο ποτίσματος. Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνεται η διαδικασία ποτίσματος με σταγονίδια στο θερμοκήπιο της μελέτης μας.



Εικόνα 3.12 : Διαδικασία ποτίσματος με σταγονίδια

3.2.5 Δροσισμός θερμοκηπίου

Ο δροσισμός του θερμοκηπίου γίνεται με φυσικό τρόπο μέσω των παραθύρων οροφής και των πλαϊνών παραθύρων. Ο τρόπος λειτουργίας τους είναι απλός αφού ανοιγοκλείνουν με μοτέρ αποτελούμενα από ιμάντα που επιτυγχάνει την κίνηση των

παραθύρων. Το θερμοκήπιο αποτελείται από 4 παράθυρα οροφής και 2 παράθυρα στο πλάι του. Το κάθε ένα από αυτά περιλαμβάνει ένα μοτέρ με ισχύ 1 HP. Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε τον μηχανισμό μετάδοσης της κίνησης για το άνοιγμα των παραθύρων, ενώ στον Πίνακα 3.7 τις διαστάσεις των 6 παραθύρων.



Εικόνα 3.13 : Μηχανισμός κίνησης παραθύρων

Πίνακας 3.7 : Διαστάσεις παραθύρων θερμοκηπίου

Μήκος	28,5 m
Πλάτος	1,5 m
Διαδικασία κίνησης	6 μοτέρ x 1 HP



Εικόνα 3.14 : Παράθυρα οροφής θερμοκηπίου

3.3 Εγκατεστημένη ισχύς θερμοκηπίου πριν τη μελέτη

Οι ηλεκτρικές καταναλώσεις του θερμοκηπίου πριν τη μελέτη ταξινομούνται στον παρακάτω πίνακα. Εδώ φαίνεται η εγκατεστημένη ισχύς, ο μέσος ημερήσιος χρόνος λειτουργίας και η μέση ημερήσια κατανάλωση.

Πίνακας 3.8 : Ηλεκτρικές Καταναλώσεις

Κατανάλωση	Εγκατεστημένη Ισχύς (W)	Μέσος Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας	Μέση Ημερήσια Κατανάλωση Wh/day
Ηλεκτροφωτισμός εσωτερικά τύπου led 8 σημεία x 60watt	480	3	1440
Ανεμιστήρες 10σημείαx250watt	2500	3	7500
Μοτέρ πλαϊνών παραθύρων και οροφής	4476	0,02	90
Αντλία γεώτρησης	1119	2	2238
Μοτέρ Αερολέβητα	5595	9	50355
Σύνολο	14170		61533

3.3.1 Κόστος θερμοκηπίου σε ηλεκτρικό ρεύμα

Το κόστος σε ηλεκτρικό ρεύμα είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος για μια επιχείρηση γενικά, όπως για ένα νοικοκυριό, μια μικρή ή μεγάλη εταιρία. Οι τιμές του ρεύματος καθορίζονται από την Δ.Ε.Η., οποία και συντάσσει διάφορες τιμολογιακές πολιτικές για όλους τους καταναλωτές. Έτσι υπάρχει και το αγροτικό τιμολόγιο, το οποίο απευθύνεται μόνο σε επαγγελματίες αγρότες. Γενικά η Δ.Ε.Η. χορηγεί αυτά τα τιμολόγια στους αγρότες που θα συνάπτουν σύμβαση με υποχρέωση να διακόπτουν τις ώρες που τους ζητείται από τη Δ.Ε.Η. Σε περίπτωση μη συμμόρφωσης, όλη η ενέργεια της περιόδου τιμολόγησης θα κοστολογείται με το τιμολόγιο, βιομηχανικό ενεργειακό ή με το βιομηχανικό με ισχύ και μια ζώνη ενέργειας, που αντιστοιχεί στην ισχύ της παροχής τους. Η τιμή της πάγιας χρέωσης για αγροτικό τιμολόγιο ορίζεται στα 0,53 € και βάση αυτής της τιμής θα υπολογισθεί το κόστος σε ηλεκτρικό ρεύμα για το θερμοκήπιο της μελέτης.

- Υπολογισμός ημερησίου κόστους ηλεκτρικού ρεύματος

Τιμή ανά kWh x Μέση ημερήσια κατανάλωση kWh/day = 0,53 € x 61,533 = 32,6 €

- Υπολογισμός μηνιαίου κόστους ηλεκτρικού ρεύματος

Ημερήσιο κόστος ηλεκτρικού ρεύματος x 30 ημέρες = 32,6 € x 30 = 978 €

- Υπολογισμός ετήσιου κόστους ηλεκτρικού ρεύματος

Μηνιαίο κόστος ηλεκτρικού ρεύματος x 12 μήνες = 978 € x 12 = 11736 €

Πίνακας 3.9 : Κόστος ηλεκτρικού ρεύματος

Τιμή Ενέργειας (€/kWh)	0,53 €
Ημερήσιο κόστος	32,6 €
Μηνιαίο κόστος	978 €
Ετήσιο κόστος	11736 €

Βλέπουμε μετά τους παραπάνω υπολογισμούς το τεράστιο κόστος σε ηλεκτρικό ρεύμα σε ετήσια βάση που απαιτείται για να λειτουργεί το θερμοκήπιο. Όμως με την εγκατάσταση του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος που θα αναλύσουμε στο Κεφάλαιο 6, το κόστος θα μηδενιστεί αφού όλες οι ανάγκες του θερμοκηπίου θα καλύπτονται από τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

4.1 ΒΑΣΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Στις ενότητες που θα ακολουθήσουν, θα γίνει περιγραφή σημαντικών μηχανισμών, οι οποίοι είναι απαραίτητοι για να έχουμε μετάδοση θερμότητας. Τέτοιες είναι η αγωγή, η συναγωγή και η ακτινοβολία. Επίσης θα υπολογίσουμε και τις θερμικές απώλειες του θερμοκηπίου, οι οποίες είναι προέκταση των μηχανισμών μετάδοσης θερμότητας.

4.1.1 Αγωγή

Ως «αγωγή θερμότητας» ορίζεται η μεταφορά της θερμικής ενέργειας από τα σωματίδια ενός μέσου που έχουν υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο προς τα γειτονικά με μικρότερο ενεργειακό περιεχόμενο ως αποτέλεσμα των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων. Η αγωγή μπορεί να πραγματοποιηθεί στα στερεά, στα υγρά και στα αέρια αρκεί να μην υπάρχει κίνηση της μάζας στο υγρό ή στο αέριο. Ο ρυθμός αγωγής θερμότητας από ένα μέσο εξαρτάται από την γεωμετρία του, το πάχος, το υλικό του μέσου και από την διαφορά θερμοκρασίας στις δύο πλευρές του μέσου και δίδεται από την εξίσωση του Fourier (για μια διάσταση) :

$$Q_{cond} = k / LA\Delta T \quad (W) \quad (4.1)$$

Όπου:

k= θερμική αγωγιμότητα του υλικού η οποία αποτελεί το μέτρο της ικανότητας ενός υλικού να άγει θερμότητα, $W m^{-1} K^{-1}$

A= η επιφάνεια μέσω της οποίας άγεται η θερμότητα, m^2

L= το πάχος του υλικού, m

ΔT = η διαφορά θερμοκρασίας στις πλευρές του υλικού, K

Ένα από τα προβλήματα που αφορούν την μεταφορά της θερμότητας είναι η μονοδιάστατη μορφή της αν η θερμοκρασία στο μέσο μεταβάλλεται μόνο προς μία διεύθυνση και επομένως η θερμότητα μεταφέρεται προς μία και μόνο διεύθυνση, εν αντιθέσει με τις μεταβολή της θερμοκρασίας και την μεταφορά θερμότητας που τα χαρακτηρίζουμε ως δισδιάστατα ή τρισδιάστατα. Ο χαρακτηρισμός αυτός προκύπτει από τα σχετικά μεγέθη των ρυθμών μεταφοράς θερμότητας σε διαφορετικές διευθύνσεις συναρτήσει του βαθμού επιθυμητής ακρίβειας (Βουρδούμπας, 2000). Η εξίσωση 4.1 αναφέρεται σε μονοδιάστατη μεταφορά θερμότητας και δείχνει ότι η θερμότητα που άγεται αυξάνεται με την αύξηση της διαφοράς θερμοκρασίας και την θερμική αγωγιμότητα του υλικού, αλλά μειώνεται όσο το πάχος του υλικού αυξάνει. Αύτη η εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει την αγωγή θερμότητας

μέσω των παραθύρων ενός κτηρίου ή μέσω του υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου, και αυτό διότι η θερμοκρασιακή κατανομή είναι ουσιαστικά μίας διάστασης. Επίσης χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ροής θερμότητας στο έδαφος σε μεγάλα θερμοκήπια, όπως αυτό που μελετήσαμε.

4.1.2 Συναγωγή

Η «συναγωγή» αποτελεί τον μηχανισμό μετάδοσης θερμότητας μεταξύ μιας επιφάνειας και του ρευστού που την περιβάλλει. Η συναγωγή μπορεί να χαρακτηριστεί είτε ως φυσική (ή ελεύθερη), είτε ως εξαναγκασμένη, ανάλογα με τον τρόπο που προκλήθηκε η κίνηση του ρευστού. Στην «εξαναγκασμένη» συναγωγή, το ρευστό αναγκάζεται να κινηθεί σε μια επιφάνεια ή σε έναν σωλήνα με εξωτερικά μέσα, όπως μια αντλία ή έναν ανεμιστήρα. Στην «φυσική» συναγωγή η οποιαδήποτε κίνηση του ρευστού οφείλεται στο φαινόμενο της άνωσης που εκδηλώνεται ως άνοδος του θερμότερου ρευστού και κάθοδος του ψυχρότερου ρευστού (Becket Kenneth A.,1998)

Η μετάδοση θερμότητας που γίνεται με την μέθοδο της συναγωγής είναι πολυδιάστατη, επειδή περιλαμβάνει κίνηση ρευστού και αγωγή θερμότητας. Μια ενδεχόμενη κίνηση ενός ρευστού, ενισχύει μια μεταφορά θερμότητας αν και εφόσον έρθει σε επαφή το θερμότερο με το ψυχρότερο ρευστό, προκαλώντας έτσι αρκετά υψηλότερους ρυθμούς αγωγής σε μεγαλύτερο πλήθος σημείων σε ένα ρευστό. Άρα, όπως καταλαβαίνουμε ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας μέσω ενός ρευστού είναι αρκετά πιο υψηλότερος με την συναγωγή παρά με την αγωγή θερμότητας. Πράγματι όσο υψηλότερη είναι η ταχύτητα του ρευστού, τόσο πιο υψηλός είναι ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας που είναι ανάλογος με την διαφορά θερμοκρασίας και εκφράζεται με τον νόμο του Newton :

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_\infty) \quad (W) \quad (4.2)$$

Όπου:

h = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μέσω συναγωγής, $W \, m^{-2} \, K^{-1}$

A = επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας, m^2

T_s = θερμοκρασία επιφάνειας, K

T_∞ = θερμοκρασία του ρευστού αρκετά μακριά από την επιφάνεια, K

Άρα όπως κρίνουμε από τις μονάδες που βλέπουμε παραπάνω, ο συντελεστής μεταφοράς της θερμότητας μέσω συναγωγής (ή συντελεστής συναγωγής), αποτελεί τον ρυθμό μεταφοράς θερμότητας μεταξύ μιας στερεάς επιφάνειας και ενός ρευστού ανά μονάδα εμβαδού και ανά μονάδα διαφοράς της θερμοκρασίας. Ενώ η παραπάνω εξίσωση φαίνεται να είναι αρκετά απλή ο συντελεστής συναγωγής είναι δύσκολο να προσδιοριστεί αναλυτικά γιατί εξαρτάται από την ταχύτητα ροής V , τις θερμοφυσικές ιδιότητες του ρευστού (όπως το δυναμικό ιξώδες μ , την θερμική αγωγιμότητα k , την πυκνότητα ρ και την ειδική θερμότητα C_p). Ο συντελεστής συναγωγής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα. Όσο υψηλότερη είναι η ταχύτητα, τόσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής συναγωγής. Οι ταχύτητες του ρευστού οι οποίες μπορεί να σχετίζονται με την φυσική συναγωγή είναι χαμηλές, συνήθως κάτω από $1 \, ms^{-1}$. Επομένως οι συντελεστές συναγωγής που συναντά κανείς στην φυσική συναγωγή

είναι συνήθως πολύ χαμηλότερες από εκείνες που συναντά κανείς στην εξαναγκασμένη συναγωγή.

4.1.3 Συνδυασμός Αγωγής και Συναγωγής

Στα διάφορα είδη των θερμοκηπίων, συνήθως χρησιμοποιούμε διαφανή υλικά ως υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων, έχουν αρκετά μικρό πάχος και κατ'επέκταση και μικρή μόνωση. Ως αποτέλεσμα αυτών, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή, τότε και η ροή θερμότητας προς τα έξω θα είναι μεγάλη. Οι απώλειες αυτές της θερμότητας γίνονται διαμέσου μίας σύνθετης αντίστασης συναγωγής-αγωγής-συναγωγής, και περιγράφονται συνοπτικά από την εξίσωση 4.3 :

$$Q_c = UA_c(T_i - T_o) \quad (\text{W}) \quad (4.3)$$

Όπου:

A_c = επιφάνεια καλύμματος, m^2

$T_i - T_o$ = η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος, K

U = ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας του καλύμματος, $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$

4.1.4 Ακτινοβολία

Η «ακτινοβολία» (radiation) είναι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η διάδοση με εκπομπή και απορρόφηση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος (θερμική ακτινοβολία). Με τον τρόπο αυτό μεταδίδεται θερμική ενέργεια χωρίς να απαιτείται η παρουσία κάποιου υλικού μέσου, δηλαδή στο κενό. Στην πράξη η μεταφορά θερμότητας που πραγματοποιείται με ακτινοβολία είναι πολύ γρηγορότερη (στην ταχύτητα του φωτός) και έτσι δεν μπορεί να εξασθενήσει στο κενό. Η θερμική ακτινοβολία εκπέμπεται συνεχώς από κάθε σώμα που βρίσκεται σε θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν προς όλες τις διευθύνσεις σε ένα μεγάλο εύρος τιμών μήκους κύματος. Η ποσότητα της ενέργειας που συνήθως εκπέμπεται με ακτινοβολία από μια επιφάνεια με συγκεκριμένο μήκος κύματος, εξαρτάται από το υλικό κατασκευής του σώματος, την κατάσταση που βρίσκεται η επιφάνεια του και από την θερμοκρασία της επιφάνειας. Επομένως διαφορετικά είδη επιφανειών είναι πολύ πιθανό να εκπέμπουν διαφορετικές ποσότητες ακτινοβολίας ανά μονάδα εμβαδού, ακόμα και όταν βρίσκονται κάτω από την ίδια θερμοκρασία (Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2001)

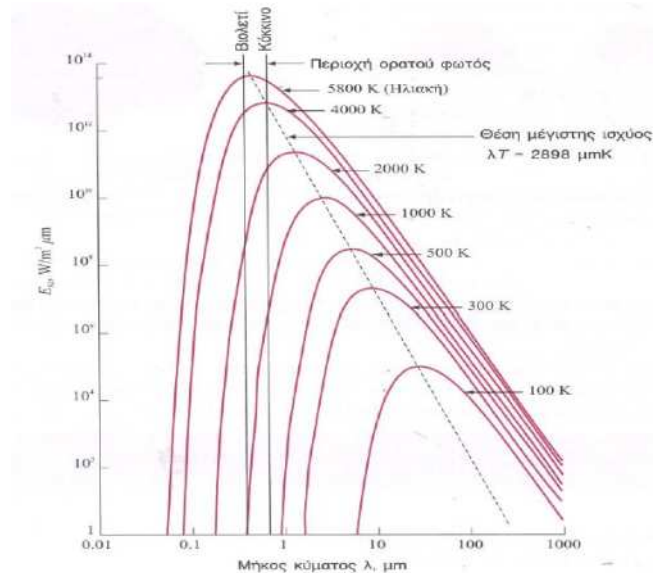
Βασική είναι η έννοια του μέλανος σώματος. Ορίζεται ως ένα σώμα με αρκετά μεγάλη εκπομπή και απορρόφηση της παραχθείσας ακτινοβολίας. Σε συγκεκριμένες θερμοκρασιακές συνθήκες και μήκη κύματος, δεν μπορεί σε καμία επιφάνεια να εκπέμπεται περισσότερη ενέργεια από ότι σε ένα μέλαν σώμα. Ένα μέλαν σώμα, είναι δυνατό να απορροφήσει όλη την προσπίπτουσα ενέργεια, ανεξάρτητα από το μήκος κύματος και τη διεύθυνση και εκπέμπει ενέργεια με ακτινοβολία προς όλες τις διευθύνσεις. Η ενέργεια ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα ανά μονάδα χρόνου και ανά μονάδα εμβαδού δίνεται από την εξίσωση 4.4 των Stefan-Boltzmann :

$$E_b = \sigma T^4 \quad (\text{W m}^{-2}) \quad (4.4)$$

όπου E_b είναι η ισχύς εκπομπής του μέλανος σώματος, η οποία αποτελεί το άθροισμα της ακτινοβολίας που εκπέμπεται σε όλα τα μήκη κύματος, σ η σταθερά Stefan-Boltzmann και T η απόλυτη θερμοκρασία της επιφάνειας σε K. Αρκετές φορές ενδιαφέρει η ισχύς εκπομπής φασματικής ακτινοβολίας του μέλανος σώματος, που είναι η ποσότητα της ενέργειας της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα σε απόλυτη θερμοκρασία T ανά μονάδα χρόνου ανά μονάδα εμβαδού και ανά μονάδα μήκους κύματος στο μήκος κύματος λ . Η ισχύς εκπομπής $E_{b\lambda}$ του φασματικού μέλανος σώματος εκφράζεται από τον παρακάτω νόμο κατανομής του Planck και βλέπουμε στην εξίσωση 4.5 ενώ παρουσιάζεται γραφικά στο διάγραμμα 4.1 για επιλεγμένες θερμοκρασίες :

$$E_{b\lambda}(T) = \frac{C_1}{\lambda^5 [\exp(C_2 / \lambda T) - 1]} \quad (\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}) \quad (4.5)$$

Το είδος της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από μια πραγματική επιφάνεια είναι πάντοτε μικρότερη από εκείνη που εκπέμπει το μέλαν σώμα. Κατά συνέπεια, η εκπομπή του μέλανος σώματος θεωρείται ως περίπτωση αναφοράς και χρησιμεύει ως πρότυπο για την σύγκριση των ιδιοτήτων της ακτινοβολίας των πραγματικών επιφανειών. Η «ικανότητα εκπομπής» που έχει μια επιφάνεια (ή συντελεστής εκπομπής), ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας που εκπέμπει η επιφάνεια αυτή προς την ενέργεια που εκπέμπει ένα μέλαν σώμα στην ίδια θερμοκρασία. Ο συντελεστής εκπομπής συμβολίζεται με ε , και αποτελεί μέτρο του κατά πόσο μια επιφάνεια προσεγγίζει την συμπεριφορά ενός μέλανος σώματος, για το οποίο $\varepsilon=1$.



Διάγραμμα 4.1 : Μεταβολή της ισχύος εκπεμπόμενης ακτινοβολίας του μέλανος σώματος σε σχέση με το μήκος κύματος για συγκεκριμένες θερμοκρασίες (Cengel, 2005)

Στον πίνακα 4.1 που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι τυπικές τιμές ικανότητας εκπομπής που έχουν διάφορα υλικά.

Πίνακας 4.1 : Τυπικές τιμές ικανότητας εκπομπής για διάφορα υλικά (Cengel, 2005)

Υλικό	Ικανότητα εκπομπής (ε)	Θερμοκρασία (K)
Χαρτί, λευκό	0.90	300
Γύψος, λευκός	0.93	300
Άμμος	0.90	300
Ανθρώπινο δέρμα	0.95	300
Χιόνι	0.80-0.90	273
Χώμα, έδαφος,	0.93-0.96	300
Νερό	0.95-0.96	273-373
Γυαλί	0.90-0.95	300
Κεραμικό υλικό	0.85-0.57	300-1500
Τοιχοποιία	0.80	300
Ξύλο	0.82-0.90	300
Στεγνή επιφάνεια	0.85	300
Υγρή επιφάνεια	0.91	300
Αλουμίνιο στιλβωμένο	0.04-0.06	300-900
Αλουμίνιο οξειδωμένο	0.2-0.3	400-800

4.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Στις ενότητες που θα ακολουθήσουν, θα περιγράψουμε τις παραμέτρους, που θα χρησιμοποιήσουμε στη συνέχεια για τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών του θερμοκηπίου μας. Θα αναλυθούν ο συντελεστής συναγωγής, ο συντελεστής εκπομπής, η θερμοκρασία του ουρανού και ο αριθμός των εναλλαγών του αέρα. Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών, αποτελούν αρκετά σημαντικό μέρος για την μελέτη και την προσθήκη των φωτοβολταϊκών που θα υπολογίσουμε στο κεφάλαιο 6.

4.2.1 Συντελεστές Συναγωγής

Σε ένα θερμοκήπιο, η θερμότητα που διαρρέεται μέσω του καλύμματος με όρους απωλειών θερμότητας, πραγματοποιείται όταν η θερμοκρασία του αέρα στο περιβάλλον του θερμοκηπίου υπερβαίνει την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το μέγεθος των θερμικών απωλειών σε ένα θερμοκήπιο εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα και τις ιδιότητες ακτινοβολίας που έχει το υλικό κάλυψης, τις θερμοκρασίες στο εσωτερικό και εξωτερικό του καλύμματος και την ταχύτητα του αέρα μέσα και έξω από το θερμοκήπιο. Η μεταφορά της θερμότητας που γίνεται με την μέθοδο της συναγωγής από το κάλυμμα του θερμοκηπίου είναι ο σπουδαιότερος μηχανισμός για τις ενεργειακές απώλειες του θερμοκηπίου και οι απώλειες με συναγωγή κυριαρχούν σε σχέση με τις απώλειες λόγω αγωγής και ακτινοβολίας. Στα πιο γνωστά στην αγορά υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων, η ενεργειακή κατανάλωση του θερμοκηπίου όπως έχουμε δει σε πολλά βιβλία που αναφέρονται στην μεταφορά θερμότητας, χαρακτηρίζεται συνήθως από έναν ολικό συντελεστή ενεργειακών απωλειών ή ολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας U ($W m^{-2}K^{-1}$, σε σχέση με την επιφάνεια καλύμματος) ο οποίος ορίζεται ως το πηλίκο της μέσης εισερχόμενης θερμότητας και της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου αντίστοιχα (Bakker, 1995).

Σε αυτόν τον ολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας U , εκφράζονται μαζί οι ενεργειακές απώλειες λόγω αγωγής και συναγωγής (εσωτερικά και εξωτερικά του καλύμματος) και ακτινοβολίας του καλύμματος και οι απώλειες λόγω διαφυγών εξαιτίας των κατασκευαστικών ατελειών του θερμοκηπίου ή εξαερισμού. Ο ολικός συντελεστής απωλειών δίνεται συνήθως ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου που συνήθως τον βρίσκουμε σε ένα συγκεκριμένο ύψος αναφοράς έξω από το θερμοκήπιο και γίνονται πολλές προσπάθειες από ειδικούς για να καθορίσουμε επακριβώς τον ολικό συντελεστή απωλειών. Σε πολλά βιβλία δίδονται διάφορες τιμές που αφορούν τον ολικό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας των θερμοκηπιακών υλικών κάλυψης. Μετά από έρευνες και μελέτες που έχουν γίνει σε πραγματικά θερμοκήπια αλλά και μέσα από προσομοιώσεις σε θεωρητικά μοντέλα έχουν προκύψει οι τιμές του ολικού συντελεστή μετάδοσης θερμότητας. Επειδή όμως η τιμή του U εξαρτάται από τις εξωτερικές συνθήκες του περιβάλλοντος και από τις ιδιότητες της θερμικής ακτινοβολίας των υλικών κάλυψης παρουσιάζεται μεγάλη απόκλιση των τιμών του από θερμοκήπιο σε θερμοκήπιο. Ένας από τους βασικούς λόγους, αν όχι ο βασικότερος είναι οι διαφορές των τιμών που παρατηρούνται στην βιβλιογραφία. Έτσι για απλό γυάλινο κάλυμμα πάχους 3 ή 4mm οι τιμές του U ($Wm^{-2}K^{-1}$) που δίνονται είναι: 5.2, 5.8, 6.1-6.7 $Wm^{-2}K^{-1}$, όταν πρόκειται για στεγνό υαλοπίνακα και 6.7-7.6 $Wm^{-2}K^{-1}$, όταν πρόκειται για υγρό υαλοπίνακα. Για απλό κάλυμμα πολυαιθυλενίου (PE) πάχους 0.2 mm οι τιμές του U που δίνονται είναι: 6.8-7.14, 10-12.1 $Wm^{-2}K^{-1}$, όταν πρόκειται για στεγνό film και 8.5-9.0 $Wm^{-2}K^{-1}$, όταν πρόκειται για υγρό film.

Αντιθέτως πολύ λίγες προσπάθειες έχουν γίνει για να καθοριστούν οι καθαροί συντελεστές συναγωγής στο εσωτερικό και εξωτερικό κάλυμμα του θερμοκηπίου. Αυτές οι έρευνες έχουν δώσει διάφορες εμπειρικές εξισώσεις για υπολογισμό των συντελεστών συναγωγής ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου και της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του καλύμματος θερμοκηπίου και της θερμοκρασίας αέρα. Ενδεικτικά αναφέρονται οι παρακάτω εμπειρικές σχέσεις:

Οι Garzoli & Blackwell (1981) από πειράματα σε θερμοκήπιο τύπου tunnel με κάλυμμα πολυαιθυλενίου (PE) πρότειναν για τον υπολογισμό του συντελεστή

συναγωγής h_{co} μεταξύ του εξωτερικού καλύμματος του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος την εξίσωση :

$$h_{co} = 7.2 + 3.84u \quad (4.6)$$

όπου u είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ms^{-1} και ο h_{co} αποδίδεται σε $W m^{-2}K^{-1}$. Για τον συντελεστή συναγωγής μεταξύ εσωτερικού αέρα και εσωτερικού καλύμματος πρότειναν μια μέση τιμή $h_{ac}=7.2 W m^{-2}K^{-1}$ ($T_a>T_c$).

Ο Bot (1983) από πειράματα σε θερμοκήπιο τύπου Venlo για τον συντελεστή συναγωγής εξωτερικά του καλύμματος, h_{co} πρότεινε την εξίσωση $h_{co} = 2.8 + 1.2u$ ($u \leq 4ms^{-1}$). Για τις μονάδες ισχύουν τα ίδια όπως στην προηγούμενη παράγραφο.

Ο Kittas (1986 & 1994) από πειράματα σε θερμοκήπιο tunnel με κάλυμμα PVC για τον συντελεστή συναγωγής h_{co} εξωτερικά του καλύμματος πρότεινε την εξίσωση $h_{co} = 1.22(T_c - T_o) + 3.12u^{0.8}$ και για τον συντελεστή συναγωγής μεταξύ εσωτερικού καλύμματος και εσωτερικού αέρα την εξίσωση $h_{ac} = 4.3(T_a - T_c)^{0.25}$. Η ταχύτητα του ανέμου είναι σε ms^{-1} , η θερμοκρασία σε $^{\circ}C$ και ο h_{co} σε $W m^{-2}K^{-1}$. Οι εξισώσεις αυτές ισχύουν για τις συνθήκες:

$$0.5 \leq T_c - T_o \leq 9.45 \quad 2.1 \leq T_i - T_c \leq 8.4 \quad -14.1 \leq T_{sky} \leq 4.9 \quad \text{και} \quad 0 \leq u \leq 6.7$$

Εμείς για τον υπολογισμό των απωλειών παρακάτω θα χρησιμοποιήσουμε την σχέση 4.6 των Garzoli & Blackwell, αφού το θερμοκήπιο της μελέτης μας είναι τύπου tunnel και το υλικό κάλυψης είναι από πολυαιθυλένιο. Έτσι μετά από την αντικατάσταση που έγινε ο συντελεστής συναγωγής h_{co} βρέθηκε ίσος με $16.8 W m^{-2}K^{-1}$. Η ταχύτητα του ανέμου για την πόλη της Πάτρας είναι $2.5 m s^{-1}$ (Πίνακας 2, Παράρτημα D).

4.2.2 Συντελεστής Εκπομπής

Οι συντελεστές εκπομπής που χρησιμοποιούνται στην εξίσωση των απωλειών που θα δούμε παρακάτω είναι ο συντελεστής εκπομπής του φυτικού θόλου ϵ_p και του καλύμματος του θερμοκηπίου ϵ_c . Για τα περισσότερα τυπικά υλικά κάλυψης ο συντελεστής εκπομπής είναι $\epsilon_c=0.9$, σε θερμοκρασία 300 K ($27^{\circ}C$). Στην παρούσα εργασία το κάλυμμα του θερμοκηπίου είναι απλό φύλλο πολυαιθυλενίου (PE) με συντελεστή εκπομπής εξωτερικής επιφάνειας $\epsilon_c=0.6$. Ο συντελεστής εκπομπής των φυτών είναι $\epsilon_p=0.9$ αντίστοιχα.

4.2.3 Θερμοκρασία Ουρανού

Για να γίνει ο υπολογισμός της θερμικής ακτινοβολίας που ανταλλάσσεται με τον ουρανό, πρώτα θα πρέπει να ξεπεραστεί το πρόβλημα που είναι κοινό στις περισσότερες ενεργειακές εφαρμογές όπως στους ηλιακούς συλλέκτες, στην θερμική συμπεριφορά εξωτερικών τοίχων, στην θερμική συμπεριφορά του θερμοκηπίου κλπ. Οι Bot και van de Braak (1995) ανέφεραν τη δυσκολία που υπάρχει για τον καθορισμό της ανταλλαγής ακτινοβολίας ανάμεσα στο κάλυμμα του θερμοκηπίου και

στο ημισφαίριο πάνω από το θερμοκήπιο. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, καθορίζεται μια «θερμοκρασία ουρανού» (T_{sky}) ως θερμοκρασία ενός μέλανος ημισφαιρίου που εκπέμπει σύμφωνα με το νόμο Stefan-Boltzmann. Παρόλο που αυτή η εκπομπή δεν μοιάζει πολύ με την κατανομή της ακτινοβολίας από ένα μέλαν σώμα, είναι πολύ βολικό στους υπολογισμούς της ακτινοβολίας να θεωρείται η ατμόσφαιρα ως μέλαν σώμα σε ορισμένες χαμηλότερες υποθετικές θερμοκρασίες το οποίο εκπέμπει ίση ποσότητα ενέργειας ακτινοβολίας. Αυτή η υποθετική θερμοκρασία ονομάζεται αποτελεσματική (ή ενεργός) θερμοκρασία ουρανού T_{sky} . Η θερμοκρασία ουρανού ωστόσο μπορεί να μετρηθεί άμεσα με τη χρήση ενός ειδικού πυρανόμετρου που ονομάζεται πυργεόμετρο.

Η θερμοκρασία του ουρανού χαρακτηρίζεται ως μια πλασματική θερμοκρασία και εισάγεται συνήθως στα μοντέλα της θερμικής ακτινοβολίας που ανταλλάσσεται μεταξύ μιας επιφάνειας και του ουρανού. Συχνά λαμβάνεται ίση με την θερμοκρασία του ξηρού αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος, όμως μια τέτοια παραδοχή δεν θα έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα, ιδιαίτερα στα εύκρατα κλίματα κατά την διάρκεια καθαρών νυχτών. Η θερμοκρασία ουρανού σε εύκρατα κλίματα μια καθαρή νύχτα έχει αναφερθεί ότι είναι έως $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ χαμηλότερη από το εξωτερικό περιβάλλον και περίπου $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ χαμηλότερη όταν επικρατεί συννεφιά (Jolliet et al, 1991). Έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές πολλές εξισώσεις για την θερμοκρασία του ουρανού, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως, η θερμοκρασία του εξωτερικού ξηρού αέρα, η θερμοκρασία δρόσου, το ποσοστό νεφοκάλυψης. Όμως η διαδικασία παραμένει προβληματική και οι συσχετισμοί γίνονται αποδεκτοί για συγκεκριμένες κλιματολογικές συνθήκες ή για συγκεκριμένη τοποθεσία.

Οι συσχετισμοί μέσω των οποίων καθορίζεται η θερμοκρασία ουρανού, γίνονται συνήθως σύμφωνα με μετεωρολογικές παραμέτρους που μετρούνται στην επιφάνεια του εδάφους, όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η πίεση υδρατμών, η νεφοκάλυψη. Οι πιο απλές διατυπώσεις της θερμοκρασίας του ουρανού εξαρτώμενες από την θερμοκρασία του ξηρού αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος που ερευνηθήκαν από διάφορους επιστήμονες κατά την διάρκεια των χρόνων είναι:

$$T_{sky} = T_a \quad \text{K (Dreyfus, 1960)}$$

$$T_{sky} = T_a - 6 \quad \text{ή} \quad T_{sky} = T_a - 12 \quad \text{K (Whillier, 1967)}$$

$$T_{sky} = 0.0552T_a^{1.5} \quad \text{K (Swinbank, 1963)}$$

$$T_{sky}^4 = 0.0552T_a^4 (1 - 0.261 \exp(-7.77 * 10^4)) * (T_a - 273)^2 \quad \text{K (Daguenet, 1985)}$$

Άλλες διατυπώσεις που λαμβάνουν υπόψη την πίεση των υδρατμών (P_v) του αέρα με τον οποίο η θερμοκρασία του ουρανού είναι πιο σχετική είναι:

$$T_{sky} = T_a (0.56 + 0.08P * v^{0.5})^{0.25} \quad \text{(Melchor, 1982)}$$

$$T_{sky} = T_a (0.55 + 3.85 * 10^{-2} P * v^{0.5})^{0.25} \quad \text{(Daguenet, 1985)}$$

$$T_{sky} = T_a (0.8 + T_{dp} - 273 / 250)^{1/4} \quad \text{(Berger et al, 1984)}$$

όπου dp είναι το σημείο δρόσου (dew point), δηλαδή η θερμοκρασία στην οποία πρέπει να ψυχθεί ο αέρας για να αυξηθεί η σχετική του υγρασία στο 100%.

Η παρουσία σύννεφων αυξάνει την σημασία της ατμοσφαιρικής εκπομπής. Κάποιοι προβλέψιμοι και πιο πλήρεις συσχετισμοί έχουν γίνει λαμβάνοντας υπόψη τρεις παραμέτρους: την θερμοκρασία περιβάλλοντος, την πίεση των υδρατμών του αέρα και την νεφοκάλυψη. Ο Daguenet (1985) έδωσε μια εξίσωση για νυχτερινά δεδομένα, απουσία ηλιακής ακτινοβολίας:

$$T_{sky} = (T_a (a + bP * v^{0.5}) (1 - vNe / 8) + vNe / 8)^{0.25}$$

με $N_e=8$ για καθαρό ουρανό και $N_e=0$ για νεφοσκεπή ουρανό. Τα a και b ορίζονται σύμφωνα με το υψόμετρο και την τοποθεσία. Το $v=0.9$ για χαμηλή και πυκνή νέφωση και $v=0$ για αραιή και λευκή νέφωση σε μεγάλο υψόμετρο. Το $v=0.8$ υποδεικνύεται ως μια μέση τιμή.

Ο Aubinet (1994) έδωσε μια εξίσωση χρησιμοποιώντας ένα δείκτη καθαρότητας K_t που είναι ο λόγος μεταξύ της εξωγήινης ακτινοβολίας και της παγκόσμιας ηλιακής ακτινοβολίας:

$$T_{sky} = 94 + 12.6 \ln(Pv) - 13K_t + 0.341T_a$$

Εμείς υπολογίσαμε την θερμοκρασία του ουρανού από την εξίσωση του Swinbank :

$$T_{sky} = 0.0552T_a^{1.5} \quad (4.7)$$

και η θερμοκρασία ουρανού για τους υπολογισμούς θα ισούται με 268.4 K (η απόλυτη θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου T_a λαμβάνεται ίση με 287 K, για καλλιέργεια τομάτας, σύμφωνα με τον Πίνακα 5 του Παραρτήματος I).

4.2.4 Αριθμός Εναλλαγών του Αέρα (n)

Ο αριθμός των εναλλαγών του n εξαρτάται από τον τύπο του θερμοκηπίου (Πίνακας 4.2) και τις συνθήκες ταχύτητας του ανέμου που επικρατούν σε μια περιοχή, κυμαίνεται δε από 0-10. Η τοπικές συνθήκες και το ανάγλυφο του εδάφους επηρεάζουν τις συνθήκες ανέμου, ενώ η δομή του θερμοκηπίου με τις αναπόφευκτες κατασκευαστικές ατέλειες και τα ανοίγματα φυσικού εξαερισμού επηρεάζουν τον αριθμό των εναλλαγών του αέρα. Στο θερμοκήπιο πάνω στο οποίο γίνεται η μελέτη μας, ως αριθμός εναλλαγών αέρα χρησιμοποιείται $n=1.5$, διότι ο τύπος του θερμοκηπίου είναι από απλό φύλλο πολυαιθυλενίου (PE).

Πίνακας 4.2 : Εναλλαγές του αέρα του θερμοκηπίου σε σχέση με τον τύπο του θερμοκηπίου (American Society of Agriculture Engineers, 1995)

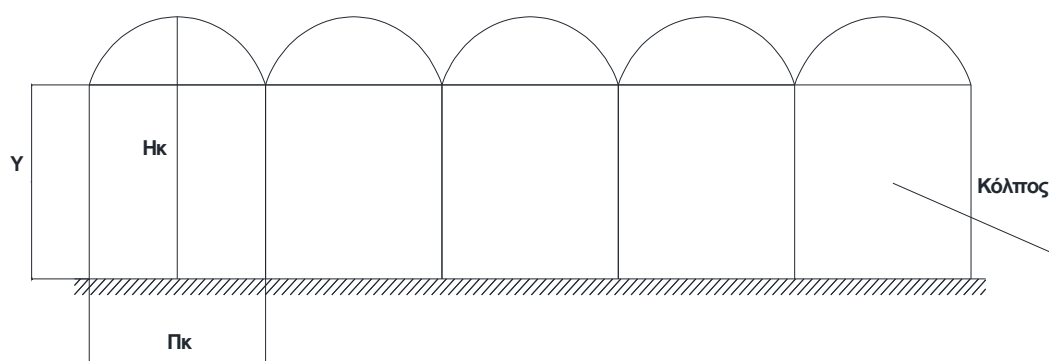
Τύπος θερμοκηπίου	Εναλλαγές/h (N)
Υαλόφρακτο (3mm), νέα κατασκευή ή FRP (fiberglass reinforced plastic)	0.75-1.5
Υαλόφρακτο, παλαιά κατασκευή, καλή συντήρηση	1-2
Υαλόφρακτο, παλαιά κατασκευή, κακή συντήρηση	2-4
πολυαιθυλενίου (PE), απλό φύλλο (0.10 – 0.15 mm)	0,8-2,5
πολυαιθυλενίου (PE), διπλό φύλλο (0.10 – 0.15 mm)	0.5 -1.2
Πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)	1.5

4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Κατά τον υπολογισμό των γεωμετρικών στοιχείων του θερμοκηπίου που περιγράψαμε στο Κεφάλαιο 3, μετρήθηκαν το μήκος, το πλάτος, το ύψος της υδρορροής, το ύψος από την κορυφή των τόξων και το πλάτος του κάθε κόλπου. Τα γεωμετρικά στοιχεία που υπολογίστηκαν κατά σειρά είναι :

- I. Ακτίνα τόξου
- II. Γωνία τόξου
- III. Παράπλευρη επιφάνεια θερμοκηπίου
- IV. Επιφάνεια οροφής θερμοκηπίου
- V. Επιφάνεια καλύμματος
- VI. Όγκος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου θερμοκηπίου
- VII. Όγκος οροφής θερμοκηπίου
- VIII. Όγκος θερμοκηπίου

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι πέντε κόλποι του θερμοκηπίου, καθώς και το πλάτος του κάθε κόλπου, το ύψος των κόλπων και το ύψος υδρορροής.



Σχήμα 4.1 : Τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο με $z = 5$ κόλπους κατά πλάτος

I. Ακτίνα τόξου

Θα υπολογίσουμε τα γεωμετρικά δεδομένα του θερμοκηπίου, ξεκινώντας με τον υπολογισμό της ακτίνας που έχουν καθένα από τα τόξα, από την εξίσωση 4.8 που ακολουθεί παρακάτω (Πέρδιος Σ.,2009).

$$r = \frac{\Pi_{\kappa}^2}{8(H_{\kappa} - Y)} + \frac{H_{\kappa} - Y}{2} \Rightarrow r = \frac{6,40^2}{8(4,35 - 3)} + \frac{4,35 - 3}{2} = 4,46 \text{ m} \quad (4.8)$$

Όπου:

$\Pi_K=6,40$ m, όπου Π_K το πλάτος κόλπου
 $H_K=4,35$ m, όπου H_K το ύψος κόλπου ή θερμοκηπίου
 $Y=3$ m, όπου Y το ύψος υδρορροής

Τα παραπάνω δεδομένα, αλλά και αυτά που ακολουθούν μετρήθηκαν κατά τις επισκέψεις μας στον χώρο του θερμοκηπίου.

II. Γωνία τόξου

Συνεχίζοντας με τους υπολογισμούς των γεωμετρικών στοιχείων του θερμοκηπίου, βρίσκουμε την γωνία τόξου. Στο σχήμα 4.2, φαίνονται τα γεωμετρικά στοιχεία που πήραμε για τους τριγωνομετρικούς υπολογισμούς. Υπολογίσαμε την γωνία τόξου τόσο σε μοίρες όσο και σε ακτίνια (rad), από τις εξισώσεις 4.9 και 4.10.

I. Υπολογισμός γωνίας σε μοίρες:

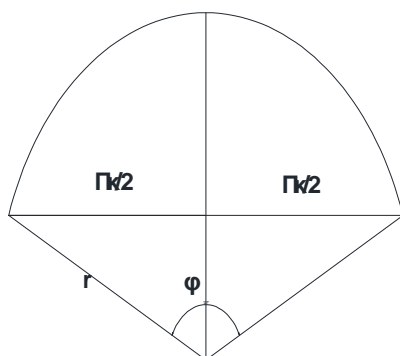
$$\phi = 2 \arcsin\left(\frac{\Pi_K / 2}{r}\right) \Rightarrow \phi = 2 \arcsin\left(\frac{6,40 / 2}{4,46}\right) = 90,46^\circ \quad (4.9)$$

Όπου:

$\Pi_K=6,40$ m πλάτος κόλπου
 $r=4,46$ m ακτίνα τόξου

II. Υπολογισμός γωνίας σε ακτίνια

$$\phi = \frac{\phi [^\circ]}{180^\circ} \cdot \pi \Rightarrow \phi = \frac{90,46^\circ}{180^\circ} \cdot 3,14 = 1,58 \text{ rad} \quad (4.10)$$



Σχήμα 4.2 : Τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο με ένα κόλπο

III. Παράπλευρη επιφάνεια θερμοκηπίου

Τώρα θα υπολογίσουμε την παράπλευρη επιφάνεια του θερμοκηπίου, δηλαδή θα βρούμε πόση έκταση καλύπτει το υλικό κάλυψης στην παράπλευρη επιφάνεια του θερμοκηπίου από την παρακάτω εξίσωση (Πέρδιος Σ.,2009).

$$F_{\Pi} = 2M_K \cdot Y + 2z \cdot \Pi_K \cdot Y + 2z \cdot \left[\frac{1}{2} r^2 (\phi - \eta\mu\phi) \right] \Rightarrow \quad (4.11)$$
$$F_{\Pi} = 2 \cdot 60 \cdot 3 + 2 \cdot 5 \cdot 6,40 \cdot 3 + 2 \cdot 5 \cdot \left[\frac{1}{2} 4,46^2 (1,58 - \eta\mu 90,46^\circ) \right] = 609,6 \text{ m}^2 \approx 610 \text{ m}^2$$

Όπου:

$M_K=60$ m μήκος κόλπου
 $Y=3$ m ύψος υδρορροής
 $z=5$ αριθμός κόλπων
 $\Pi_K=6,40$ m πλάτος κόλπου
 $r=4,46$ m ακτίνα τόξου
 $\phi=1,58$ rad γωνία τόξου

IV. Επιφάνεια οροφής θερμοκηπίου

Η επιφάνεια οροφής του θερμοκηπίου, περιλαμβάνει την έκταση που καλύπτει το υλικό κάλυψης στην οροφή του θερμοκηπίου, που εκτείνεται σε 5 κόλπους.

$$F_{op} = z \cdot M_K \cdot r \cdot \phi \Rightarrow F_{op} = 5 \cdot 60 \cdot 4,46 \cdot 1,58 = 2114 \text{ m}^2 \quad (4.12)$$

V. Επιφάνεια καλύμματος θερμοκηπίου

Η επιφάνεια καλύμματος του θερμοκηπίου είναι η συνολική επιφάνεια κάλυψης και υπολογίζεται αν προσθέσουμε την παράπλευρη επιφάνεια με την επιφάνεια οροφής.

$$F = F_{\Pi} + F_{op} = 610 + 2114 = 2724 \text{ m}^2 \quad (4.13)$$

Όπου:

$F_{\pi} = 610$ m, παράπλευρη επιφάνεια
 $F_{op} = 2114$ m, επιφάνεια οροφής

VI. Όγκος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου θερμοκηπίου

Τώρα θα υπολογίσουμε τον όγκο του ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου θερμοκηπίου χωρίς τον όγκο των τόξων της οροφής.

$$V_{\Pi} = z \cdot M_K \cdot \Pi_K \cdot Y \Rightarrow V_{\Pi} = 5 \cdot 60 \cdot 6,40 \cdot 3 = 5760 \text{ m}^3 \quad (4.14)$$

VII. Όγκος οροφής θερμοκηπίου

Στη συνέχεια, βρίσκουμε τον όγκο των 5 τόξων που αποτελείται το θερμοκήπιο.

$$V_{OP} = z \cdot M_K \left[\frac{1}{2} r^2 (\phi - \eta \mu \phi) \right] \Rightarrow V_{OP} = 5 \cdot 60 \cdot \left[\frac{1}{2} 4,46^2 \cdot (1,58 - \eta \mu 90,46^\circ) \right] = 1730 \text{ m}^3 \quad (4.15)$$

VIII. Όγκος θερμοκηπίου

Ο συνολικός όγκος του θερμοκηπίου υπολογίζεται αν προσθέσουμε τον του ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου θερμοκηπίου και τον όγκο οροφής του θερμοκηπίου.

$$V = V_{\Pi} + V_{OP} = 5760 + 1728 = 7490 \text{ m}^3 \quad (4.16)$$

Όπου:

$V_{\Pi} = 5760 \text{ m}^3$ όγκος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου θερμοκηπίου

$V_{OP} = 1728 \text{ m}^3$ όγκος οροφής θερμοκηπίου

4.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΟΛΙΚΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Οι συνολικές ενεργειακές απώλειες Q_{total} που λαμβάνουν χώρα στο θερμοκήπιο επιμερίζονται σε τρεις κατηγορίες απωλειών και υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad \text{όπου}$$

Q_1 : ενεργειακές απώλειες λόγω διαφυγών που οφείλονται στις κατασκευαστικές ατέλειες της δομής του θερμοκηπίου

Q_2 : συνδυασμένες ενεργειακές απώλειες λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας μέσω του καλύμματος του θερμοκηπίου

Q_3 : ενεργειακές απώλειες λόγω αγωγής από το έδαφος του θερμοκηπίου

4.4.1 Απώλειες Θερμότητας Λόγω Διαφυγών του Αέρα από και προς το Θερμοκήπιο

Αυτές οι ενεργειακές απώλειες λόγω διαφυγών, οφείλονται στις αναπόφευκτες κατασκευαστικές ατέλειες του θερμοκηπίου. Στο θερμοκήπιο της μελέτης μας οι κατασκευαστικές απώλειες, είναι διάφορα ανοίγματα του υλικού κάλυψης, όπως είναι τα ανοίγματα από τις πόρτες και τα παράθυρα. Οι απώλειες αυτές υπολογίζονται από την εξίσωση 4.17 :

$$Q_1 = \frac{C_{pa}\rho_a NV}{3600}(T_a - T_o) = 0.36NV(T_a - T_o) \quad (\text{W}) \quad (4.17)$$

Όπου:

C_{pa} = ειδική θερμότητα αέρα, $\text{J Kg}^{-1}\text{K}^{-1}$

ρ_a = πυκνότητα αέρα, Kg m^{-3}

N = αριθμός εναλλαγών του αέρα από διαφυγές ανά ώρα, h^{-1} (για το συγκεκριμένο θερμοκήπιο το N λαμβάνεται ίσο με 1.5, βλέπε πίνακα 4.2)

V = όγκος του θερμοκηπίου, m^3 (για το συγκεκριμένο θερμοκήπιο ο όγκος μετά τους υπολογισμούς που έγιναν στην ενότητα 4.3 θα ισούται με 7490 m^3)

$T_a - T_o$ = διαφορά θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου και του εισερχόμενου αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον, K (ως εσωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται η επιθυμητή νυχτερινή θερμοκρασία για την καλλιέργεια και ως εξωτερική η θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος, για το συγκεκριμένο θερμοκήπιο η T_a ισούται με 287 K για καλλιέργεια τομάτας, σύμφωνα με τον πίνακα 4 του παραρτήματος I και T_o ισούται με 279 K για την πόλη της Πάτρας, σύμφωνα με τον πίνακα 1 του παραρτήματος I).

Μετά τους υπολογισμούς οι απώλειες θερμότητας λόγω διαφυγών του αέρα από και προς το θερμοκήπιο θα ισούνται με 32356.8 W ή 32.35 kW .

4.4.2 Συνδυασμένες Απώλειες Θερμότητας από το Κάλυμμα λόγω Συναγωγής και Ακτινοβολίας

Στον συνδυασμό αγωγής και συναγωγής, έχει αναφερθεί ότι στην περίπτωση απλού γυάλινου τοιχώματος η αντίσταση αγωγής είναι αμελητέα σε σύγκριση με τις αντιστάσεις συναγωγής και οι θερμοκρασίες εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας καλύμματος πρακτικά ταυτίζονται. Για τον λόγο αυτό, η εξίσωση που περιγράφει τις απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής αναφέρεται σε μια μοναδική θερμοκρασία που χαρακτηρίζει το κάλυμμα και σε έναν μοναδικό συντελεστή συναγωγής μεταξύ του καλύμματος και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Στο κάλυμμα του θερμοκηπίου συμβαίνουν επιμέρους απώλειες θερμότητας συναγωγής και ακτινοβολίας. Το κάλυμμα χάνει θερμότητα με συναγωγή προς το εξωτερικό περιβάλλον και με ακτινοβολία προς τον ουρανό.

I. Απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα λόγω συναγωγής

Αυτές οι απώλειες θερμότητας συμβαίνουν από το όλον κάλυμμα προς το εξωτερικό περιβάλλον και υπολογίζονται από τον παρακάτω τύπο:

$$Q_{2_conv} = h_{co} A_c (T_c - T_o) \quad (\text{W}) \quad (4.18)$$

Όπου:

$h_{co} = 16.8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ (βλέπε ενότητα 4.2.1, εξίσωση 4.6) συντελεστής συναγωγής μεταξύ καλύμματος και εξωτερικού περιβάλλοντος, $\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

$A_c =$ επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου, m^2 (για το συγκεκριμένο θερμοκήπιο η επιφάνεια κάλυψης μετά τους υπολογισμούς στην ενότητα 4.3.1 και την εξίσωση 4.13 ισούται με 2724 m^2)

$(T_c - T_o) =$ διαφορά θερμοκρασίας του καλύμματος του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος, K (έτσι η T_c λαμβάνεται ίση με 287 K, όπως και η T_a , και η T_o λαμβάνεται ίση με 279 K όπως πριν).

Άρα οι απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα λόγω συναγωγής θα είναι 366105.6 W ή 366.1 kW .

II. Απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα λόγω ακτινοβολίας

Αυτές οι απώλειες θερμότητας συμβαίνουν από το όλο κάλυμμα προς τον ουρανό, είναι δε σημαντική πηγή ενέργειας κάτω από συνθήκες καθαρού ουρανού και υπολογίζονται από την εξίσωση:

$$Q_{2_rad} = \sigma A_c \varepsilon_c (T_a^4 - T_{sky}^4) \quad (\text{W}) \quad (4.19)$$

Όπου:

$\sigma = 5.6705 \cdot 10^{-8}$ σταθερά Stefan-Boltzmann, $\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

$A_c = 2724$ επιφάνεια καλύμματος του θερμοκηπίου, m^2

$\varepsilon_c =$ συντελεστής εκπομπής του καλύμματος (όπως είδαμε στην ενότητα 4.2.2 ισούται με 0,6 για το συγκεκριμένο θερμοκήπιο)

$T_a =$ η απόλυτη θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου, K (λαμβάνεται ίση με 287 όπως στην παράγραφο 4.4.1)

$T_{sky} =$ η θερμοκρασία του ουρανού, K (βλέπε παράγραφο 4.2.3 και εξίσωση 4.7)

Όποτε οι απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα λόγω ακτινοβολίας θα είναι 147831.5 W ή 147.83 kW .

Οι παραπάνω επιμέρους απώλειες θερμότητας συναγωγής και ακτινοβολίας του καλύμματος, δίνονται από μια αθροιστική σχέση που χρησιμοποιείται στους διάφορους υπολογισμούς του ενεργειακού ισοζυγίου και είναι η παρακάτω:

$$Q_2 = Q_{2_conv} + Q_{2_rad} = h_{co} A_c (T_c - T_o) + \varepsilon_c A_c \sigma (T_c^4 - T_{sky}^4) \quad (\text{W}) \quad (4.20)$$

Άρα οι συνδυασμένες απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας θα ισούται με 513930 W ή 513.93 kW .

4.4.3 Απώλειες Θερμότητας με Αγωγιμότητα προς το Έδαφος

Στον χώρο του θερμοκηπίου παρατηρείται ροή ενέργειας προς το έδαφος. Οι απώλειες θερμότητας προς το έδαφος του θερμοκηπίου αναπαριστούν μια σύνθετη (τριδιάστατη) διαδικασία αγωγής. Αυτές οι απώλειες θερμότητας είναι ανάλογες με το εμβαδόν του εδάφους του θερμοκηπίου και την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εδάφους και του υπεδάφους. Η θερμοκρασία του υπεδάφους και η ροή της θερμότητας προς αυτό είναι πολύπλοκο να προσδιοριστούν. Έτσι στην πράξη η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ εδάφους και υπεδάφους προσεγγίζεται αρκετά καλά από την θερμοκρασία των φυτών και του εξωτερικού περιβάλλοντος αντίστοιχα. Έτσι διαμορφώνεται η σχέση:

$$Q_3 = K_p A_p (T_p - T_o) \quad (\text{W}) \quad (4.21)$$

όπου ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το έδαφος του θερμοκηπίου, K_p εξαρτάται άμεσα από την θερμική αγωγιμότητα του εδάφους k_{soil} και λαμβάνεται ίσος με $1.85 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$, τιμή που αντιστοιχεί σε ένα μέσο γεωργικό έδαφος. Ένας έλεγχος του μέτρου του K_p παρέχεται από το θεωρητικό αποτέλεσμα (ισχύει αυστηρά για ένα ισοθερμικό κυκλικό έδαφος διαμέτρου D) της εξίσωσης των Carslaw & Jaeger, 1959 :

$$Q_3 = K_{soil} (2D)(\Delta T) \quad (4.22)$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις 4.21, 4.22 και χρησιμοποιώντας $A_p = 1920 \text{ m}^2$ (εμβαδόν εδάφους του θερμοκηπίου) και $k_{soil} = 1-2 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$ (τιμές που αντιστοιχούν σε ξηρό και υγρό έδαφος αντίστοιχα) τα αποτελέσματα λαμβάνονται σε εύρος $K_p = 1.1-1.2 \text{ W m}^{-2}\text{K}^{-1}$. Η θερμοκρασία φυτού T_p ελήφθη ίση με 287 K και η θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος ελήφθη ίση με 279 K .

Οι απώλειες θερμότητας με αγωγιμότητα προς το έδαφος υπολογίστηκαν ίσες με 28416 W ή 28.416 kW .

Στον Πίνακα 4.3 βλέπουμε τις υπολογισθείσες απώλειες, καθώς και τις συνολικές θερμικές απώλειες.

Πίνακας 4.3 : Συνολικές θερμικές απώλειες θερμοκηπίου

Θερμικές Απώλειες	Watt	kW
Q_1	32356.8	32.35
Q_2	513930	513.93
Q_3	28416	28.416
Q_{total}	574702.8	574.696

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ

ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το βασικότερο αντικείμενο των θερμοκηπίων είναι ότι μπορούμε να παράγουμε αγροτικά προϊόντα που βρίσκονται εκτός καλλιεργητικής περιόδου. Για κάθε μια από τις καλλιέργειες υπάρχει μια ευνοϊκή θερμοκρασία στην οποία τα ένζυμα που είναι ευαίσθητα στην θερμότητα και υπεύθυνα στις βιοχημικές αντιδράσεις του φυτού ενεργοποιούνται. Για παράδειγμα, διαφορετικές συνθήκες χρειάζεται για να καλλιεργηθεί η τομάτα και διαφορετικές συνθήκες το μαρούλι. Η θερμοκρασία που υπάρχει στο περιβάλλον του φυτού και η θερμοκρασία του εδάφους, οι οποίες είναι σημαντικές για να αναπτυχθεί το φυτό, εξαρτώνται από την πυκνότητα του φωτός, την λήψη CO₂, την υγρασία και την ταχύτητα του αέρα. Για να πετύχουμε τις βέλτιστες εσωτερικές συνθήκες είναι απαραίτητη η θέρμανση του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα κατά την διάρκεια των ψυχρών εποχών. Τα θερμοκήπια, έχουν μεγάλη δυνατότητα για ενεργειακό απόθεμα, αφού λόγω των υλικών κάλυψης αναπτύσσονται ειδικά τους πολύ ζεστούς μήνες του χρόνου υψηλές θερμοκρασίες εντός του θερμοκηπίου (Santamouris,1993). Η εφαρμογή συστημάτων θέρμανσης στα θερμοκήπια, που έχει σαν αποτέλεσμα την βελτιστοποίηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του αέρα, επιφέρουν σημαντικά αποτελέσματα στην παραγωγή, στην ποιότητα και στον χρόνο καλλιέργειας.

Όταν γίνεται σχεδιασμός ενός θερμοκηπιακού συστήματος θέρμανσης λαμβάνονται υπ' όψιν διάφοροι παράγοντες. Σαν παράδειγμα μπορούμε να αναφέρουμε ότι είναι προτιμότερο η θερμοκρασία στο επίπεδο του φυτού να είναι ομοιόμορφη σε όλη την έκταση του θερμοκηπίου. Επίσης κατά την διάρκεια των καλλιεργειών, η θερμοκρασία της θέρμανσης πρέπει να είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του σημείου δρόσου, για να εμποδίζεται έτσι η συμπύκνωση των υδρατμών και σαν αποτέλεσμα αυτού να μειώνεται ο κίνδυνος των ασθενειών που προκαλούνται από μύκητες. Ακόμα, η ενεργειακή κατανάλωση του συστήματος θέρμανσης πρέπει να είναι όσο το δυνατόν χαμηλότερη.

Τα συμβατικά θερμοκηπιακά συστήματα θέρμανσης διακρίνονται σε αυτά που μεταδίδουν τη θερμότητα με ακτινοβολία, μεταφορά και αγωγιμότητα μέσω μιας θερμαινόμενης επιφάνειας (μεταλλικοί ή πλαστικοί σωλήνες) τα οποία λέγονται στατικά συστήματα και σε αυτά που μεταδίδουν τη θερμότητα με μεταφορά και αγωγιμότητα μέσω του θερμού αέρα που παράγεται με ηλεκτρογεννήτριες θερμού αέρα ή με αερόθερμα και κυκλοφορεί εντός αγωγών PE, τα οποία αποκαλούνται θερμοδυναμικά συστήματα. Τα πρώτα από αυτά τα συστήματα έχουν αρκετά μεγάλο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, ενώ η ρύθμιση της λειτουργίας είναι δύσκολη. Τα πλεονεκτήματα τους είναι τα ελάχιστα προβλήματα από καυσαέρια, ενώ επιτυγχάνουν καλή ομοιογένεια θέρμανσης, ικανοποιητικό επίπεδο σχετικής υγρασίας και θέρμανσης του εδάφους και του αέρα. Σε περίπτωση που παρατηρηθεί βλάβη στο σύστημα, η πτώση της θερμοκρασίας γίνεται βαθμιαία (Μαυρογιαννόπουλος Γ.,2001)

Στα θερμοδυναμικά συστήματα έχουμε χαμηλό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης, εύκολη ρύθμιση της λειτουργίας και καλή ομοιομορφία στην θέρμανση,

γρήγορη θέρμανση των φυτών και μείωση της συμπύκνωσης των υδρατμών στην εσωτερική επιφάνεια του υλικού κάλυψης λόγω των ρευμάτων αέρα. Τέλος με την χρήση των συστημάτων αυτών υπάρχει μεγαλύτερη ευχέρεια κίνησης στο θερμοκήπιο, αφού καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο. Όμως έχουν και σημαντικά μειονεκτήματα, όπως το γεγονός ότι δεν θερμαίνεται το έδαφος, υπάρχει μείωση της σχετικής υγρασίας του αέρα του θερμοκηπίου, σε περίπτωση βλάβης του συστήματος μειώνεται απότομα η θερμοκρασία και όταν οι συσκευές είναι τοποθετημένες στο εσωτερικό υπάρχει κίνδυνος να καταστραφούν τα φυτά από τα καυσαέρια. Ένας δεύτερος διαχωρισμός των συστημάτων γίνεται στα τοπικά, στα οποία χρησιμοποιούνται αερόθερμα ή θερμάστρες ή συσκευές υπέρυθρης ακτινοβολίας και στα κεντρικά συστήματα θέρμανσης (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

5.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ

Κατά την εγκατάσταση ενός συστήματος θέρμανσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα παρακάτω:

- Η μείωση του φυσικού φωτισμού που προκαλείται στο χώρο του θερμοκηπίου θα πρέπει να είναι η μικρότερη δυνατή.
- Ο χώρος που καταλαμβάνει το σύστημα θέρμανσης δεν θα πρέπει να είναι σε βάρος του χώρου καλλιέργειας.
- Η θέση όπου τοποθετείται δεν θα πρέπει να δυσχεραίνει τις καλλιεργητικές εργασίες ή την απόδοση εργασίας.
- Μια πιθανή αύξηση της ταχύτητας του αέρα δεν θα πρέπει να προκαλεί τοπικούς κραδασμούς ή τοπικές αφυδατώσεις των φυτών.
- Να μην αυξάνεται υπερβολικά ο ολικός συντελεστής απωλειών του θερμοκηπίου. Πολύ μεγάλες ταχύτητες του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο ή πολύ μεγάλες επιφάνειες θερμαντικών σωμάτων, αυξάνουν τις απώλειες ενέργειας.
- Η κατανομή της θερμότητας στο χώρο θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν ομοιόμορφη, ώστε να αποφευχθούν διακυμάνσεις της θερμοκρασίας τοπικά και επομένως ανομοιομορφία κατανάλωσης νερού και ρυθμού αύξησης των φυτών.
- Το σύστημα θέρμανσης πρέπει να μειώνει αποτελεσματικά και την πύκνωση των υδρατμών πάνω στα φυτά.
- Θα πρέπει να υπάρχει κατάλληλο σύστημα ελέγχου, ώστε το σύστημα θέρμανσης να αντιδρά γρήγορα στις μεταβολές των κλιματικών παραμέτρων.

5.3 ΚΕΝΤΡΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Σε θερμοκήπια που καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις, η θέρμανση τους γίνεται με ζεστό νερό που παράγεται από λέβητα ζεστού νερού. Σε μεγάλης έκτασης θερμοκήπια, όπως αυτό της μελέτης μας, η θέρμανση γίνεται με λέβητα παραγωγής ατμού. Οι λέβητες αυτοί τοποθετούνται σε μια μόνιμη θέση έξω από το θερμοκήπιο και το θερμό νερό ή ο ατμός εισέρχονται στο θερμοκήπιο με σωληνώσεις (pipe system). Με την χρήση αυτών των συστημάτων θερμαίνονται ικανοποιητικά τόσο ο αέρας όσο και το έδαφος του θερμοκηπίου, αλλά παρατηρείται μεγάλη αδράνεια, αφού από την στιγμή που δίνεται η εντολή για να ξεκινήσει η θέρμανση του χώρου ή να σταματήσει, μεσολαβεί μεγάλο διάστημα μέχρι αυτό να πραγματοποιηθεί. Αυτά τα

συστήματα θέρμανσης είναι ιδανικά για υαλοφρακτα θερμοκήπια μεγάλης έκτασης, αφού η λειτουργία και η συντήρησή τους σε σύγκριση με τη χρησιμοποίηση πολλών αερόθερμων στα οποία κυκλοφορεί θερμός αέρας και διανέμεται μέσω αγωγών πολυαιθυλενίου PE (air heating), στοιχίζει φθηνότερα. Η θέρμανση με θερμό νερό προτιμάται στην Ευρώπη από την θέρμανση με ατμό, εφαρμόζεται όμως σύστημα υψηλής πίεσης που επιτρέπει υψηλότερες θερμοκρασίες (95 °C) στο νερό και επομένως μεγαλύτερη θερμική απόδοση σε σχέση με τα συστήματα χαμηλής πίεσης (θερμοκρασία νερού 85 °C). Αν γίνει χρήση σωληνώσεων θερμού νερού είναι δυνατό να γίνει και κάποια εξοικονόμηση ενέργειας, με την ανοχή μικρότερων θερμοκρασιών στα υψηλότερα στρώματα του θερμοκηπίου (Μαυρογιαννόπουλος 2001, Γραφιαδέλης 1987).



Εικόνα 5.1 : Σύστημα θέρμανσης θερμοκηπίου θερμού νερού με σωληνώσεις (Μαυρογιαννόπουλος 2001)

Στο Ισραήλ το πιο διαδεδομένο σύστημα θέρμανσης στα θερμοκήπια βασίζεται σε θερμό αέρα διανεμημένο μέσα στο θερμοκήπιο μέσω διάτρητων αγωγών PE. Γενικά σήμερα υπάρχει ανάπτυξη στην εγκατάσταση συστημάτων σωληνώσεων ζεστού αέρα στα νέα θερμοκήπια. Και στα δυο συστήματα που αναλύσαμε παραπάνω, υπάρχει ένας ανοιγοκλεινόμενος controller που γενικά χρησιμοποιείται για να ελέγχει την θερμοκρασία του αέρα εντός του θερμοκηπίου. Κατά καιρούς έχουν γίνει πειράματα στα οποία πραγματοποιείται σύγκριση των δυο μεθόδων θέρμανσης, στην θερμοκρασία του αέρα του θερμοκηπίου, στην υγρασία, θερμοκρασία της καλλιέργειας και στην ενέργεια που θα απαιτηθεί για να διατηρείται η θερμοκρασία του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο σε ένα επιθυμητό επίπεδο. Αυτά τα πειράματα για να έχουμε ακριβή αποτελέσματα, έγιναν κατά την διάρκεια της νύχτας σε πειραματικά και εμπορικά θερμοκήπια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι και στις δυο μεθόδους θέρμανσης κάτω από ανοιγοκλεινόμενο έλεγχο υπάρχουν κυκλικές μεταβολές-εναλλαγές στις θερμοκρασίες της καλλιέργειας και του αέρα και στην αναλογία της υγρασίας του θερμοκηπιακού αέρα. Λιγότεροι κύκλοι θερμότητας ανά νύχτα παρατηρήθηκαν με σωλήνες θέρμανσης από ότι με θερμό αέρα εξαιτίας της σχετικά μεγάλης αδράνειας των γεμάτων με νερό σωλήνων. Ο λόγος της υγρασίας στο επίπεδο της καλλιέργειας αυξήθηκε κατά την διάρκεια της αύξησης της θερμοκρασίας σε κάθε θερμικό κύκλο και στις 2 μεθόδους θέρμανσης, αλλά ο ρυθμός

της αύξησης και το εύρος ήταν μεγαλύτερα με θερμό αέρα από ότι με σύστημα σωληνώσεων. Η θερμική ακτινοβολία μεταφέρεται μεταξύ των σωλήνων θέρμανσης και η καλλιέργεια διασφαλίζεται. Επίσης με σωλήνες θέρμανσης, τα φύλλα στο χαμηλότερο τμήμα των φυτών (εκεί που είναι τοποθετημένοι οι σωλήνες), ειδικά εκείνα που είναι στραμμένα προς τους σωλήνες, ήταν γενικά θερμότερα σε σχέση με τον αέρα κατά την διάρκεια της ανόδου της θέρμανσης. Με τη θέρμανση με ζεστό αέρα τα φύλλα ήταν ψυχρότερα σε σχέση με τον αέρα και στις δυο περιοχές των φυτών κατά την διάρκεια των περισσότερο θερμικών κύκλων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δυο μεθόδους στην κατανάλωση ενέργειας που απαιτείται για να αποκτηθεί ένα δοθέν θερμοκρασιακό επίπεδο μέσα στο θερμοκήπιο, καθώς και οι σωλήνες και οι αγωγοί τοποθετούνται ανάμεσα στις γραμμές των φυτών (Tietel et al, 1996, 1999).

Τέλος τα αποτελέσματα των δυο προαναφερθέντων συστημάτων θέρμανσης και των δυο υλικών κάλυψης στην ενεργειακή κατανάλωση και παραγωγή τομάτας αναφέρονται από τον Μαυρογιαννόπουλος (1992), οι οποίοι απέδειξαν ότι ο συνολικός συντελεστής των θερμικών απωλειών θερμοκηπίου θερμαινόμενο με σωλήνες ζεστού νερού ήταν σημαντικά υψηλότερος από ότι ενός θερμοκηπίου θερμαινόμενο με ζεστό αέρα. Αναφέρει δε, ότι άλλοι ερευνητές έχουν βρει χαμηλότερες τιμές για τον συντελεστή απωλειών στην περίπτωση της θέρμανσης με σωλήνες και θεωρεί ότι οι υψηλές τιμές οφείλονται στο μικρό μέγεθος του θερμοκηπίου που χρησιμοποιήθηκε και στο γεγονός ότι οι μισοί από το συνολικό μήκος των σωλήνων θέρμανσης τοποθετήθηκαν κοντά στα εξωτερικά τοιχώματα. Επίσης έδειξε ότι ένα θερμοκήπιο καλυμμένο με PE έχει μια συνολικά μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με ένα γυάλινο όταν η θέρμανση βασίζεται σε σωλήνες, αλλά ότι όταν και τα δυο θερμοκήπια θερμαίνονται με ζεστό αέρα η ενεργειακή τους κατανάλωση είναι κατά προσέγγιση η ίδια.

5.4 ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Για να πραγματοποιηθεί πρακτική εφαρμογή των συστημάτων θέρμανσης απαιτείται σχεδόν σε όλα τα θερμοκήπια, η κατανάλωση καυσίμων, πράγμα το οποίο αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για να επιτευχθεί η θέρμανση. Αυτό το πρόβλημα είναι δυνατό να ξεπεραστεί από την χρήση χαμηλού κόστους θερμοκρασιών τεχνικών αντί της θέρμανσης με συμβατικά καύσιμα.

Εξαιτίας του μεγάλου κόστους των καυσίμων και της αβεβαιότητας της διαθεσιμότητας των συμβατικών καυσίμων, αλλά και της παγκόσμιας οικονομικής κρίσης, σημαντική προσοχή έχει δοθεί στον τομέα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ως εναλλακτικοί τρόποι θέρμανσης των θερμοκηπίων. Επιπλέον η ανάπτυξη νέων και πιο αποδοτικών και οικονομικών συστημάτων αποθήκευσης της θερμότητας, και των σχετικών με αυτά μηχανισμών είναι τόσο σημαντική όσο και η ανάπτυξη νέων πηγών ενέργειας από την άποψη της ενεργειακής συντήρησης.

Η ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται ως άφθονη, καθαρή και ασφαλής πηγή αποτελεί ένα σημαντικό μέσο αντικατάστασης των συμβατικών καυσίμων για παθητική και ενεργητική θέρμανση στα θερμοκήπια. Κατά την διάρκεια της ημέρας μπορούν να αποθηκευτούν αρκετά μεγάλες ποσότητες ηλιακής θερμότητας, ειδικά της ζεστές ημέρες του χρόνου, έτσι η ενέργεια αυτή αποδίδεται την νύχτα για να διασφαλίσει επαρκώς τις θερμικές ανάγκες που έχει ένα θερμοκήπιο. Αποδοτική και οικονομική αποθήκευση θερμότητας είναι ο κύριος παράγοντας στην χρήση ηλιακής

ενέργειας για καλλιεργητικούς σκοπούς. Η ηλιακή θερμική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί σαν αισθητή θερμότητα, λανθάνουσα θερμότητα, θερμότητα αντίδρασης ή ένας συνδυασμός αυτών (Βουρδούμπας, 2000).

Η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια από θερμικά απόβλητα βιομάζα μπορούν να αξιοποιηθούν στη θέρμανση του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας στην εξοικονόμηση ενέργειας, στη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και στον περιορισμό της εξάρτησης από το πετρέλαιο και άλλα επιβλαβή για το περιβάλλον καύσιμα. Στην πράξη εκτεταμένη εφαρμογή στις θερμοκηπιακές καλλιέργειες έχουν βρει η ηλιακή ενέργεια, η βιομάζα και η γεωθερμική ενέργεια και λιγότερο η αιολική ενέργεια.

Όσον αφορά την ηλιακή ενέργεια οι συνήθεις εφαρμογές είναι οι ακόλουθες:

1. Θέρμανση εδάφους και υπεδάφους θερμοκηπίου με τη χρησιμοποίηση εξωτερικού ηλιακού συλλέκτη ζεστού νερού και αποθήκης νερού κάτω από το έδαφος. Τη νύχτα το ζεστό νερό κυκλοφορεί στο θερμοκήπιο και αποδίδει τη θερμότητά του σε αυτό. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί εξωτερικός ηλιακός συλλέκτης ζεστού νερού και αποθήκη θερμότητας σε χαλίκια που είναι τοποθετημένα κάτω από τραπέζια καλλιέργειας ή κάτω από το έδαφος του θερμοκηπίου. Ένα στοιχείο που επιβαρύνει το κόστος αυτού του συστήματος είναι το γεγονός ότι για την εγκατάσταση του συλλέκτη απαιτείται έκταση περίπου 30% επιπλέον αυτής του θερμοκηπίου στην περίπτωση του θερμοκηπίου της μελέτης μας δεν χρειάστηκε επιπλέον έκταση να αγοραστεί αφού ο χώρος του αγροτεμαχίου επαρκούσε για την εγκατάσταση τους.
2. Θέρμανση εσωτερικού χώρου θερμοκηπίου με τη χρησιμοποίηση διαφανών σωλήνων μεγάλης διαμέτρου (0,5-0,75m), μέσο λεπτών τοιχωμάτων τα οποία είναι γεμάτα από νερό τα οποία ενεργούν ως παθητικό σύστημα θέρμανσης. Κάτω από τους σωλήνες που τοποθετούνται ανάμεσα στις γραμμές των φυτών υπάρχει μαύρο φύλλο πολυαιθυλενίου που συλλέγει τη φωτεινή ηλιακή ακτινοβολία, τη μετατρέπει σε ενέργεια και τη δίνει στο νερό. Οι σωλήνες του νερού τη μέρα συλλέγουν το 20% περίπου της ηλιακής ενέργειας που μπαίνει στα θερμοκήπια. Τις ψυχρές ώρες το ζεστό νερό εκλύει θερμότητα προς το χώρο του θερμοκηπίου. Από διάφορες έρευνες που έγιναν βρέθηκε ότι με το ηλιακό αυτό σύστημα ανυψώνεται κατά τις 3-6 °C η ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα, των φυτών και του εδάφους του θερμοκηπίου μειώνεται κατά 10-12% η σχετική υγρασία του αέρα του θερμοκηπίου και η απόθεση σταγόνων πάνω στα φυτά και αυξάνεται κατά 10-15% τις μεσημεριανές ώρες της ημέρας η ένταση του φωτός και πολύ περισσότερο τις πρωινές ώρες. Επίσης μειώνεται κατά 3-4 °C η μέγιστη θερμοκρασία. Το παθητικό ηλιακό σύστημα έχει εφαρμοστεί σε αρκετές εκτάσεις (800 στρ. περίπου) κυρίως στη Β. Ελλάδα και συνιστάται ιδιαίτερα σε καλλιέργειες μικρού ύψους.
3. Θέρμανση εδάφους και εσωτερικού χώρου του θερμοκηπίου με τη χρησιμοποίηση εναλλάκτη εδάφους-αέρα. Στο υπέδαφος του θερμοκηπίου και σε βάθος 1-2 m εγκαθίσταται εναλλάκτης θερμότητας εδάφους-αέρα που αποτελείται συνήθως από πλαστικούς σωλήνες μικρού πάχους και διαμέτρου 0,2-0,4 m. Η θερμοκρασία του χώρου του θερμοκηπίου ρυθμίζεται με κυκλοφορία του αέρα του θερμοκηπίου σε κλειστό κύκλωμα, μέσα από το σύστημα του εναλλάκτη. Η κυκλοφορία του αέρα γίνεται με τη λειτουργία ανεμιστήρων οποτεδήποτε η θερμοκρασία του χώρου πέσει κάτω από την ελάχιστη επιθυμητή θερμοκρασία ή υπερβεί τη μέγιστη επιθυμητή. Επειδή η θερμοκρασία του υπεδάφους μεταβάλλεται πολύ λίγο και με χρονική

υστέρηση κατά την διάρκεια του 24ώρου και είναι συνήθως υψηλότερη από την ελάχιστη επιθυμητή και χαμηλότερη από τη μέγιστη επιθυμητή του αέρα, ο αέρας που κυκλοφορεί στον εναλλάκτη όταν έχει χαμηλή θερμοκρασία αποσπά ενέργεια από το υπέδαφος. Κατά αυτόν τον τρόπο το υπέδαφος χρησιμοποιείται ως φθηνή αποθήκη ενέργειας που ταυτόχρονα αποθηκεύει και με φυσικό τρόπο ενέργεια από το καλοκαίρι μέχρι το χειμώνα.

Στις μέρες μας τα ηλιακά συστήματα στα θερμοκήπια έχουν εφαρμοστεί εμπορικά σε ελάχιστες περιπτώσεις είχαν πλήρη επιτυχία, γιατί έχουν σημαντικό κόστος εγκατάστασης και συντήρησης. Υπάρχει όμως συνεχής βελτίωση και σε συνδυασμό με την αύξηση των τιμών των καυσίμων, οδηγούμαστε στο να εφαρμοστούν σύντομα με σημαντικά οικονομικά οφέλη σε μεγάλες εκτάσεις. Με τα σημερινά δεδομένα η ηλιακή ενέργεια δεν μπορεί να καλύψει οικονομικά το 100% των αναγκών που υπάρχουν σε ένα θερμοκήπιο. Υπολογίζεται ότι το άριστο που μπορεί να τροφοδοτήσει η ηλιακή ενέργεια κυμαίνεται από 60-70% μέχρι 10-12%. Η σημαντική αυτή διαφορά οφείλεται στις υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις του θερμοκηπίου ειδικά όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλή. Το αποτέλεσμα είναι να αυξάνεται το μέγεθος του συλλέκτη και του συστήματος αποθήκευσης και να εξαρτάται βασικά από τις ενεργειακές ανάγκες μερικών μόνο ψυχρών και συννεφιασμένων ημερών όταν δεν είναι διαθέσιμη η ηλιακή πηγή κατά την διάρκεια της ημέρας. Αναλύοντας το κόστος των συστημάτων αυτών μπορεί κανείς να προτείνει ένα βοηθητικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο θα καλύπτει τις απαιτήσεις σε θερμότητα τις συννεφιασμένες περιόδους. Ένα τέτοιο σύστημα είναι μια γεννήτρια diesel, όπως αυτή που εμείς χρησιμοποιήσαμε στο θερμοκήπιο της μελέτης και θα δούμε στο Κεφάλαιο 6. Είναι ευνόητο ότι η ηλιακή ενέργεια γίνεται πιο αποδοτική όταν συνδυάζεται με συστήματα εξοικονόμησης ενέργειας που μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις ανάγκες θέρμανσης (Μαυρογιαννόπουλος, 2001).

5.5 ΦΥΣΙΚΟΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΦΩΤΙΣΜΟΣ

Ο φυσικός φωτισμός, δηλαδή η φωτεινότητα ενός θερμοκηπίου εξαρτάται από τους μετεωρολογικούς παράγοντες που επικρατούν σε κάθε περιοχή και από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής. Παράγοντες που ευνοούν το φωτισμό στο θερμοκήπιο είναι οι εξής:

- I. Ο απλός σκελετός. Όσο απλούστερος είναι, τόσο περισσότερο φως περνάει στο θερμοκήπιο. Σκελετοί με μεγάλες διατομές ή με πολλά στοιχεία μειώνουν κατά 4-12% το φωτισμό, ενώ τα δευτερεύοντα στοιχεία κατά 2-5%.
- II. Το υλικό κάλυψης. Ο καθαρός υαλοπίνακας μειώνει κατά 10% το φωτισμό που περνάει εντός, ενώ ο ακάθαρτος μέχρι και 70%. Η μείωση του φωτισμού στα πλαστικά φύλλα και στα σκληρά πλαστικά είναι μεγαλύτερη από του υαλοπίνακα και αυξάνει με τη πάροδο του χρόνου.
- III. Οι εναέριες εγκαταστάσεις μειώνουν σημαντικά το φωτισμό στο χώρο του θερμοκηπίου και αν είναι δυνατόν πρέπει να αποφεύγονται.
- IV. Τα απλά θερμοκήπια είναι πιο φωτεινά από τα πολλαπλά, γιατί δέχονται περισσότερο διάχυτο φωτισμό από τα πλευρικά τοιχώματα, όμως παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες ενέργειας και μικρότερη εκμετάλλευση εδάφους.

- V. Η πυκνότητα των φυτών στο χώρο του θερμοκηπίου, η οποία θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε το φως που φθάνει στα φυτά να καλύπτει τις απαιτήσεις τους ως προς την φωτοσυνθετική τους λειτουργία.



Εικόνα 5.2 : Τεχνητός φωτισμός θερμοκηπίου με λαμπτήρες (Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2005)

Σε ότι έχει να κάνει με τον τεχνητό φωτισμό, το κάθε ένα από τα θερμοκηπιακά είδη έχουν διαφορετικές απαιτήσεις φωτισμού και ανάλογα, αντιδρούν θετικά όταν η διάρκεια της νύχτας είναι μικρότερη ή μεγαλύτερη (φαινόμενο φωτοπεριοδισμού). Συνεπώς, όταν δεν επαρκεί ο φυσικός φωτισμός όπως συμβαίνει το χειμώνα που η διάρκεια της ημέρας είναι μικρότερη χρησιμοποιείται συχνά συμπληρωματικός φωτισμός με λαμπτήρες. Ο τεχνητός φωτισμός για την αύξηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας θεωρείται οικονομικά μάλλον ασύμφορος (εγκατάσταση, ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται), για αυτό χρησιμοποιείται μόνο σε περιπτώσεις που οικονομικά αποδίδει όπως π.χ. σε ανθοκομικές καλλιέργειες που απολαμβάνουν υψηλές τιμές το χειμώνα. Γίνεται όμως για πειραματικούς σκοπούς και χρησιμοποιούνται θάλαμοι, οι οποίοι διαθέτουν μόνο τεχνητό φωτισμό (80% λαμπτήρες φθορισμού και 20% λαμπτήρες πυρακτώσεως). Οι λαμπτήρες ανάβουν μετά τη δύση του ηλίου και είναι αποδοτικότερο να ανάβουν αργά τη νύχτα.

5.6 ΑΕΡΙΣΜΟΣ

Ο όρος αερισμός του θερμοκηπίου περιλαμβάνει δυο έννοιες:

Την ανάδευση του εσωτερικού αέρα του θερμοκηπίου, με σκοπό τη δημιουργία ομοιόμορφων συνθηκών σε όλη την έκταση του, και την ανταλλαγή του θερμού αέρα του θερμοκηπίου με τον εξωτερικό αέρα, που αποκαλείται ειδικότερα ως εξαερισμός. Ο εξαερισμός έχει σαν στόχο την ρύθμιση της θερμοκρασίας στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου κατά τη θερμή περίοδο, η μείωση της σχετικής υγρασίας και η ρύθμιση της συγκέντρωσης του CO₂ (Boodley W. James, 1999)

Στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες, οι ανάγκες για εξαερισμό είναι μεγάλες, λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών που παρατηρούνται από νωρίς την άνοιξη έως

αργά το φθινόπωρο. Ακόμα και το χειμώνα, που με απλή ανάδευση του αέρα επιδιώκεται βασικά η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στο θερμοκήπιο υπάρχουν περιπτώσεις που απαιτείται εξαερισμός για μείωση της θερμοκρασίας, ιδιαίτερα στις νότιες περιοχές, τις ηλιόλουστες ώρες.

Ένα αποτελεσματικό σύστημα εξαερισμού πρέπει:

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

Διακρίνουμε δύο τύπους εξαερισμού:

1. Φυσικό ή στατικό, στον οποίο ο αέρας κινείται λόγω των διαφορών πίεσης που δημιουργούνται από τις φυσικές συνθήκες (άνεμοι, διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ εσωτερικού-εξωτερικού χώρου και συνδυασμός τους).

2. Δυναμικό, όταν οι διαφορές πίεσης που κινούν τον αέρα δημιουργούνται από ανεμιστήρες.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τις ανάγκες σε εξαερισμό είναι:

- I. Η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα.
- II. Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.
- III. Η μέγιστη ανεκτή θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο που εξαρτάται από το είδος του φυτού.
- IV. Το μέγεθος και τα υλικά κατασκευής του θερμοκηπίου.
- V. Ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής στο χώρο του θερμοκηπίου.

5.7 ΦΥΣΙΚΟΣ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ

Ο φυσικός εξαερισμός μεταξύ του εσωτερικού ενός θερμοκηπίου και του περιβάλλοντος του είναι ο κύριος ρυθμιστικός παράγοντας για τον έλεγχο του μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Η διαδικασία του εξαερισμού περιλαμβάνει ένα κύριο ρεύμα αέρα κινούμενο από σταθερά πεδία πιέσεων δημιουργούμενα από τον άνεμο, μια τυρβώδη ροή κινούμενη από διακυμάνσεις των πιέσεων του αέρα και από ένα φαινόμενο στρωμάτωσης λόγω των δυνάμεων άνωσης και θερμοκρασιακών διαφορών (Boulard et al, 1998). Με δεδομένο ότι ο φυσικός εξαερισμός είναι η συνήθης πρακτική καθώς πια τώρα όλα τα θερμοκήπια περιλαμβάνουν κάποιο τέτοιο σύστημα εξαερισμού (Boulard and Baille 1995, Kittas et al, 1997), στόχος είναι να βελτιστοποιήσουμε το θερμοκήπιο και τον σχεδιασμό του αερισμού. Ένα αποδοτικό σύστημα αερισμού είναι ιδιαίτερα κρίσιμο υπό Μεσογειακές συνθήκες για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας και σε ορισμένο βαθμό της διαπνοής της καλλιέργειας (Boulard and Baille, 1993).

Οι περισσότερες πειραματικές μελέτες πάνω στον εξαερισμό σε πλήρους κλίμακας θερμοκήπια έχουν χρησιμοποιήσει tracer τεχνικές (διοχέτευση αερίου για κυκλοφορία εντός του χώρου). Αυτές περιλαμβάνουν μετρήσεις σε θερμοκήπια εξοπλισμένα είτε σε ανεμιστήρες οροφής (Fernandez and Bailey, 1992) ή εξαεριστήρες οροφής και πλαϊνών (Papadakis et al 1996, Kittas et al 1996). Εν τούτοις οι tracer

τεχνικές ούτε επιτρέπουν σαφή ταυτοποίηση των στοιχείων της συνολικής ροής ούτε πρόβλεψη του μοντέλου ροής του αέρα. Πιο πρόσφατα απευθείας μετρήσεις στις εναλλαγές αέρα και θερμότητας διαμέσου εξαεριστήρων θερμοκηπίου είχαν αναλάβει να υπολογίσουν τα μεγέθη των διαφορετικών στοιχείων της ροής χρησιμοποιώντας μονοδιάστατα ηχητικά ανεμόμετρα και λεπτά θερμοζεύγη.

Οι μηχανισμοί του φυσικού εξαερισμού εξαρτώνται από τις επιδράσεις των ανέμων, την θερμική άνωση και τον συνδυασμό και των δύο, ανέμου και δυνάμεων άνωσης (Hsin Yu et al, 2002). Η ταχύτητα και η διεύθυνση των ανέμων αποτελούν τους κυρίαρχους παράγοντες στις επιδράσεις του επαγομένου ανέμου. Οι Miguel et al (2001), υπέδειξαν ότι μια πλήρης κατανόηση της σχέσης μεταξύ των χαρακτηριστικών του ανέμου (ταχύτητα και διεύθυνση) και των χαρακτηριστικών του εξαερισμού (διαστάσεις, εσωτερικός και εξωτερικός σχεδιασμός) απαιτούνται για να επιτευχθεί αποδοτικός φυσικός εξαερισμός. Δηλαδή ο εξαερισμός και οι ρυθμοί διαφυγής εξαρτώνται από περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως η ταχύτητα και η διεύθυνση ανέμου, η διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας και το άνοιγμα του αερισμού.

Ο φυσικός αερισμός έχει διάφορα ανοίγματα τα οποία περιλαμβάνουν παράθυρα, πόρτες, ανοίγματα εκπομπής και φωταγωγούς, ανεμιστήρες οροφής και ειδικού σχεδιασμού εσωτερικά και εξωτερικά ανοίγματα. Ο ρυθμός φυσικού εξαερισμού εξαρτάται από την επίδραση του μετακινούμενου ανέμου μέσω των ανοιγμάτων. Προτείνεται μια εμπειρική σχέση για να προβλέπει την ροή μέσω ενός πλαϊνού τοιχώματος ανοίγματος ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου και της αποτελεσματικότητας των ανοιγμάτων. Η σχέση αυτή είναι:

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

Όπου:

Q = ο ρυθμός ροής ανέμου σε m^3/s ,

E = η αποτελεσματικότητα των ανοιγμάτων (μη διαστασιοποιημένη),

A = το μέγεθος του εσωτερικού ανοίγματος σε m^2

V = η ταχύτητα του ανέμου σε m/sec .

Η εναλλαγή του αέρα που παρατηρείται μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος του θερμοκηπίου επιδρά στις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η συγκέντρωση CO_2 που με την σειρά τους επιδρούν στην ανάπτυξη και παραγωγή της καλλιέργειας. Κατά την διάρκεια του χειμώνα, ο εξαερισμός πρέπει να αναιρεί την υπερβολική υγρασία και να παρέχει μια καλή ατμόσφαιρα εντός του θερμοκηπίου. Οι μετρήσεις του εξαερισμού και οι ρυθμοί διαφυγής είναι απαραίτητες για να παρέχουν καλή κατανόηση του ελέγχου του κλίματος στα θερμοκήπια. Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά του εξαερισμού ενός θερμοκηπίου για να προάγουμε καλό έλεγχο των εσωτερικών περιβαλλοντικών συνθηκών και μια καλή απόδοση σε υψηλής ποιότητας παραγωγή.

Γενικά χαρακτηρίζουμε τον αερισμό ενός θερμοκηπίου με βάση τον ρυθμό ωριαίας ανανέωσης N , δηλαδή το πόσες φορές ο όγκος του θερμοκηπίου ανανεώνεται σε μια ώρα. Από συγκριτική άποψη είναι προτιμότερο να εκφράζεται ο αερισμός ως ροή όγκου αέρος ή μάζα αέρος που αντιστοιχεί στην επιφάνεια του ανοίγματος ή στην επιφάνεια του θερμοκηπίου.

Σε ένα θερμοκήπιο που διαθέτει ανοίγματα οροφής και πλαϊνά ο φυσικός αερισμός δηλαδή η ροή αέρα μέσω ενός ανοίγματος προκαλείται από τον συνδυασμό των διαφορών πίεσης που δημιουργούνται:

1. Λόγω των δυνάμεων άνωσης που οφείλονται σε διαφορές θερμοκρασίας (φαινόμενο καμινάδας) μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και εσωτερικού χώρου, καθώς ο θερμός αέρας μέσα στο θερμοκήπιο, επειδή είναι ελαφρύτερος ανεβαίνει προς τα πάνω και βγαίνει από τα ανοίγματα της οροφής. Έτσι δημιουργείται υποπίεση και από τα πλευρικά ανοίγματα εισέρχεται στο θερμοκήπιο ψυχρός αέρας, ο οποίος ανεβαίνει μέχρι την οροφή.
2. Λόγω της ταχύτητας του ανέμου αφού ο αέρας μπαίνει από τα παράθυρα της πλευράς με τη μεγαλύτερη πίεση και βγαίνει από εκείνα της απέναντι πλευράς που έχει μικρότερη πίεση.

Τα ανοίγματα ενός θερμοκηπίου πρέπει να καλύπτουν μια επιφάνεια ίση με το 25-30% της επιφάνειας του εδάφους, ώστε ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα να είναι ικανοποιητικός. Η ελάχιστη σχετική επιφάνεια των ανοιγμάτων του εξαερισμού εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής και από το είδος των φυτών που καλλιεργούνται. Η έκταση και το γεωμετρικό σχήμα των ανοιγμάτων του θερμοκηπίου επηρεάζει σημαντικά την αντίσταση της ροής και επομένως τον ρυθμό του αερισμού. Τα παράθυρα της υπήνεμης πλευράς, που βρίσκονται σε αρνητική πίεση σε σχέση με τη βαρομετρική, είναι ασφαλέστερο να ανοίγουν πρώτα. Στο θερμοκήπιο της μελέτης τα ανοίγματα είναι κυκλικού τύπου όπως φαίνεται στην εικόνα 5.3.

Ο καλύτερος τρόπος φυσικού εξαερισμού είναι ο συνδυασμός πλευρικών ανοιγμάτων με παράθυρα οροφής σε διάφορες διαστάσεις ή συνεχή, σε όλο το μήκος του θερμοκηπίου. Αυτός ο συνδυασμός ανοιγμάτων έχει ως αποτέλεσμα καλό εξαερισμό, ιδιαίτερα τις θερμές περιόδους του έτους. Η αυτοματοποίηση των ανοιγμάτων γίνεται με ηλεκτροκινητήρες που η εκκίνηση τους γίνεται με την βοήθεια θερμοστάτη χώρου. Το μειονέκτημα είναι ότι το σύστημα λειτουργεί με βάση μόνο τη θερμοκρασία του χώρου, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τους ανέμους. Ένας ισχυρός άνεμος, όμως μπορεί να προκαλέσει υπερβολική μείωση της θερμοκρασίας και εκτός από το θερμοστάτη πρέπει να υπάρχει και ανεμόμετρο, ώστε να λαμβάνεται υπόψη και η ταχύτητα του αέρα. Μόνο με τη λειτουργία τέτοιου συστήματος δεν μπορούν να επιτευχθούν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες στο χώρο του θερμοκηπίου, ιδιαίτερα τις ημέρες με άπνοια (η θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο είναι συνήθως μεγαλύτερη από την εξωτερική κατά 6°C και πάνω). Τέλος για να λειτουργήσει σωστά απαιτούνται κατασκευές θερμοκηπίου μεγάλου ύψους και δυνατότητα κατασκευής στεγανών παραθύρων οροφής που να αυτοματοποιούνται εύκολα.



Εικόνα 5.3 : Ανοίγματα θερμοκηπίου μελέτης με παράθυρα οροφής

Το χειμώνα η θερμοκρασία πρέπει να ρυθμίζεται από τα ανοίγματα της οροφής, ώστε να προφυλάσσονται τα φυτά από τα ψυχρά ρεύματα. Την άνοιξη και το φθινόπωρο υπολογίζεται ότι στις ελληνικές συνθήκες απαιτούνται περίπου 40 αλλαγές του αέρα του θερμοκηπίου την ώρα. Το καλοκαίρι όμως συχνά δεν επαρκούν τα ανοίγματα για τη μείωση της υψηλής θερμοκρασίας, οπότε είναι απαραίτητη η εφαρμογή δυναμικού εξαερισμού.

5.8 ΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΣ

Τα περισσότερα θερμοκήπια στις Μεσογειακές χώρες δροσιζονται κυρίως με φυσικό εξαερισμό. Αυτός ο τρόπος εξαερισμού είναι αποτελεσματικός μόνο όταν υπάρχει άνεμος και όταν η ατμοσφαιρική θερμοκρασία περιβάλλοντος δεν υπερβαίνει τους 30°C με τον όρο ότι τα ανοίγματα στις πλευρές και την οροφή είναι αρκετά σε αριθμό και εμβαδόν. Το θερμοκήπιο το οποίο έγινε η μελέτη μας περιλαμβάνει ανοίγματα που εκτείνονται κατά μήκος του θερμοκηπίου, όπως τα παράθυρα οροφής και τα πλαϊνά παράθυρα. Το καλοκαίρι και όταν επικρατεί άπνοια ο φυσικός εξαερισμός δεν είναι επαρκής (Baillie 1988, El-Aidy 1991). Στην εικόνα 5.5, φαίνονται τα πλαϊνά παράθυρα του θερμοκηπίου.

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



Εικόνα 5.4 : Δυναμικός εξαερισμός θερμοκηπίου με χρήση ανεμιστήρων (Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2005)

Με τον δυναμικό αερισμό είναι δυνατόν να επιτευχθούν ρυθμοί ανανέωσης του αέρα μεγαλύτεροι των 40 ανά ώρα κάτι που δεν επιτυγχάνεται με τα συστήματα φυσικού αερισμού. Για αυτό το λόγο γίνεται χρήση ανεμιστήρων που τοποθετούνται στο τοίχωμα του θερμοκηπίου. Ιδιαίτερα στις θερμές περιοχές, όταν η ηλιακή

ακτινοβολία είναι υψηλή, για να επιτευχθεί μια διαφορά θερμοκρασιών μέσα έξω 6°C , απαιτούνται 60 αλλαγές του αέρα την ώρα. Κάτι τέτοιο μπορεί να επιτευχθεί μόνο με μηχανικά μέσα, δεδομένου ότι συχνά επικρατούν και χαμηλές ταχύτητες ανέμων. Είναι γνωστό ότι όταν το ποσοστό ανοιγμάτων φυσικού αερισμού ξεπερνά το 30% η επίδραση του αερισμού στην διαφορά θερμοκρασίας (ΔT) καθίσταται αμελητέα (Kittas et al, 1997).



Εικόνα 5.5 : Πλαϊνά παράθυρα θερμοκηπίου μελέτης

Με την τοποθέτηση ηλεκτροκίνητων ανεμιστήρων ή εξαεριστήρων, ο αέρας του θερμοκηπίου μπορεί να ανανεώνεται ανεξάρτητα από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος. Μια τυπική εγκατάσταση δυναμικού εξαερισμού απαιτεί ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας $15\text{-}50 \text{ MJm}^2$ και ισχύ $5\text{-}15 \text{ W/m}^2$, ανάλογα με το τύπο του εξαεριστήρα. Περισσότερες από 60 αλλαγές θεωρούνται αντιοικονομικές, γι' αυτό αν χρειάζεται μεγαλύτερη μείωση της θερμοκρασίας πρέπει να σκιάζεται το θερμοκήπιο ή να τοποθετείται σύστημα δροσισμού με εξάτμιση νερού. Οι απαιτήσεις σε εξαερισμό, για τον έλεγχο της θερμοκρασίας, επηρεάζονται από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, τη μέγιστη ανεκτή θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο και το μέγεθος του θερμοκηπίου. Ο ρυθμός εξαερισμού, για να επιτευχθεί μια συγκεκριμένη θερμοκρασία εξαρτάται από την προσπίπτουσα ακτινοβολία, από την εξωτερική θερμοκρασία του αέρα, την εξατμισοδιαπνοή στο χώρο του θερμοκηπίου και από τα χαρακτηριστικά της κατασκευής.

Τα θερμοκήπια με δυναμικό εξαερισμό παρέχουν ικανοποιητική ανανέωση του αέρα στο χώρο του θερμοκηπίου, ακόμα και σε περιπτώσεις άπνοιας, και είναι η μόνη λύση στα θερμοκήπια όπου είναι τεχνικά και οικονομικά δύσκολη η κατασκευή σωστού συστήματος παθητικού εξαερισμού. Επίσης επειδή απαιτούν θερμοκήπια μικρότερου όγκου, οι απώλειες ενέργειας κατά τη διάρκεια της θέρμανσης είναι μικρότερες.

5.9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΑΝΑΓΚΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Στη παράγραφο αυτή θα υπολογιστούν αναλυτικά οι ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου όσον αφορά τη θέρμανση, τον εξαερισμό και τον φωτισμό του. Το θερμοκήπιο το οποίο μελετάμε ανήκει στην κατηγορία των τροποποιημένων τοξοτών θερμοκηπίων. Αποτελείται από μεταλλικό σκελετό και καλύπτεται από απλό φύλλο πολυαιθυλενίου με καλή συντήρηση οπότε $n=1,5$ (όπου n ο αριθμός των αλλαγών του αέρα από διαφυγές με κλειστά παράθυρα ανά ώρα και δίνεται από τον πίνακα 4.2). Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του καλύμματος του θερμοκηπίου για απλό φύλλο πολυαιθυλενίου δίνεται από τον πίνακα 5.1 και ισούται $K=6,3\text{W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$, η έκταση του θερμοκηπίου είναι 1920 m^2 , (πλάτος 32 m και μήκος 60 m), πλάτος κατασκευαστικής μονάδας 6.4 m, ύψος πλαϊνών ορθοστατών 3 m και ύψος από την κορυφή 4.35 m. Ο όγκος του θερμοκηπίου είναι 7490 m^3 (όπως υπολογίστηκε στο κεφάλαιο 4, παράγραφος 4.3, σχέση 4.16), η επιφάνεια κάλυψης είναι $A=2724\text{ m}^2$ (όπως υπολογίστηκε στην παράγραφο 4.3, εξίσωση 4.13).

Θα τεθεί υπόψη και η διαφορά θερμοκρασίας ΔT , που είναι η διαφορά $T_{in}-T_a$. Ως T_{in} θερμοκρασία λαμβάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία του περιβάλλοντος εντός του θερμοκηπίου και ως T_a λαμβάνεται η μέση ελάχιστη νυχτερινή θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα που εμφανίζεται στην περιοχή με συχνότητα τριετίας. Για τους υπολογισμούς μας η $T_{in}=14\text{ }^\circ\text{C}$, μια μέση θερμοκρασία που απαιτούν τα περισσότερα θερμοκηπιακά είδη και $T_a=6\text{ }^\circ\text{C}$, η μέση μηνιαία θερμοκρασία νυκτός του μήνα Ιανουαρίου (παράρτημα I, πίνακας 1).

Πίνακας 5.1 : Συντελεστής θερμοπερατότητας υλικών κάλυψης

Κάλυμμα θερμοκηπίου	Τιμή K (W/m ² °C)
Απλό τζάμι	5,8
Απλό φύλλο πολυαιθυλενίου	6,3
Fiber Glass	4,0
Διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου	2,9
Διπλό τζάμι	2,9
Πλαστικό φύλλο και τζάμι	2,9
Απλό γυαλί και θερμοκουρτίνα	2,4

5.9.1 Ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου για θέρμανση σε kWh

Θα υπολογίσουμε στην παράγραφο που θα ακολουθήσει τις ανάγκες που έχει το θερμοκήπιο της μελέτης μας σε θέρμανση. Όπως έχει αναφερθεί στο Κεφάλαιο 3, η θέρμανση του θερμοκηπίου πραγματοποιείται με αερολέβητα πετρελαίου θέρμανσης. Αλλά λόγω του μεγάλου κόστους σε καύσιμα και των σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων, προτείνουμε την αντικατάσταση του με έναν αερολέβητα πυρηνόξυλου με την ίδια θερμική ισχύ. Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε έναν αερολέβητα πυρηνόξυλου και στον Πίνακα 5.2 τα τεχνικά χαρακτηριστικά του.

Ο νέος αερολέβητας που προτείνουμε, θα έχει πολύ μικρότερο κόστος σε καύσιμα, αφού 1 τόνος πυρηνόξυλου κοστίζει σήμερα περίπου 100 € σε αντίθεση με το πετρέλαιο θέρμανσης που η τιμή ενός τόνου πετρελαίου ξεπερνά τα 1500 €. Έτσι

θα επιτύχουμε με την αντικατάσταση του παλιού λέβητα και τεράστια μείωση κόστους σε καύσιμα, αλλά και μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.



Εικόνα 5.6 : Αερολέβητας πυρηνόξυλου για θερμοκήπια

Πίνακας 5.2 : Τεχνικά χαρακτηριστικά αερολέβητα πυρηνόξυλου Aerodynamic

Θερμική ισχύς	300000 Kcal/h
Παροχή αέρα	26000 m ³ /h
2 Τουρμπίνες αέρα	1 x 3 HP, 1 x 2,5 HP
2 Μοτέρ καυσίμου	2 x 0,5 HP
Διαστάσεις	1650x2200x2500 (mm)
Βάρος	1500 kg
Κόστος αερολέβητα	2500 €
Κατανάλωση (ελάχιστη-μέγιστη)	17,6-23,8 Kg/h

Ο υπολογισμός των ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου σε θέρμανση θα γίνει από την σχέση του Lemaire de Forges σε συνδυασμό με τα Μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής.

$$Q = 1,20(K \cdot A \cdot \Delta T + 0,36 \cdot V \cdot n \cdot \Delta T) \quad (5.1)$$

Όπου:

Q= ενεργειακή ισχύς αναγκών θέρμανσης W

K= 6.3 W/m² °C, ο συντελεστής θερμοπερατότητας του καλύμματος

A= 2724 m², η επιφάνεια του καλύμματος

$$\Delta T = T_{in} - T_a, T_{in} = 14 \text{ }^\circ\text{C}, T_a = 6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$V = 7490 \text{ m}^3, \text{ ο όγκος του θερμοκηπίου}$$

$$n = 1.5, \text{ ο αριθμός των αλλαγών του αέρα από διαφυγές ανά ώρα και}$$
$$0,36 = \text{kcal/m}^3 \text{ }^\circ\text{C}$$

Στην σχέση του Lemaine de Forges ο παράγοντας $(K \cdot A \cdot \Delta T)$ δίνει τις απώλειες του καλύμματος λόγω αγωγιμότητας σε W. Ο παράγοντας $(0.36 \cdot V \cdot n \cdot \Delta T)$ δίνει τις απώλειες εξαερισμού σε kcal/h. Με γνωστό ότι $1 \text{ kcal/h} = 1.163 \text{ W}$, υπολογίσαμε τις ανάγκες για θέρμανση ανά ημέρα, ανά μήνα και τις ετήσιες ανάγκες σε θέρμανση. Άρα μετά τους υπολογισμούς έχουμε :

$$Q = 209904.6 \text{ W ή } 209.9 \text{ kW}$$

Αν υποθέσουμε ότι το σύστημα θέρμανσης πρέπει να λειτουργεί κατά μέσο όρο 9 ώρες ημερησίως έχουμε:

$$Q = 89141,4 \text{ Wh/ημέρα ή } 1889,14 \text{ kWh/ημέρα}$$

$$Q = 674242 \text{ Wh/μήνα ή } 56674,242 \text{ kWh/μήνα}$$

Οι ανάγκες σε θέρμανση εντοπίζονται κατά τους μήνες Νοέμβριο μέχρι Απρίλιο. Έτσι για τους 6 αυτούς μήνες, η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια είναι:

$$Q = 340045452 \text{ Wh ή } 340045.452 \text{ kWh}$$

Οι ανάγκες του θερμοκηπίου σε θέρμανση τόσο πριν την αλλαγή του λέβητα όσο και μετά δεν θα αλλάξουν.

5.9.1.1 Υπολογισμός κατανάλωσης πυρηνόξυλου

Σύμφωνα με την κατανάλωση καυσίμου του συγκεκριμένου λέβητα, θα υπολογίσουμε την ετήσια κατανάλωση σε πυρηνόξυλο αλλά και το ετήσιο κόστος και ακολούθως θα γίνει σύγκρισή με τον παλιό λέβητα πετρελαίου. Λαμβάνοντας υπόψη μια μέση τιμή κατανάλωσης πυρηνόξυλου, σύμφωνα με τις τιμές που αναφέρονται στον Πίνακα 5.2 θα έχουμε :

- Τιμή ανά τόνο πυρηνόξυλου 100 €/τόνο
- Μέση κατανάλωση καυσίμου 20,7 Kg/h
- Ώρες λειτουργίας λέβητα ανά ημέρα = 9 ώρες
- Περίοδος λειτουργίας λέβητα = 180 ημέρες
- Ημερήσια κατανάλωση καυσίμου = $20,7 \text{ Kg/h} \times 9 \text{ h} = 186,3 \text{ Kg}$
- Ετήσια κατανάλωση καυσίμου = $186,3 \text{ Kg} \times 180 \text{ ημέρες} = 33534 \text{ Kg}$ ή 33,534 τόνοι ετησίως
- Ετήσιο κόστος πετρελαίου = $33,534 \text{ τόνοι} \times 100 \text{ €/τόνο} = 3353,4 \text{ €}$

Πίνακας 5.3 : Σύγκριση κόστους αερολέβητα πετρελαίου-αερολέβητα πυρηνόξυλου

Πριν	Μετά
Αερολέβητας πετρελαίου θέρμανσης	Αερολέβητας πυρηνόξυλου
Ετήσιο κόστος 22113 €	Ετήσιο κόστος 3353,4 €

Έτσι με την αντικατάσταση του παλιού αερολέβητα με αυτόν του πυρηνόξυλου θα εξοικονομούμε σε ετήσια βάση τουλάχιστον 19000 €.

5.9.2 Ενεργειακές ανάγκες θερμοκηπίου για εξαερισμό σε kWh

Ο αερισμός του θερμοκηπίου γίνεται με φυσικό και δυναμικό εξαερισμό. Ο δυναμικός εξαερισμός γίνεται με ανεμιστήρες οι οποίοι μας εξασφαλίζουν 45-60 αλλαγές ανά ώρα. Η μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για εξαερισμό του θερμοκηπίου είναι κατά μέσο όρο 40 MJ/m^2 (ετήσιο εύρος $20\text{-}50 \text{ MJ/m}^2$), οπότε για το εν λόγω θερμοκήπιο των 1920 m^2 η συνολική απαιτούμενη ενέργεια είναι $1920 \text{ m}^2 \cdot 40 \text{ MJ/m}^2 = 76800 \text{ MJ}$ ή 21333 kWh . Ο φυσικός εξαερισμός γίνεται από τα 6 παράθυρα του θερμοκηπίου, 4 παράθυρα οροφής και 2 πλαϊνά παράθυρα (Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2001). Οι ανάγκες του θερμοκηπίου σε εξαερισμό δεν αλλάζουν, αφού δεν κρίθηκε σκόπιμο να γίνει κάποια αλλαγή στον τρόπο εξαερισμού του θερμοκηπίου.

5.9.3 Ενεργειακές ανάγκες θερμοκηπίου για φωτισμό σε kWh

Όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 3, ο φωτισμός του θερμοκηπίου γίνεται με λαμπτήρες πυρακτώσεως με ισχύ 60 Watt ο καθένας. Για εξοικονόμηση ενέργειας προτείνουμε την αντικατάστασή τους με λαμπτήρες τύπου led. Συνολικά θα τοποθετηθούν 20 τέτοιοι λαμπτήρες εντός του θερμοκηπίου. Η ισχύς καθενός από αυτούς τους λαμπτήρες είναι 9 Watt . Η συνολική ισχύς των λαμπτήρων είναι 180 W και στο σύνολο των ωρών και ημερών κάθε μήνα που απαιτείται να χρησιμοποιούνται η συνολική ενέργεια είναι $111,6 \text{ kWh}$. Επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες για να υπάρχει μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και ταυτόχρονη μείωση των ηλεκτρικών καταναλώσεων. Στην εικόνα 5.7 απεικονίζονται οι λαμπτήρες led που προτείνουμε και στον Πίνακα 5.4 βλέπουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Στον Πίνακα 5.5 που ακολουθεί υπολογίζονται οι ενεργειακές ανάγκες σε φωτισμό με βάση τους μήνες λειτουργίας, που όπως βλέπουμε είναι 8 μήνες, με βάση τις ώρες λειτουργίας καθημερινά, τις ημέρες λειτουργίας κάθε μήνα και φυσικά βάση τις συνολικής ισχύς των λαμπτήρων. Στον Πίνακα 5.6 υπολογίσαμε με τον ίδιο τρόπο τις ανάγκες που θα είχε το θερμοκήπιο σε φωτισμό με τους παλιούς λαμπτήρες. Οι παλιοί λαμπτήρες είχαν συνολική ισχύς 480 Watt .



Εικόνα 5.7 : Λάμπα led 9 Watt E 27 PAR38

Πίνακας 5.4 : Τεχνικά χαρακτηριστικά λαμπτήρα led 9 Watt E27 PAR38

Χρώμα φωτισμού λάμπας	Ψυχρό λευκό
Ισχύς	9 Watt
Τάση	220 Volt
Ίση με λάμπα πυρακτώσεως	90 Watt
Γωνία φωτισμού λάμπας	60 μοίρες
Θερμοκρασία	3000 K
Φωτεινότητα	780-810 Lm
Διάμετρος λάμπας	118 mm
Μήκος	115 mm
Ώρες λειτουργίας	50000 ώρες
Υλικό κατασκευής	Αλουμίνιο

Όπως βλέπουμε και στον Πίνακα των τεχνικών χαρακτηριστικών της λάμπας, κάθε μια από αυτές της λάμπες θα ισοδυναμεί με μια λάμπα πυρακτώσεως των 90 Watt. Έτσι εξασφαλίζουμε και μεγαλύτερη απόδοση και οικονομία και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Πίνακας 5.5 : Ενεργειακές ανάγκες θερμοκηπίου σε φωτισμό με αντικατάσταση λαμπτήρων

Μήνας	t(h)	d	M · t · d	P (Watt)	Q(kWh)
Απρίλιος, Σεπτέμβριος	2	20	80	180	14,4
Μάρτιος, Οκτώβριος	2	30	120	180	21,6
Νοέμβριος, Φεβρουάριος	3	30	180	180	32,4
Δεκέμβριος, Ιανουάριος	4	30	240	180	43,2
Σύνολο					111,6

Πίνακας 5.6 : Ενεργειακές ανάγκες θερμοκηπίου σε φωτισμό πριν την αντικατάσταση των λαμπτήρων

Μήνας	t(h)	d	M · t · d	P (Watt)	Q(kWh)
Απρίλιος, Σεπτέμβριος	2	20	80	480	38,4
Μάρτιος, Οκτώβριος	2	30	120	480	57,6
Νοέμβριος, Φεβρουάριος	3	30	180	480	86,4
Δεκέμβριος, Ιανουάριος	4	30	240	480	115,2
Σύνολο					297,6

Άρα με την αντικατάσταση των λαμπτήρων επιτυγχάνουμε μείωση των ενεργειακών αναγκών σε φωτισμό του θερμοκηπίου σε ποσοστό που ξεπερνά το 60%.

Στον πίνακα 5.7 καταγράφονται οι συνολικές ετήσιες ανάγκες του θερμοκηπίου σε θέρμανση, σε εξαερισμό και σε φωτισμό.

Πίνακας 5.7 : Συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες Q του θερμοκηπίου μετά την μελέτη

Ενεργειακές ανάγκες Q	Περίοδος Κατανάλωσης (kWh)	Ετήσιες Καταναλώσεις (kWh)
Θέρμανση	56674,242 (6 μήνες)	340045,452
Εξαερισμός	2666,625 (8 μήνες)	21333
Φωτισμός	13,95 (8 μήνες)	111,6
Σύνολο	59354,8	361490

Στον Πίνακα 5.8 που ακολουθεί βλέπουμε ποιες ήταν οι ανάγκες του θερμοκηπίου πριν προχωρήσουμε στην μελέτη των αναγκών του θερμοκηπίου.

Πίνακας 5.8 : Συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες Q του θερμοκηπίου πριν την μελέτη

Ενεργειακές ανάγκες Q	Περίοδος Κατανάλωσης (kWh)	Ετήσιες Καταναλώσεις (kWh)
Θέρμανση	56674,242 (6 μήνες)	340045,452
Εξαερισμός	2666,625 (8 μήνες)	21333
Φωτισμός	37,2 (8 μήνες)	297,6
Σύνολο	59378,067	361676,052

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΟΛΗ ΤΗ ΠΑΤΡΑΣ

6.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Ο σχεδιασμός πάντα ξεκινά με την εκτίμηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων του συστήματος. Γνωρίζοντας τα φορτία του θερμοκηπίου και τις ώρες που λειτουργούν καθημερινά μπορούμε να υπολογίσουμε τις ηλεκτρικές καταναλώσεις κάθε ημέρας. Ύστερα από προσεκτική έρευνα, απαριθμούνται οι διάφορες ενδεχόμενες χρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας και καταγράφονται όλες οι ηλεκτρικές συσκευές, η ισχύς τους και ο πιθανός χρόνος λειτουργίας τους στη διάρκεια του 24ώρου. Συχνά είναι χρήσιμο να καταγράφεται η πιθανότητα ταυτόχρονης περισσότερων συσκευών, ώστε να υπολογιστεί η μέγιστη ισχύς στην ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, είναι σκόπιμο να γίνεται προγραμματισμένη κατανομή και ιεράρχηση της ζήτησης από τις διάφορες συσκευές για την αποφυγή υπερβολικών αιχμών (Καπλάνης Σ., 2004).

Στην περίπτωση του ηλεκτροφωτισμού αντικαταστάθηκαν οι εγκατεστημένοι λαμπτήρες με άλλους χαμηλότερης ηλεκτρικής κατανάλωσης, όπως αναφέραμε στην παράγραφο 5.9.3.

Υποθέσαμε ότι τα φορτία που φαίνονται στον πίνακα 6.2 είναι υπό μορφή AC και DC. Στον πίνακα 6.1 βλέπουμε ποια φορτία είναι AC και ποιά DC.

Πίνακας 6.1 : Φορτία AC/DC

ΦΟΡΤΙΑ	Wh/day	kWh/day
AC	44509	44,509
DC	9770	9,77

Στον πίνακα 6.2 φαίνονται η ηλεκτρικές καταναλώσεις του θερμοκηπίου, οι οποίες υπολογίστηκαν βάση της εγκατεστημένης ισχύς και του μέσου ημερήσιου χρόνου λειτουργίας. Οι συγκεκριμένες ηλεκτρικές καταναλώσεις αναφέρονται στις καταναλώσεις που θα έχουμε στο θερμοκήπιο μετά τις προτάσεις που έγιναν στο Κεφάλαιο 5 και αφορούσαν την αλλαγή του αερολέβητα καθώς και των λαμπτήρων, έτσι ώστε να επιτύχουμε και μείωση των φορτίων και να έχουμε καλύτερη απόδοση. Με την μείωση των καταναλώσεων αυτών που παρατηρούνται στον Πίνακα 6.2, θα έχουμε και μια μείωση των συνολικών φωτοβολταϊκών πάνελ που θα τοποθετηθούν τελικά στο θερμοκήπιο.

Πίνακας 6.2 : Ηλεκτρικές Καταναλώσεις

Κατανάλωση	Εγκατεστημένη Ισχύς (W)	Μέσος Ημερήσιος χρόνος λειτουργίας	Μέση Ημερήσια Κατανάλωση Wh/day
Ηλεκτροφωτισμός εσωτερικά τύπου led 20 σημεία x 9watt	180	3	540
Ηλεκτροφωτισμός εξωτερικά τύπου led 10 σημεία x 9watt	90	3	270
Ανεμιστήρες 10σημείαx250watt	2500	3	7500
Μοτέρ πλαϊνών παραθύρων και οροφής	4476	0,02	90
Αντλία γεώτρησης	1119	2	2238
Μοτέρ Αερολέβητα	4849	9	43641
Σύνολο	13214		54279

Για τους υπολογισμούς μας θα χρειαστούμε τα στατιστικά δεδομένα της περιοχής, δηλαδή τις τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας, των τιμών του PSH, που δίνονται στον Πίνακα 3 του παρατήματος I.

Από την μορφή της ημερήσιας κατανάλωσης των φορτίων, εκτιμάμε ότι το 18% των φορτίων, δηλαδή $54279\text{Wh} * 0.18 = 9770\text{Wh}$ καλύπτονται απ' ευθείας κατά την διάρκεια της ημέρας οπότε και PV-γεννήτρια παρέχει την ισχύ απ' ευθείας στα φορτία, ενώ το 82%, δηλαδή $54279\text{Wh} * 0.82 = 44509\text{Wh}$, θα καλυφθεί μέσω συσσωρευτών.

Στην συνέχεια υπολογίστηκαν όπως βλέπουμε παρακάτω τι φορτία θα καλυφθούν άμεσα από την φωτοβολταϊκή γεννήτρια και ποια φορτία θα καλυφθούν έμμεσα. Συγκεκριμένα με βάση των ποσοστών που εκτιμήσαμε προηγουμένως, δηλαδή 18% και 82%, βρήκαμε τα παρακάτω φορτία.

Φορτία DC: Άμεση κάλυψη από PV-γεννήτρια : $0.18 * 9770\text{Wh} = 1759 \text{Wh/day}$.

Έμμεση κάλυψη από συσσωρευτές : $0.82 * 9770\text{Wh} = 8011 \text{Wh/day}$.

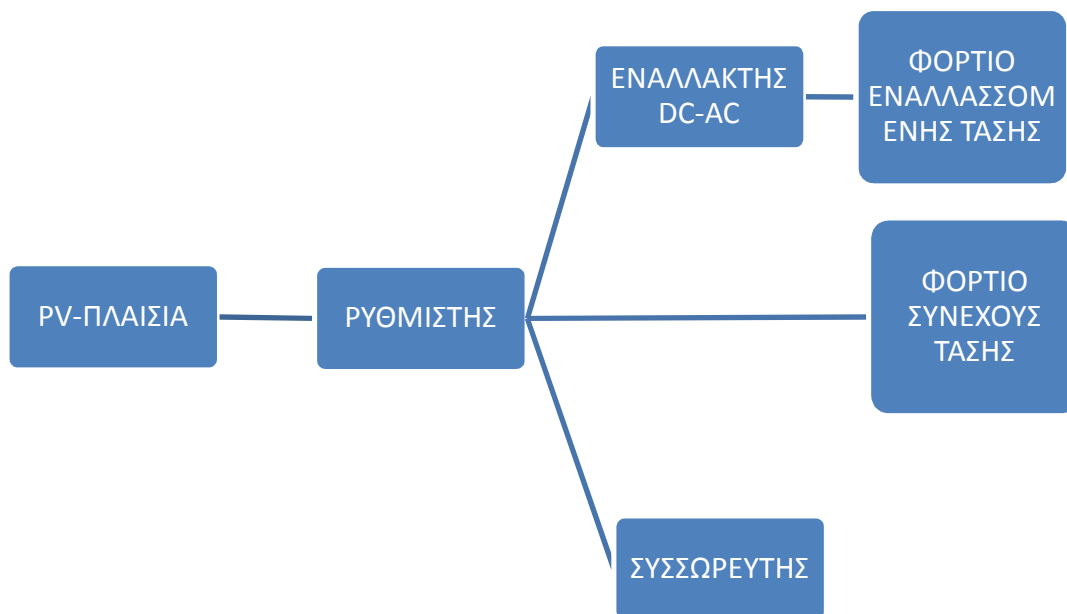
Φορτία AC: Άμεση κάλυψη των φορτίων από την PV-γεννήτρια μέσω του αντιστροφέα DC/AC : $0.18 * 44509\text{Wh} = 8012 \text{Wh/day}$.

Έμμεση κάλυψη μέσω συσσωρευτών και του αντιστροφέα DC/AC: $0.82 * 44509\text{Wh} = 36497\text{Wh/day}$.

Πίνακας 6.3 : Άμεση και Έμμεση κάλυψη φορτίων AC/DC

ΦΟΡΤΙΑ	Άμεση κάλυψη (Wh/day)	Έμμεση κάλυψη (Wh/day)
AC	8012	36497
DC	1759	8011

Η γενική τοπολογία της PV-εγκατάστασης, φαίνεται στο σχήμα 6.1, και όπως βλέπουμε περιλαμβάνει τα PV-πλαίσια, τον ρυθμιστή τάσης, τον εναλλάκτη DC-AC, τους συσσωρευτές και τα φορτία συνεχούς και εναλλασσόμενης τάσης.



Σχήμα 6.1 : Σχηματικό διάγραμμα ενός PV-συστήματος αποτελούμενο από ένα ρυθμιστή τάσης, συσσωρευτές, και έναν εναλλάκτη DC/AC ρεύματος.

6.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΚΛΙΣΗΣ PV-ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η βέλτιστη κλίση των PV-πλαισίων για την πόλη της Πάτρας για ακίνητα πλαίσια είναι 27° . Τα πλαίσια θα «βλέπουν» προς τον νότο.

Γενικά σε μια μελέτη όπως αυτή που κάνουμε στην παρούσα πτυχιακή πρέπει να εξετάζουμε εάν οι PV-συστοιχίες θα είναι ακίνητες και να υπολογίζουμε την κλίση τους β , ως προς το οριζόντιο επίπεδο, π.χ. αν θα είναι $\beta=\varphi-15$ ή $\beta=\varphi$ ή $\beta=\varphi+15$ ή αν θα έχουμε κάποια άλλη τιμή κλίσης β . Μάλιστα, θα πρέπει να υπολογίζουμε επακριβώς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στα PV-πλαίσια, καθώς και το PSH για την συγκεκριμένη κλίση (Πέρδιος Σ., 2011)

Οι τιμές αυτές θα μας βοηθήσουν καθώς θα δούμε στο τέλος του προβλήματος αυτού να εξοικονομήσουμε PV-πλαίσια και συνεπώς να βελτιώσουμε το όφελος έναντι του κόστους σε ένα τέτοιο έργο.

6.3 ΧΡΟΝΟΣ ΑΥΤΟΔΥΝΑΜΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

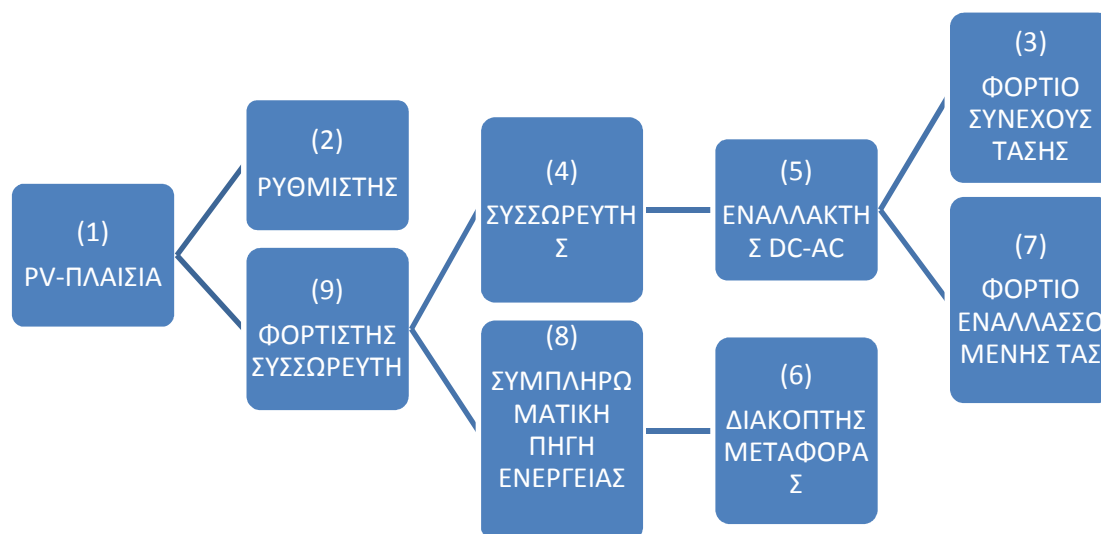
Με βάση τον πίνακα 3 του παραρτήματος Ι, παίρνουμε σαν δεδομένο ότι η μέση ετήσια τιμή του (PSH) θα ισούται με 2.85 h και ότι τα φορτία δεν είναι κρίσιμα, η περίοδος αυτοδυναμίας, d , προσδιορίζεται από τη σχέση 5.1:

$$dn-cr=-0.48*(PSH)+4.58 =-0.48*2.85+4.58=3days \quad (6.1)$$

Όπου PSH είναι ένας αριθμός που εκφράζεται σε ώρες και αντιστοιχεί σε χρονική διάρκεια πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας στο PV-πλαίσιο έντασης $I_T=10^3W/m^2$ η οποία θα μας έδινε το ίδιο αποτέλεσμα δηλ. θα έδινε ποσό ηλεκτρικής ενέργειας στο φορτίο R_L , ίσο με αυτό που δίνει το PV-πλαίσιο για την πραγματική χρονική κατανομή της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε αυτό (Καπλάνης Σ., 2004).

Η απόφαση αυτή περί μη-κρίσιμων φορτίων συνεπάγεται ότι υπάρχει πιθανότητα για κάποιες ώρες το PV-σύστημα να τεθεί εκτός λειτουργίας.

Οδηγούμαστε στη λύση μιας συμπληρωματικής πηγής ενέργειας για την περίπτωση όπου στο θερμοκήπιο θα χρειαστεί να έχουμε πάντοτε τους καταναλωτές σε λειτουργία και η νέα τοπολογία, είναι αυτή που παρουσιάζει το σχήμα που ακολουθεί 6.2.



Σχήμα 6.2 : Σχηματικό διάγραμμα ενός PV-συστήματος με ένα ρυθμιστή τάσης, συσσωρευτές, έναν εναλλάκτη συνεχούς/εναλλασσομένου, μια συμπληρωματική πηγή ενέργειας και ένα ελεγκτή φόρτισης των συσσωρευτών.

Παρακάτω θα δούμε πως ο χρόνος αυτοδυναμίας, d , επηρεάζει τις διαστάσεις-ισχύος W_P της PV-γεννήτριας.

6.3.1 Διόρθωση των τιμών των φορτίων εξαιτίας των απωλειών

Είναι γνωστό πως σε τέτοιου είδους εγκαταστάσεις θα υπάρχουν και οι αναμενόμενες απώλειες, οι οποίες θα οφείλονται είτε σε κατασκευαστικές ατέλειες που θα παρουσιάσουν τα πλαίσια είτε σε λάθη κατά τον σχεδιασμό της μελέτης.

Τα φορτία AC όπως προσδιορίστηκαν πρέπει να διορθωθούν λόγω των απωλειών, ώστε να χρησιμοποιηθούν οι διορθωμένες τιμές στην ενεργειακή μέθοδο διαστασιολόγησης της PV-γεννήτριας.

Συγκεκριμένα στα φορτία DC θα έχουμε απώλειες 5% στις καλωδιώσεις για τα φορτία που εξυπηρετούνται απευθείας από την PV-γεννήτρια. Για τα φορτία που εξυπηρετούνται μέσω των συσσωρευτών 5% απώλειες στον ελεγκτή φόρτισης και στις καλωδιώσεις και απώλειες 20% λόγω της απόδοσης των συσσωρευτών ήτοι απόδοση 80% (φόρτιση-εκφόρτιση, γήρανση, κ.λπ.), με βάση την ενεργειακή μέθοδο. Στα φορτία AC που εξυπηρετούνται απευθείας από την PV-γεννήτρια μέσω του αντιστροφέα DC/AC, υφίστανται απώλεια 5% στις καλωδιώσεις και 15% στον αντιστροφέα. Έτσι το σύνολο των απωλειών ανέρχεται στο 40% (Πέρδιος Σ., 2011).

Στον πίνακα γίνεται υπολογισμός των απωλειών των ενεργειακών φορτίων του συστήματος σύμφωνα με την τοπολογία του σχήματος 6.2. Στα PV-πλαίσια, στον ρυθμιστή φόρτισης και το φορτίο συνεχούς τάσης, οι απώλειες υπολογίζονται με συντελεστή 1.05. Για τους υπόλοιπους υπολογισμούς έχουμε συντελεστή απωλειών 1.25, 1.2 και 1.4 αντίστοιχα.

Πίνακας 6.4 : Απώλειες ενεργειακών φορτίων συστήματος

DC δρόμος 1.2.3	1759*1.05=1847Wh
DC δρόμος 1.2.4.3	8011*1.25=10014Wh
AC δρόμος 1.2.5.6.7	8012*1.20=9614Wh
AC δρόμος 1.2.4.5.6.7	36497*1.40=51096Wh
Σύνολο: 72571Wh=72.5kWh	
αντί της αρχικής προσέγγισης :	54279Wh=54.3kWh

Αφού υπολογίσαμε τις απώλειες του συστήματος βρήκαμε αυξημένο το φορτίο που χρειαζόμαστε, αφού είχαμε 54.3kWh αρχικά και 72.5kWh σαν τελικό φορτίο. Με βάση το διορθωμένο φορτίο κάνουμε έναν αρχικό προσδιορισμό της ισχύς της PV-γεννήτριας μέσα από την εξίσωση 6.2 :

$$P_m=72571\text{Wh}/(\text{PSH})_m=72571\text{Wh}/4,49\text{h}=16163\text{W}_p \quad (6.2)$$

Έτσι η μέση ετήσια ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας θα είναι περίπου 16.2kW_p.

6.4 ΕΠΙΛΟΓΗ PV-ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΠΟΥ ΘΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΘΟΥΝ

Τα PV-πλαίσια που μετά από έρευνα της αγοράς επελέγησαν βάσει του κόστους, των λειτουργικών χαρακτηριστικών τους, της άμεσης παράδοσης, της εγγύησης είναι πολυκρυσταλλικού τύπου της εταιρείας Solarwatt και ονομαστικής ισχύος 245W_p και τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον πίνακα 1 του παραρτήματος II. Στην εικόνα 6.1 απεικονίζεται το πολυκρυσταλλικό πλαίσιο των 245W_p.

Τα συγκεκριμένα πλαίσια που επελέγησαν συνδυάζουν κορυφαία ποιότητα κατασκευής, έχουν υψηλή ενεργειακή απόδοση και ελάχιστη ανοχή ισχύος με την απλή και οικονομική εγκατάσταση, παρέχοντας μια εξαιρετική σχέση κόστους – απόδοσης. Με την χρήση πολυκρυσταλλικών κυψελών υψηλού συντελεστή απόδοσης 16 έως 17% επιτυγχάνεται μεγάλη πυκνότητα ισχύος σε κάθε εγκατάσταση.

Τα πλαίσια που επελέγησαν έχουν σε συνθήκες STC, δηλαδή 10³W/m², θερμοκρασία 25⁰C και φάσμα AM1.5. Ωστόσο, θα πρέπει να γίνει διόρθωση στην ισχύ που αποδίδουν τα PV-πλαίσια, επειδή θα λειτουργούν υπό υψηλότερη θερμοκρασία από την ονομαστική θερμοκρασία του κάθε πλαισίου. Έτσι θα προχωρήσουμε στην διόρθωση της θερμοκρασίας T_c των πλαισίων. Τα πλαίσια έχουν ονομαστική τιμή θερμοκρασίας λειτουργίας (NOCT) ίση με 45 °C. Η NOCT, είναι η θερμοκρασία που αποκτά ένα PV-πλαίσιο όταν λειτουργεί υπό συνθήκες (SOC). Η SOC, αναφέρεται στις τυπικές συνθήκες λειτουργίας των πλαισίων. Οι παραπάνω συνθήκες έχουν προταθεί για τον ακριβή προσδιορισμό της ισχύος αιχμής, ώστε αυτές να προσεγγίζουν μια πραγματική κατάσταση λειτουργίας (Καπλάνης Σ., 2004).

Έτσι τώρα μπορούμε να προχωρήσουμε στον υπολογισμό της θερμοκρασίας λειτουργίας T_c, από την εξίσωση 6.3:

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{0.8 \frac{kW}{m^2}} \times I_T (kW / m^2) = \quad (6.3)$$
$$= T_a + \frac{45^0 C - 20^0 C}{0.8 \frac{kW}{m^2}} \times I_T = T_a + \frac{25^0 C}{0.8 \frac{kW}{m^2}} \times 1.0 \frac{kW}{m^2} = T_a + 31.25^0 C$$

Όπου:

T_a = μέση θερμοκρασία αέρα, °C

NOCT = 45 °C, ονομαστική τιμή θερμοκρασίας λειτουργίας

I_T = 1.0 kW/m², ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας,

Η θερμοκρασία T_a θα ληφθεί ως η μέση θερμοκρασία της ημέρας που για κάθε μέρα δίνεται από τον Πίνακα 3 Παράρτημα I.

Ας υποθέσουμε ότι για τον Αύγουστο η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος $\bar{T}_{a, Au} = 27^{\circ}C$ θα είναι:.

Τότε σύμφωνα με τα ανωτέρω η διόρθωση της θερμοκρασίας λειτουργίας T_c , θα ισούται:

$$T_c = 27\text{ }^\circ\text{C} + 31,25\text{ }^\circ\text{C} = 58\text{ }^\circ\text{C}$$

Για την θερμοκρασία αυτή υπολογίζουμε τα μεγέθη i_{sc} , V_{oc} , FF και τελικά την ισχύ P_m που αποδίδουν τα PV-πλαίσια υπό τις νέες συνθήκες.

Εξετάζουμε το PV-πλαίσιο των 245 W_p , το οποίο έχει 60 PV-κυψελίδες εν σειρά:



Εικόνα 6.1: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο Solarwatt, ονομαστικής ισχύος 245 W_p , (www.solarwatt.de)

α) Η $i_{sc} = 8,67\text{ A}$.

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης i_{sc} , θα υποθέσουμε ότι δεν επηρεάζεται από την θερμοκρασία. Ωστόσο η τάση διαστασιοποίησης V_{oc} επηρεάζεται και η νέα τιμή της υπολογίζεται από την εξίσωση 6.4 ως εξής:

$$V_{oc} = V_{oc}(\text{S.T.C.}) + (dV_{oc}/dT) * (T_c - 25\text{ }^\circ\text{C}) \quad (6.4)$$

Όπου:

STC = κανονικές συνθήκες μετρήσεων

$dV_{oc}/dT = 0,0023\text{ Volts}/^\circ\text{C}$

β) Έτσι έχουμε:

$$V_{oc} = 37,2\text{ Volts} - 60\text{ PV κυψέλες} * 0,0023 \frac{\text{Volts}}{^\circ\text{C}} * (58 - 25)^\circ\text{C} = 32,65\text{ Volts}$$

γ) Ο συντελεστής πλήρωσης Fill Factor (FF) υπολογίζεται από την σχέση 6.5:

$$FF = \frac{i_m \cdot V_m}{i_{sc} \cdot V_{oc}} = \frac{245W}{8,67A \cdot 37,2V} = 0,76 \quad (6.5)$$

Όπου:

$i_m = 8.25$ A, ονομαστικό ρεύμα πλαισίου

$V_m = 29.7$ V, ονομαστική τάση

$i_{sc} = 8,67$ A, ρεύμα βραχυκύκλωσης

$V_{oc} = 37.2$ V, τάση διαστασιοποίησης

Ο συντελεστής FF δίνει το εμβαδόν του ορθογώνιου που είναι εγγεγραμμένο στην χαρακτηριστική (i-v) του PV-στοιχείου, σε σχέση με το ορθογώνιο $i_{sc} \cdot V_{oc}$ που αντιπροσωπεύει μια μέγιστη ισχύ η οποία είναι αδύνατο να αποδοθεί στο φορτίο R_L καθώς δεν αποδίδεται ισχύς με ανοιχτό κύκλωμα, ούτε επίσης με βραχυκύκλωμα. Όπου R_L η αντίσταση του ηλεκτρικού φορτίου.

Υποθέτουμε ότι ο FF δεν επηρεάζεται ουσιαστικά από την T_a .

δ. . Η ισχύς αιχμής P_m για συνθήκες $I_T=10^3W/m^2$ και $T_c=60^\circ C$ υπολογίζεται βάσει των ανωτέρω τιμών i_{sc} , V_{oc} και FF:

$$P_m (10^3W/m^2, T_c=60^\circ C) = 8,67 * 32,65 * 0,76 = 215W$$

Όπου:

I_T = η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στα φωτοβολταϊκά πλαίσια

T_c = η θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πλαισίου

6.4.1 Υπολογισμός και οργάνωση των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Ο αριθμός των PV-πλασίων του τύπου που επελέγησαν, μετά και την διόρθωση της αποδιδόμενης από αυτά ισχύος λόγω υψηλότερης θερμοκρασίας από την NOCT (η διόρθωση αυτή πρέπει να γίνεται στην ενεργειακή μέθοδο) προσδιορίζεται ως εξής:

$$N_{pv} = \frac{P_m}{P_{m,pv}} = \frac{16136}{215} = 76 \text{ PV-πλαίσια}$$

Όπου:

$P_m = 16136$ W, μέση ετήσια ισχύς αιχμής της φωτοβολταϊκής γεννήτριας

$P_{m,pv} = 215$ W, ισχύς αιχμής φωτοβολταϊκών πλαισίων

Εάν δεν λαμβάναμε υπόψη την επίδραση της θερμοκρασίας το αποτέλεσμα θα ήταν

$\frac{16136}{245} = 66$ PV-πλαίσια. Τούτη η διαφορά στη διαστασιολόγηση θα μπορούσε να προκαλέσει αναξιόπιστο αποτέλεσμα.

Επειδή οι απώλειες λόγω μεταφοράς θα πρέπει να παραμείνουν μικρές, εξετάζεται η περίπτωση να μεταφέρεται η ισχύς της PV-γεννήτριας στον μετατροπέα DC/AC υπό τάση 1000Volts, δηλαδή την μέγιστη τάση του inverter που επιλέχθηκε παρακάτω.

I. Τότε ο αριθμός των PV-πλαισίων, εν σειρά N_{ps} , θα πρέπει να είναι:

$$(N_{ps})_{1000V} = \frac{V_{\max,inv}}{V_{oc,pv}} = \frac{1000V}{37,2V} = 26,8 \approx 27 \text{ πλαίσια σε σειρά}$$

Όπου:

$V_{\max,inv} = 1000$ V, η μέγιστη τάση του inverter

$V_{oc,pv} = 37,2$ V, η τάση διαστασιοποίησης των πλαισίων

II. Και ο ολικός αριθμός των παράλληλων σειρών $(N_p)_p$, θα είναι:

$$(N_p)_p = \frac{76}{27} = 2,8 \approx 3 \text{ πλαίσια παράλληλα}$$

Οπότε τελικά $N_{pv} = 27 * 3 = 81$ PV-πλαίσια.

Έτσι προσδιορίστηκε ο αριθμός $N_{pv}=81$ PV-πλαίσια.

Δηλαδή, 81PV-πλαίσια * 215W_p=17415W_p σε σύγκριση με τα 16163 W_p μέση ετήσια ισχύ αιχμής που υπολογίστηκε .

Η διαφορά είναι ικανή να καλύψει και μια πρόσθετη πτώση ισχύος λόγω αυξημένης θερμοκρασίας ή την επιπλέον απαιτούμενη ισχύ στα φορτία κατά τον χειμώνα σε ημέρα με σχετική συννεφιά, χωρίς την ανάγκη βαθειάς εκφόρτισης των συσσωρευτών (Φραγκιαδάκης I., 2007).

6.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Με γνώμονα τα χαρακτηριστικά που δίνουν οι κατασκευαστές, επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε συσσωρευτές Sunlight έχουν μεγάλο βάθος εκφόρτισης έως και 80% και επίσης μεγάλη διάρκεια ζωής πάνω από 10 έτη. Στον Πίνακα 2 του Παρατήματος II, βλέπουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών. Ενώ στην εικόνα 6.2 απεικονίζεται η επιλεγθείσα μπαταρία.

Δεδομένου ότι επιλέξαμε ως τάση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και των συσσωρευτών τα 48V θα πρέπει να συνδέσουμε 24 συσσωρευτές σε σειρά για κάθε κλάδο συσσωρευτών, αφού η ονομαστική τάση των συσσωρευτών Sunlight είναι 2V.

Συνεπώς, θεωρούμε ότι το βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών είναι $\beta=80\%$, ο συντελεστής απόδοσης 85% και η τάση τους $48V$.



Εικόνα 6.2: Συσσωρευτής Sunlight 2V 12 OPzS 1200, (www.systems-sunlight.com)

Επιπλέον, επειδή πρόκειται για σύστημα που θα λειτουργεί καθ' όλη την διάρκεια του έτους πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τις πιθανές διαδοχικές ημέρες συνεφιάς καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Μια αρκετά καλή προσέγγιση είναι να σχεδιάσουμε το σύστημα μας ώστε να παρέχει ενέργεια στο θερμοκήπιο για 3 διαδοχικές ημέρες συνεφιάς κατά τους χειμερινούς μήνες. Τότε η ικανότητα αποθήκευσης των συσσωρευτών $E(kWh)$ για 3 ημέρες συνεφιάς πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με:

$$E = 3 \text{days} \times \frac{44,4kWh}{\text{day}} = 133,2 \text{ kWh} \quad (6.6)$$

Η ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών πρέπει να είναι:

$$C_N = \frac{E}{\alpha \times \beta \times V} = \frac{133,2}{0,85 \times 0,8 \times 48} = 4081 \text{ Ah} \quad (6.7)$$

Όπου:

$\alpha = 0,85$, συντελεστής απόδοσης συσσωρευτών

$\beta = 0,8$, βάθος εκφόρτισης συσσωρευτών

$V = 48 \text{ V}$, τάση συσσωρευτών

Άρα θα χρειαστούμε $\frac{4081}{1200} = 3,4$ 3 παράλληλους κλάδους συσσωρευτών, καθένας

από τους οποίους θα αποτελείται από 24 εν σειρά συνδεδεμένους συσσωρευτές. Δηλαδή, συνολικά η συστοιχία των συσσωρευτών θα αποτελείται από 72 μπαταρίες, ονομαστικής χωρητικότητας:

$$3 \times 1200 = 3600 \text{ Ah}$$

που είναι ελαφρώς μικρότερη από τη ζητούμενη. Αυτό όμως δεν μας ενοχλεί διότι αφενός η απώλεια σε αμπερώρια (Ah) είναι πολύ μικρή και αφετέρου δεν θέλουμε να αυξήσουμε το κόστος της εγκατάστασης τοποθετώντας επιπλέον συσσωρευτές.

6.5.1 Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια απλή ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για την σωστή φόρτιση των συσσωρευτών του συστήματος. Ελέγχει τη διαδικασία φόρτισης και την διακόπτει όταν διαπιστωθεί ότι η μπαταρία έχει φορτισθεί πλήρως. Εάν η φόρτιση συνεχιστεί θα ελλοχεύει ο κίνδυνος καταστροφής των συσσωρευτών, Επειδή οι μπαταρίες έχουν την τάση να εκφορτίζονται σταδιακά, ακόμη και όταν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή (αυτοεκφόρτιση), ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει να ξαναρχίσει αυτόματα η διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν διαπιστωθεί ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο πλήρους φόρτισης. Στον Πίνακα 3 του Παραρτήματος II, μπορούμε να δούμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ρυθμιστή φόρτισης Xantrex C60, ενώ στην εικόνα 6.3 έχουμε τη μορφή του ρυθμιστή.



Εικόνα 6.3: Ρυθμιστής φόρτισης Xantrex C60

Στη παρούσα μελέτη, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα οργανωθούν σε 10 ομάδες οπότε απαιτούνται 10 ρυθμιστές φόρτισης για την σωστή λειτουργία της συστοιχίας των συσσωρευτών.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια που επιλέξαμε παράγουν ισχύ 245Wp και σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που δίνει ο κατασκευαστής το ρεύμα και η τάση τους είναι 8,25A και 29,7V, αντίστοιχα.

Ο τύπος των ρυθμιστών φόρτισης που θα τοποθετήσουμε στο σύστημα μας εξαρτάται κυρίως από την τάση και το ρεύμα που παράγει η κάθε ομάδα φωτοβολταϊκών πλαισίων. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα πλαίσια θα οργανωθούν σε 9 ομάδες των 8 πάνελ που θα παράγουν ρεύμα έντασης $8,25 \text{ A} \times 8 \text{ πάνελ} = 66\text{A}$ και τάση 29,7V και μια ομάδα των 9 πάνελ που θα παράγουν ρεύμα εντάσεως $8,25 \text{ A} \times 9 \text{ πάνελ} = 74,25 \text{ A}$ και τάση 29,7V η κάθε μία.

Συνεπώς, μια καλή επιλογή θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε ρυθμιστές φόρτισης Xantrex C60.

6.6 ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ DC/AC

Ο μετατροπέας DC/AC (Inverter) είναι η συσκευή που μετατρέπει το συνεχές (DC) ρεύμα του φωτοβολταϊκού συστήματος σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Έτσι, από τους συσσωρευτές του συστήματος μπορούμε να τροφοδοτήσουμε όλες τις συσκευές που απαιτούν που απαιτούν 220V. Δεν έχει σημασία πόσες συσκευές θα συνδέσουμε ταυτόχρονα, αρκεί η ισχύς όλων αυτών των συσκευών που λειτουργούν συγχρόνως να μην ξεπερνά τη μέγιστη επιτρεπόμενη ισχύ του μετατροπέα. Ένας μετατροπέας καλής ποιότητας κλείνει αν από λάθος συνδεθεί μια συσκευή μεγαλύτερης ισχύος από αυτήν που μπορεί να αντέξει, προστατεύοντας, καταυτόν τον τρόπο, τις ηλεκτρικές συσκευές. Το ίδιο γίνεται και σε περίπτωση που διαπιστωθεί ότι οι μπαταρίες του συστήματος τείνουν να αδειάσουν.

Για την συγκεκριμένη μελέτη επιλέξαμε τον μετατροπέα Sunny Tripower της SMA με ονομαστική ισχύ 17000W, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4 του Παραρτήματος II μαζί με όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά.

Ο τριφασικός μετατροπέας Sunny Tripower ενδείκνυται για τη διαστασιολόγηση με κάθε τύπο φωτοβολταϊκού πλαισίου, αφού έχει δυο εισόδους ανίχνευσης σημείου μέγιστης ισχύος MPP και μεγάλο εύρος τιμών τάσης εισόδου. Επιπλέον, εξασφαλίζουμε μέγιστη ευελιξία στο σχεδιασμό της εγκατάστασης, έως και εγκαταστάσεις κλίμακας Megawatt. Ο Sunny Tripower πληροί όλες τις απαιτήσεις για την παροχή έργου ισχύος, τη διαχείριση τροφοδοσίας και την υποστήριξη δικτύου συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο αξιόπιστα στη διαχείριση του δικτύου.



Εικόνα 6.4 : Μετατροπέας Sunny Tripower 17000TL, (www.sma-hellas.com)

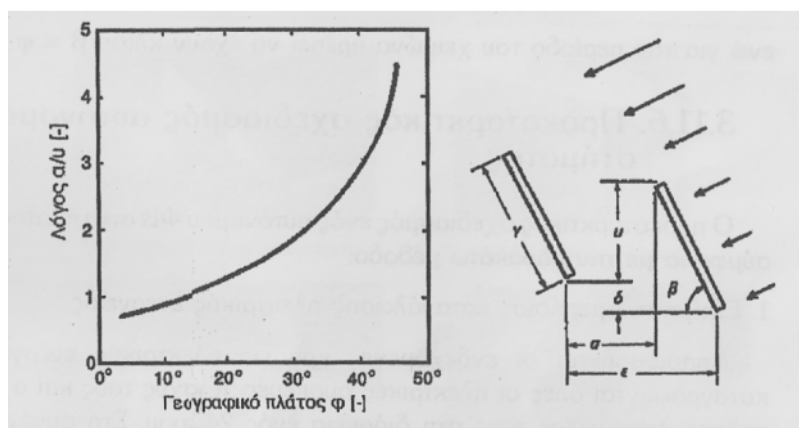
6.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων και των φωτοβολταϊκών πανέλων μόνων τους ή σε συστοιχίες γίνεται με τρόπο που να μη σκιάζονται από τα γύρω δέντρα, κτίρια βουνά κλπ. Κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο πρέπει να έχει ανοιχτό ορίζοντα. Σε μια τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος π , η προϋπόθεση του ανοιχτού ορίζοντα θεωρείται ότι εξασφαλίζεται όταν η γωνία του ύψους (β_ϵ) των γειτονικών συστοιχιών, δέντρων, κτιρίων ή άλλων εμποδίων, ικανοποιεί μέσα σε μια αζιμούθια γωνία από -60 μέχρι και $+60$ προς τον νότο, την σχέση:

$$\beta_\epsilon \leq 48^\circ - 38^\circ \Rightarrow \beta_\epsilon \leq 10^\circ$$

δηλαδή η γωνία του ύψους των διαφόρων εμποδίων δεν πρέπει να ξεκινά τις 10° .

Το διάγραμμα 6.1 που ακολουθεί, μας βοηθά στον προσδιορισμό της απόστασης ανάμεσα στις παράλληλες σειρές των ηλιακών συλλεκτών στις φωτοβολταϊκές συστοιχίες, ώστε η μια σειρά να μην σκιάζει αισθητά την επόμενη.



Διάγραμμα 6.1 : Διάγραμμα λόγου ελεύθερης απόστασης μεταξύ των γειτονικών σειρών των πλαισίων, προς την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης (Πέρδιος Σ., 2011)

Ειδικότερα, το διάγραμμα δίνει, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την ελάχιστη απαιτούμενη τιμή του λόγου της ελεύθερης απόστασης ανάμεσα στις δυο σειρές (u) προς την επικάλυψη του ύψους της κατασκευής στήριξης του συλλέκτη (v). Αν γ είναι το πλάτος του στηρίγματος (που συμπίπτει με το πλάτος του συλλέκτη, δηλαδή του φωτοβολταϊκού πλαισίου ή του πανέλου), β_σ είναι η κλίση του, και δ η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των δυο σειρών, τότε το u δίνεται, προφανώς από την σχέση:

$$u = \gamma * \sin \beta - \delta$$

Όπου:

γ = μήκος πλαισίων, m

β = γωνία κλίσης πλαισίων

δ = υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα δυο σειρών πλαισίων

Τα πλαίσια που επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε έχουν διαστάσεις $1680 \times 990 \times 50\text{mm}$ σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνει ο κατασκευαστής, και θα τοποθετηθούν υπό κλίση 27° . Η υψομετρική διαφορά ανάμεσα στα στηρίγματα των σειρών είναι μηδενική.

Το ύψος της κατασκευής στήριξης ν ή διαφορετικά το ύψος του άκρου των πάνελ από την επιφάνεια του εδάφους θα είναι:

$$\nu = \gamma * \sin \beta \Leftrightarrow \nu = 1,68\text{m} * \sin 27^\circ = 0,76 \text{ m}$$

Στην συνέχεια, με την βοήθεια του διαγράμματος 6.1, συναρτήσει του γεωγραφικού πλάτους φ , βρίσκουμε την αντίστοιχη τιμή του α :

$$\frac{\alpha}{\nu} = 2,5 \Rightarrow \alpha = 2,5 * 0,76 \text{ m} = 1,9 \text{ m}$$

Που εκφράζει την ελεύθερη απόσταση μεταξύ των σειρών των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Η ελάχιστη απόσταση ε μεταξύ των σειρών των φωτοβολταϊκών συστοιχιών δίνεται από:

$$\varepsilon = \alpha + \gamma * \cos \beta = 1,9\text{m} + 1,68\text{m} * \cos 27^\circ = 3,19 \text{ m}$$

Κάθε πάνελ έχει διαστάσεις $1,68\text{m} \times 0,99 \text{ m}$ οπότε το εμβαδόν του δίνεται από:

$$S_{\pi} = 1,68\text{m} \times 0,99\text{m} = 1,66 \text{ m}^2$$

Η συνολική επιφάνεια των πάνελ που θα είναι υπό κλίση είναι:

$$S_{\kappa} = \text{Αριθμός πάνελ} * S_{\pi} = 81 * 1,66 = 134,5 \text{ m}^2$$

Και η οριζόντια προβολή τους θα είναι:

$$S_o = S_{\kappa} \cdot \cos \beta_{\sigma} = 134,5 \cdot \cos 27^\circ = 119,8 \text{ m}^2$$

Το εμβαδόν της οριζόντιας έκτασης γης που είναι απαραίτητη για να αναπτυχθεί η φωτοβολταϊκή γεννήτρια θα ισούται με:

$$S_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\gamma \cdot \cos \beta_{\sigma}} \cdot S_o = \frac{3,19}{1,68 \cdot \cos 27^\circ} \cdot 119,8 \text{ m}^2 = 255,3 \text{ m}^2$$

Το εμβαδόν S_{ε} προσαυξάνεται κατά 10% ώστε να υπάρχει περιμετρική ελεύθερη ζώνη για την επιθεώρηση και συντήρηση της εγκατάστασης.

$$\text{Άρα } S_{\varepsilon} = 280,83 \text{ m}^2$$

6.8 ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΟΗΘΗΤΙΚΗΣ ΠΗΓΗΣ

Συνήθως, το σύστημα συμπληρώνεται με μια βοηθητική πηγή ηλεκτροπαραγωγής για την αντιμετώπιση ανώμαλων καταστάσεων, όπως μια σοβαρή βλάβη του συστήματος, ένα υπερβολικά παρατεταμένο διάστημα συνεχούς συννεφιάς κ.λπ. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται γεννήτριες diesel.

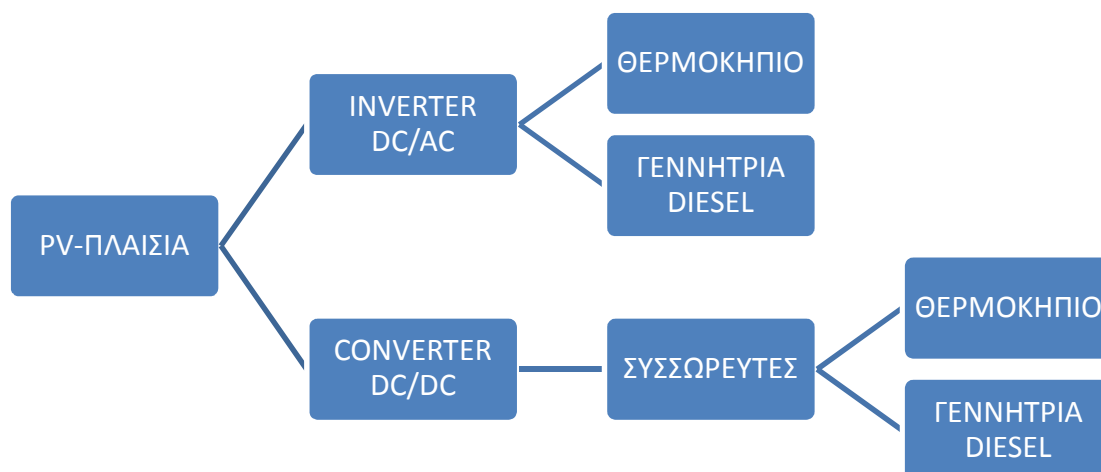
Το μέγεθος της γεννήτριας εξαρτάται από τις ανάγκες που θέλουμε να ικανοποιήσουμε σε περίπτωση που η παροχή ρεύματος από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια διακοπεί. Ένα τέτοιο ενδεχόμενο θα περιορίσει ελάχιστα τα ηλεκτρικά φορτία αφού η γεννήτρια μπορεί να παρέχει μικρότερη ισχύ από αυτήν που το θερμοκήπιο καταναλώνει σε καθημερινή βάση. Ενδεικτικά μπορούμε να προτείνουμε μια γεννήτρια της τάξεως των 9,7 KW όπως είναι η γεννήτρια πετρελαίου KRAFT KDG 8500 ESA-T κλειστού τύπου τριφασική με μίζα. Μια τέτοια γεννήτρια αρκεί για να καλύψουμε κάποιες ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα. Στον Πίνακα 5 του Παραρτήματος II, αναφέρονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της γεννήτριας KRAFT.



Εικόνα 6.5 : Γεννήτρια πετρελαίου KRAFT KDG 8500 ESA-T

6.8.1 Τελική μορφή εγκατάστασης

Αρα όπως θα δούμε στο σχήμα 6.3 που ακολουθεί, η τελική μορφή της εγκατάστασης στο θερμοκήπιο που μελετήσαμε, περιλαμβάνει τα PV-πλαίσια, τα οποία κατά την διάρκεια της ημέρας η ενέργεια των πλαισίων θα πηγαίνει προς το inverter και από εκεί στο θερμοκήπιο και στην γεννήτρια πετρελαίου, σε περιπτώσεις βλάβης ή συννεφιάς. Η ενέργεια που θα χρειαστούμε για τις βραδινές ώρες θα μετατρέπεται από τον converter dc/dc και από εκεί θα αποθηκεύεται στους συσσωρευτές και να φτάνει στο θερμοκήπιο.



Σχήμα 6.3 : Τελική μορφή εγκατάστασης

6.9 ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η εγκατάσταση μας αποτελείται από τα εξαρτήματα που βλέπουμε στον Πίνακα 6.5, τα οποία αναλύσαμε στις προηγούμενες παραγράφους. Εκτός λοιπόν από τα βασικά εξαρτήματα, όπως τα PV-πλαίσια, το inverter, τον ρυθμιστή φόρτισης, τις μπαταρίες και την γεννήτρια πετρελαίου, θα χρειαστούν και βάσεις στήριξης των πάνελ, καλώδια, ηλεκτρολογική πίνακες και άλλα μικροεξαρτήματα.

Θα χρειαστεί να γίνουν, όμως και κάποιες χωματουργικές εργασίες μαζί με την διάστρωση του εδάφους στον χώρο που θα τοποθετηθούν οι βάσεις στήριξης, για να επιτύχουμε την βέλτιστη κλίση των πάνελ. Το συνολικό κόστος της όλης εγκατάστασης θα είναι 38450€, και μπορεί η αποπληρωμή να γίνει, είτε με αυτοχρηματοδότηση, είτε με χρηματοδότηση από την εταιρία που θα αναλάβει το έργο, είτε με κάποιο τραπεζικό δάνειο.

Το κόστος σε ρεύμα του συγκεκριμένου θερμοκηπίου σε ετήσια βάση και με την πάγια χρέωση το μήνα να κυμαίνεται στα 0,53€ το αγροτικό τιμολόγιο. Αφού οι ημερήσιες καταναλώσεις πριν την μελέτη και όπως υπολογίσαμε στο Κεφάλαιο 3 στην παράγραφο 3.3.1, φτάνουν 61,533 kWh, απαιτούνται σε ετήσια βάση 11736 € σε ρεύμα. Άρα εξοικονομώντας αυτό το σημαντικό ποσό σε ετήσια βάση, η απόσβεση της συγκεκριμένης επένδυσης μπορεί να πραγματοποιηθεί σε περίπου μια πενταετία.

Πίνακας 6.5 : Συνολικό κόστος εγκατάστασης

α/α	Εξάρτημα	Ποσότητα	Τιμή
1	PV-πλαίσια Solarwatt 245Wp	81	230€×81=18630€
2	Inverter Sunny Tripower 17000TL	1	3500€×1=3500€
3	Converter Xantrex C60	10	180€×10=1800€
4	Μπαταρίες Sunlight 2V 1200Ah	72	160€×72=11520€
5	Γεννήτρια Diesel Kraft 13 Hp	1	1500€×1=1500€
6	Βάσεις στήριξης, καλώδια, λοιπές εργασίες, πίνακες		3000€
	ΣΥΝΟΛΟ		38450€

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Το υπάρχον σύστημα θέρμανσης αποτελείται από έναν συμβατικό αερολέβητα πετρελαίου θέρμανσης Radialand AE 300, θερμικής ισχύς 300.000 kcal/h. Όπως μελετήθηκε στο πέμπτο Κεφάλαιο κρίθηκε ασύμφορη η λειτουργία του συγκεκριμένου λέβητα λόγω της απαγορευτικής τιμής του πετρελαίου. Ο υπολογισμός σε ανάγκες πετρελαίου έγινε στο Κεφάλαιο 3. Το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος του λέβητα πετρελαίου υπολογίστηκε βάσει των ηλεκτρικών καταναλώσεων του, που είναι 50,355 kWh/day συναρτήσει της τιμής της kWh που είναι 0,53 €.

Πίνακας 7.1 : Κόστος λειτουργίας πριν

Ανάγκες σε πετρέλαιο θέρμανσης (για εξάμηνη λειτουργία)	22113 €
Ανάγκες σε Ηλεκτρικό Ρεύμα (για εξάμηνη λειτουργία)	4803,8 €
ΣΥΝΟΛΟ	26916,8 €

Ο λέβητας βιομάζας που προτείνεται είναι ίδιας θερμικής ισχύς με τον συμβατικό λέβητα (Εταιρίας Aerodynamic) με κόστος αγοράς του 2500 €. Το κόστος σε ελαιοπυρήνα του προτεινόμενου λέβητα είναι 3353,4 €, ενώ η ηλεκτρική κατανάλωση είναι 43,641 kWh/day.

Πίνακας 7.2 : Κόστος λειτουργίας μετά

Ανάγκες σε ελαιοπυρήνα (για εξάμηνη λειτουργία)	3353,4 €
Ανάγκες σε Ηλεκτρικό Ρεύμα (για εξάμηνη λειτουργία)	4163,35 €
ΣΥΝΟΛΟ	7516,75 €

Αρα συμπεραίνουμε πως με το προτεινόμενο σύστημα εξοικονομούμε περίπου 20000 €ετησίως.

Οι ετήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις του θερμοκηπίου οι οποίες θα καλυφθούν από το Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα υπολογίστηκαν στο Κεφάλαιο 6 φαίνονται στον Πίνακα 6.2. Η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση που προτείνουμε κοστίζει 38450€, όπως υπολογίστηκε στον Πίνακα 6.5. Το κόστος σε ετήσιο ρεύμα που απαιτείται για τη λειτουργία του θερμοκηπίου ανέρχεται στα 10356,43 €, με

βάσει τις προτάσεις μας για αλλαγή τόσο του συστήματος θέρμανσης όσο και του συστήματος φωτισμού του θερμοκηπίου. Όλο το ποσό του ηλεκτρικού ρεύματος θα καλυφθεί από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, έτσι θα μηδενιστεί το κόστος σε ηλεκτρικό ρεύμα προς τη Δ.Ε.Η.. Άρα σε περίπου 5 χρόνια θα έχει πραγματοποιηθεί η απόσβεση της επένδυσης.

Με βάση τις παραπάνω διατυπώσεις μας η συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι ιδανική για την κάλυψη των αναγκών του θερμοκηπίου. Φυσικά αν είχαμε την δυνατότητα να πουλάμε και ρεύμα τους μήνες που είτε δεν βρίσκεται σε λειτουργία το θερμοκήπιο, είτε είχαμε περίσσειμα ενέργειας, κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες θα βελτιωνόταν ακόμα περισσότερο η οικονομική αποδοτικότητα της εγκατάστασης μας.

Τέλος θα μπορούσε να τοποθετηθεί μια δεξαμενή αποθήκευσης νερού για την διαδικασία του ποτίσματος έτσι ώστε να μειωθεί σημαντικά το κόστος και στο πότισμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

- [1] Καπλάνης Σωκράτης Ν., Περιβάλλον και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Εκδόσεις Ίων, 2003
- [2] Καπλάνης Σωκράτης Ν., Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων, Εκδόσεις Ίων, 2004
- [3] Τσούτσος Θ. - Κανάκης Ι., Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Εκδόσεις Ίων ,2012
- [4] Μπιτζιώνης Βασίλειος Δ., Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας, Εκδόσεις Τζιόλα, 2010
- [5] Κάπος Μιλτιάδης Μ., Φωτοβολταϊκά-Αιολικά-Υδροηλεκτρικά, Εκδόσεις Κάπος Μιλτ. Μ., 2009
- [6] Φραγκιαδάκης Ι., Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Εκδόσεις Ζήτη, 2007
- [7] Καγκαράκη Κ., Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, 1992
- [8] Κρητικός Αθανάσιος, Ανεμογεννήτριες και Φωτοβολταϊκά, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 2010
- [9] Κανελλόπουλος Δημήτρης Β., Αιολική Ενέργεια, Εκδόσεις Ίων 2008
- [10] Γελεγένης Ι. Ι., Πηγές Ενέργειας, Σύγχρονη Εκδοτική, 2005
- [11] Πέρδιος Σταμάτης Δ., Ηλιοθερμικές Εγκαταστάσεις, Σέλκα – 4Μ, 2009
- [12] Πέρδιος Σταμάτης Δ., Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, Σέλκα – 4Μ, 2011
- [13] Μαυρογιαννόπουλος Γεώργιος Ν., Θερμοκήπια, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., 2005
- [14] Βουρδούμπας, Θέρμανση Θερμοκηπίων, Εκδόσεις Τεκδοτική, 2000
- [15] Μαυρογιαννόπουλος Γεωργίου Ν., Θερμοκήπια, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε. 3^η Έκδοση, 2001
- [16] Ζαρμπούτης Γιάννης – Γκακνή Ασπασίας, Καλλιέργειες σε Θερμοκήπιο, Εκδόσεις Ίων, 1992
- [17] Μαυρογιαννόπουλος Γεώργιος Ν., Θερμοκήπια, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε. 2^η Έκδοση, 1994
- [18] Ζαχαρίας Θ., Ήπιες Μορφές Ενέργειας Ι, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2006

- [19] Ζαχαρίας Θ., Ήπιες Μορφές Ενέργειας ΙΙ, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2007
- [20] Γιαννούλης Π., Νέες Πηγές Ενέργειας, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2001
- [21] Γραφιαδέλλης Μ., Σύγχρονα Θερμοκήπια, Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη 1987
- [22] Καπλάνης Σ., Συναρμολόγηση, Κατασκευή και Έλεγχος Λειτουργίας Ηλιακών Συλλεκτών, ΤΕΙ Πατρών, 1985
- [23] Κοπιδάκης Μ., Ήπιες-Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πρακτικές Εφαρμογές της Ηλιακής Ενέργειας στην Αγροτική Οικονομία-Θερμοκήπια, ΤΕΙ Ηρακλείου, 1990
- [24] Ολύμπιος Χ., Τεχνική της Καλλιέργειας των Κηπευτικών στο Θερμοκήπιο, Αθηνά 1994
- [25] Χαρώνη Π., Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Ι - Παθητικά Θερμοκήπια, Εκδόσεις Ίων, 1976
- [26] Περράκη Βασιλική, Νέες Τεχνολογίες Φωτοβολταϊκών Στοιχείων, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2007
- [27] Περράκη Βασιλική, Φυσική των Φωτοβολταϊκών Στοιχείων, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2006
- [28] Μπιτζιώνης Βασίλης, Σύγχρονες Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις, Εκδόσεις Τζιόλα, 2000
- [29] Φραγκιαδάκης Ι.Ε., Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Εκδόσεις Ζήτη, 2006
- [30] ΚΑΠΕ, Οδηγίες για την εγκατάσταση ΦΒ συστημάτων σε αγροτικές εγκαταστάσεις, 2009

Ξένη Βιβλιογραφία

- [1] Becket Kenneth A., Θερμοκήπια, Εκδόσεις Ψύχαλος, 1998
- [2] Boodley W. James, Θερμοκηπιακές Εγκαταστάσεις, Εκδόσεις Ίων, 1999
- [3] Jolliet O. - Danloy L. - Gay J. B.- Munday G. L.- Reist A., Εκδόσεις Horticorn, 1991
- [4] Improved Static Model for Predicting the Energy consumption of a greenhouse, Agric. And Forest Meteorology 55(3-4) : 265-294
- [5] Gengel A. Yunus, Heat transfer a practical approach, Mc Graw-Hill Companies Inc, 2005

- [6] Garznoli K. V. and Blackwell, An analysis of the nocturnal heat loss from a single skin plastic greenhouse, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1981
- [7] Kittas C., Greenhouse cover conductances, *Boundary-Layer Meteorology*, 1986
- [8] Kittas C., Determination of the overall heat transfer coefficient of a greenhouse cover, *Agric Forest Meteorology*, 1994
- [9] Kittas C. - Katsoulas N. - Baille A. - Fernandez JA - Martinez PF - Castilla N., Transpiration and energy balance of a greenhouse rose crop in Mediterranean summer conditions, *Acta Hort*, 2001
- [10] Kittas C. - Katsoulas - A. Baille, Influence of an aluminized thermal screen on greenhouse microclimate and canopy energy balance, *Trans. ASAE*, 2003
- [11] Kyritsis, S., Mavrogianopoulos, G., 1987. Passive system for heating greenhouses. In: von Zabeltitz, C. (Ed.), *Energy Conservation and Renewable Energies for Greenhouse Heating*. REU Technical Series 3. FAO, ENEA, Roma, pp. 111–117.
- [12] Mavrogianopoulos, G. and Kyritsis S., 1986. The performance of a greenhouse heated by an earth-air heat exchanger. *Agriculture and Forest Meteorology*, 36:263-268.
- [13] Mavrogianopoulos, G. and Kyritsis S., 1993. Analysis and performance of a greenhouse with water filled passive solar sleeves. *Agriculture and Forest Meteorology*, 65:47-61.
- [14] Papadakis G, Briassoulis D, Scarascia Mygnozza G, Vox G, Feuilleley P, Stoffers JA. Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials. 2000. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 77(1):7-38.
- [15] Papadakis, G., A. Frangoudakis, and S. Kyritsis. 1992. Mixed, forced and free convection heat transfer at the greenhouse cover. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 51:91-97.
- [16] Swinbank, W.C. 1963. Longwave radiation from clear skies. *Quart J Roy. Meteorol. Soc.*,89: 339-348.
- [17] Santamouris M.I., 1993. Active Solar Agricultural Greenhouse. The State of Art. *International Journal Solar Energy*, 14: 19-32
- [18] Santamouris, M., Balaras, C.A., Dascalaki, E., Vallindras, M., 1994b. Passive solar agricultural greenhouses: a worldwide classification and evaluation of technologies and systems used for heating purposes. *Solar Energy*, 53 (5): 411–426.
- [19] Santamouris, M., Mihalakakou, G., Balaras, C.A., Lewis, J.O., Vallindras, M., Argiriou, A., 1996. Energy conservation in greenhouses with buried pipes. *Energy*, 21 (5): 353–360.

- [20] Teitel M., and Tanny J. 1998. Radiative heat transfer from heating tubes in a greenhouse. *Journal of Agriculture Engineering Research*, 69:185-188
- [21] Teitel, M., A. Shklyar, Y. Elad, V. Dikhtyar, and E. Jerby. 2000. Development of a microwave system for greenhouse heating. *Acta Horticulturae*, 534: 189-195.
- [22] Boulard T. and Baille A. 1995. Modelling of air exchange rate in a greenhouse equipped with continuous roof vents, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 61:37–48.
- [23] Boulard T. and Wang S. 2000. Greenhouse crop transpiration simulation from external climate conditions, *Agricultural and Forest Meteorology*, 100:25–34.
- [24] Boulard T., Haxaire R., Lamrani M.A., Roy J.C. and Jaffrin A. 1999. Characterizing and modeling of the air fluxes induced by naturally ventilation in a greenhouse, *Journal of Agricultural Engineering Research*, 174: pp. 135–144.
- [25] Boulard T., Papadakis G., Kittas C. and Mermier M. 1997. Air flow and associated sensible heat exchanges in a naturally ventilated greenhouse, *Agricultural and Forest Meteorology* 88: 111–119.
- [26] Boulard, T., Razafinjohany, E., Baille, A., Jaffrin, A., Fabre, B., 1990. Performance of a greenhouse heating system with a phase change material. *Agricultural and Forest Meteorology*, 52: 303–318.

Ηλεκτρονική Βιβλιογραφία

- [1] <http://www.aboutgarden.com>
- [2] <http://www.agroengineering.org>
- [3] <http://www.giardino.it/serre.htm>
- [4] <http://www.usasolarwind.com>
- [5] <http://www.cres.gr/kape/>
- [6] http://www.hnms.gr/hnms/greek/index_html
- [7] <http://www.minagric.gr/>
- [8] <http://www.aircoline.gr/root.el.aspx>
- [9] <http://www.aerodynamiki.gr/index.php?language=gr>
- [10] <http://www.toolhouse.gr/>
- [11] <http://www.solarwatt.de/en/home/>
- [12] <http://www.sma-hellas.com/el.html>
- [13] <http://www.systems-sunlight.com/>
- [14] <http://www.solarfree.gr/>
- [15] <http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE>
- [16] <http://www.selasenergy.gr/index.php>

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 : Μαρμαρυγία (ορυκτός λίθος). Υλικό από το οποίο κατασκευάστηκαν τα πρώτα θερμοκήπια, (www.aboutgarden.com) (σελ. 2)

Εικόνα 1.2 : Βικτωριανό θερμοκήπιο κατασκευασμένο το 1842. Έχει μήκος 110 μέτρα, πλάτος 30 μέτρα, και ύψος μεγαλύτερο των 20 μέτρων (www.aboutgarden.com), (σελ. 3)

Εικόνα 1.3 : Θερμοκήπιο κατασκευασμένο το 1890 στο Λευκό Πύργο των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής, (σελ. 3)

Εικόνα 1.4 : Θερμοκήπιο κατασκευασμένο από ξύλο (www.aboutgarden.com), (σελ. 10)

Εικόνα 1.5 : Θερμοκήπιο κατασκευασμένο από μέταλλο (www.giardino.it/), (σελ. 11)

Εικόνα 1.6 : Θερμοκήπιο κατασκευασμένο από αλουμίνιο (www.giardino.it), (σελ. 12)

Εικόνα 1.7 : Υαλόφρακτο θερμοκήπιο (www.giardino.it), (σελ. 13)

Εικόνα 1.8 : Θερμοκήπιο από Fiber glass (www.giardino.it), (σελ. 14)

Εικόνα 1.9 : Θερμοκήπιο με ανοίγματα οροφής και πλαϊνά (www.agroengineering.org), (σελ. 16)

Εικόνα 2.1 : Φωτοβολταϊκό στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si), (www.selasenergy.gr), (σελ. 26)

Εικόνα 2.2 : Φωτοβολταϊκό στοιχείο πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si), (www.selasenergy.gr), (σελ. 26)

Εικόνα 2.3 : Φωτοβολταϊκό στοιχείο ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon), (www.selasenergy.gr), (σελ. 26)

Εικόνα 2.4 : Λεπτά Φιλμ άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si), (www.selasenergy.gr), (σελ. 27)

Εικόνα 2.5 : Φωτοβολταϊκή συστοιχία (Κάπος Μ.,2009), (σελ. 28)

Εικόνα 2.6 : Μορφή βιομάζας pellets, (σελ. 35)

Εικόνα 2.7 : Εγκαταστάσεις συλλογής βιομάζας για παραγωγή ηλεκτρικής Ενέργειας (www.usasolarwind.com/), (σελ. 37)

Εικόνα 2.8 : Αποθέσεις αλάτων από την επιφανειακή απορροή της θερμής πηγής (Θέρμες Ξάνθης, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Κ.Α.Π.Ε.), (σελ. 40)

Εικόνα 2.9 : Υδροηλεκτρικό φράγμα στη λίμνη Πλαστήρα (Κάπος Μ.,2009), (σελ. 41)

Εικόνα 2.10 : Ο ανεμόμυλος του Κίντερνταϊκ της Ολλανδίας, είναι μια από της παλιότερες μεθόδους εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), (σελ. 42)

Εικόνα 2.11 : Αιολικό πάρκο Παναχαϊκού (Κ.Α.Π.Ε.), (σελ. 43)

Εικόνα 2.12 : Δίπτερη ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα (Κ.Α.Π.Ε.), (σελ. 44)

Εικόνα 2.13 : Τρίπτερη ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα (Κ.Α.Π.Ε.), (σελ. 44)

Εικόνα 2.14 : Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα (Κ.Α.Π.Ε.), (σελ. 45)

Εικόνα 2.15 : Αιολικό πάρκο Παναχαϊκού σε πανοραμική λήψη (Κ.Α.Π.Ε.), (σελ. 46)

Εικόνα 3.1 : Πρόσοψη θερμοκηπίου, (σελ. 48)

Εικόνα 3.2 : Πλάγια όψη θερμοκηπίου, (σελ. 49)

Εικόνα 3.3 : Καλλιέργεια τομάτας σε θερμοκήπιο, (σελ. 49)

Εικόνα 3.4 : Καλλιέργεια αγγουριού σε θερμοκήπιο, (σελ. 50)

Εικόνα 3.5 : Καλλιέργεια φασολιού σε θερμοκήπιο, (σελ. 50)

Εικόνα 3.6 : Αερολέβητας πετρελαίου Radialand AE 300, (σελ. 51)

Εικόνα 3.7 : Καμινάδα αερολέβητα, (σελ. 53)

Εικόνα 3.8 : Ανεμιστήρας θερμοκηπίου RPM s.p.a., (σελ. 53)

Εικόνα 3.9 : Λαμπτήρας θερμοκηπίου, (σελ. 54)

Εικόνα 3.10 : Υποβρύχια αντλία γεωτρήσεων OFT PUMPS GAMMA 19, (σελ. 55)

Εικόνα 3.11 : Φίλτρο καθαρισμού του νερού πριν το πότισμα, (σελ. 56)

Εικόνα 3.12 : Διαδικασία ποτίσματος με σταγονίδια, (σελ. 56)

Εικόνα 3.13 : Μηχανισμός κίνησης παραθύρων, (σελ. 57)

Εικόνα 3.14 : Παράθυρα οροφής θερμοκηπίου, (σελ. 57)

Εικόνα 5.1 : Σύστημα θέρμανσης θερμοκηπίου θερμού νερού με σωληνώσεις (Μαυρογιαννόπουλος 2001), (σελ. 78)

Εικόνα 5.2 : Τεχνητός φωτισμός θερμοκηπίου με λαμπτήρες (Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2005), (σελ. 82)

Εικόνα 5.3 : Ανοίγματα θερμοκηπίου μελέτης με παράθυρα οροφής, (σελ. 85)

Εικόνα 5.4 : Δυναμικός εξαερισμός θερμοκηπίου με χρήση ανεμιστήρων (Μαυρογιαννόπουλος Γ., 2005), (σελ. 86)

Εικόνα 5.5 : Πλαϊνά παράθυρα θερμοκηπίου μελέτης, (σελ. 87)

Εικόνα 5.6 : Αερολέβητας πυρηνόξυλου για θερμοκήπια, (σελ. 89)

Εικόνα 5.7 : Λάμπα led 9 Watt E 27 PAR3 , (σελ. 92)

Εικόνα 6.1: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο Solarwatt, ονομαστικής ισχύος 245Wp, (www.solarwatt.de), (σελ. 100)

Εικόνα 6.2: Συσσωρευτής Sunlight 2V 12 OPzS 1200 (www.systems-sunlight.com), (σελ. 103)

Εικόνα 6.3: Ρυθμιστής φόρτισης Xantrex C60, (σελ. 104)

Εικόνα 6.4 : Μετατροπέας Sunny Tripower 17000TL (www.sma-hellas.com), (σελ. 105)

Εικόνα 6.5 : Γεννήτρια πετρελαίου KRAFT KDG 8500 ESA-T, (σελ. 108)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Σχήμα 1.1 : Τοξωτό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992), (σελ. 7)
- Σχήμα 1.2 : Τοξωτό απλό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992), (σελ. 7)
- Σχήμα 1.3 : Τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992), (σελ. 8)
- Σχήμα 1.4 : Τροποποιημένο τοξωτό απλό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992), (σελ. 8)
- Σχήμα 1.5 : Τροποποιημένο τοξωτό πολλαπλό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992), (σελ. 8)
- Σχήμα 1.6 : Αμφικλινές θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992), (σελ. 9)
- Σχήμα 1.7 : Αμφικλινές απλό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992), (σελ. 9)
- Σχήμα 1.8 : Αμφικλινές πολλαπλό θερμοκήπιο (Πηγή: ΥΑΑ&Τ,1992), (σελ. 10)
- Σχήμα 1.9 : Ποσοστιαία σχηματική παράσταση των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων στην Ευρωπαϊκή Ένωση (Πηγή: Eurostat 2008), (σελ. 17)
- Σχήμα 1.10 : Ποσοστιαία σχηματική παράσταση των θερμοκηπιακών εγκαταστάσεων στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας (www.statistics.gr), (σελ. 18)
- Σχήμα 1.11 : Ποσοστιαία σχηματική παράσταση της έκτασης των Ελληνικών θερμοκηπίων ανάλογα με τη δυνατότητα θέρμανσης (www.statistics.gr), (σελ. 19)
- Σχήμα 2.1 : Εφαρμογές ηλιακών συστημάτων (Τσούτσος Θ. , Κανάκης Ι., 2012), (σελ. 24)
- Σχήμα 2.2 : Υλικά κατασκευής φωτοβολταϊκών κυττάρων σε παγκόσμια Κλίμακα (Κ.Α.Π.Ε.), (σελ. 25)
- Σχήμα 2.3 : Τα κυριότερα μέρη ενός Φ/Β συστήματος (Κρητικός Α.,2010), (σελ. 30)
- Σχήμα 2.4 : Φωτοβολταϊκή κυψέλη (Κρητικός Α.,2010), (σελ. 31)
- Σχήμα 2.5 : Κατάσταση Ελληνικής αγοράς φωτοβολταϊκών (www.statistics.gr), (σελ. 33)
- Σχήμα 4.1 : Τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο με $z = 5$ κόλπους κατά πλάτος, (σελ. 69)
- Σχήμα 4.2 : Τροποποιημένο τοξωτό θερμοκήπιο με ένα κόλπο, (σελ. 70)

Σχήμα 6.1 : Σχηματικό διάγραμμα ενός PV-συστήματος αποτελούμενο από ένα ρυθμιστή τάσης, συσσωρευτές, και έναν εναλλάκτη DC/AC ρεύματος, (σελ. 96)

Σχήμα 6.2 : Σχηματικό διάγραμμα ενός PV-συστήματος με ένα ρυθμιστή τάσης, συσσωρευτές, έναν εναλλάκτη συνεχούς/εναλλασσομένου, μια συμπληρωματική πηγή ενέργειας και ένα ελεγκτή φόρτισης των συσσωρευτών, (σελ. 97)

Σχήμα 6.3 : Τελική μορφή εγκατάστασης, (σελ. 109)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 : Κατηγορίες θερμοκηπίων σύμφωνα με τις Ευρωπαϊκές προδιαγραφές (www.agroengineering.org), (σελ. 6)

Πίνακας 3.1 : Χαρακτηριστικά στοιχεία θερμοκηπίου, (σελ. 48)

Πίνακας 3.2 : Βασικός εξοπλισμός θερμοκηπίου, (σελ. 51)

Πίνακας 3.3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά αερολέβητα Radialand AE 300, (σελ. 52)

Πίνακας 3.4 : Τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμιστήρα RPM s.p.a., (σελ. 53)

Πίνακας 3.5 : Τεχνικά χαρακτηριστικά λαμπτήρα E14, (σελ. 54)

Πίνακας 3.6 : Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας OFT PUMPS GAMMA 19, (σελ. 55)

Πίνακας 3.7 : Διαστάσεις παραθύρων θερμοκηπίου, (σελ. 57)

Πίνακας 3.8 : Ηλεκτρικές Καταναλώσεις, (σελ. 58)

Πίνακας 3.9 : Κόστος ηλεκτρικού ρεύματος, (σελ. 59)

Πίνακας 4.1 : Τυπικές τιμές ικανότητας εκπομπής για διάφορα υλικά (Cengel, 2005), (σελ. 64)

Πίνακας 4.2 : Εναλλαγές του αέρα του θερμοκηπίου σε σχέση με τον τύπο του θερμοκηπίου (American Society of Agriculture Engineers, 1995), (σελ. 68)

Πίνακας 4.3 : Συνολικές θερμικές απώλειες θερμοκηπίου, (σελ. 75)

Πίνακας 5.1 : Συντελεστής θερμοπερατότητας υλικών κάλυψης, (σελ. 88)

Πίνακας 5.2 : Τεχνικά χαρακτηριστικά αερολέβητα πυρηνόξυλου Aerodynamic, (σελ. 89)

Πίνακας 5.3 : Σύγκριση κόστους αερολέβητα πετρελαίου-αερολέβητα πυρηνόξυλου, (σελ. 91)

Πίνακας 5.4 : Τεχνικά χαρακτηριστικά λαμπτήρα led 9 Watt E27 PAR38, (σελ. 92)

Πίνακας 5.5 : Ενεργειακές ανάγκες θερμοκηπίου σε φωτισμό με αντικατάσταση λαμπτήρων, (σελ. 92)

Πίνακας 5.6 : Ενεργειακές ανάγκες θερμοκηπίου σε φωτισμό πριν την αντικατάσταση των λαμπτήρων, (σελ. 93)

Πίνακας 5.7 : Συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες Q του θερμοκηπίου μετά την μελέτη, (σελ. 93)

Πίνακας 5.8 : Συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες Q του θερμοκηπίου πριν την μελέτη, (σελ. 93)

Πίνακας 6.1 : Φορτία AC/DC, (σελ. 94)

Πίνακας 6.2 : Ηλεκτρικές Καταναλώσεις, (σελ. 95)

Πίνακας 6.3 : Άμεση και Έμμεση κάλυψη φορτίων AC/DC, (σελ. 95)

Πίνακας 6.4 : Απώλειες ενεργειακών φορτίων συστήματος, (σελ. 98)

Πίνακας 6.5 : Συνολικό κόστος εγκατάστασης, (σελ. 110)

Πίνακας 7.1 : Κόστος λειτουργίας πριν, (σελ. 111)

Πίνακας 7.2 : Κόστος λειτουργίας μετά, (σελ. 111)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Πίνακας 1 : Μετεωρολογικά δεδομένα Πάτρας

Μήνας	Ελάχιστη Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)	Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)	Μέγιστη Μηνιαία Θερμοκρασία (°C)
Ιανουάριος	6.0	10.0	14.5
Φεβρουάριος	6.4	10.6	15.0
Μάρτιος	7.7	12.5	16.8
Απρίλιος	10.2	15.6	19.7
Μάιος	13.9	20.1	24.2
Ιούνιος	17.4	24.1	28.0
Ιούλιος	19.4	26.4	30.1
Αύγουστος	19.6	26.7	30.9
Σεπτέμβριος	17.2	23.5	28.2
Οκτώβριος	13.8	19.0	24.1
Νοέμβριος	10.3	14.5	19.5
Δεκέμβριος	7.6	11.4	16.1

Πίνακας 2 : Διεύθυνση και ένταση ανέμων για την πόλη της Πάτρας

Μήνας	Μέση Μηνιαία Διεύθυνση Ανέμων	Μέση Μηνιαία Ένταση Ανέμων (ms^{-1})
Ιανουάριος	BA	2.5
Φεβρουάριος	BA	2.6
Μάρτιος	BA	2.6
Απρίλιος	NΔ	2.6
Μάιος	NΔ	2.3
Ιούνιος	NΔ	2.3
Ιούλιος	NΔ	2.3
Αύγουστος	NΔ	2.2
Σεπτέμβριος	NΔ	2.2
Οκτώβριος	BA	2.1
Νοέμβριος	BA	2.3
Δεκέμβριος	BA	2.4

Πίνακας 3 : Μέση ημερήσια ακτινοβολία ανά μήνα που προσπίπτει στην επιφάνεια των PV-πλασιών υπό κλίση 27°, ως προς το οριζόντιο επίπεδο, στην Πάτρα

Μήνας	R Συντελεστής μετατροπής της ακτινοβο- λίας από το οριζόντιο σε κεκλιμένο επίπεδο 27° (1)	Αριθμός ημερών κάθε μήνα (2)	I _T x10 ³ kWh Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στις 27° (3)	Μέση Ημερήσια Ακτινοβολία (kWh/m ²) σε επίπεδο 27° (1)*(3)*10 ³ /(2)*3600	PSH h	H Μέση Μηνιαία Θερμοκ- ρασία Περιβά- λλοντος °C 18,5
Ι	1.655	31	220	3.28	3.28	10,5
Φ	1.38	28	259	3.55	3.55	11,6
Μ	1.16	31	400	4.16	4.16	13
Α	0.965	30	493	4.40	4.40	16
Μ	0.845	31	684	5.18	5.18	21
Ι	0.79	30	745	5.45	5.45	25
Ι	0.81	31	781	5.67	5.67	28
Α	0.92	31	713	5.88	5.88	28
Σ	1.105	30	526	5.38	5.38	24
Ο	1.355	31	367	4.46	4.46	19
Ν	1.61	30	241	3.58	3.58	15
Δ	1.70	31	187	2.85	2.85	11
Ετήσιος Μ.Ο.				4,49 (kWh/m²)	4,49 h	

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

Θερμοκηπιακή καλλιέργεια	Ημερήσια Θερμοκρασία (°C)	Νυχτερινή Θερμοκρασία (°C)
Τομάτα	21-27	14-16
Πιπεριά	22-24	16-19
Μελιτζάνα	21-27	16-18
Αγγούρι	19-24	16-19

Κολοκύθι	25-27	16-18
Πεπόνι	20-24	16-18
Καρπούζι	21-27	18-20
Φασολάκι	25-28	15-17
Μαρούλι	17-21	14-16
Τριαντάφυλλο	23	16-18
Χρυσάνθεμο	18-22	16-18
Γαρύφαλλο	22	16-18
Ζέρμπερα	18-22	16-18
Γλαστρικά Φυλλώδη	20-24	18-20

Πίνακας 5 : Μέση εσωτερική θερμοκρασία θερμοκηπίου

ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ		ΜΕΣΗ ΕΣΩΤ.ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ t [°C]
ΚΗΠΕΥΤΙΚΑ	Αγγούρι	22
	Κολοκύθι	22
	Μαρούλι	15
	Μελιτζάνα	20
	Πεπόνι	23
	Πιπεριά	21
	Τομάτα	19
	Φασολάκι	21
	Φράουλα	16

ΑΝΘΟΚΟΜΙΚΑ	Γαρυφαλλιά	15
	Γεράνι	19
	Γλαδιόλα	14
	Γαρδένια	19
	Κυκλάμινο	18
	Ορτανσία	18
	Τουλίπα	19
	Τριανταφυλλιά	19
	Χρυσάνθεμο	18

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Πίνακας 1: Τεχνικά χαρακτηριστικά PV-πλαισίων Solarwatt 245W_p

Τύπος κυψελών	Πολυκρυσταλλικός
Ονομαστική ισχύς (P_{max})	245 W _p
Μέγιστη τάση ισχύος (V_{mpp})	29,7V
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc})	37,2V
Μέγιστο ρεύμα ισχύος (I_{mpp})	8,25A
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc})	8,67A
Απόδοση κυψέλης	16,5%

Πίνακας 2 : Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτή Sunlight 2V 12 OPzS 1200

Τύπος	Μήκος	Πλάτος	Ύψος	Volt	Χωρητικότητα	Βάρος με ηλεκτρολύτη
12 OPzS	275	210	671	2	1200	66,2

Πίνακας 3 : Τεχνικά χαρακτηριστικά ρυθμιστή φόρτισης Xantrex C60

Τάση συστήματος	12V και 24V
Μέγιστη τάση ανοιχτού κυκλώματος συστοιχίας	55 V DC
Ρεύμα φόρτισης	60A
Μέγιστο ρεύμα	85A
Φόρτιση συσσωρευτών	Νικελίου-καδμίου και μολύβδου

Πίνακας 4 : Τεχνικά χαρακτηριστικά Sunny Tripower 17000TL

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	Sunny Tripower 17000TL
Είσοδος DC	
Μέγιστη ισχύς DC	17410 W
Μέγιστη τάση DC	1000V
Εύρος τάσης σημείου μέγιστης ισχύος	400V-800V
Ονομαστική τάση DC	600V
Ελάχιστη τάση DC/ τάση εκκίνησης	150V/188V
Έξοδος	-
Ονομαστική ισχύς AC	17000W
Μέγιστη φαινόμενη ισχύς AC	17000VA

Πίνακας 5 : Τεχνικά χαρακτηριστικά γεννήτριας πετρελαίου KRAFT KDG 8500

Κατασκευαστής	KRAFT
KVA (max)	8
Έξοδος (V)	230
Φόρτιση (V/A)	12/8,3
Τύπος	Μονοφασική
Ισχύς (HP)	13
Χωρητικότητα (lt)	16
Κατανάλωση (g/KW.h)	280
dB(A)-7m	72
Διαστάσεις (mm)	912x532x740
Βάρος (kg)	171