



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΞΕΛΑΓΜΕΝΟ ΜΑΡΤΙΑ
ΜΕΣΟΛΟΓΙΟΥ**
Σχολή Τεχνολόγων Γεωπονίας
Τμήμα Θερμοκηπιακών Καλλιεργιών Και Ανθοκομίας

Πτυχιακή Εργασία

Έλεγχος φυσικού φωτισμού και θερμοκρασίας μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου με τη χρήση συγκεντρωτικών φακών Fresnel.



Εισηγητής:

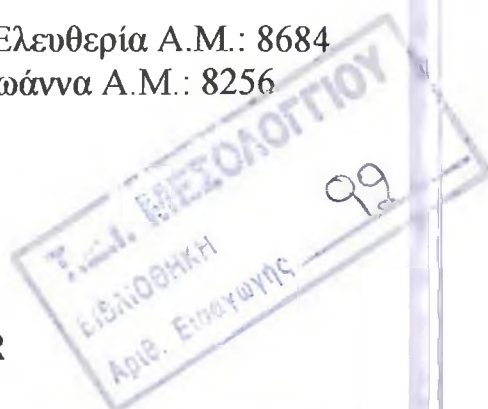
Αλεξόπουλος Γεώργιος

Επιμέλεια:

Μπριλάκη Ελευθερία Α.Μ.: 8684

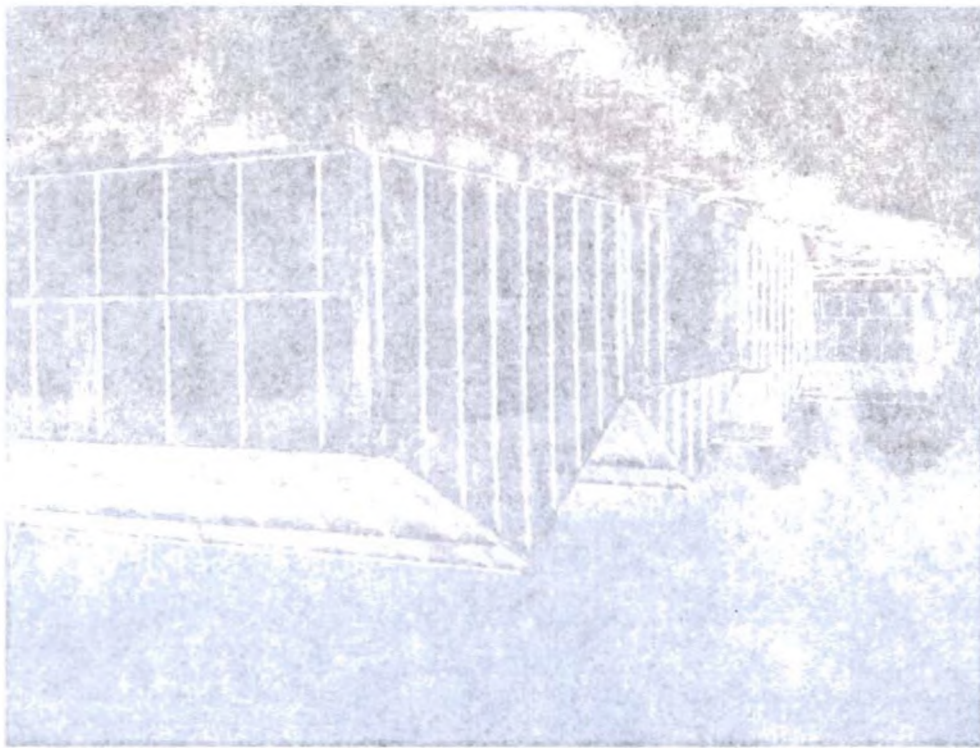
Τσερέλη Ιωάννα Α.Μ.: 8256

© Μεσολόγγι 2005 ©



ΕΠΙΣΤΗΜΗ

ΕΠΙΣΤΗΜΗ



ΠΡΟΧΗΡΙ ΠΡΟΧΗΡΙ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΑ
ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ

ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΤΗΜΟΛΟΓΙΑ





Αφιερωμένο

στις οικογένειές μας.





Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της πτυχιακή μας μελέτης, για την απόκτηση του πτυχίου μας ως Τεχνολόγων Γεωπόνων, η οποία πραγματοποιήθηκε στις εγκαταστάσεις ενός εκ των θερμοκηπίων του ΤΕΙ Μεσολογίου.

Είναι υποχρέωσή μας και αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστούμε θερμά τον κ. Αλεξόπουλο Γεώργιο και την κ. Καυγά Αγγελική για την εισήγηση του θέματος καθώς και για την συνεχή τους επίβλεψη και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της πτυχιακής μας εργασίας. Πάνω απ' όλα όμως τους ευχαριστούμε για τον χρόνο που μας αφιέρωσαν καθώς και για τις ιδιαίτερα εποικοδομητικές υποδείξεις, τις οποίες μας παρείχαν κατά την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αλλά και γενικότερα.

Παράβλεψή μας μεγάλη, θα ήταν αν δεν ευχαριστούσαμε τους φίλους και συναδέλφους μας, και ιδιαίτερος τον Ψαρρά Κωνσταντίνο, για την πολύτιμη βοήθεια τους.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ	
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ	
1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	3
1.1 Εισαγωγή	3
1.1.1 Αιολική Ενέργεια	4
1.1.2 Γεωθερμική Ενέργεια	4
1.1.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια	5
1.1.4 Παλιρροϊκή και Ενέργεια από Κύματα	6
1.1.5 Βιομάζα	6
1.1.6 Ηλιακή ενέργεια	7
1.1.6.1 Ιστορική Αναδρομή	7
1.1.6.2 Τεχνολογίες Ηλιακής Ενέργειας	9
1.2 ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	10
1.2.1 Εισαγωγή	10
1.2.2 Ιστορική και Περιφερειακή Ανάπτυξη	11
1.3 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ	13
1.4 ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ	
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	16
2.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ	16
2.3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΤΕΙ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	20
2.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	21
2.4.1 Αποτελέσματα μετεωρολογικού σταθμού ΤΕΙ/Μ.....	21
2.4.2 Αποτελέσματα. Μεταβολής των Παραμέτρων του Θερμοκηπίου.	24
2.4.3 Αποτελέσματα Σάρωσης και Ζωνοποίησης Θερμοκηπίου.....	47
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ	
ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	53

3.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ FRESNEL	53
3.2.1 Γενικά για την συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας.....	53
3.2.2 Φακοί Fresnel	54
3.3 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ FRESNEL ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ	55
3.3.1 Η χρήση των Γραμμικών φακών Fresnel στα Θερμοκήπια.....	55
3.3.2 Συνδυασμός των Φακών Fresnel με PVT Συστήματα	57
3.4 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΦΑΚΩΝ FRESNEL-ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΦΑΚΟΙ FRESNEL	61
3.4.1 Υπολογισμός Ετήσιων Και Εποχιακών Ενεργειακών Αναγκών Θερμοκηπίου Σε kWh.....	61
α Ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου για θέρμανση σε kWh (πρώτος τρόπος υπολογισμού).....	61
β Ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου για θέρμανση σε kWh	62
γ Ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου για εξαερισμό σε kWh	62
δ Ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου για φωτισμό σε kWh	62
3.4.2 Εφαρμογή Φακών Fresnel-Υβριδικού φωτοβολταϊκού /θερμικού (PV /T) συστήματος.....	63
3.5 Συμπεράσματα.....	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	67

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αναφέρεται στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στον αγροτικό τομέα και ειδικότερα στον τομέα των θερμοκηπίων για τον έλεγχο του φωτισμού και της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου προκειμένου να βελτιστοποιηθούν οι συνθήκες ανάπτυξης των θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Η κατάλληλη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την αποδοτική ανάπτυξη των καλλιεργειών σε ελεγχόμενες συνθήκες εντάσσεται στην κατεύθυνση της χρήσης εναλλακτικών ενεργειακών πηγών σε υποκατάσταση των συμβατικών πηγών για εξοικονόμηση ενέργειας και προστασία του περιβάλλοντος. Τα θερμοκήπια αποτελούν διατάξεις για πιο αποδοτικές καλλιέργειες με ελεγχόμενες συνθήκες, αλλά μια σειρά από παράγοντες επηρεάζουν την λειτουργία τους και τα προβλήματα που προκύπτουν απαιτούν σύνθετες μεθόδους επίλυσης.

Η μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις παραμέτρους που σχετίζονται με το θερμοκήπιο παρουσιάζει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον επειδή η διερεύνηση νέων τρόπων ρύθμισης του φωτισμού μπορεί να συνδυαστεί με την κατάλληλη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου για θερμότητα και ηλεκτρισμό (Rigoroulos and Santamouris 1981).

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στην διάρκεια ενός έτους (Απρίλιος 2004-Μάιος 2005) και το πειραματικό μέρος υλοποιήθηκε στο Εργαστήριο Θερμοκηπιακών Κατασκευών του Τμήματος Θερμοκηπιακών Καλλιεργειών και Ανθοκομίας του ΤΕΙ Μεσολογγίου (ΤΕΙ/Μ).

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που υπεισέρχονται στην ανάλυση του προβλήματος είναι αναγκαία η καταγραφή των μεταβολών τους επί ενός θερμοκηπίου, ενώ παράλληλα είναι χρήσιμη η λήψη και των μετεωρολογικών στοιχείων της τοποθεσίας που είναι εγκατεστημένο το θερμοκήπιο. Τα στοιχεία αυτά αξιοποιούνται για την ανάλυση των συνθηκών στη διάρκεια του έτους, ώστε να καθοριστούν οι συγκεκριμένες συσχετίσεις του φωτισμού, της θερμοκρασίας και της υγρασίας που προκύπτουν σε συνδυασμό με την προσπίπτουσα ακτινοβολία και ταχύτητα του πνέοντος ανέμου.

Για τον λόγο αυτό μελετήθηκε πειραματικά πραγματικό υαλόφρακτο θερμοκήπιο που διατίθεται στο ΤΕΙ/Μ. Εντός του θερμοκηπίου λαμβάνονται δεδομένα μέσω διάταξης συλλογής και καταχώρησης δεδομένων (Data Logger) που εγκαταστάθηκε. Οι παράμετροι που μετρούνται και καταχωρούνται στον Data Logger είναι η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία του αέρα εντός και εκτός του θερμοκηπίου, η ταχύτητα του πνέοντος ανέμου και η σχετική υγρασία. Ταυτόχρονα έγιναν μετρήσεις κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας και της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (PAR) στο επίπεδο των φυτών με την μέθοδο της σάρωσης και ζωνοποίησης του θερμοκηπίου (Κεφάλαιο 2).

Τέλος στην κατεύθυνση της αξιοποίησης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο θα διερευνηθεί περιληπτικά η δυνατότητα εφαρμογής νέων διαφανών υλικών και οπτικών διατάξεων (Γραμμικοί Φακοί Fresnel), που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί σε άλλες περιπτώσεις ενεργειακών εφαρμογών στο πεδίο της ηλιακής ενέργειας. Έτσι, η απαιτούμενη μείωση του φωτισμού ορισμένη περίοδο της ημέρας μέσω απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από ειδικού τύπου απορροφητές, για την αποφυγή υπερέκθεσης των φυτών σε αυτήν, μπορεί να

οδηγήσει στην αποθήκευση θερμότητας ή και ηλεκτρισμού για χρήση στη διάρκεια της νύκτας όπου υπάρχουν ανάγκες διατήρησης του επίπεδου της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου καθώς και για την επέκταση της περιόδου φωτισμού των φυτών. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των δεδομένων του θερμοκηπίου αναλύονται ως προς τις απαιτήσεις μιας ενεργειακά αποτελεσματικής λειτουργίας του θερμοκηπίου και συσχετίζονται ως προς την εφαρμογή της προτεινόμενης ηλιακής διάταξης του φακού Fresnel (Κεφάλαιο 3).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΑΓΡΟΤΙΚΟ ΤΟΜΕΑ

1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Εισαγωγή

Επιστήμη και τεχνολογία συνδυάζονται για να προάγουν χρήσιμες εφαρμογές. Η ιστορία διαμέσου των αιώνων συσχετίζει την πρόοδο και των δυο σύμφωνα με τους σκοπούς της κάθε περιόδου. Η ενέργεια ήταν πάντοτε η πρώτη ανάγκη της ανθρωπότητας διαμέσου της οποίας άλλες επιστήμες η τεχνολογίες προωθήθηκαν. Φυσικές δυνάμεις, σήμερα αποκαλούμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ήταν γνωστές από την αρχαιότητα και χρησιμοποιούντο σε διάφορα πεδία. Παρά την εντυπωσιακή πρόοδο της επιστήμης και τεχνολογίας από του αρχαίους χρόνους, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ακόμα στο στάδιο της έρευνας η των πιλοτικών εφαρμογών. Η πρόοδος στην χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με λίγα λόγια περιγράφεται με έμφαση πάνω στις προσπάθειες που γίνονται για να συλλέγουν και να μετατραπούν αυτές οι φυσικές δυνάμεις σε χρήσιμη μορφή ενέργειας.

Η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έχει αυξηθεί κατά την διάρκεια των τελευταίων 25 χρόνων, μετατρέποντας τις ανανεώσιμες δυνατότητες σε πραγματική παραγωγή ενεργείας και αυξάνοντας το μερίδιο τους στο ενεργειακό τοπίο. Επιπλέον εξαιτίας της αποκεντρωμένης φύσης τους, οι ανανεώσιμες ενεργειακές εφαρμογές έχουν σημαντική δυνατότητα στον αγροτικό τομέα. Σαν τοπικές πηγές, προσφέρουν κέρδη για βιώσιμη ανάπτυξη της απασχόλησης, κοινωνική συνοχή και περιφερειακή ανάπτυξη. Παρόλα τα πλεονεκτήματά τους, εντούτοις, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν έχουν κατορθώσει να αποκτήσουν βιώσιμο ποσοστό της ενεργειακής αγοράς. Είναι επομένως απαραίτητο να αυξηθεί η ανταγωνιστικότητα τους και η αξιοπιστία τους καθώς επίσης εμπιστοσύνη στους συναφείς χειρισμούς με σκοπό να εισαχθούν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο ενεργειακό σύστημα σε υψηλότερα ποσοστά.

Τα ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα, ορίζονται σαν ένας συνδυασμός των ανανεώσιμων (και συμβατικών) ενεργειακών τεχνολογιών που προσφέρουν στους όρους ενεργειακών απαιτήσεων, έναν βαθμό ευελιξίας λειτουργίας πολύ υψηλότερο από τις μεμονωμένες ανανεώσιμες, και σε πολλές καταστάσεις, είναι πιθανόν να είναι ανταγωνιστικές με τις συμβατικές τεχνολογίες επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα, φιλόδοξους περιβαλλοντολογικούς σκοπούς (Kelly & Weinberg, 1993). Αυτό είναι ιδιαίτερα εφικτό όταν οι ολοκληρωμένες ανανεώσιμες πηγές εξετάζονται σε απομονωμένες περιοχές ή σε περιορισμένης έκτασης περιοχές διότι η ενέργεια παράγεται σε μέρος όπου χρησιμοποιείται διαθέσιμη τοπική πηγή ενέργειας και οι αποστάσεις διανομής είναι ελάχιστες.

Ο καθορισμός μοντέλου ετήσιας ενεργειακής απαίτησης είναι συνήθως εξαιρετικά εποχιακός και ποικίλει σε σχέση με την τελική χρήση (θερμοκρασία, ηλεκτρισμός, κτλ). Τα καθημερινά και μηνιαία μέγιστα ίσως είναι 4-5 φορές η

αντίστοιχη μέση κατανάλωση. Ενώ η χρήση των ξεχωριστών και μεμονωμένων τεχνολογιών απαιτεί δαπανηρά υπερμεγέθη και / ή συστήματα μεγάλης ενεργειακής αποθήκευσης για να ικανοποιήσει τα απαιτούμενα μέγιστα, τα ολοκληρωμένα συστήματα έχουν επιδείξει ότι μπορούν να είναι πιο οικονομικά. (Kyritsis, 1986, Jensen, 1994).

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν χαμηλή ουσιαστική αξία ανά μονάδα παραγωγής. Η οποιαδήποτε αύξηση στην απόσταση μεταξύ της πηγής προέλευσης και του προορισμού ωθεί ανοδικά το κόστος μεταφοράς, για να γίνει γρήγορα μια υψηλότερη αναλογία των συνολικών δαπανών. Επομένως, η χρήση τους είναι οικονομικά πλεονεκτική όταν η μεταφορά και οι αποστάσεις διανομής είναι μικρές. Θα πρέπει να αξιολογούνται γύρω από την πηγή τους, μέσα σε μία ακτίνα μερικών εκατοντάδων μέτρων ή μερικών χιλιομέτρων, σε εξάρτηση με τη φύση των πηγών (Rozakis et al, 1996).

Γενικά οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας θεωρούνται «πράσινες» επειδή προκαλούν ελάχιστη εξάντληση των επίγειων αποθεμάτων και επειδή ο άνεμος, η ηλιακή ακτινοβολία και η κυματική ενέργεια προκαλούν μηδενικές αέριες εκπομπές κατά τη διάρκεια ενεργειακής παραγωγής. Η ενέργεια βιομάζας είναι ανανεώσιμη, αλλά μοιράζεται πολλά χαρακτηριστικά με τα ορυκτά καύσιμα.

Από πρακτικής πλευράς οι ανανεώσιμες πηγές, που η εκμετάλλευσή τους έχει πρακτική σημασία, είναι οι πιο κάτω:

1. Η αιολική ενέργεια.
2. Η γεωθερμική ενέργεια
3. Η υδροηλεκτρική ενέργεια.
4. Η παλιρροϊκή και η ενέργεια των κυμάτων.
5. Η βιομάζα.
6. Η ηλιακή ενέργεια

1.1.1 Αιολική Ενέργεια

Σύμφωνα με εκτίμηση του Παγκοσμίου Οργανισμού Μετεωρολογίας ποσοστό περίπου 1% της αιολικής ενέργειας, που ανέρχεται σε 0,6 Q (ή $175 \cdot 10^{12}$ KWh) είναι διαθέσιμο για ενεργειακούς σκοπούς σε διάφορα μέρη του κόσμου. (Περισσότερο και ταχύτερα φυσάει στην πολική και την εύκρατη ζώνη, κοντά στις ακτές και λιγότερο στην τροπική ζώνη και τα ηπειρωτικά.)

Δυστυχώς η αιολική ενέργεια δεν είναι ούτε προβλέψιμη, ούτε ομαλή, ούτε συνεχής. Γενικά, για να είναι αξιοποιήσιμη για την κίνηση αντλιών ή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η ταχύτητα του ανέμου πρέπει να μην είναι μικρότερη από 7-10 Km/h ενώ οι ανεμογεννήτριες έχουν μηχανικούς περιορισμούς ως προς την ταχύτητα περιστροφής τους ώστε στην περίπτωση θύελλας να μην καταστραφούν. Το μεγάλο πρόβλημα της αιολικής ενέργειας, επειδή είναι απρόβλεπτη η διαθεσιμότητά της, βρίσκεται στην αποθήκευσή της, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί όταν χρειάζεται.

1.1.2 Γεωθερμική Ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια παρουσιάζεται συνήθως σε περιοχές με σχετικά πρόσφατη ηφαιστειότητα, γιατί σ' αυτές τις περιοχές παρουσιάζεται το φαινόμενο, διάπυρο υλικό από το εσωτερικό της γης να έχει κινηθεί προς την επιφάνεια και το υπέδαφος να έχει θερμανθεί. Η θερμότητα αυτή μεταφέρεται σε τυχόν υδροφόρους

σχηματισμούς της περιοχής. Τα νερά θερμαίνονται και κυκλοφορούν μέσα στα πετρώματα φτάνοντας σε πολλές περιπτώσεις μέχρι την επιφάνεια, αφού προηγουμένως έχουν εμπλουτιστεί από άλατα των πετρωμάτων (θερμές πηγές, ατιμίδες), ενώ κάποιες άλλες φορές τα νερά εγκλωβίζονται σε μη υδροπερατά πετρώματα και είναι δυνατόν να αποκτήσουν θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 350 °C. Σε κάποιες περιοχές της γης, που υπάρχει γεωθερμικό ρευστό χαμηλής ενθαλπίας (θερμοκρασία ρευστού ≤ 100 °C), είναι δυνατόν με απλές γεωτρήσεις να χρησιμοποιηθεί σαν ενεργειακή πηγή. Μετά την ενεργειακή κρίση, η διερεύνηση των πηγών αυτών έγινε πιο εντατική και τώρα έχουν εγκατασταθεί σταθμοί σε αρκετές χώρες του κόσμου ενώ οι έρευνες συνεχίζονται.

Δυστυχώς δεν υπάρχουν στατιστικά στοιχεία, είναι όμως βέβαιο ότι και η γεωθερμική ενέργεια προς το παρόν έχει περιορισμένη σημασία και είναι βοηθητική σε ορισμένες περιοχές της γης. Τελείως διαφορετική θα ήταν η εικόνα αν ήταν εφικτές οι γεωτρήσεις σε μεγάλα βάθη, στο διάπυρο εσωτερικό του πλανήτη. Εκεί εγκλείονται τεράστια ενεργειακά αποθέματα, απρόσιτα όμως οικονομικά με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα.

1.1.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια από τις πιο προνομιούχες μορφές για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι ανανεώσιμη, δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, έχει μεγάλο συντελεστή μετατροπής (λόγα μηδενικής εντροπίας) και ακόμη το νερό μετά τη χρήση του στον υδροστρόβιλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γεωργικούς σκοπούς. Δυστυχώς, όπως και με άλλες πολλές ανανεώσιμες πηγές, οι υδατοπτώσεις είναι περιορισμένες και συγκεντρωμένες σε ορισμένες γεωγραφικές θέσεις. Διότι για να είναι αξιοποιήσιμη μια υδατόπτωση δεν αρκεί να υπάρχει απλώς ροή, αλλά ποσότητα νερού και σημαντική υψομετρική διαφορά κατά τη ροή του, ώστε να συμφέρει η δημιουργία των πολυδάπανων φραγμάτων που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του υδροηλεκτρικού σταθμού. Υπολογίζεται ότι μόλις το 16% του νερού που διακινείται σε ποτάμια και ρεύματα διεθνώς είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί υδροηλεκτρικά. Το σύνολο του παγκόσμιου δυναμικού που μπορεί να αξιοποιηθεί υδροηλεκτρικά υπολογίζεται σε 0,043 Q. Σήμερα χρησιμοποιείται μόλις το 10% (0,0045 Q) επί συνόλου ενεργειακών αναγκών της ανθρωπότητας 3.00 Q.

Το ποσό αυτό κατανέμεται σύμφωνα με το παρακάτω πίνακα :

Χώρα	Ποσοστό (%) του παγκόσμιου δυναμικού	Ποσοστό (%) που αξιοποιείται σήμερα
Αφρική	19,3	1,9
Ασία (εκτός Ρωσίας)	30,3	6,9
Ρωσία	11,9	11,7
Ευρώπη	9,5	48,3
Β. Αμερική	14,7	27,3
Ν. Αμερική	12,7	6,5
Αυστραλία	1,6	20,8

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ένα μεγάλο πρόβλημα λειτουργίας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι η ανισοκατανομή στη ζήτηση σε συνάρτηση με τις ώρες της ημέρας ή την εποχή. Για να εξυπηρετήσουν οι σταθμοί τις αιχμές χρησιμοποιούν βοηθητικές μονάδες που εισέρχονται σε λειτουργία τις ώρες της ζήτησεως. Αντίθετα η ζήτηση είναι υποτονική τη νύχτα. Γι' αντιμετώπιση του τελευταίου είναι δυνατή

και εφαρμόζεται στην περίπτωση των υδροηλεκτρικών σταθμών, η άντληση νερού και η μεταφορά του με αντλίες σε υψηλό υψομετρικό επίπεδο τις ώρες χαμηλής ζήτησεως για να χρησιμοποιηθεί στις ώρες αιχμής.

Δεν υπάρχει καμία αμφιβολία, μετά την ενεργειακή κρίση, ότι πρόκειται να αξιοποιηθούν όλες οι υδροηλεκτρικές πηγές που είναι δυνατόν.

1.1.4 Παλιρροϊκή Και Ενέργεια Από Κύματα

Η παλιρροϊκή ενέργεια είναι, μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που δεν προκαλεί κανενός είδους ρύπανση. Δυστυχώς όμως είναι, όπως και η υδροηλεκτρική, περιορισμένης σχετικά κλίμακας. Σήμερα υπάρχουν σε λειτουργία δύο ενεργειακοί σταθμοί, ένας μικρός πειραματικός της Ρωσίας των 400 KW στην Kislanya και ένας γαλλικός στο Saint Malo ισχύος 240 MW. Η Ρωσία προγραμματίζει τώρα έργα ισχύος 6000 MW στην Αρκτική θάλασσα.

Αν και με την παλιρροϊκή ενέργεια δεν λύνεται το ενεργειακό πρόβλημα της ανθρωπότητας, δεν υπάρχει αμφιβολία τώρα που η υψηλή τιμή του πετρελαίου το επιβάλλει, ότι η παλιρροϊκή ενέργεια θα αξιοποιηθεί στο μεγαλύτερο βαθμό και θα αποτελέσει μια βοηθητική ενεργειακή πηγή. Πάντως, είναι μικρής σημασίας ενεργειακή πηγή.

Η ενέργεια που περικλείουν τα κύματα είναι μια άλλη μορφή της ηλιακής ενέργειας, που μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί για μικρούς σταθμούς και βοηθητικές ανάγκες.

Η ενέργεια των κυμάτων εξαρτάται φυσικά από το μέγεθος και τη συχνότητά τους. Στις καιρικές συνθήκες που επικρατούν το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου (70%) θα πρέπει να υπολογιστούν σε περίπου 10 KW ανά μέτρο κύματος. Βέβαια, υπάρχουν και εξαιρέσεις όπως σε περίπτωση θύελλας. Στον Ατλαντικό υπάρχουν κύματα μήκους 600 m και περιοδικότητας 20 sec που περικλείουν ενέργεια έως 1500 KW/m. Στις περιπτώσεις όμως αυτές θα πρέπει να εκτιμηθεί η αστάθεια και του φαινομένου και του μεγέθους του.

Με τις προϋποθέσεις αυτές και με συντελεστή μετατροπής περίπου 25% θα πρέπει να υπολογίζεται ότι χρειάζεται ακτή μήκους 400 Km για την παραγωγή 1000 MW. Ο πρώτος σταθμός 20 MW κατασκευάστηκε από τη Lockheed και λειτουργεί στη Χαβάη. Πάντως η μορφή αυτή ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί ως βοηθητική σε ειδικές περιπτώσεις.

1.1.5 Βιομάζα

Βιομάζα είναι η υποθηκευμένη χημική ενέργεια στα φυτά και τα ζώα. Περιλαμβάνει όλα τα οργανικά συστατικά των φυτών και από χημική άποψη περιέχει κυρίως τα στοιχεία C, H, O στην αναλογία που βρίσκονται στους υδατάνθρακες. Η βιομάζα $(CH_2O)_x$ χρησιμοποιήθηκε από την αρχαιότητα και συνεχίζει και σήμερα να χρησιμοποιείται για κάλυψη καθημερινών αναγκών κυρίως στον Τρίτο Κόσμο (αναπτυσσόμενες χώρες). Τώρα πια όμως υπάρχουν χώρες όπως η Βραζιλία που διαθέτουν ενεργειακές καλλιέργειες, δηλ. καλλιέργειες καταλλήλων ενεργειακών φυτών (ζαχαροκάλαμο, σόργο), από τα οποία με διάφορες μεθόδους παράγονται συνθετικά καύσιμα, που υποκαθιστούν σημαντικές ποσότητες των συμβατικών καυσίμων.

Τα καύσιμα της βιομάζας είναι μεγάλου όγκου και ίσως έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία. Η ποιότητα του καυσίμου δεν είναι προβλέψιμη και ο φυσικός χειρισμός της ύλης μπορεί να είναι απαιτητικός. Αυτά τα χαρακτηριστικά, αυξάνουν το κόστος της βιοενέργειας καθώς επιπρόσθετη εργασία και εργαλεία

απαιτούνται για μεταφορά, χειρισμό, αποθήκευση και επεξεργασία συγκρινόμενη με τα ορυκτά καύσιμα. Αρκετά από αυτά τα θέματα γίνονται λιγότερο σημαντικά καθώς η τεχνολογία για την μετατροπή βιοενέργειας βελτιώνεται. Επίσης οι τεχνολογίες για την αναβάθμιση των καυσίμων βιομάζας είναι εξελιγμένες, και η ανάπτυξη των καθιερωμένων ενεργειακών καλλιεργειών θα βελτιώσουν επίσης τα στάνταρτ του καυσίμου (Hall and Scrase, 1998).

1.1.6 Ηλιακή Ενέργεια

1.1.6.1 Ιστορική Αναδρομή

Για τον πρωτόγονο άνθρωπο η πρώτη εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας ήταν με την μορφή της φωτιάς με ξύλα. Αργότερα άρχισαν να χρησιμοποιούν την ηλιακή θερμότητα σε ποικίλες άλλες εφαρμογές. Οι πρώτες γνωστές πρακτικές εφαρμογές ήταν στην ξήρανση για τη συντήρηση των τροφίμων. Η παλαιότερη εγκατάσταση που αφορούσε την ξήρανση των τροφίμων με την ηλιακή ακτινοβολία βρέθηκε στη νότια Γαλλία και χρονολογείται σε 8000 π.Χ.

Η παλιότερη σε μεγάλη κλίμακα γνωστή εφαρμογή σε εμάς είναι η καύση του - Ρωμαϊκού στόλου σε ένα κόλπο των Συρακουσών από τον Αρχιμήδη, τον Έλληνα μαθηματικό και φιλόσοφο (287-212 Π.Χ.), ο οποίος χρησιμοποίησε επίπεδους καθρέπτες για την συγκέντρωση των ακτινών του ήλιου σε ένα συγκεκριμένο σημείο επάνω στα πλοία. Πολλοί συγγραφείς, από το 100 π.Χ. μέχρι το 1100 μ.Χ., έκαναν αναφορές σε αυτό το γεγονός, το οποίο αργότερα χαρακτηρίστηκε ως μύθος διότι δεν υπήρχε η κατάλληλη τεχνολογία για να κατασκευαστούν καθρέπτες. (Delyannis, 1967). Δεν είναι γνωστό, εάν το γεγονός έγινε πραγματικά, αλλά ο Αρχιμήδης είναι επίσης συγγραφέας ενός βιβλίου με τον τίτλο «Καθρέπτες», το οποίο δεν έχει διασωθεί, αλλά πολλοί συγγραφείς αρχαιοτήτων αναφέρονται σε αυτό. Αυτό το πείραμα επαναλήφθηκε από τον Πρόκλους κατά την διάρκεια της Βυζαντινής περιόδου. Στην Κωνσταντινούπολη έκαψε τον πολεμικό στόλο των εχθρών που πολιορκούσαν το Βυζάντιο (Delyannis, 1967). Ήταν επίσης επιτυχώς αναλαμβανόμενο μερικά χρόνια πριν σε μια ακτή κοντά στην Αθήνα.

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας επανελήφθη κατά τη διάρκεια του 18ου αιώνα πρώτα από το Γάλλο φυσιογνώστη (Bouffon 1747–1748), ο οποίος πειραματίστηκε με διάφορες ανακλώμενες συσκευές που αποκαλούντο από τον ίδιο "καυτοί καθρέπτες που καίνε σε μεγάλη απόσταση." Μια από τις πρώτες μεγάλης κλίμακας εφαρμογές ήταν ο ηλιακός φούρνος που χτίστηκε από το γνωστό Γάλλο φαρμακοποιό (Lavoisier (1772 ,1782), ο οποίος το 1774 περίπου, κατασκεύασε ισχυρούς φακούς για να συγκεντρώσουν την ηλιακή ακτινοβολία. Αυτοί οι δύο επιστήμονες προώθησαν πολύ την έρευνα και την εφαρμογή της ηλιακής ενέργειας.

Η πραγματική όμως επανάσταση της ηλιακής ενέργειας ξεκίνησε στο μέσον του 19^{ου} αιώνα. Στην Ευρώπη και στην Αμερική, διάφοροι ερευνητές πειραματίστηκαν με τις ηλιακές μηχανές που χρησιμοποιηθήκαν για να συγκεντρώσουν την ηλιακή ακτινοβολία. Η χρήση τους ήταν κυρίως στην άντληση νερού για άρδευση. Αυτοί ήταν οι πρώτοι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες και συγκεντρωτές. Από το 1866 μέχρι το 1956 μικρές ηλιακές εγκαταστάσεις κατασκευάστηκαν και τέθηκαν σε λειτουργία.

Μεταξύ 1866 και 1878 ο Γάλλος μηχανικός Mouchot, κατασκεύασε και δοκίμασε διάφορους συγκεντρωτικούς συλλέκτες στην Ευρώπη και τη βόρεια Αφρική. Οι προσπάθειες συνεχίστηκαν στις ΗΠΑ όπου ο John Ericsson, ένας

Αμερικανός μηχανικός ανέπτυξε την πρώτη μηχανή ατμού, οδηγούμενη άμεσα από την ηλιακή ενέργεια (Jordan and Ibele, 1956).

Στην αρχή του 20ού αιώνα, η δραματική αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας από τη βιομηχανία, άναψε φωτιά στο ενδιαφέρον για τη δυνατότητα αποκόμισης ηλιακής ενέργειας για εκτεταμένες πρακτικές εφαρμογές. Το 1901, ο Eneas κατασκεύασε έναν μεγάλο ηλιακό συγκεντρωτή στη Πασαντένα, Καλιφόρνια. Ήταν ένας κώλουρος κώνος που είχε μια ηλιακή έκταση συλλογής $59,64 \text{ m}^2$ και χρησιμοποίησε το νερό ως μέσο λειτουργίας. Περισσότεροι από δυο χτίστηκαν στην Mesa, στην Καλιφορνία και ένας στο Wilcox, στην Αριζόνα (Jordan and Ibele, 1956).

Το 1901 μια ομάδα των μηχανικών κατασκεύασε έναν συγκεντρωτή περικομμένου κώνου παρόμοιο με αυτόν του Eneas. Εγκαταστάθηκε επίσης στο Πασαντένα, Καλιφόρνια και ήταν γνωστός ως "μονάδα παραγωγής ηλιακής ενέργειας, φάρμας στρουθοκαμήλων Πασαντένα" (Jordan and Ibele, 1956). Η εσωτερική πλευρά του συγκεντρωτή επενδύθηκε με 1788 επιπέδους καθρέφτες και λειτουργούσε δεξιόστροφα για να επαναρυθμίζεται η εστίαση κάθε 20 min. Παρήγαγε τον ατμό για να τρέξει μια μηχανή ατμού 10 HP (7457 kW). Χρησιμοποιήθηκε για άντληση νερού για άρδευση.

Το 1910 ο Harrington δημιούργησε την πρώτη ηλιακή συσκευή αποθήκευσης χωρητικότητας 19 m^3 . Μια ηλιακά οδηγούμενη αντλία χρησιμοποιήθηκε για να αντλήσει το νερό σε μια δεξαμενή αποθήκευσης, η οποία ήταν 6,0 m υψηλότερα. Ο Schuman, ένας Αμερικανός μηχανικός από τη Φιλαδέλφεια, Πενσυλβανία, έφτιαξε τον πρώτο επίπεδο συγκεντρωτή. Στα τέλη του 1913, ο Harrington συνεργάστηκε με τους Boys να εγκαταστήσει τις μεγαλύτερες μονάδες παραγωγής ηλιακής ενέργειας που έγιναν στο Meadi, (νότια του Καΐρου), στην Αίγυπτο. Το σύστημα χρησιμοποιήθηκε για άντληση νερού για άρδευση από τον ποταμό Νείλο (Jordan and Ibele, 1956). Αποτελείτο από καθρεπτιζόντες παραβολικές γούρνες προσανατολισμένες βορρά-νότο. Οι συλλέκτες στρέφονταν αυτόματα κατά την διάρκεια της ημέρας. Ο ρυθμός συγκέντρωσης ήταν 4.5 και το σύστημα παρήγαγε 50 KW για να θέτουν σε κίνηση τις αντλίες. Το μέσον λειτουργίας ήταν ο ατμός. Οι επόμενες μεγάλες ηλιακές μονάδες δεν θα εγκαθίσταντο για τα επόμενα 63 έτη.

Μια από τις πρώτες μεγάλης κλίμακας πειραματικές μονάδες ηλιακής ενεργείας κατασκευάστηκε από τον Francia, του πανεπιστημίου της Γένοβας, Ιταλία (Delyannis, προσωπική αναφορά). Η μονάδα εγκαταστάθηκε στο San Illario- Nervì, κοντά στη Γένοβα. Οι συγκεντρωτές ήταν κυκλικοί με επεξεργασμένη επιφάνεια καθρέφτες ανακλώντας την ηλιακή ακτινοβολία πάνω σε έναν κεντρικό λέβητα, παραγωγής ατμού. Οι μονάδες αποτελούντο από 270 ηλιόστατα διαμέτρου 1,0 m κάθε ένα και η παραγωγή ήταν 50 kW. Βασισμένο ακριβώς στο ίδιο σχεδιασμό όπως αυτό του Francia, πιλοτική ηλιακή μονάδα εγκαταστάθηκε τον Σεπτέμβριο του 1977 στο πειραματικό σταθμό Εφαρμοσμένης Μηχανικής του Τεχνολογικού Ινστιτούτου της Georgia στην Ατλάντα, των ΗΠΑ. Ο συλλέκτης αποτελείτο από έναν οκταγωνικό σχηματισμένο πεδίο καθρεπτών που περιείχε 550 γυάλινες επιφάνειες καθρεπτών, κάθε μια από 43,7 in. (111 cm) διάμετρο. Το πεδίο ήταν εστιασμένο στο ηλιακό φως σε μια εστιακή ζώνη 70,3 ft (21,4 m) πάνω από το κέντρο του πεδίου. Η συνολική δύναμη μέσα στην εστιακή ζώνη ήταν περίπου 400 kW. Η εστιακή θερμοκρασία ήταν το $1900 \text{ }^\circ\text{C}$ ($3450 \text{ }^\circ\text{F}$) και ο λέβητας είχε μια μέγιστη παραγωγή 130 kW.

Σήμερα υπάρχουν πολλές μεγάλες μονάδες ηλιακής ενέργειας με παραγωγή στο εύρος του MW, αντί του kW, για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή διαδικασία θερμότητας. Οι πρώτες εμπορικές μονάδες ηλιακής ενέργειας εγκαταστάθηκαν στο Albuquerque, New Mexico, ΗΠΑ, το 1979, 63 έτη μετά από την εγκατάσταση στο Meadi από τον Boy και Schumann. Αποτελείτο από 220 ηλιόστατα και είχε μια

παραγωγή 5 MW. Η δεύτερη δημιουργήθηκε σε Barstow, Καλιφόρνια, ΗΠΑ, με μια συνολική θερμική παραγωγή 35 MW.

Οι περισσότερες από τις μονάδες ηλιακής ενέργειας εγκαταστάσεις παράγουν ηλεκτρική ενέργεια ή/και επεξεργάζονται το ύδωρ για τη βιομηχανική χρήση και παρέχουν τον superheated ατμό 673 K(400°C). Κατά συνέπεια, μπορούν να παρέχουν την ηλεκτρική ενέργεια ή/και τον ατμό για να κινήσουν π.χ μικρής απόδοσης συμβατικές εγκαταστάσεις αφαλάτωσης εξαρτώμενες από θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια.

1.1.6.1 Τεχνολογίες Ηλιακής Ενέργειας

Η ηλιακή ενέργεια που συλλέγει η γη κατά την διάρκεια ενός χρόνου είναι δέκα φορές μεγαλύτερη από τις συνολικές πηγές φυσικών καυσίμων, συμπεριλαμβανομένων εκείνων των αποθεμάτων που δεν έχουν ανακαλυφθεί ή εξερευνηθεί και που δεν είναι ανανεώσιμα. Ο ήλιος καθώς στέλνει στην γη ενέργεια ισχύος 150.109 MW. Από την ενέργεια αυτή το 30% ανακλάται στο διάστημα από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Το 46% φτάνει στην επιφάνεια της γης όπου μετατρέπεται σε θερμότητα και επανακλάται με θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Από το υπόλοιπο 24% το 23% δαπανάται για την εξάτμιση του νερού των θαλασσών και το εναπομένον 1% για την αιολική ενέργεια, την ενέργεια των κυμάτων, καθώς και την φωτοσύνθεση.

Η άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας με την παραγωγή και εγκατάσταση συσκευών αποτέλεσε καινοτομία στην ενεργειακή εξέλιξη του ανθρώπου. Ενώ η έμμεση ηλιακή ενεργεία επιδρά με φυσικές διαδικασίες στο νερό, τον αέρα και την φωτοσύνθεση, η άμεση χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας απαιτεί ειδικά σχεδιασμένα και εγκατεστημένα τεχνικά συστήματα προκειμένου να απορροφούν και να μετατρέπουν την συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια.

Τα συστήματα συλλογής και μετατροπής της ηλιακής ενέργειας διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- i) Συστήματα απευθείας μετατροπής της ενέργειας σε θερμότητα. Η μετατροπή αυτή μπορεί να γίνει με ενεργητικά συστήματα όπως είναι οι ηλιακοί συλλέκτες και οι ηλιακές λίμνες, ή με παθητική συλλογή από το ίδιο το κτίριο, τα θερμοκήπια κλπ.
- ii) Συστήματα μετατροπής με ενδιάμεσο θερμοδυναμικό μετασχηματισμό, όπου η θερμότητα χρησιμοποιείται για την δημιουργία ατμού, παραγωγή έργου και τελικά ηλεκτρισμό.
- iii) Συστήματα απευθείας μετατροπής σε ηλεκτρισμό, με πιο διαδεδομένο τα φωτοβολταϊκά κύτταρα στα οποία γίνεται η φωτοβολταϊκή μετατροπή.
- iv) Συστήματα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε χημική ενέργεια, όπως η παραγωγή βιομάζας μέσω της φωτοσύνθεσης, η παραγωγή H₂ με φωτοηλεκτρόλυση κ.α.

1.2 ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

1.2.1 Εισαγωγή

Τα θερμοκήπια είναι πολύπλοκες κατασκευές που στοχεύουν να παρέχουν προστασία των καλλιεργειών έναντι δυσμενών καιρικών συνθηκών και ικανοποιητικές συνθήκες για την ανάπτυξη και παραγωγή προϊόντων σε όλη την διάρκεια του χρόνου. Οι παράγοντες ανάπτυξης των φυτών φως, θερμοκρασία, υγρασία και CO₂, δύνανται να παρέχονται εντός του θερμοκηπίου και να διατηρούνται σε βέλτιστα επίπεδα. Ένα σωστά σχεδιασμένο θερμοκήπιο πρέπει να εξασφαλίζει και να διατηρεί τους σημαντικούς κλιματολογικούς παράγοντες, όσο γίνεται κοντά στις προκαθορισμένες βέλτιστες. Συνεπώς απαιτείται να επιτρέπουν υψηλό ποσοστό διερχόμενης ακτινοβολίας, χαμηλή κατανάλωση θερμότητας, ικανοποιητική αποδοτικότητα αερισμού, επαρκής κατασκευαστική αντοχή και καλή μηχανική συμπεριφορά, χαμηλό κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος (Elsner et al, 2000).

Οι πιο σπουδαίοι κλιματικοί παράγοντες που έχουν επίδραση στην κατασκευαστική δομή και στην διαμόρφωση του εσωτερικού μικροκλίματος είναι η θερμοκρασία, η συνολική ηλιακή ακτινοβολία, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνήσματα και η ένταση του ανέμου. Κατόπιν τούτου οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες έχουν ισχυρή επίδραση στην κατασκευή και στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου γιατί ο σχεδιασμός του πρέπει να ακολουθεί κανόνες συμφωνά με το τοπικό κλίμα. Καθώς η χρήση των θερμοκηπίων σχεδόν εκτείνεται σε ολόκληρη την Ευρώπη, ο σχεδιασμός, τα υλικά κάλυψης και ο εξοπλισμός πρέπει να ακολουθούν τις προϋποθέσεις που τίθενται από τις επιμέρους κλιματολογικές συνθήκες. Καθένας σε από τους κλιματολογικούς παράγοντες παράγει έναν συνδυασμό επιδράσεων ο οποίος έχει είτε ευνοϊκή είτε δυσμενή επίδραση στην λειτουργικότητα και του θερμοκηπίου εξαρτώμενες από τις ιδιαίτερες τοπικές περιστάσεις.

Με αναφορά το κλίμα, η Ευρώπη μπορεί να χωριστεί σε δυο ζώνες. Στην βόρεια και κεντρική Ευρώπη το κλίμα χαρακτηρίζεται από ψυχρούς χειμώνες και ήπια καλοκαίρια (εύκρατο κλίμα). Στην νοτιότερη Ευρώπη οι χειμώνες είναι ήπιου και τα καλοκαίρια θερμά (Μεσογειακό κλίμα). Η ηλιακή ακτινοβολία στις Μεσογειακές χώρες έχει δυο έως τρεις φορές μεγαλύτερη ένταση σε σχέση με τις βορειότερες περιοχές. Για αυτόν τον λόγο τα θερμοκήπια στην Ευρώπη διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: θερμοκήπια που είναι σχεδιασμένα για εύκρατο κλίμα και θερμοκήπια που είναι σχεδιασμένα για Μεσογειακό κλίμα. Δεδομένου ότι η Ελλάδα βρίσκεται στην περιοχή της Μεσογείου επικεντρώνουμε το ενδιαφέρον μας στα δεύτερα.

Τα κύρια προβλήματα των θερμοκηπίων της Μεσογειακής λεκάνης είναι:

- θερμοκρασίες κάτω από το βιολογικό βέλτιστο τις χειμωνιάτικες νύχτες που καθιστούν την θέρμανση απαραίτητη από 3 έως 6 μήνες και υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας:

- η υψηλή σχετική υγρασία τη νύκτα
- χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα, σημαντικά φορτία ανέμου και μερικές φορές φορτία χιονιού και χαλάζι.

Επομένως τα θερμοκήπια στη Μεσογειακή λεκάνη πρέπει να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Υψηλή διαπερατότητα ακτινοβολίας

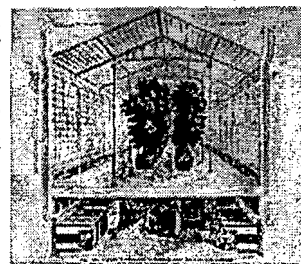
- Καλή θερμική μόνωση και σύστημα θέρμανσης για αύξηση της ελάχιστης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύκτας (κατά τη χειμωνιάτικη περίοδο)
- Αποτελεσματικός εξαερισμός από ρυθμισμένους ανεμιστήρες
- Υψηλή σταθερότητα σε σχέση με τον άνεμο και με τα φορτία χιονιού σε κάποιες περιοχές

1.2.2 Ιστορική Και Περιφερειακή Ανάπτυξη

Προσπάθειες να προσαρμοστεί το περιβάλλον στις ανάγκες της φυτικής παραγωγής μέσω προστατευτικών κατασκευών, χρονολογείται από την αρχαιότητα, δηλ. πριν από χιλιάδες χρόνια στην Κίνα, στην Αίγυπτο καθώς και μεταγενέστερα στην Ελλάδα και στη Ρώμη (Muijzenberg, 1980). Με το τέλος της Ρωμαϊκής αυτοκρατορίας οποιαδήποτε τεχνική για προστατευόμενη παραγωγή εξαφανίστηκε. Κατά το μεσαίωνα παρατηρούνται ελάχιστες εξελίξεις στην προστασία των φυτών.

Τα θερμοκήπια εμφανίστηκαν ξανά στο τέλος του 15^{ου} έως και τον 18^ο αιώνα στην Αγγλία, Γαλλία και Κάτω χώρες. Με την αναγέννηση οι έμποροι και οι εξερευνητές αρχίζουν να μεταφέρουν εξωτικά φυτά που δεν ήταν εύκολο να επιζήσουν και να αναπτυχθούν στο ψυχρό κλίμα της Β. Ευρώπης. Την περίοδο αυτή χρησιμοποιούνταν σχεδόν τελείως κλειστά δωμάτια για την προστασία των φυτών – κυρίως εσπεριδοειδή- από το ψύχος καθώς και υπόστεγα που είχαν κτιστό τοίχο προς βορρά, ενώ προς το νότο υπήρχαν ανοίγματα για αερισμό που έκλειναν με ξύλινα παραπετάσματα. Με το πέρασμα του χρόνου το γυαλί έγινε κοινό υλικό και τα ανοίγματα αντικαταστάθηκαν από τοίχους με γυάλινα παράθυρα. Ακόμη η χρήση των κατασκευών αυτών εκτός από χειμώνασμα επεκτείνεται και στην πρωίμιση των φυτών.

Τον 18ο μ.χ. εμφανίστηκε η καινοτομία της διάφανης αμφικλινούς στέγης, με τον βόρειο τοίχο να παραμένει κτιστός. Αυτές οι κατασκευές που χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για καλλιέργεια ανανά και σταφυλιού, 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 και διαφόρων εξελιγμένων συστημάτων θέρμανσης.



Τον 19ο αιώνα συστηματοποιήθηκε η χρήση θερμοκηπίου για εμπορική παραγωγή. Στην προσπάθεια για περισσότερο φως αντικαταστάθηκε και ο βόρειος τοίχος από γυαλί. Ο ενδιαφέρων νεωτερισμός κατασκευής πολλαπλών θερμοκηπίων εμφανίστηκε τον αιώνα αυτό. Ο εξαερισμός εκτός από τα παράθυρα γίνεται πια και με μηχανικούς εξαεριστές. Το 1816 χρησιμοποιήθηκε ο πρώτος αυτόματος μηχανικός θερμοστάτης για τον εξαερισμό θερμοκηπίου. Ο χαλκός και ο σίδηρος άρχισαν να χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για το σκελετό όμως το κύριο υλικό παραμένει το ξύλο.

Τον 20ο αιώνα η καλλιέργεια σε θερμοκήπια γίνεται σχεδόν επαγγελματική υπόθεση με ραγδαία αύξηση μετά το 1945. Το γεγονός αυτό αύξησε την απαίτηση για μεγαλύτερο έλεγχο του περιβάλλοντος και καλύτερες κατασκευές με σκοπό την αύξηση της παραγωγής και τη μείωση του κόστους. Τα θερμοκήπια έγιναν ακόμα πιο φωτεινά με τη χρήση μεγαλύτερων κομματιών γυαλιού αλλά και λεπτότερων στοιχείων του σκελετού. Από τη δεκαετία του '50 και μετά η ευρεία χρήση του πλαστικού έκανε τα θερμοκήπια σημαντικά φτηνότερα φέρνοντας επανάσταση στην εξάπλωση των θερμοκηπιακών καλλιεργειών. Τα υλικά κατασκευής του σκελετού είναι πλέον το ξύλο, ο γαλβανισμένος σίδηρος, το αλουμίνιο αλλά και το πλαστικό.

Τα αμφικλινή πολλαπλά θερμοκήπια ήταν τα πιο δημοφιλή στην αρχή του αιώνα όμως με το πέρασμα του χρόνου νέοι τύποι άρχισαν να εμφανίζονται έτσι που στην εποχή μας ο αριθμός τους να είναι πολύ μεγάλος.



Από τη δεκαετία του 70 άρχισε να εφαρμόζεται ευρεία ρύθμιση του περιβάλλοντος με χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων και ειδικά προγραμματισμένων για θερμοκήπια υπολογιστών. 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 ηλιακής ακτινοβολίας, ο φωτισμός, το επίπεδο του CO₂ και πολλοί άλλοι παράγοντες και μάλιστα από απόσταση από το θερμοκήπιο. Έτσι η χρήση των θερμοκηπίων επεκτάθηκε στην καλλιέργεια όλο το χρόνο διαφόρων κηπευτικών και ανθοκομικών προϊόντων. Η χώρα με τη μεγαλύτερη έκταση θερμοκηπίων στον κόσμο είναι η Ιαπωνία ακολουθούν η Ιταλία, η Ισπανία και η Ολλανδία. Υψηλές συγκεντρώσεις θερμοκηπίων παρατηρούνται σε ειδικές περιοχές με ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες. Για παράδειγμα τα περισσότερα από τα θερμοκήπια στην Γαλλία βρίσκονται κατά μήκος της Μεσογειακής ζώνης ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό των θερμοκηπίων της Ισπανίας βρίσκονται στην περιοχή της Αλμερίας (Briassoulis et al, 1997).

Η Ελλάδα κατέχει την έβδομη θέση στην Ευρωπαϊκή Ένωση σε θερμοκηπιακή εδαφική κάλυψη με το 45% να βρίσκεται στην Κρήτη και έχει πολλά περιθώρια για επιπλέον στρεμματική ανάπτυξη αν θεωρήσουμε ότι η Ισπανία έχει επτά φορές μεγαλύτερη στρεμματική κάλυψη και η Ιταλία πέντε. Τα θερμοκήπια στην Ελλάδα είναι σε μεγάλο ποσοστό με πλαστικό κάλυμμα και αυτό έχει σαν συνέπεια μια υστέρηση στην διαμόρφωση των ελεγχόμενων συνθηκών για ποιοτική και ποσοτική παραγωγή σε σχέση με τις ανταγωνίστριες χώρες. (Γ.Ν.Μαυρογιαννόπουλος 2001, "Θερμοκήπια") Έτσι παρά τις γενικά ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες της χώρας μας μια σειρά από αιτίες δεν έχουν επιτρέψει να πρωταγωνιστήσει η χώρα μας στην παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων θερμοκηπιακών προϊόντων.

Η ιστορία των θερμοκηπίων δεν τελειώνει εδώ. Η έρευνα συνεχίζεται επιδιώκοντας τη λύση προβλημάτων που αφορούν την κατασκευή και τον εξοπλισμό, την αύξηση της ποσότητας και της ποιότητας της παραγωγής, τη μικρότερη επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος και την προστασία της ανθρώπινης υγείας από την παραγωγική διαδικασία στο θερμοκήπιο

1.3 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Πίνακας 1. Παγκόσμια έκταση θερμοκηπίων (στρ) το 2001

Γεωγραφική περιοχή	Έκταση (στρ.)
Ασία (και Ωκεανία)	1400000
Μεσόγειος	1000000
Βόρεια Ευρώπη	200000
Βόρεια και Νότια Αμερική	200000
Σύνολο	12800000

*πηγή:ICAP

Πίνακας 2. Κατανομή κηπευτικών και ανθοκομικών στα θερμοκήπια της Ελλάδος (2001)

	1995		1996		1997		1998	
	στρ	%	στρ	%	στρ	%	στρ	%
Κηπευτικά	36184	92,8	36221	92,2	37,156	91,7	37935	91,2
Ανθοκομικά	2819	7,2	3097	7,8	3357	8,3	3655	8,8
Σύνολο	39003	100	39288	100	40513	100	41590	100

*πηγή: Υπ. Γεωργίας

Πίνακας 3. Έκταση θερμοκηπίων (στρ) στις Μεσογειακές χώρες (2001)

Μεσογειακή χώρα	Έκταση (στρ)
Ισπανία	283500
Ιταλία	243000
Τουρκία	108000
Γαλλία	91000
Μαρόκο	64650
πρ. Γιουγκοσλαβία	50400
Ελλάδα	39750
Αλγερία	35000
Πορτογαλία	26050
Ισραήλ	25000
Συρία	20000
Τυνησία	14250
Ιορδανία	12000
Λίβανος	11000
Αίγυπτος	8000
Κύπρος	2000
Μάλτα	350
Λιβύη	70
Σύνολο	1034020

*πηγή:ICAP

Πίνακας 4. Εξέλιξη θερμοκηπιακών εκτάσεων στην Ελλάδα

Έτος	Έκταση (στρ)
1955	2
1960	150
1970	12347
1980	26123
1990	36475
1995	39003
1996	39288
1997	40513
1998	41590
1999	42535
2000	42950
2001	43550

*πηγή: Υπ. Γεωργίας

1.4 ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το θερμοκήπιο επηρεάζεται πολύ από τις μεταβαλλόμενες κλιματολογικές συνθήκες και κυρίως από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Μια δυναμική διαχείριση των λειτουργικών απαιτήσεων των θερμοκηπίων, μπορεί να εξασφαλίσει ικανοποιητική ρύθμιση των εμπλεκόμενων παραμέτρων και αντιμετώπιση της αλληλεξάρτησης των ανάλογα του είδους της καλλιέργειας, των κλιματολογικών συνθηκών και των ζητούμενων αποτελεσμάτων. Ο κατάλληλος συνδυασμός των παραγόντων και η επίδρασή τους στην ενεργειακή αποδοτικότητα ενός θερμοκηπιακού συστήματος παραγωγής είναι πολύ δύσκολος αλλά τα τελευταία χρόνια η συσσωρευμένη εμπειρία και η ανάπτυξη διαφόρων υπολογιστικών εργαλείων αυξάνουν τον βαθμό πρόβλεψης της απόκρισής του.(J.W. Mastalerz 1977, “The Greenhouse Environment”).

Η καύση βιομάζας, η χρήση διαφόρων τεχνικών αποθήκευσης θερμότητας την ημέρα για υποβοήθηση των θερμικών αναγκών την νύχτα, οι θερμοκουρτίνες οροφής και η γεωθερμία – όπου αυτή είναι διαθέσιμη – είναι ορισμένοι εναλλακτικοί τρόποι για την εξοικονόμηση συμβατικών ενεργειακών πηγών την περίοδο του χειμώνα. Για την θερινή περίοδο, οι υψηλές τιμές της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και οι αυξημένες θερμοκρασίες αέρα αντιμετωπίζονται συνήθως με τεχνητή αποφυγή περίσσειας φωτισμού, περιορίζοντας την διαπερατότητα του διαφανούς καλύμματος, με πλήρη αερισμό του θερμοκηπίου και σε μερικές περιπτώσεις με διάφορους τρόπους δροσισμού. Εκτός των παραμέτρων αυτών είναι και η διάθεση ικανής ποσότητας CO₂ για τις φωτοσυνθετικές ανάγκες των φυτών. Η ρύθμιση της προσθήκης CO₂ πρέπει να παίρνει υπόψη τις υπάρχουσες ή επιδιωκόμενες τιμές των υπολοίπων προαναφερθέντων παραμέτρων, για την επίτευξη βελτιστοποίησης της δεδομένης φυτικής καλλιέργειας.(Bakker J.C.,Bot G.P.A, Challa H.1995, Greenhouse climate control, Wageningen Rers). Η κατάλληλη αξιοποίηση της

ηλιακής ενέργειας για την αποδοτική ανάπτυξη των καλλιεργειών σε ελεγχόμενες συνθήκες εντάσσεται στην κατεύθυνση της χρήσης εναλλακτικών ενεργειακών πηγών σε υποκατάσταση των συμβατικών πηγών για εξοικονόμηση ενέργειας και προστασία του περιβάλλοντος.

Αναφορικά με την παρεχόμενη ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή που θα χρησιμοποιείται, ένα ολοκληρωμένο θερμοκηπιακό ενεργειακό σύστημα θα λαμβάνει πλήρως υπόψιν τις κλιματολογικές συνθήκες και τα πρότυπα καλλιέργειας. Αναφορικά με την απαίτηση, η προσαρμοστικότητα και ευελιξία του συστήματος λειτουργίας θα το έκανε δυνατόν να ικανοποιεί μια ποικιλία πρότυπων ενεργειακών απαιτήσεων σε χαμηλό κόστος (Rozakis et al, 1996).

Διάφορα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται στα θερμοκήπια (Μαυρογιαννοπουλος 2001).

Πηγή ενέργειας	Θερμαντικό σώμα	Διανομή θερμότητας
Ηλιακή ενέργεια	<ul style="list-style-type: none"> παθητικοί συλλέκτες δυναμικοί συλλέκτες αποθήκες θερμότητας 	θερμό νερό θερμός αέρας
Γεωθερμική ενέργεια	<ul style="list-style-type: none"> απ' ευθείας χρήση μεταλλάκτες θερμότητας αντλίες θερμότητας 	θερμό νερό θερμός αέρας
Απόβλητη ενέργεια βιομηχανίας	<ul style="list-style-type: none"> απ' ευθείας χρήση μεταλλάκτες θερμότητας αντλίες θερμότητας 	θερμό νερό σε σωλήνες θερμός αέρας
Άνεμος	<ul style="list-style-type: none"> μηχανική δύναμη αποθήκευση θερμότητας ηλεκτρόθεμα 	θερμό νερό θερμός αέρας
Ξηρή βιομάζα	<ul style="list-style-type: none"> καυστήρες ξηρών καυσίμων 	θερμό νερό θερμός αέρας
Βιοαέριο	<ul style="list-style-type: none"> καυστήρες αερίου 	θερμό νερό θερμός αέρας
Υδατοπτώσεις	<ul style="list-style-type: none"> μηχανική δύναμη ηλεκτρόθεμα 	θερμό νερό θερμός αέρας
Νερό ή αέρας	<ul style="list-style-type: none"> Αντλία θερμότητας 	θερμό νερό θερμός αέρας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, έχει εγκατασταθεί στο χώρο του θερμοκηπίου που διατίθεται στο ΤΕΙ/Μ, διάταξη συλλογής και καταχώρησης δεδομένων (Data Logger). Επίσης έχει πραγματοποιηθεί προμήθεια υλικών και εξοπλισμού για τις μετρήσεις καθώς και των επιπλέον ενεργειακών συσκευών που θα εξεταστούν. Στις συσκευές αυτές έχει πραγματοποιηθεί η δοκιμαστική λειτουργία και οι απαραίτητες ρυθμίσεις τόσο των επιμέρους όσο και της όλης διάταξης ώστε να είναι έτοιμη για την λήψη των απαραίτητων δεδομένων κατά την περίοδο λειτουργίας του θερμοκηπίου.

Οι ελάχιστοι παράμετροι που μετρούνται και καταχωρούνται στον Data Logger είναι η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία του αέρα εντός και εκτός του θερμοκηπίου, η υγρασία και η ταχύτητα του πνέοντος ανέμου. Η συσχέτιση των ληφθέντων πειραματικών αποτελεσμάτων των παραμέτρων αυτών θα εξεταστεί ως προς την βέλτιστη ανάπτυξη των φυτών του θερμοκηπίου. Επιπλέον μαζί με αυτές τις παραμέτρους, γίνεται μέτρηση της μικρού μήκους ηλιακής ακτινοβολίας και της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (PAR) στο επίπεδο των φυτών με την μέθοδο της σάρωσης του θερμοκηπίου.

Η ερευνητική και πειραματική μελέτη που γίνεται, στοχεύει στην βελτίωση των συνθηκών φωτισμού του χώρου εντός του θερμοκηπίου σε σχέση με τις ανάγκες των καλλιεργούμενων φυτών και παράλληλα η ενεργειακή αξιοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που υφίστανται στην ανάλυση του προβλήματος είναι αναγκαία η καταγραφή των μεταβολών τους επί ενός θερμοκηπίου για ένα τουλάχιστον έτος, ενώ παράλληλα κρίνεται χρήσιμη η λήψη και επεξεργασία των μετεωρολογικών στοιχείων της τοποθεσίας που είναι εγκατεστημένο το θερμοκήπιο. Τα στοιχεία αυτά θα αξιοποιηθούν για την ανάλυση των συνθηκών στη διάρκεια του έτους, ώστε να καθοριστούν οι συγκεκριμένες συσχετίσεις του φωτισμού, της θερμοκρασίας και της υγρασίας που προκύπτουν σε συνδυασμό με την προσπίπτουσα ακτινοβολία και ταχύτητα του πνέοντος ανέμου.

2.2 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Ο εξοπλισμός που εγκαταστάθηκε εντος του υαλόφρακτου θερμοκηπίου συνδέεται μέσω θερμοζευγών, με ηλεκτρονικό υπολογιστή που υπάρχει και είναι:

Καταχωρητής δεδομένων, DATA LOGGER CR10X, οίκου Campbell Scientific.

Ο CR10X είναι ένας μικρός ερμητικά κλειστός μέσα σε ανοξείδωτο περίβλημα data logger, ο οποίος έχει ενσωματωμένη εξαιρετικά μεγάλη υπολογιστική ισχύ για συλλογή και επεξεργασία στοιχείων. Έχει 12 αναλογικές εισόδους (6 διαφορικές) με RESOLUTION 13 BIT, δύο απεριθμητικές εισόδους, τρεις εξόδους διέγερσης αισθητηρίων (για τα αισθητήρια που απαιτούν κάποια τάση προκειμένου να παράγουν σήμα) και 8 ψηφιακές θύρες I/O. Έχει επίσης ενσωματωμένο ρολόι πραγματικού χρόνου ακριβείας $\pm 1\text{min}/\text{μήνα}$. Η χωρητικότητα της μνήμης του CR10X είναι 128KB για αποθήκευση άνω των 60.000 τιμών.

Βάσει προγραμμάτων και εντολών καταχωρημένων στη μνήμη του, ο CR10X προβαίνει σε δειγματοληψία και συλλογή των σημάτων των αισθητήριων, υπολογίζει μέσους όρους, μέγιστα, ελάχιστα, άνυσμα ανέμου, ιστογράμματα κλπ ανά προγραμματιζόμενα διαστήματα, και καταχωρεί τις τιμές στη μνήμη εξόδου, απ' όπου μπορούν να μεταφερθούν σε κάρτα αποθήκευσης, σε μνήμη στερεάς δομής ή σε υπολογιστή απ' ευθείας, μέσω τηλεφωνικής γραμμής, μέσω κινητής τηλεφωνίας, μέσω πομποδέκτη, ή ακόμη και με συνδυασμό των παραπάνω τρόπων.

Ο CR10X διαθέτει ενσωματωμένα προγράμματα γραμμικοποίησης (LINEARIZATION) των PRT και θερμοζευγών τύπου T, E, K, J επιτρέποντας την μέτρηση και αποθήκευση των θερμοκρασιών κατ' ευθείαν σε °C. Αισθητήρες με έξοδο σήματος σε mA (0-10mA, 0-20mA, 4-20mA) συνδέονται στις αναλογικές εισόδους μέσω αντιστάσεων ακριβείας. Ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών δειγματοληψιών είναι προγραμματιζόμενος από το δέκατο του δευτερολέπτου μέχρι πολλές ώρες (η μέγιστη ταχύτητα σάρωσης εξαρτάται από το είδος της μέτρησης, τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων εισόδων και το είδος των υπολογισμών που έχουν προγραμματισθεί). Ο ρυθμός δειγματοληψίας μπορεί να προγραμματίζεται για όλους τους αισθητήρες, για ομάδες αισθητήρων ή και για κάθε αισθητήρα χωριστά. Οι λαμβανόμενες μετρήσεις μπορούν να καταχωρηθούν στη μνήμη εξόδου αυτούσιες ή αφού υποστούν κάποια επεξεργασία.

Τα κανάλια εισόδου του CR10X μπορούν να επεκταθούν με διάφορες μονάδες (MODULES). Διατίθεται η μονάδα AM16/32 για 32 διαφορετικές (64 απλές) αναλογικές εισόδους, η μονάδα SDM-INT8 για 8 κανάλια μέτρησης συχνότητας, περιόδου ή αριθμού παλμών, συχνότητας ή καταστάσεων, η μονάδα SDM-SW8A για 8 κανάλια μέτρησης κλεισίματος επαφής, η μονάδα SDM-A04 για 4 αναλογικές εξόδους και η μονάδα SDM-CD16D για επέκταση των εξόδων ελέγχου (CONTROL OUTPUTS) κατά 16. Μέσω των ανωτέρω μονάδων είναι δυνατόν να συνδεθούν στον CR10X περισσότεροι από 300 αισθητήρες.

Ο CR10X μπορεί να συνδεθεί με H/Y προκειμένου να μεταφερθούν οι στιγμιαίες ή αποθηκευμένες μετρήσεις, να αλλάξει ο προγραμματισμός του, να ελεγχθεί η ημερομηνία και ώρα κ.λ.π. Για την επικοινωνία του CR10X με τον H/Y και τη μεταφορά των μετρήσεων χρησιμοποιείται το πρόγραμμα CONNECT που περιλαμβάνεται στο λογισμικό LoggerNet της CAMPBELL SCIENTIFIC. Το CONNECT εφαρμόζει ειδικές τεχνικές κωδικοποίησης των δεδομένων και χρησιμοποιεί ειδικό αλγόριθμο μετάδοσης μέσω του οποίου εξασφαλίζεται η ασφαλής τηλεμετάδοση των μετρήσεων. Το λογισμικό LoggerNet περιλαμβάνει επίσης ειδικό editor για την εκπόνηση των προγραμμάτων του Data logger, πρόγραμμα πινακοποίησης και στατιστικής επεξεργασίας των μετρήσεων και πρόγραμμα άντλησης των μετρήσεων από εξωτερικές μονάδες μνήμης.



Πυρανόμετρο για μέτρηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2) και
Ανεμόμετρο για μέτρηση του πνέοντος ανέμου (m/sec).



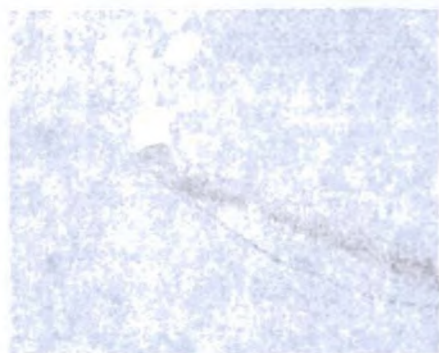
Ανεμόμετρο: Περιοχή μετρήσεων 0 - 75 m/sec και ακρίβεια μετρήσεων 0.1% (+/- 0.1 m/sec). Κατώφλι λειτουργίας 0.25 m/sec, σταθερά απόστασης 2.5 m. Ο αισθητήρας διαθέτει παλμική έξοδο και θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας -30 έως +70 °C. Τελος ο αισθητήρας δεν απαιτεί εξωτερική τροφοδοσία.

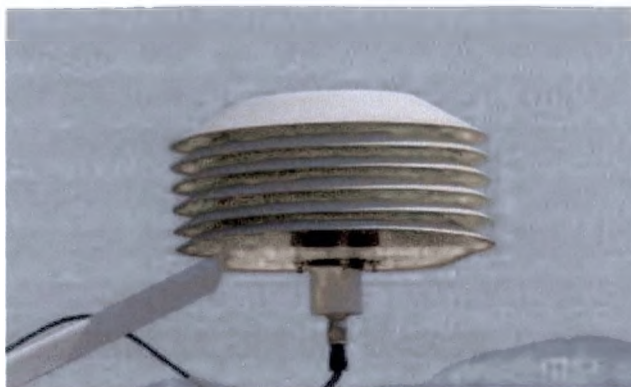
Πυρανόμετρο: Εύρος φασματικής ανταπόκρισης 400-1100 nm με απόκλιση $\pm 5\%$ εξαρτώμενο από τις συνθήκες καλιμπραρίσματος και χρόνος ανταπόκρισης < 1sec. Είναι τύπου σιλικόνης με φωτοδίοδο η οποία ανάλογα της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που περνάει, παράγει τάση. Αναμενόμενο εύρος σήματος κάτω από ατμοσφαιρικές συνθήκες 0-0.2 V. Ευαισθησία οργάνου 100 $\mu V/W/m^2$ και θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας -30 έως 70 °C .

Παρόμετρο για μέτρηση των φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας(PAR).



Παρόμετρο: Εύρος φασματικής ανταπόκρισης 400-700 nm με απόκλιση $\pm 10\%$ και χρόνος ανταπόκρισης < 0.1sec. Τύπου σιλικόνης με φωτοδίοδο η οποία ανάλογα της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που περνάει, παράγει τάση. Αναμενόμενο εύρος σήματος κάτω από ατμοσφαιρικές συνθήκες 0-12 mV. Ευαισθησία οργάνου 4-6 $\mu V/\mu mol/m^2s$, θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας -30 έως 70 °C και υγρασίας 0-100%.



Υγρασιόμετρο για μέτρηση της υγρασίας – θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου.

Η περιοχή μέτρησης της θερμοκρασίας είναι -40 έως $+60$ $^{\circ}\text{C}$ και η τυπική ακρίβεια μέτρησης της θερμοκρασίας αέρα είναι καλύτερη από 0.2 $^{\circ}\text{C}$. Η διακριτική ικανότητα – ανάλυση του αισθητήρα θερμοκρασίας είναι 0.125 $^{\circ}\text{C}$ και η διακριτική ικανότητα – ανάλυση του αισθητήρα σχετικής υγρασίας είναι 0.025% . Η περιοχή μέτρησης της υγρασίας είναι $0 - 100\%$ και η ακρίβεια μέτρησης της σχετικής υγρασίας είναι καλύτερη από 2%

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF THE HISTORY OF ARTS
RESEARCH CENTER



UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF THE HISTORY OF ARTS
RESEARCH CENTER
1100 EAST 58TH STREET
CHICAGO, ILLINOIS 60637
TEL: (773) 936-3333
FAX: (773) 936-3334
WWW: WWW.HA.UCHICAGO.EDU

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF THE HISTORY OF ARTS
RESEARCH CENTER
1100 EAST 58TH STREET
CHICAGO, ILLINOIS 60637
TEL: (773) 936-3333
FAX: (773) 936-3334
WWW: WWW.HA.UCHICAGO.EDU

THE UNIVERSITY OF CHICAGO
DEPARTMENT OF THE HISTORY OF ARTS
RESEARCH CENTER
1100 EAST 58TH STREET
CHICAGO, ILLINOIS 60637
TEL: (773) 936-3333
FAX: (773) 936-3334
WWW: WWW.HA.UCHICAGO.EDU

2.3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΤΕΙ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ

Ο Μετεωρολογικός Σταθμός του ΤΕΙ είναι εγκατεστημένος σε περιφραγμένο χώρο 2.000 τ.μ. στις εγκαταστάσεις του Ιδρύματος και σε θέση τέτοια ώστε να μην επηρεάζονται οι μετρήσεις από κτίρια και κυκλοφορία, και πληρεί τις προδιαγραφές WMO. Διαθέτει τους αισθητήρες: ανεμόμετρο, ανεμοδείκτης, θερμόμετρο, αισθητήρα σχετικής υγρασίας, βροχόμετρο, βαρόμετρο, πυρανόμετρο, αισθητήρα διάρκειας ηλιοφάνειας, αισθητήρα θερμοκρασίας εδάφους, αισθητήρα υγρασίας εδάφους, αισθητήρα ανίχνευσης δρόσου/ παγετού.

Φέρει ιστό σωληνωτού τύπου συνολικού ύψους 10 μέτρων πάνω στον οποίο είναι τοποθετημένοι οι αισθητήρες ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου, θερμοκρασίας και υγρασίας αέρα, βαρομετρικής πίεσης και ολικής ηλιακής ακτινοβολίας. Διαθέτει αλεξικέρανο με αγωγή γείωσης 70mm², και γείωση τύπου τριγώνου.

Ο Σταθμός διαθέτει τηλεμετρική ζεύξη με ζεύγος Radio Modems στην περιοχή των 900 MHz, με μια κεραία τύπου YANGI 3 DB, και μια τύπου OMNI. Φέρει σύστημα τροφοδοσίας με ηλιακό συλλέκτη και επαναφορτιζόμενες μπαταρίες για την τροφοδοσία του data logger, και ανεξάρτητο σύστημα τροφοδοσίας με ηλιακό συλλέκτη και επαναφορτιζόμενη μπαταρία για το Radio Modem.



124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

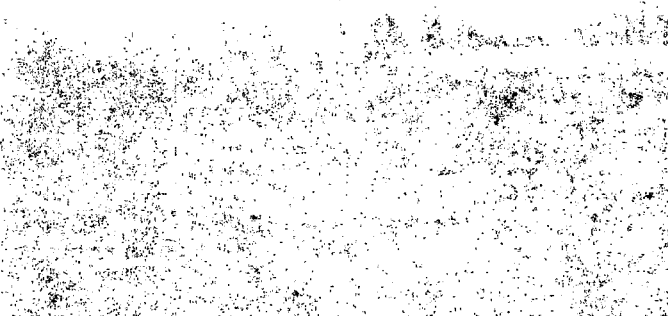
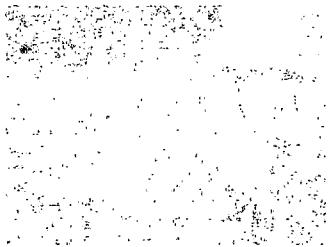
196

197

198

199

200



2.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

2.4.1 Αποτελέσματα Μετεωρολογικού Σταθμού Τει/Μ

Ελήφθησαν και επεξεργαστήκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού του ΤΕΙ/Μ για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που έχουν άμεση επίδραση στο διαμορφούμενο εσωτερικό κλίμα του θερμοκηπίου και θα χρησιμοποιηθούν για εκτίμηση του ενεργειακού υπολογισμού του θερμοκηπίου σε ενδεχόμενη χρήση φακών Fresnel και τα οποία είναι:

- η ηλιακή ακτινοβολία ημέρας (W/m^2)
- η θερμοκρασία ημέρας και νύχτας ($^{\circ}C$),
- η ταχύτητα ανέμου ημέρας και νύχτας (m/sec) και
- η σχετική υγρασία RH (%)

Δημιουργήθηκε ο πίνακας 1 στον οποίο παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές των παραμέτρων αυτών και τα συνδυαστικά διαγράμματα (1) και (2) των προαναφερθέντων παραμέτρων στα οποία παρατηρούμε:

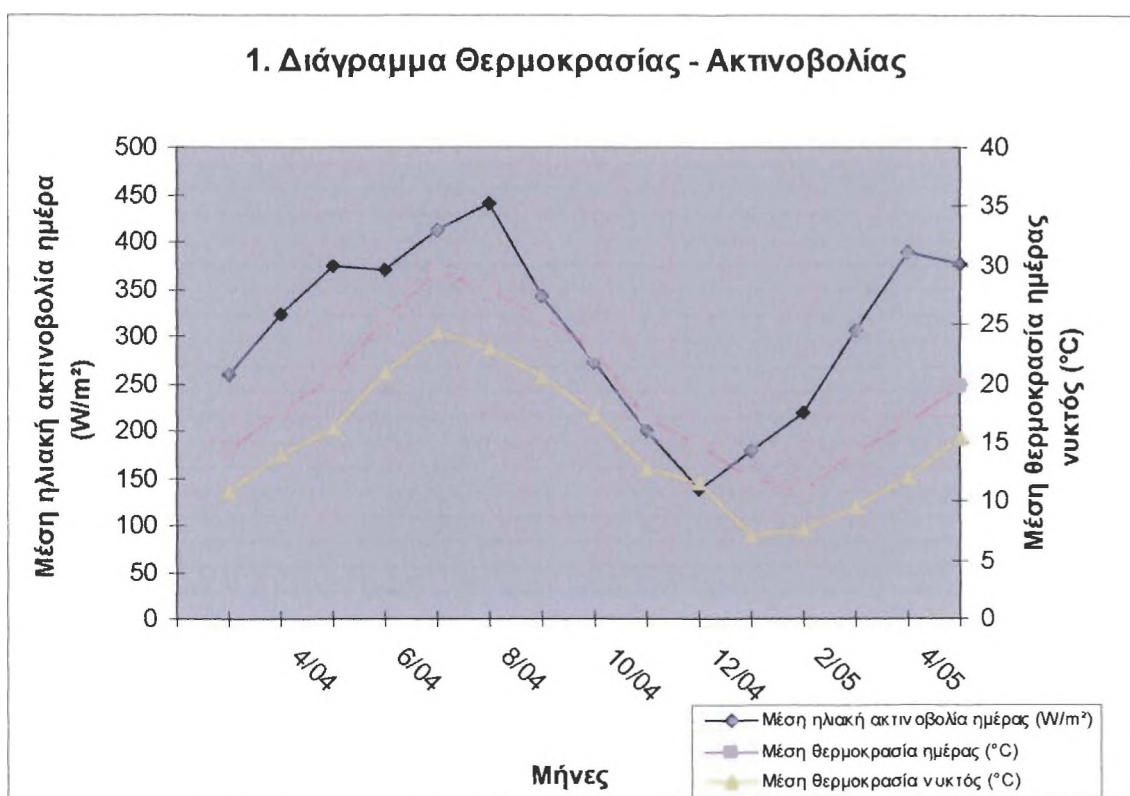
Στο διάγραμμα (1) μεταβολής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας, η μέση ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε ετήσια βάση γίνεται αυξητική κατά το εξάμηνο Απρίλιο-Σεπτέμβριο παρουσιάζοντας μέγιστα τους καλοκαιρινούς μήνες. Η μεταβολής της μέσης ημερήσιας και νυχτερινής θερμοκρασίας είναι ανάλογη με την μεταβολή της έντασης της ακτινοβολίας.

Στο διάγραμμα (2) μεταβολής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της ταχύτητας του πνέοντος ανέμου η μέση ταχύτητα του ανέμου αντίθετα παρουσιάζει αυξητική συμπεριφορά κατά το εξάμηνο Νοεμβρίου-Απριλίου με μέγιστα τους χειμερινούς και πρώτους ανοιξιάτικους μήνες. Σύμφωνα με τις μέσες μηνιαίες τιμές της ταχύτητας του ανέμου που παρουσιάζονται στον πίνακα 1 στις τοπικά επικρατούσες συνθήκες της περιοχής του θερμοκηπίου οι ταχύτητες του ανέμου είναι σχετικά μικρές και δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα αρνητικά την θερμοκρασία περιβάλλοντος άρα και το εγκατεστημένο πλησίον θερμοκήπιο. Γενικά η ένταση του πνέοντος ανέμου επηρεάζει αρχικά το περίβλημα του θερμοκηπίου και στην συνέχεια την εσωτερική θερμοκρασία του, ιδίως την χειμερινή περίοδο, αυξάνοντας έτσι τις ανάγκες διατήρησης της απαραίτητης θερμοκρασίας στο εσωτερικό του.

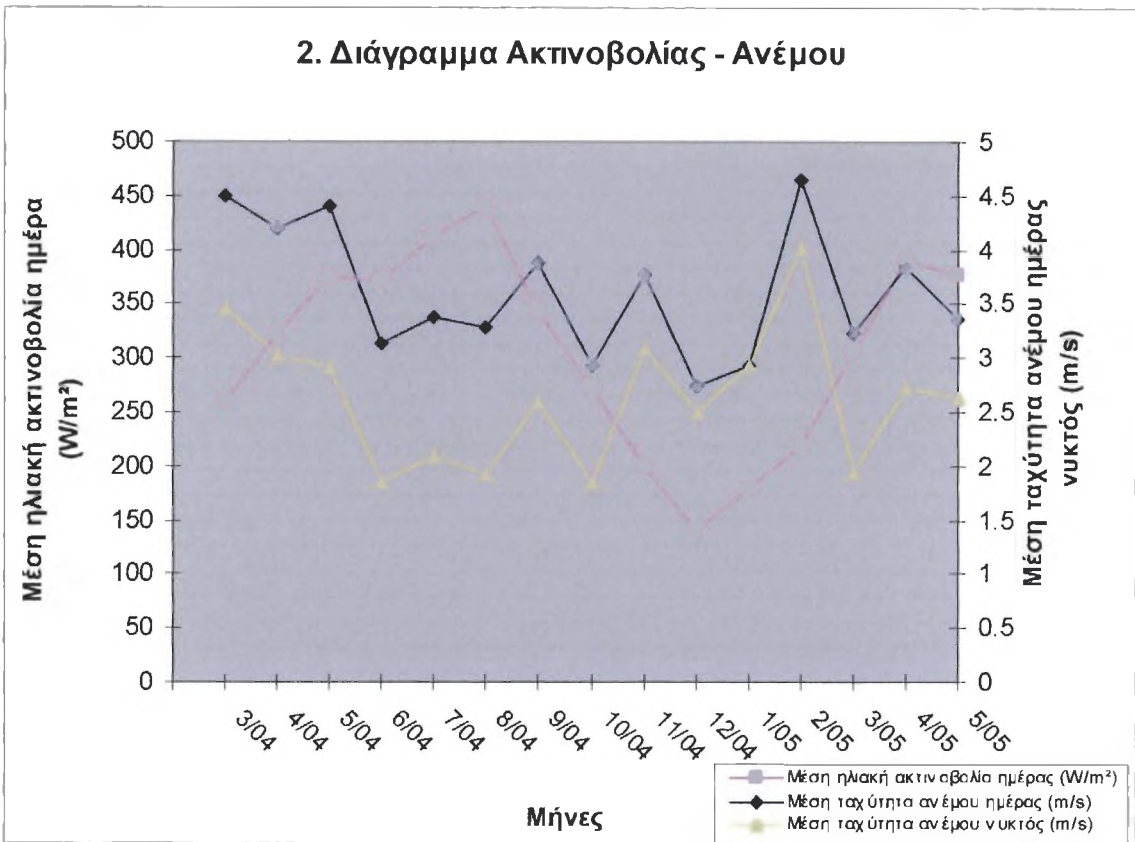
Στο διάγραμμα (3) μεταβολής της σχετικής υγρασίας η μέση σχετική υγρασία καθ' όλη την διάρκεια του έτους παραμένει αφενός σχετικά υψηλή και αφετέρου σχετικά σταθερή (60%-80%) λόγω της γειννίας της περιοχής του Μετεωρολογικού σταθμού με την λιμνοθάλασσα του Μεσολογίου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Μέσες Μηνιαίες Τιμές Δεδομένων Μετεωρ/κού Σταθμού Τει/Μ

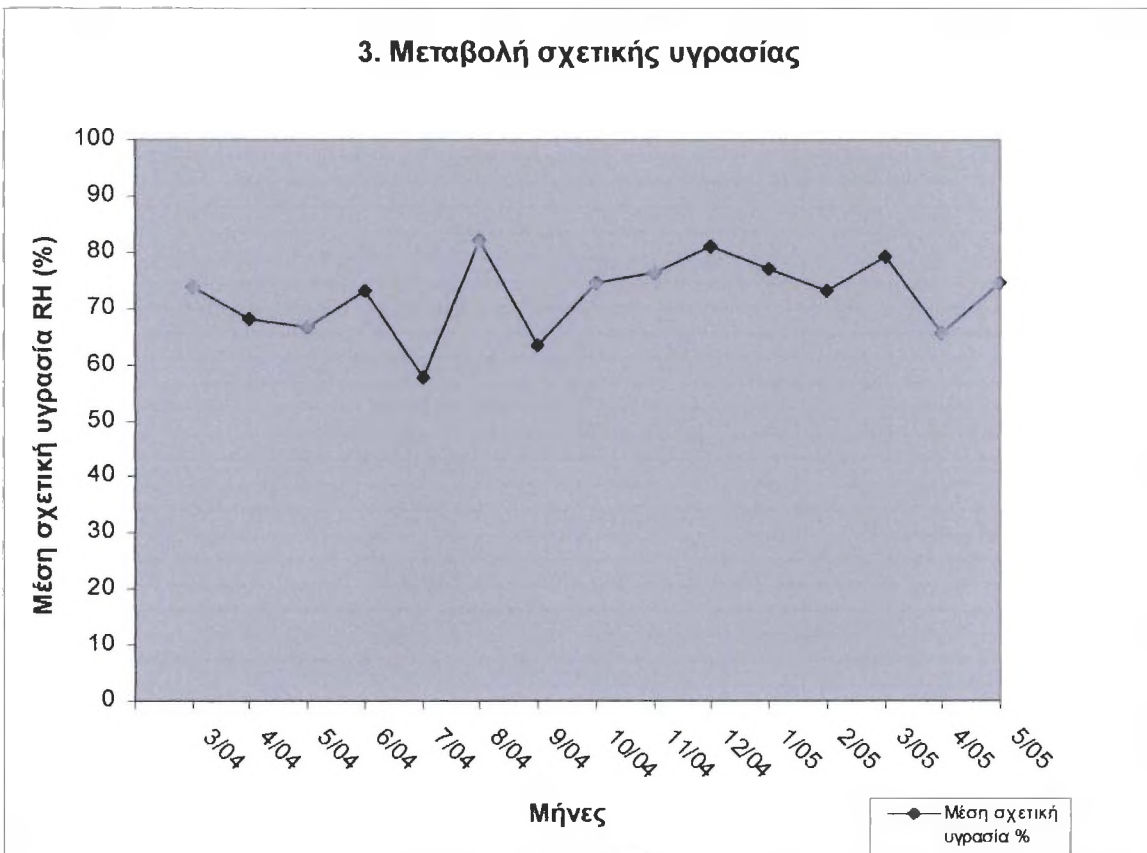
ΜΗΝΕΣ	Μέση θερμοκρασία ημέρας (°C)	Μέση σχετική υγρασία %	Μέση ηλιακή ακτινοβολία ημέρας (W/m ²)	Μέση ταχύτητα ανέμου ημέρας (m/s)	Μέση θερμοκρασία νυκτός (°C)	Μέση ταχύτητα ανέμου νυκτός (m/s)
Μάρτιος 2004	14.3	73.7	259.0	4.5	10.9	3.5
Απρίλιος 2004	17.8	68.1	323.0	4.2	14.0	3.0
Μάιος 2004	20.5	66.6	374.7	4.4	16.2	2.9
Ιούνιος 2004	25.5	73.2	371.1	3.1	20.9	1.9
Ιούλιος 2004	29.4	57.8	413.1	3.4	24.3	2.1
Αύγουστος 2004	27.9	82.1	440.6	3.3	23.0	1.9
Σεπτέμβριος 2004	25.7	63.5	342.5	3.9	20.6	2.6
Οκτώβριος 2004	22.8	74.6	272.4	2.9	17.3	1.8
Νοέμβριος 2004	17.0	76.3	199.7	3.8	12.7	3.1
Δεκέμβριος 2004	14.8	81.0	139.0	2.7	11.5	2.5
Ιανουάριος 2005	11.8	76.9	178.9	2.9	7.2	2.9
Φεβρουάριος 2005	10.9	73.2	218.4	4.6	7.7	4.0
Μάρτιος 2005	14.1	79.2	305.9	3.2	9.5	1.9
Απρίλιος 2005	16.6	65.4	390.0	3.9	12.1	2.7
Μάιος 2005	19.8	74.6	376.5	3.4	15.2	2.6



2. Διάγραμμα Ακτινοβολίας - Ανέμου



3. Μεταβολή σχετικής υγρασίας



2.4.2 Αποτελέσματα Μεταβολής των Παραμέτρων του Θερμοκηπίου.

Αναλύοντας τα διαγράμματα της μεταβολής της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο, της μεταβολής της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, της μεταβολή της ταχύτητας του πνέοντος άνεμου και της μεταβολής της σχετικής υγρασίας παρουσιάζονται σε εβδομαδιαία (9 εβδομάδες) και εποχιακή (Μάρτιος-Απρίλιος-Μάιος) βάση, από την επεξεργασία των δεδομένων του Data logger εντός του θερμοκηπίου, παρατηρούμε τα εξής:

Αυξανόμενης της έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας τόσο σε ημερήσια όσο και σε εποχιακή βάση αυξάνεται η θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου (διαγράμματα εβδομαδιαίας μεταβολής ημερήσιας ακτινοβολίας και θερμοκρασίας).

Η διερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία εντός του θερμοκηπίου είναι το 40%-50% της προσπίπτουσας περίπου. Αυτό οφείλεται τόσο στην ανάκλαση μέρους της προσπίπτουσας ($\approx 20\%$) όσο και στην απορρόφηση μέρους της από το υλικό κάλυψης. Οι εναέριες εγκαταστάσεις στο εσωτερικό του θερμοκηπίου καθώς και δευτερεύοντα στοιχεία του θερμοκηπίου μειώνουν σημαντικά το ποσοστό της διερχόμενης πια από το κάλυμμα του θερμοκηπίου ηλιακής ακτινοβολίας. (διαγράμματα εβδομαδιαίας μεταβολής προσπίπτουσας και εισερχόμενης ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο).

Η μεταβολή του ανέμου είναι έντονη καθ' όλη την διάρκεια της περιόδου και αυτό φαίνεται στα εβδομαδιαία διαγράμματα, οι δε μεταβολές του δεν παρουσιάζουν κάποια κανονικότητα ώστε να εξαχθεί ασφαλές και χρήσιμο συμπέρασμα κάτι που έγινε στην περίπτωση των δεδομένων του Μετεωρολογικού σταθμού. Αυτό είναι αναμενόμενο γιατί αυτοί οι τρεις μήνες της Άνοιξης για τους οποίους έγιναν τα διαγράμματα μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου παρουσιάζουν μεγάλη αστάθεια και διακυμάνσεις.

Η μεταβολή της ημερήσιας σχετικής υγρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου καθ' όλη την διάρκεια της περιόδου κυμαίνεται μεταξύ 30%-50% με αρκετά υψηλότερες τιμές την νύχτα γιατί την ημέρα η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη. Είναι δε χαρακτηριστικό ότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου μειώνεται η σχετική υγρασία και το αντίστροφο. Αυτό συμβαίνει διότι αυξανόμενης της θερμοκρασίας σε έναν χώρο αυξάνεται η ικανότητα απορρόφησης υδρατμών του αέρα με αποτέλεσμα να μειώνεται η σχετική υγρασία. Γενικά η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι αλληλένδετα συνδεδεμένες όπως παρατηρείται στα εβδομαδιαία συνδυαστικά διαγράμματα θερμοκρασίας, ακτινοβολίας και σχετικής υγρασίας μέσα στο θερμοκήπιο.

Με δεδομένο ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την θερμοκρασία εντός του θερμοκηπίου αξιολογείται η χρήση των γραμμικών (2D) φακών Fresnel, οι οποίοι είναι οπτικά συγκεντρωτικά μέσα μικρού πάχους ($\sim 5\text{mm}$), όσο δηλαδή μιας συνθήκης γυάλινης πλάκας, τα οποία και συγκεντρώνουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε μια γραμμική εστία μικρού εύρους εφαρμογής. Πιο συγκεκριμένα αξιολογείται η εφαρμογή των φακών Fresnel στο θερμοκήπιο κάτω από συνθήκες μεγάλης ηλιοφάνειας και υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος, σε συνδυασμό με γραμμικούς απορροφητές για ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας.

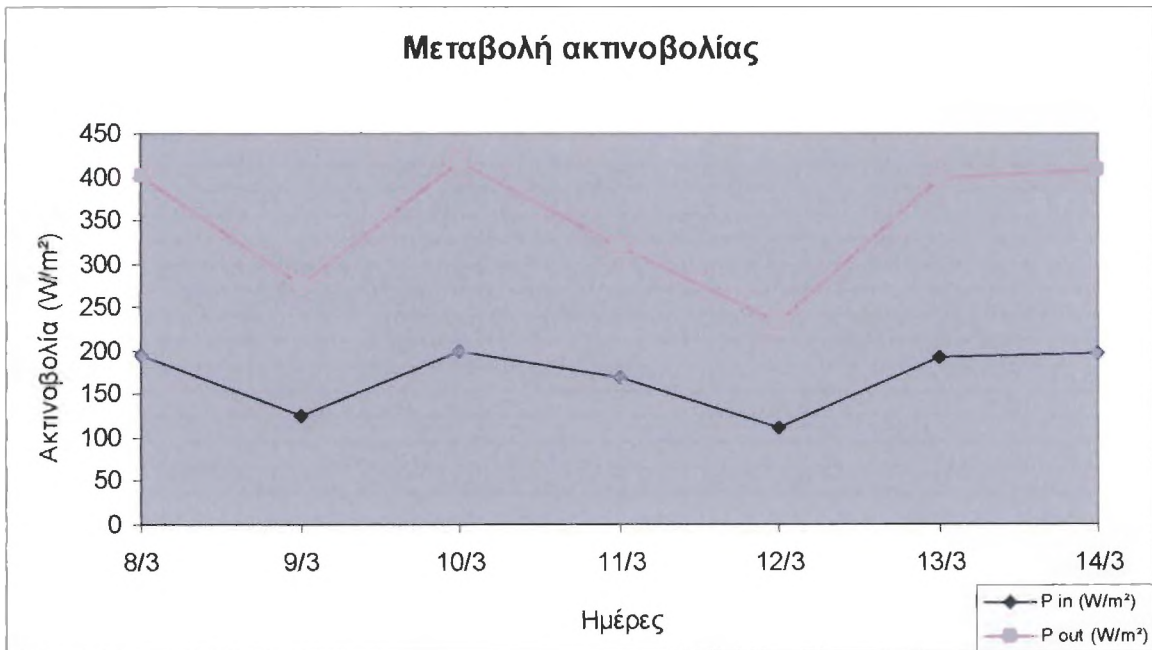
Πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι ο πνέων άνεμος επηρεάζει πολύ το περίβλημα του θερμοκηπίου και κατά συνέπεια την εσωτερική θερμοκρασία του, ιδίως την χειμερινή περίοδο, αυξάνοντας έτσι τις ανάγκες διατήρησης της απαραίτητης θερμοκρασίας στο εσωτερικό του. Η ενέργεια του ανέμου (αιολική ενέργεια) στην περιοχή του θερμοκηπίου μπορεί να αξιοποιηθεί για να καλύψει διάφορες ενεργειακές ανάγκες του σε ηλεκτρισμό και θερμότητα. Η αιολική ενέργεια μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι και συμπληρωματική της ηλιακής ενέργειας επειδή μπορεί να συμβάλλει τόσο κατά την ημέρα όσο και κατά την νύκτα στη διάρκεια όλου του έτους. Μέχρι τώρα έχουν μελετηθεί διατάξεις ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών με ενδιαφέροντα αποτελέσματα (Bristot et al, 2002, Elhadidy and Shaahid, 1999, Kawakami and Seki, 2002). Κατάλληλες αιολικές μηχανές για χρήση στην περιοχή του θερμοκηπίου είναι οι μικρές ανεμογεννήτριες, που πρέπει να είναι αποδοτικές και για μικρές ταχύτητες ανέμου και να είναι αισθητικά συμβατές με το περιβάλλον του θερμοκηπίου, έχοντας ένα σχετικά χαμηλό ύψος. Οι ανεμογεννήτριες (WT) μπορούν να συμβάλλουν στην κάλυψη των αναγκών του θερμοκηπίου σε ηλεκτρισμό, αλλά και ακόμη να αποθηκεύεται η πλεονάζουσα ποσότητα παραγόμενου ηλεκτρισμού σε θερμότητα (Tripanagnostopoulos and Tselepis, 2003), για χρήση στη διάρκεια της νύκτας όπου υπάρχουν ανάγκες διατήρησης της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου.

Η δυνατότητα συνδυασμένης χρήσης Fresnel -φωτοβολταϊκών – θερμικών συλλεκτών - ανεμογεννητριών θα δώσει την δυνατότητα κάλυψης σημαντικού μέρους των αναγκών του θερμοκηπίου σε ηλεκτρισμό και θερμότητα την μεγαλύτερη περίοδο του έτους καθώς επίσης και την εφαρμογή τεχνητού φωτισμού για την επέκταση της περιόδου φωτισμού των φυτών. Μια τέτοια προοπτική θα βελτιώσει τις φωτιστικές και ενεργειακές συνθήκες λειτουργίας του θερμοκηπίου, περιορίζοντας την κατανάλωση συμβατικών ενεργειακών πηγών και συμβάλλοντας κατά συνέπεια στην μείωση του κόστους παραγωγής των προϊόντων και παράλληλα στην προστασία του περιβάλλοντος από τον περιορισμό της χρήσης υδρογονανθράκων.

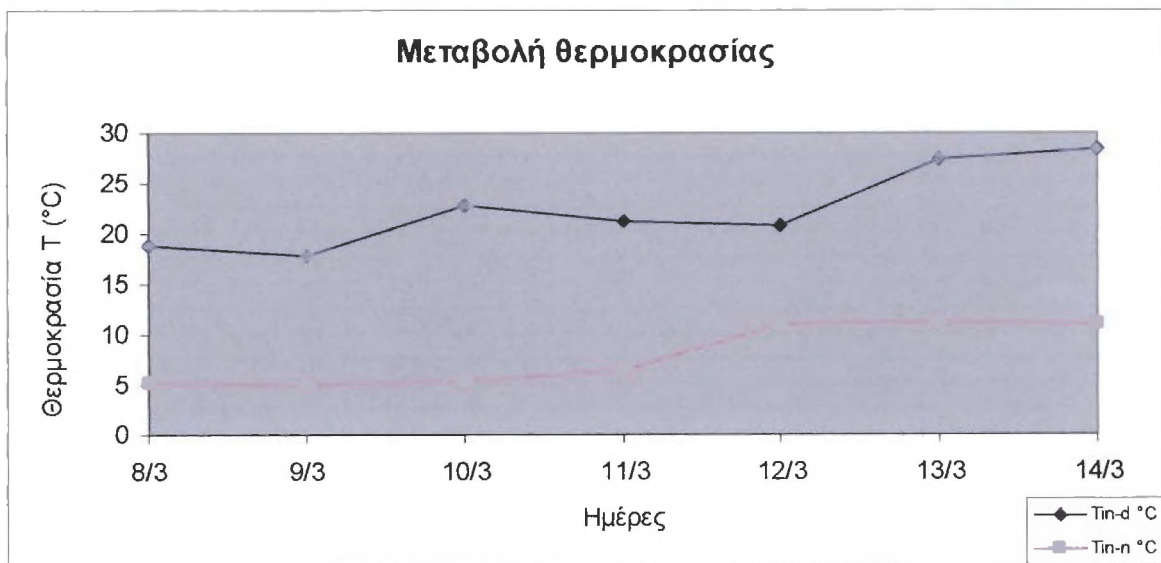
1η ΕΒΔΟΜΑΔΑ

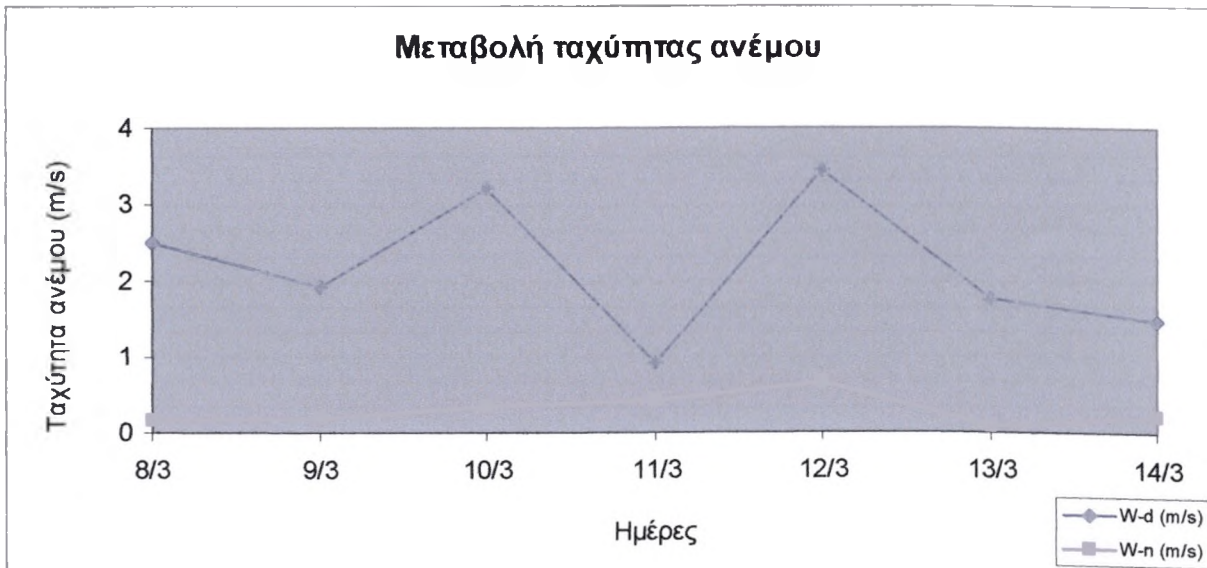
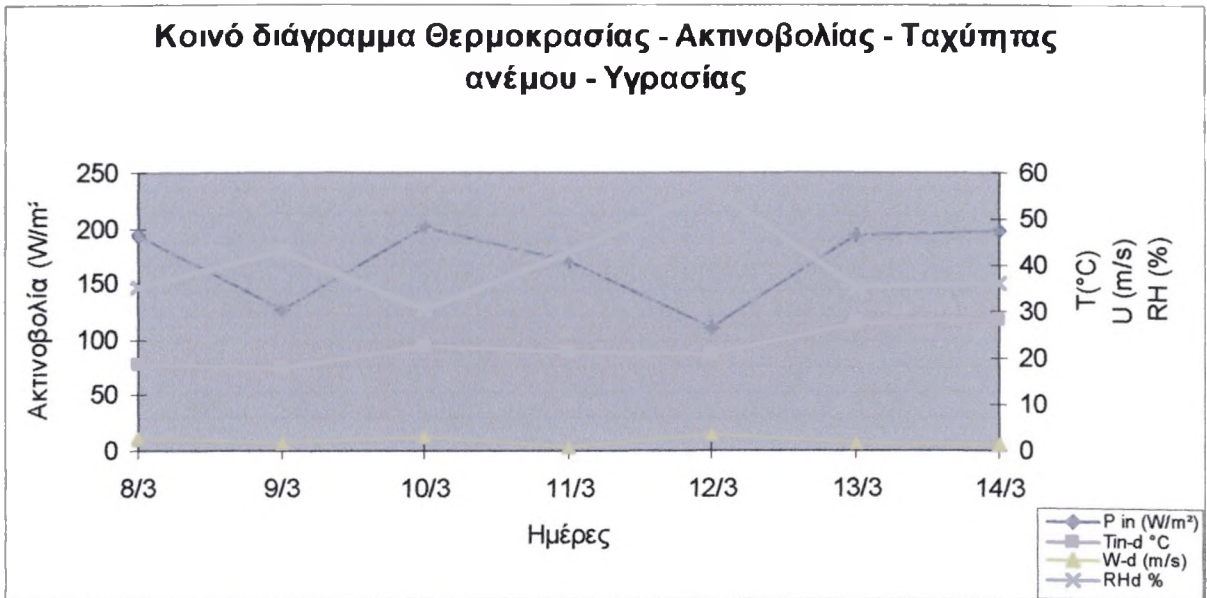
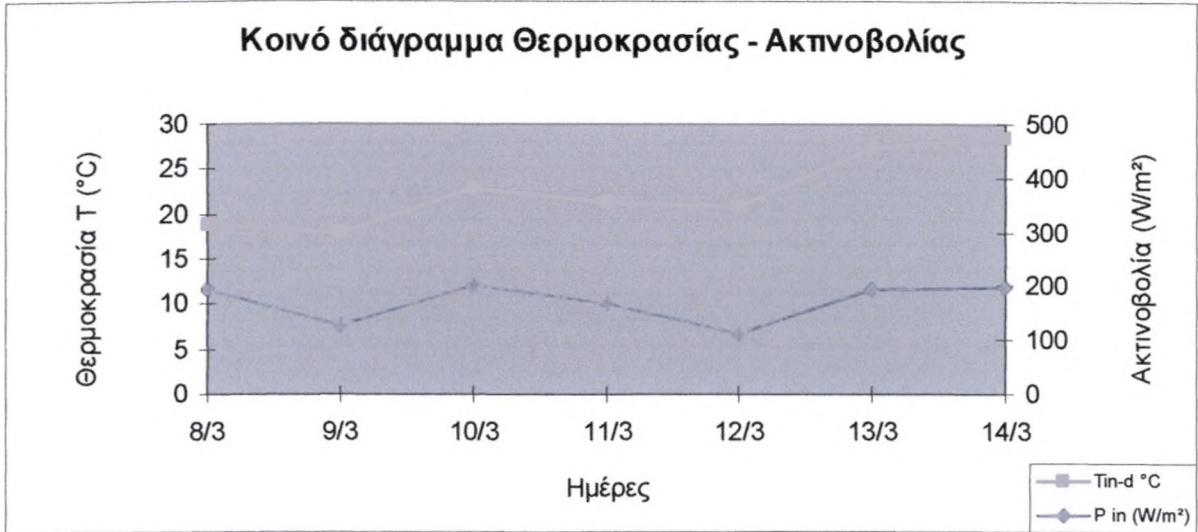
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	7:30-19:30					19:40-7:20		
	T _{in-d} °C	P in (W/m ²)	P out (W/m ²)	W-d (m/s)	RHd %	T _{in-n} °C	W-n (m/s)	RHn %
8/3/2005	18.7	194.7	400.7	2.5	35.4	5.2	0.2	80.1
9/3/2005	17.8	126.1	275.0	1.9	43.2	5.0	0.2	79.9
10/3/2005	22.8	200.3	417.5	3.2	30.3	5.4	0.3	78.0
11/3/2005	21.2	169.6	319.5	0.9	42.5	6.3	0.4	78.4
12/3/2005	20.8	110.4	231.7	3.4	56.4	11.0	0.6	84.5
13/3/2005	27.4	193.1	398.4	1.8	35.1	11.1	0.1	80.8
14/3/2005	28.4	198.0	408.6	1.5	36.1	11.0	0.2	78.70

Μεταβολή ακτινοβολίας



Μεταβολή θερμοκρασίας





1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

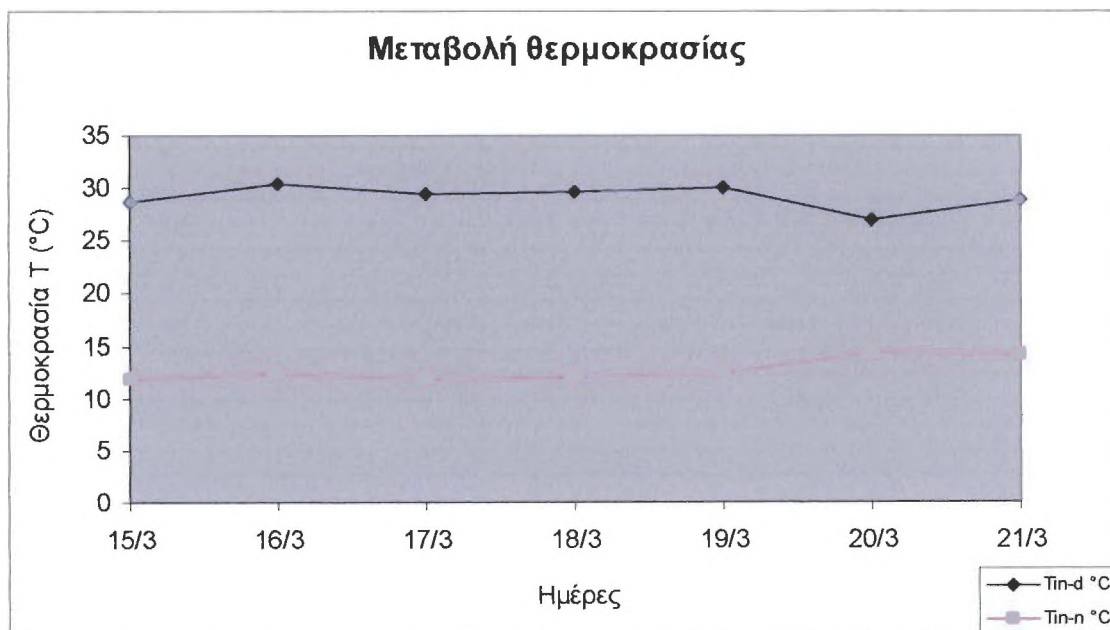
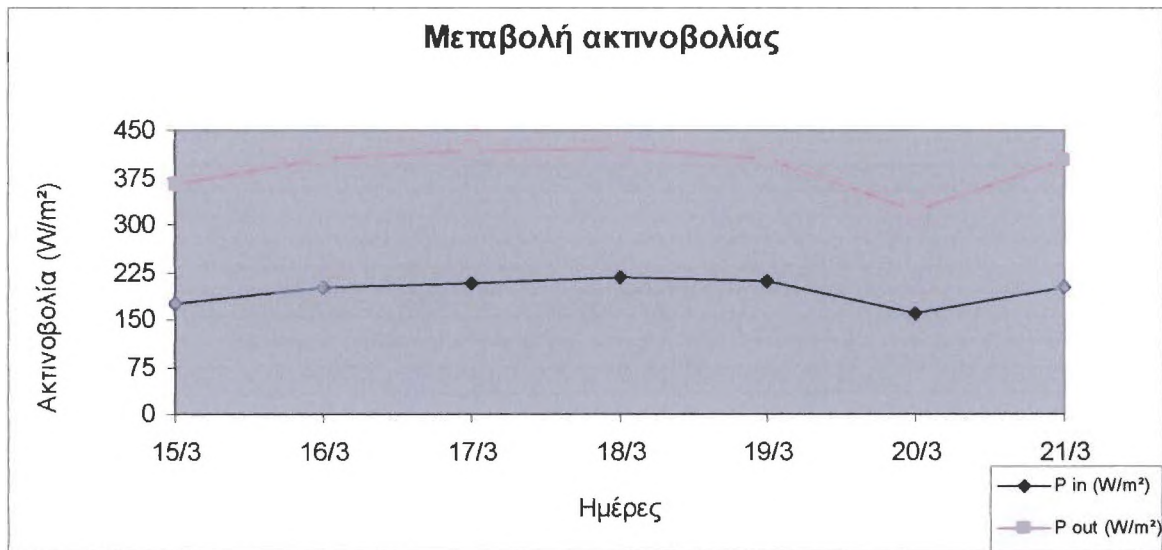
1000

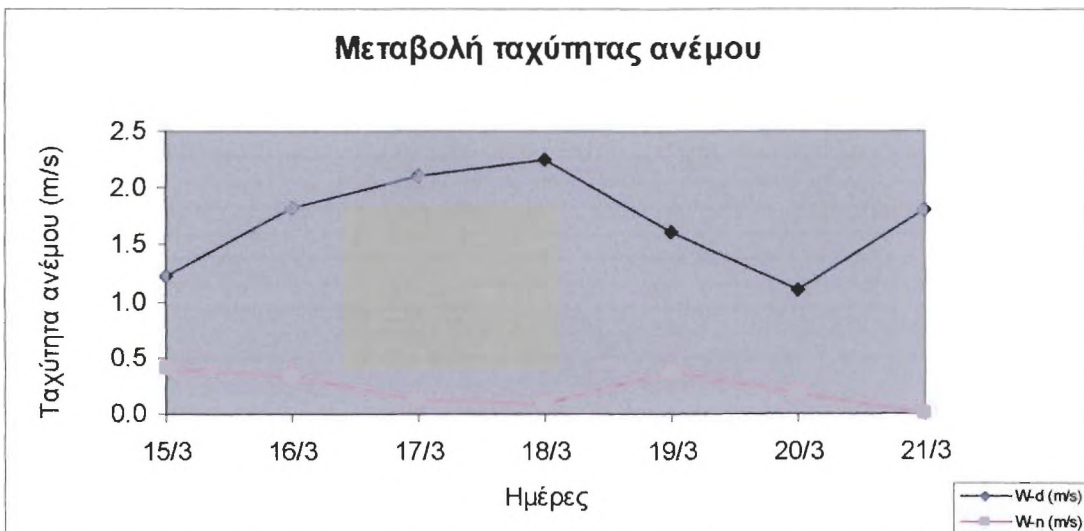
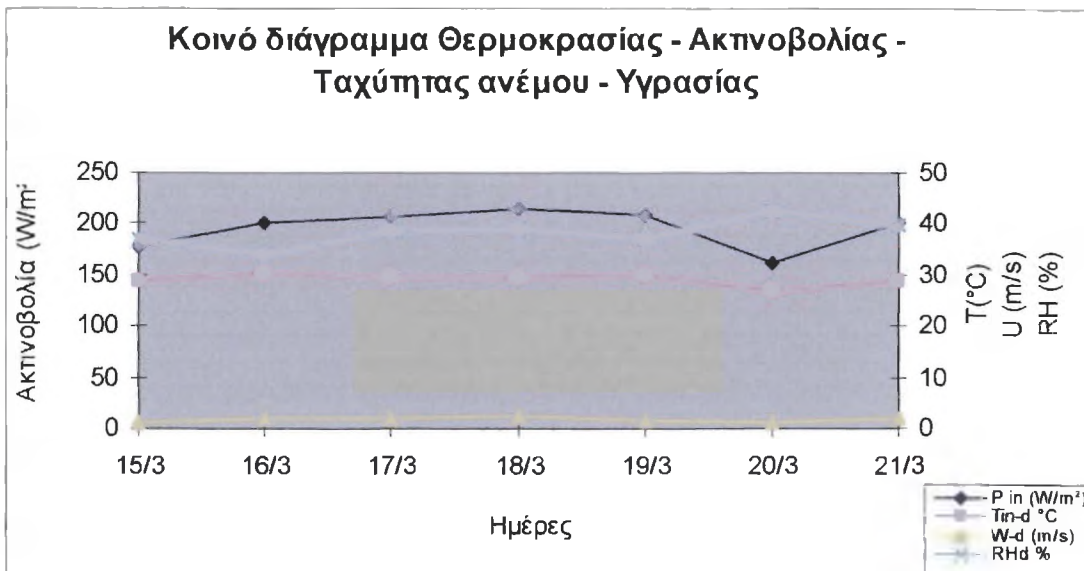
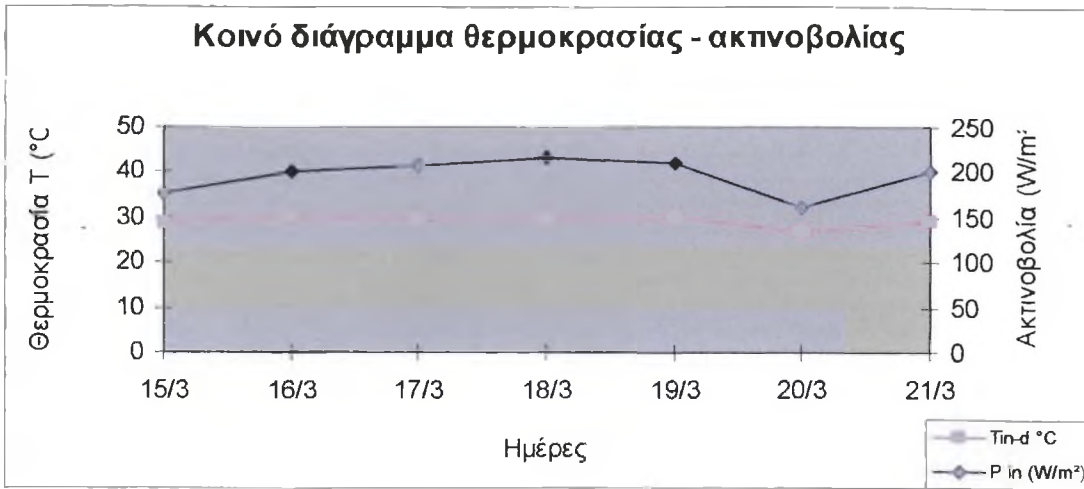
1000

1000

2η ΕΒΔΟΜΑΔΑ

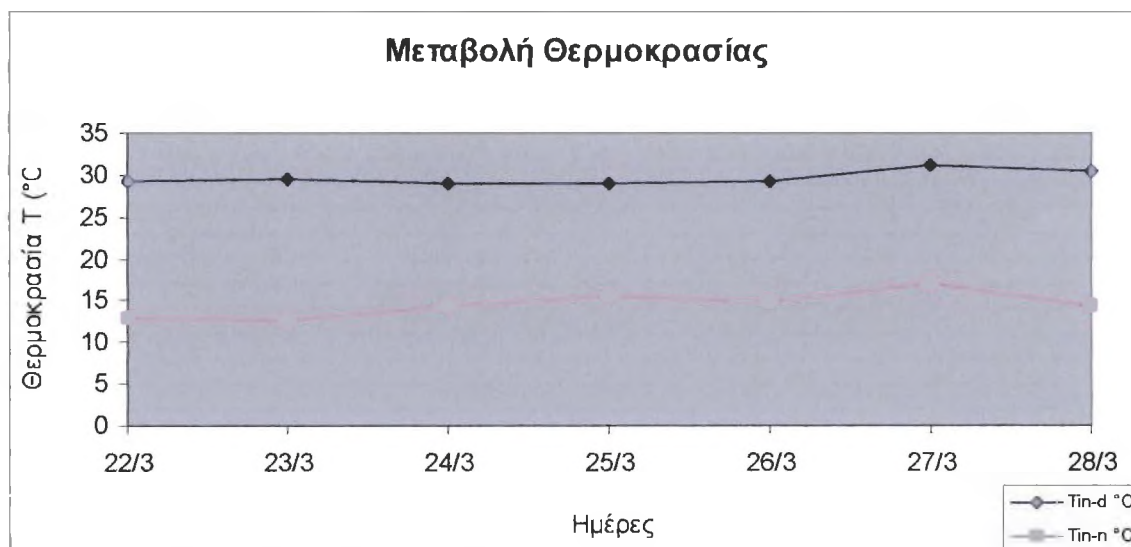
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	7:30-19:30					19:40-7:20		
	T _{in-d} °C	P in (W/m ²)	P out (W/m ²)	W-d (m/s)	RHd %	T _{in-n} °C	W-n (m/s)	RHn %
15/3/2005	28.6	177.0	364.4	1.2	36.8	11.9	0.4	74.9
16/3/2005	30.4	201.3	406.3	1.8	33.8	12.5	0.3	74.3
17/3/2005	29.5	207.0	418.2	2.1	38.6	11.8	0.1	79.2
18/3/2005	29.6	215.4	420.6	2.2	39.1	12.0	0.1	79.5
19/3/2005	30.1	209.1	405.1	1.6	37.0	12.5	0.4	77.8
20/3/2005	26.9	160.7	320.8	1.1	42.4	14.3	0.2	76.1
21/3/2005	28.9	201.0	400.7	1.8	39.9	14.1	0.0	79.0

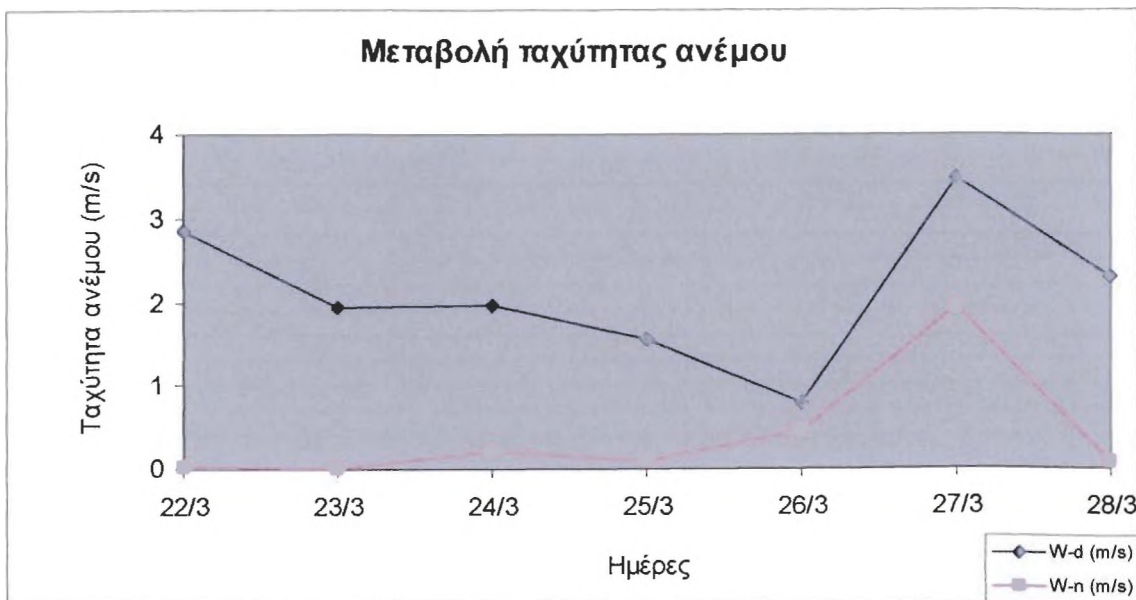
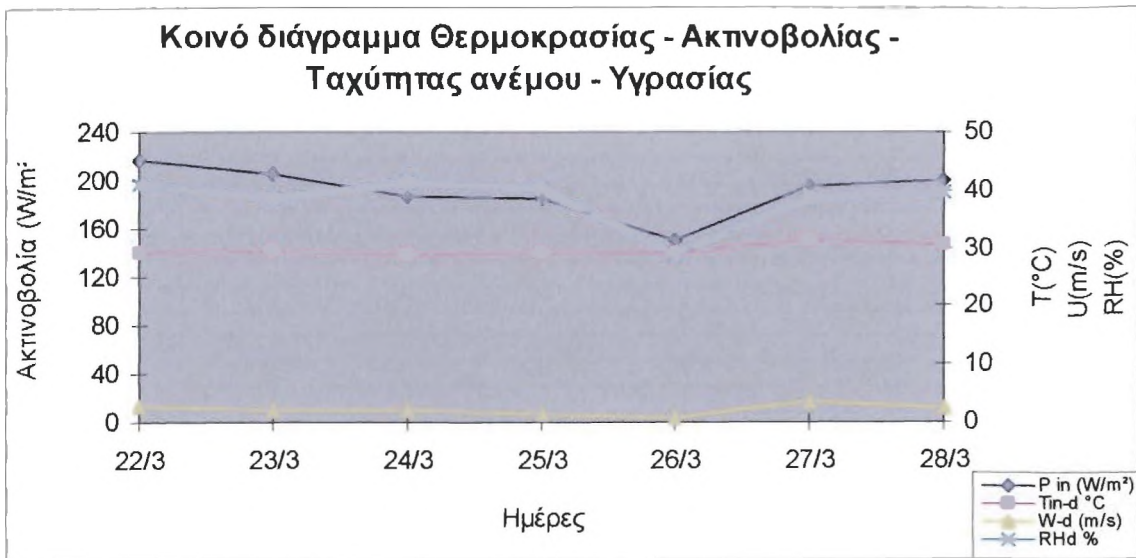
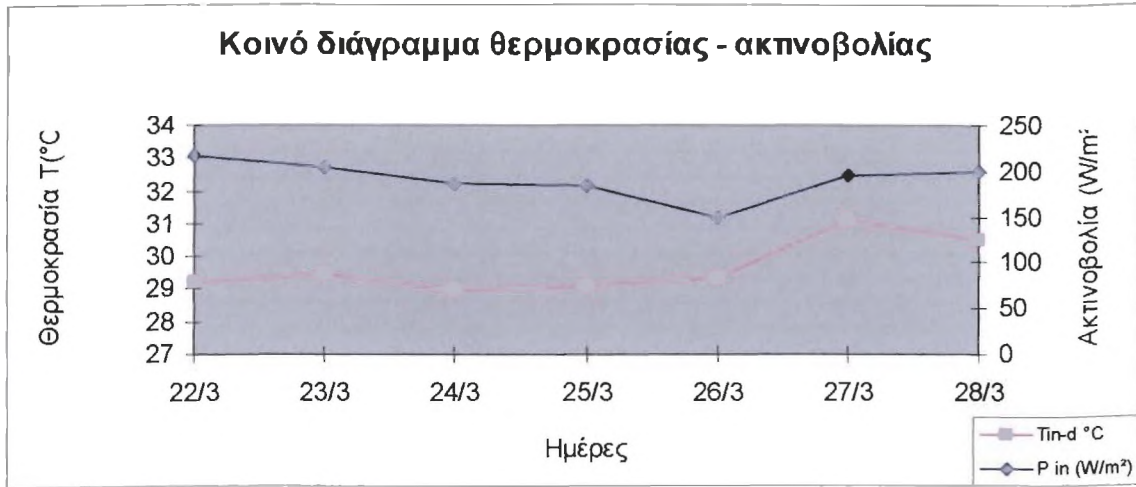




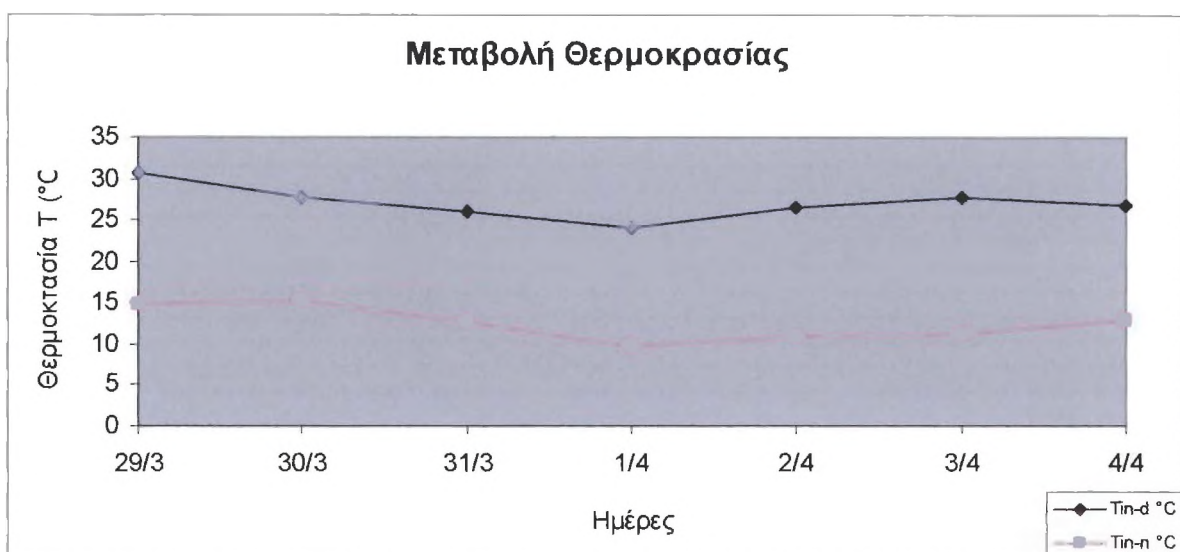
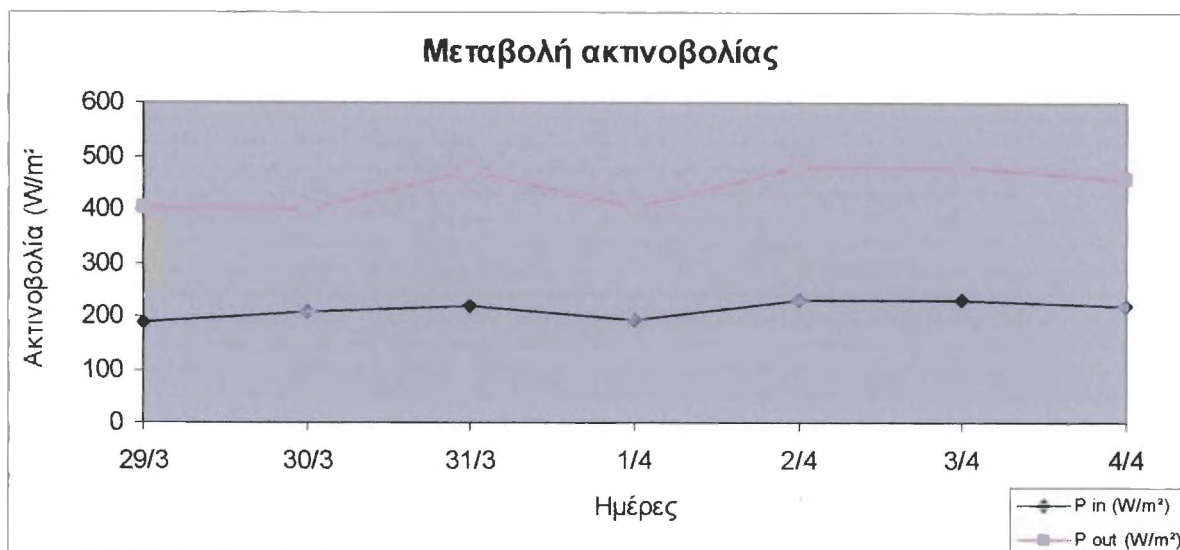
3η ΕΒΔΟΜΑΔΑ

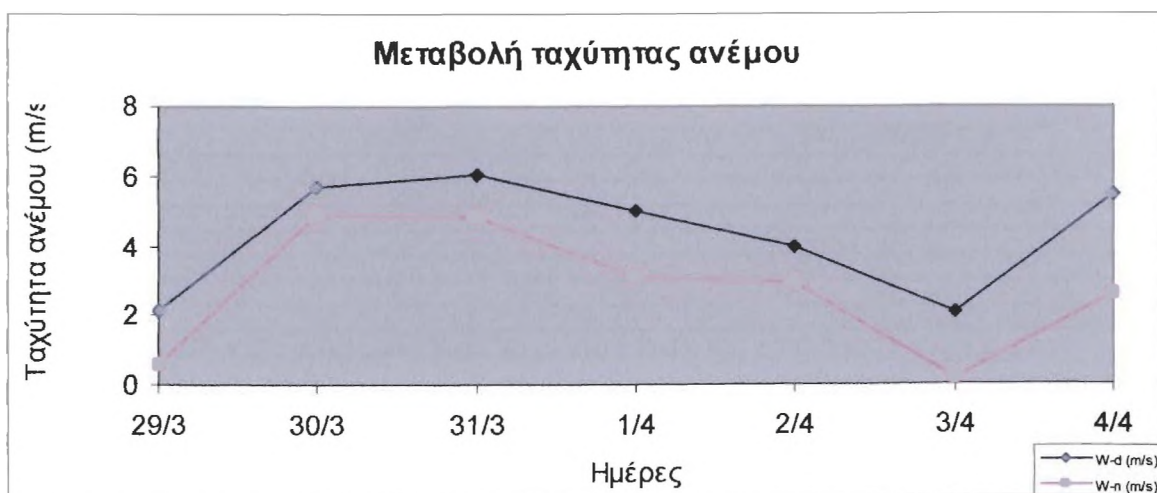
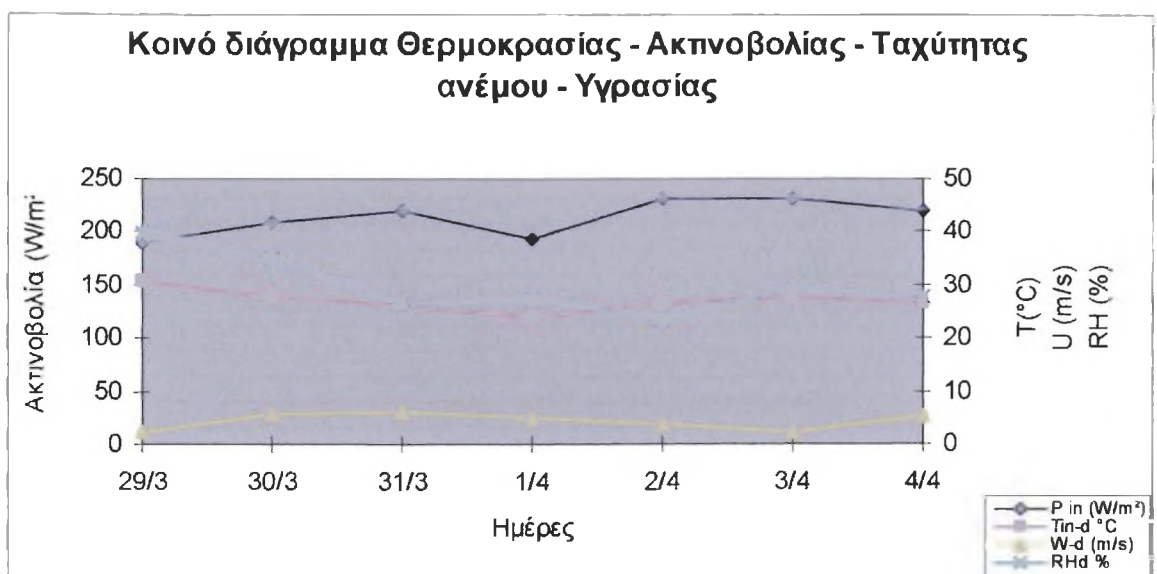
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	7:30-19:30					19:40-7:20		
	T _{in-d} °C	P in (W/m ²)	P out (W/m ²)	W-d (m/s)	RHd %	T _{in-n} °C	W-n (m/s)	RHn %
22/3/2005	29.2	216.1	424.0	2.8	41.1	13.0	0.0	78.9
23/3/2005	29.5	204.5	405.3	1.9	38.6	12.8	0.0	79.0
24/3/2005	29.0	186.0	364.6	2.0	41.4	14.5	0.2	79.2
25/3/2005	29.1	185.3	363.7	1.6	40.1	15.7	0.1	79.2
26/3/2005	29.3	149.9	308.9	0.8	28.9	14.9	0.5	66.2
27/3/2005	31.1	195.5	405.6	3.5	38.5	17.0	1.9	62.6
28/3/2005	30.5	200.2	405.6	2.3	39.7	14.3	0.1	76.8





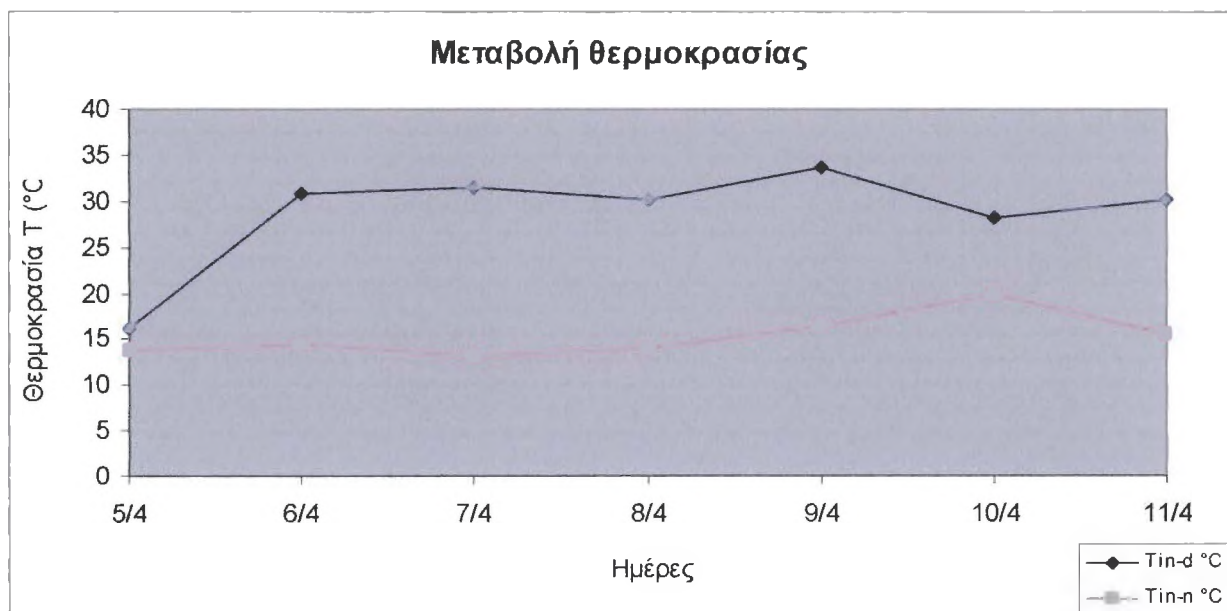
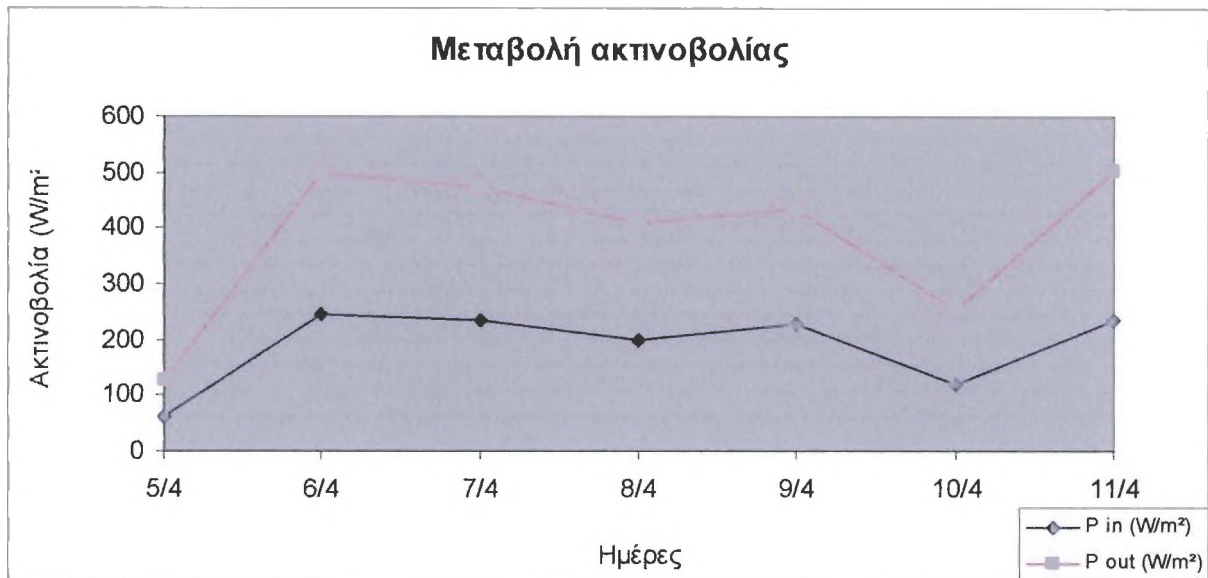
4η ΕΒΔΟΜΑΔΑ								
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	7:30-19:30					19:40-7:20		
	T _{in-d} °C	P in (W/m ²)	P out (W/m ²)	W-d (m/s)	RHd %	T _{in-n} °C	W-n (m/s)	RHn %
29/3/2005	30.7	189.8	405.6	2.2	39.6	14.8	0.6	75.6
30/3/2005	27.8	208.6	399.7	5.7	34.7	15.4	4.9	61.2
31/3/2005	26.0	220.6	471.0	6.0	26.0	12.6	4.9	48.4
1/4/2005	24.0	193.2	402.3	5.0	27.2	9.7	3.1	50.9
2/4/2005	26.4	231.0	478.0	4.0	23.6	11.0	2.9	50.4
3/4/2005	27.8	230.3	480.8	2.1	29.2	11.1	0.2	60.5
4/4/2005	26.6	219.6	455.0	5.5	27.6	13.0	2.6	56.7

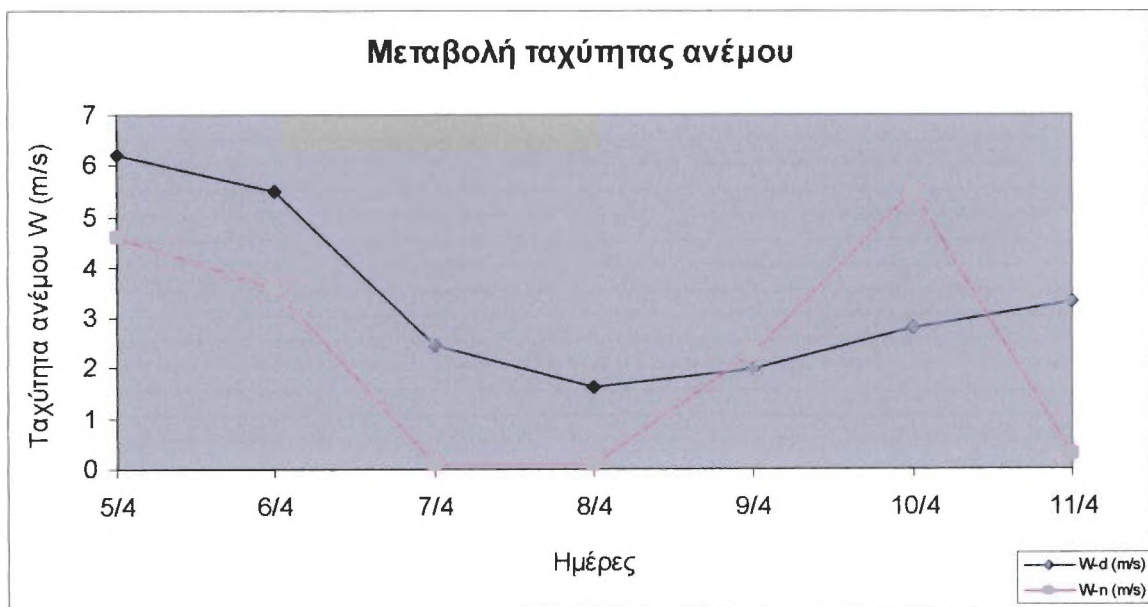
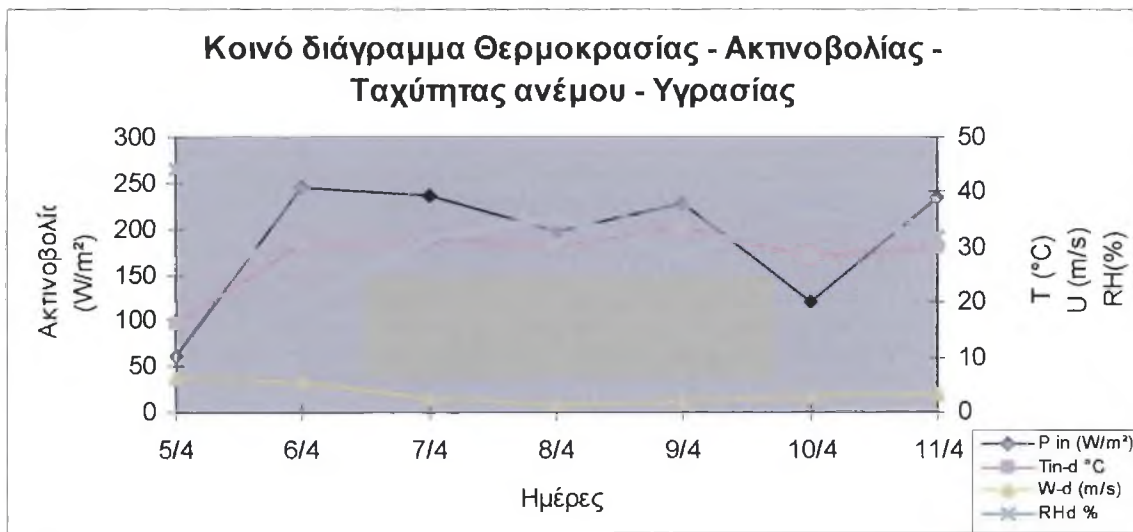
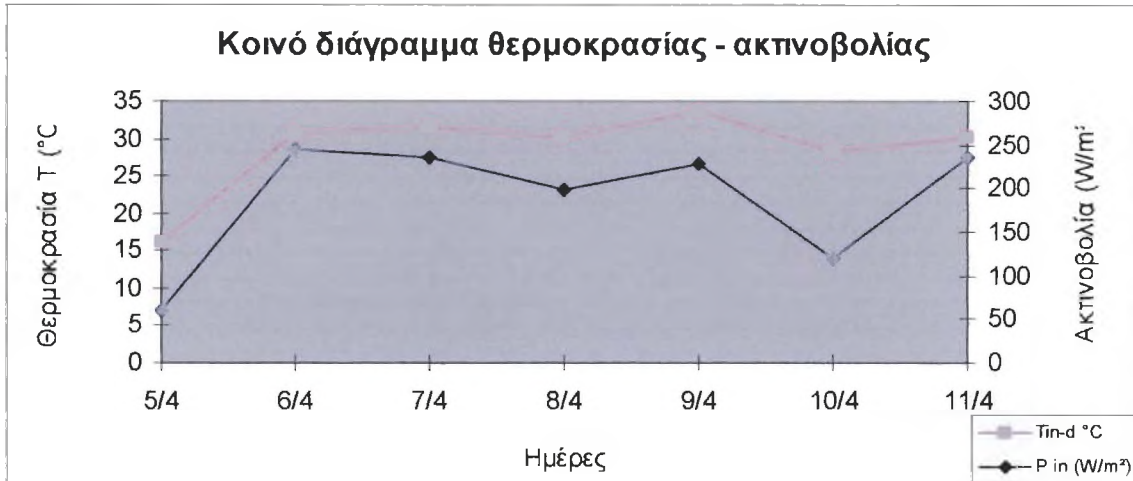




5η ΕΒΔΟΜΑΔΑ

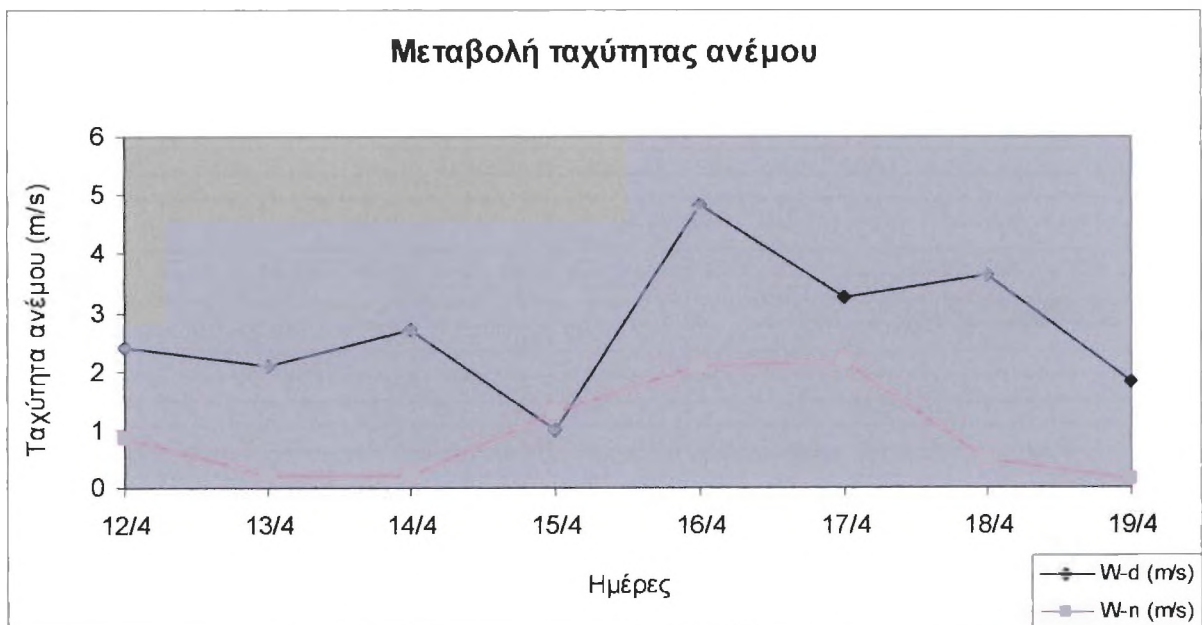
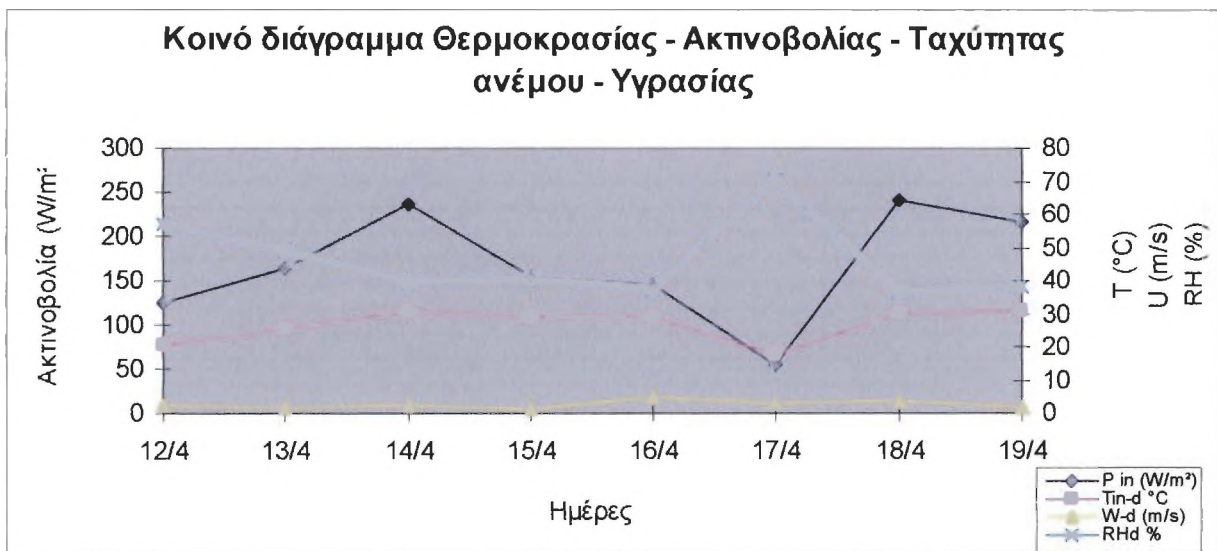
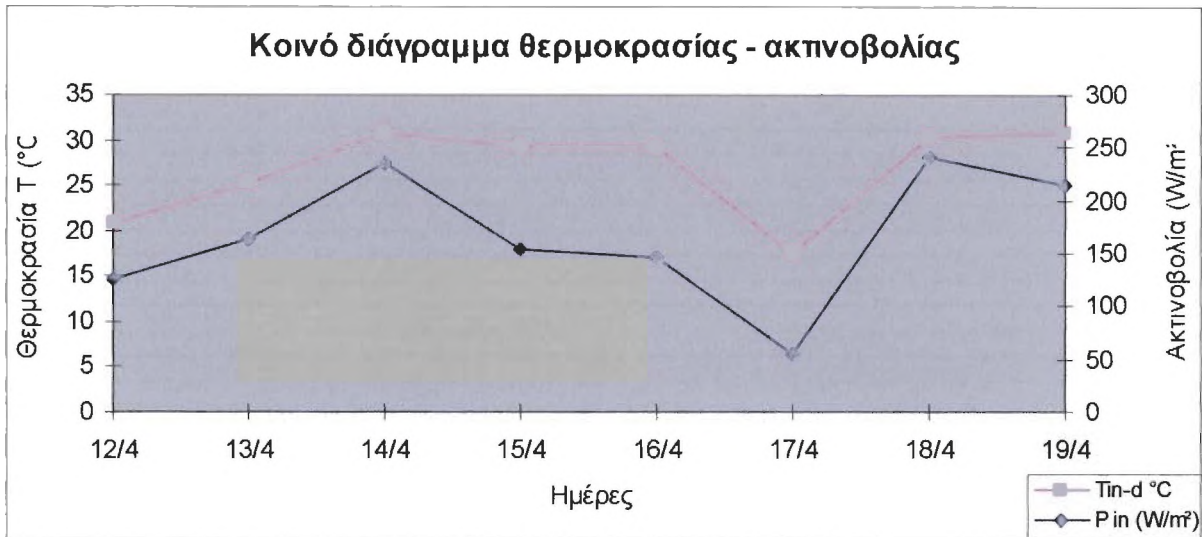
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	7:30-19:30					19:40-7:20		
	T _{in-d} °C	P in (W/m ²)	P out (W/m ²)	W-d (m/s)	RHd %	T _{in-n} °C	W-n (m/s)	RHn %
5/4/2005	16.2	60.9	127.7	6.2	44.0	13.8	4.6	52.9
6/4/2005	30.7	245.6	498.4	5.5	19.5	14.5	3.6	50.3
7/4/2005	31.5	236.0	473.8	2.4	31.6	13.1	0.1	66.8
8/4/2005	30.2	197.8	408.6	1.6	35.3	14.1	0.1	67.8
9/4/2005	33.6	227.9	435.5	2.0	28.3	16.5	2.3	55.9
10/4/2005	28.2	119.9	251.9	2.8	36.5	20.0	5.5	45.6
11/4/2005	30.1	235.4	502.8	3.3	31.9	15.6	0.3	67.0





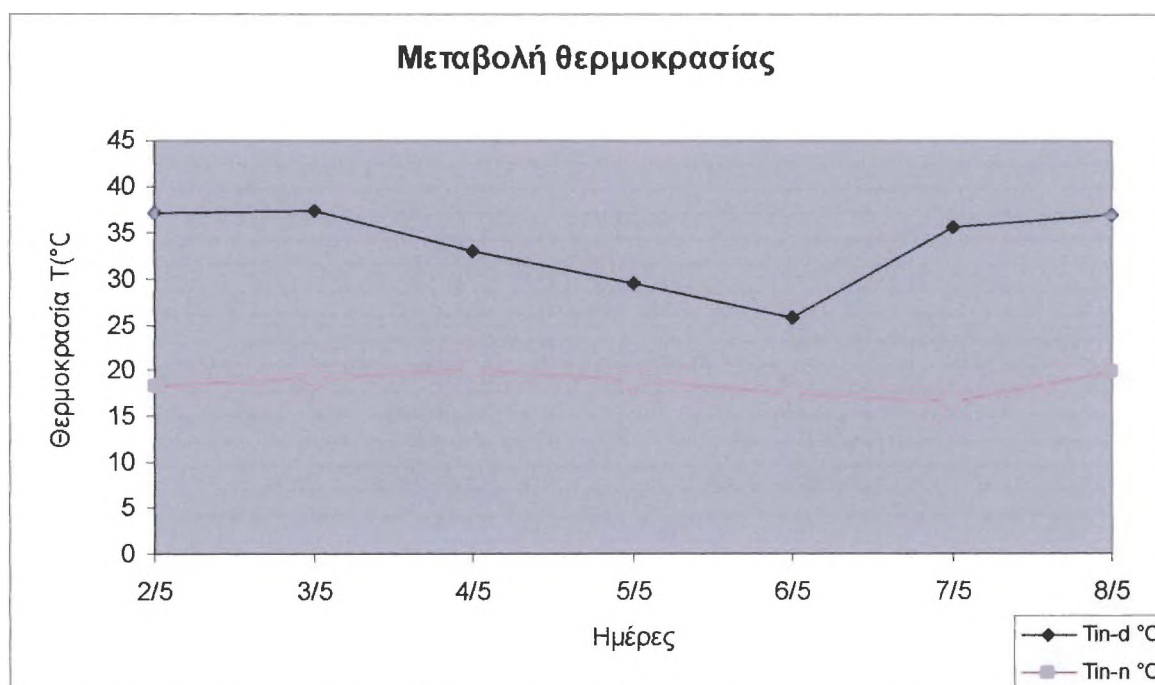
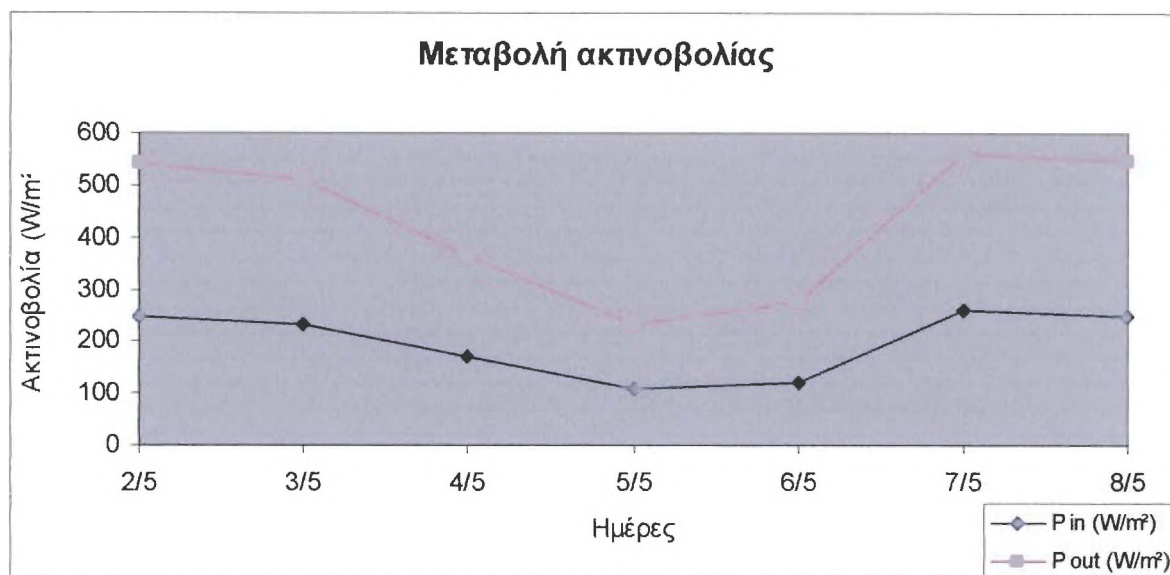
6η ΕΒΔΟΜΑΔΑ								
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	7:30-19:30					19:40-7:20		
	T _{in-d} °C	P in (W/m ²)	P out (W/m ²)	W-d (m/s)	RHd %	T _{in-n} °C	W-n (m/s)	RHn %
12/4/05	20.8	124.9	223.7	2.4	56.7	12.9	0.8	75.5
13/4/05	25.2	163.6	311.5	2.1	48.9	14.6	0.2	78.0
14/4/05	30.7	235.6	480.1	2.7	39.2	15.0	0.2	74.8
15/4/05	29.2	154.2	320.6	1.0	40.8	16.8	1.3	62.3
16/4/05	29.2	145.4	303.7	4.8	37.4	19.8	2.1	51.5
17/4/05	17.5	54.3	115.1	3.3	70.5	14.7	2.2	72.5
18/4/05	30.4	240.9	516.8	3.6	36.3	14.3	0.5	76.5
19/4/05	30.8	214.9	426.2	1.8	38.0	16.1	0.2	72.7

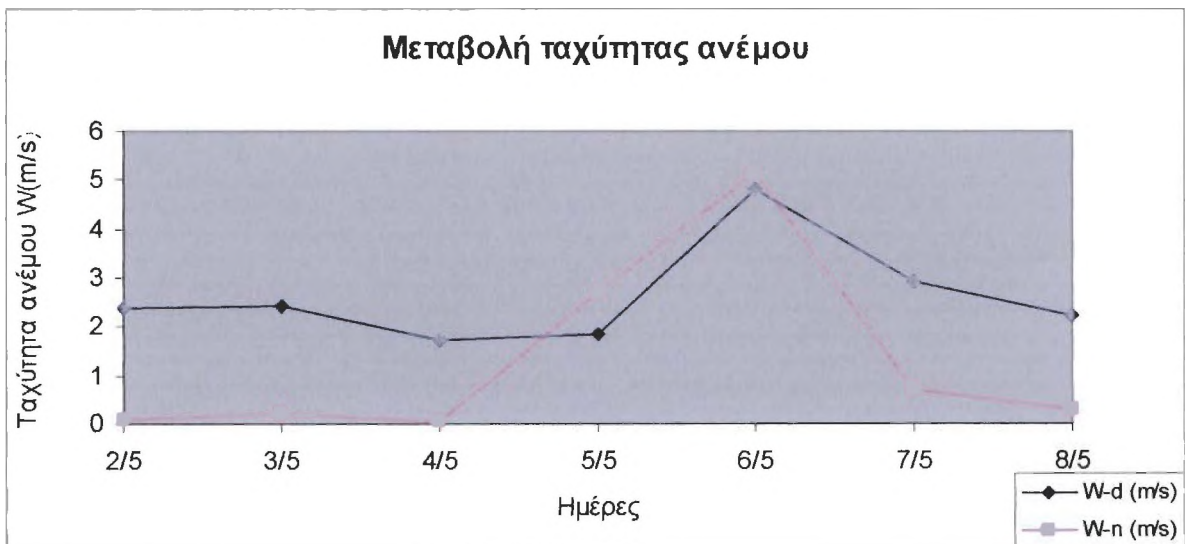
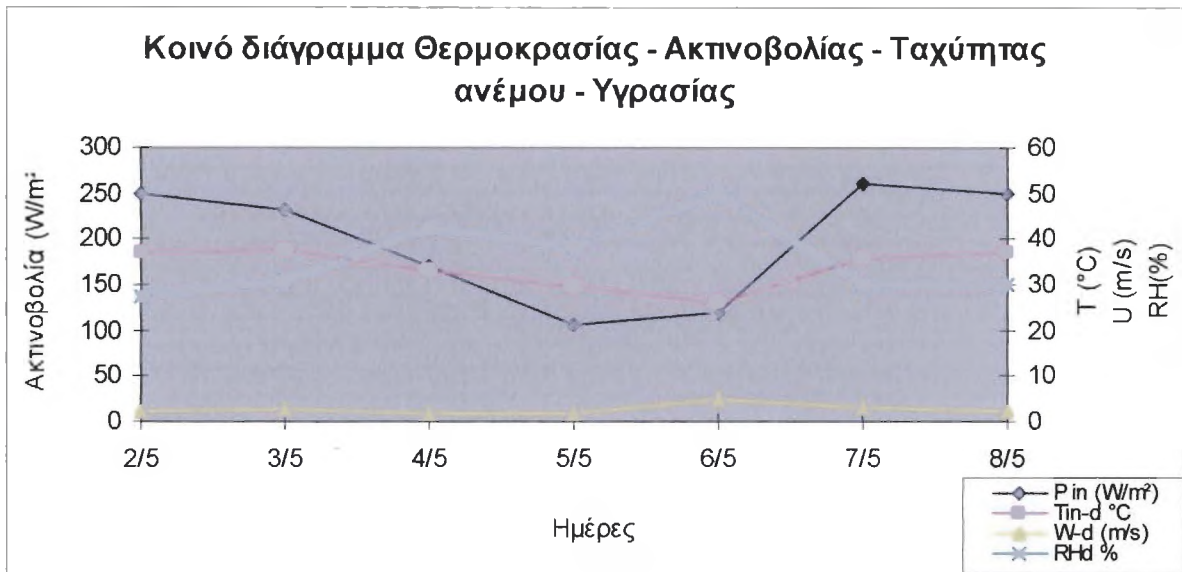
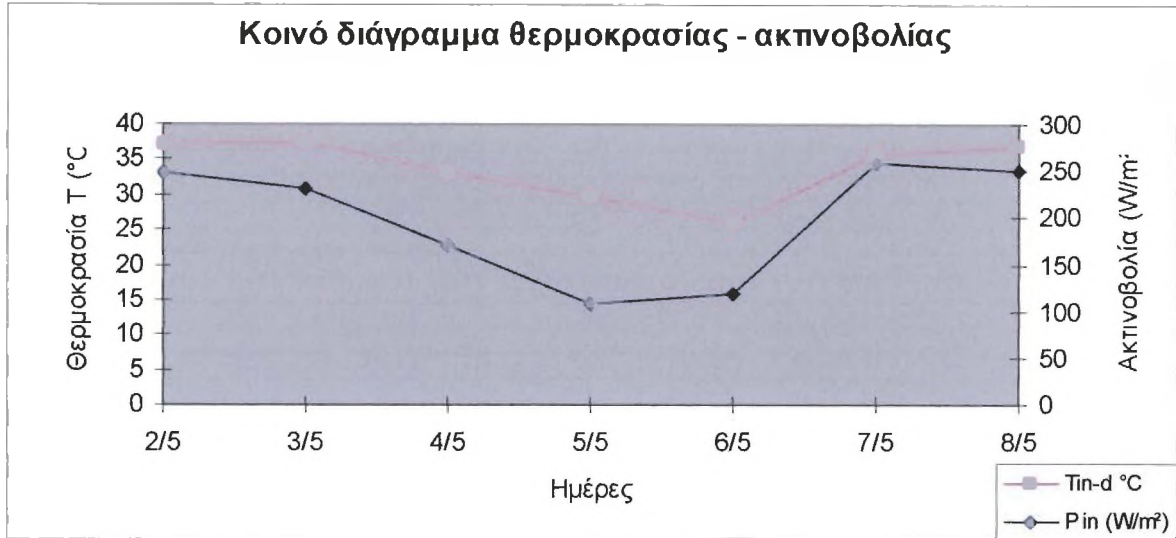




7η ΕΒΔΟΜΑΔΑ

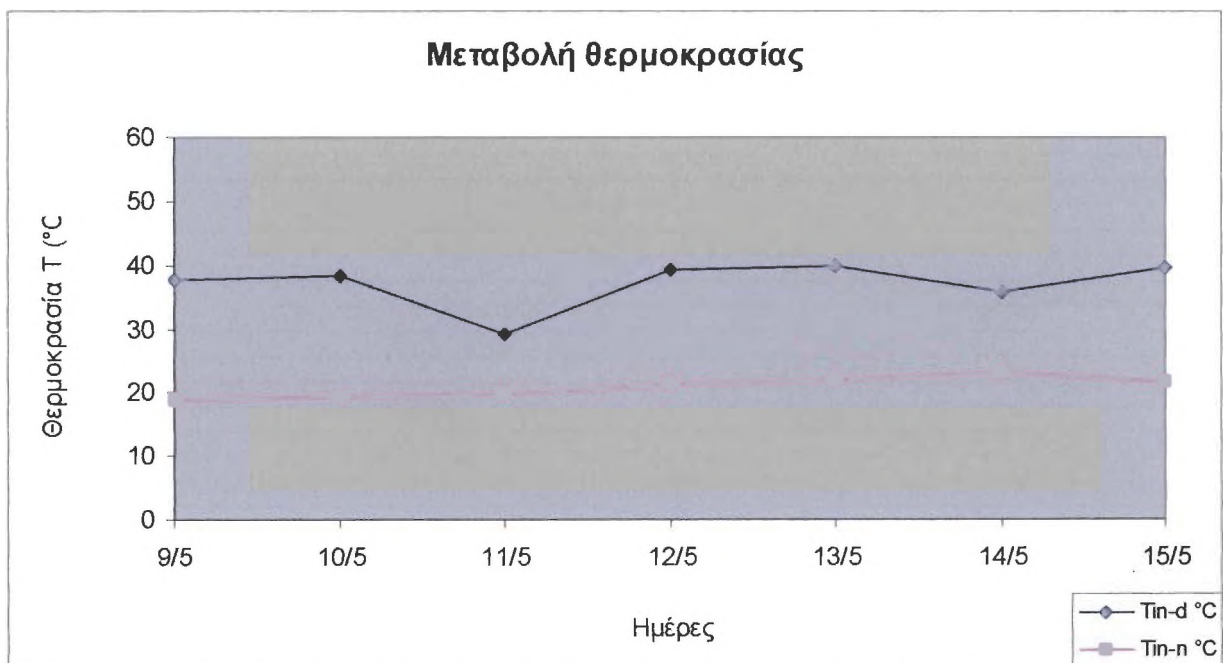
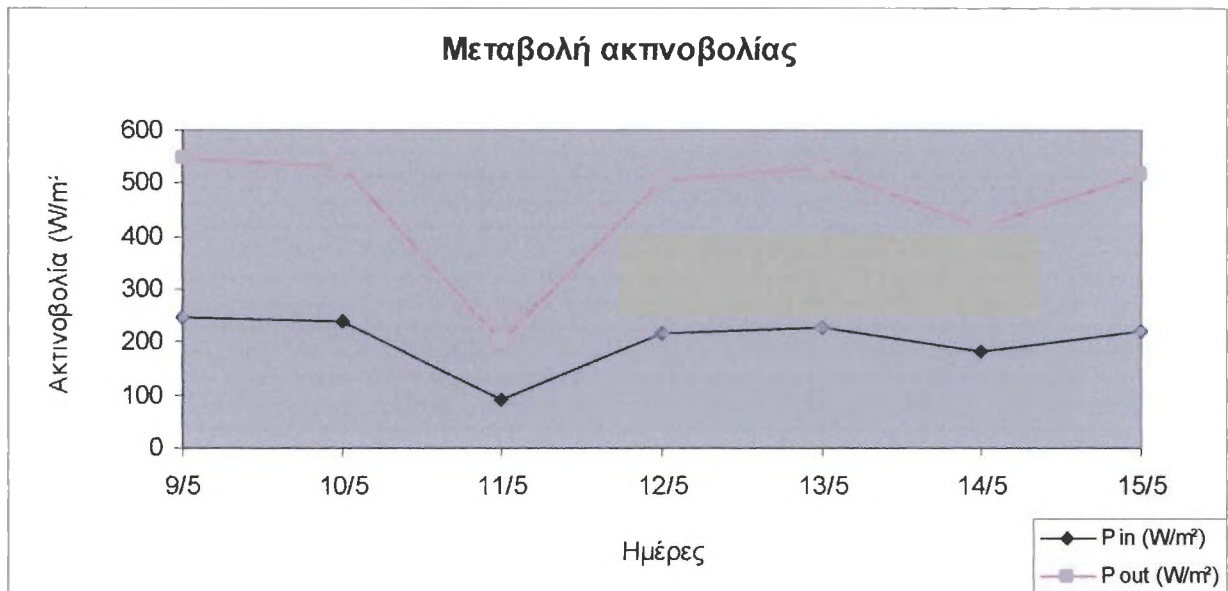
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	7:30-19:30					19:40-7:20		
	Tin-d °C	P in (W/m ²)	P out (W/m ²)	W-d (m/s)	RHd %	Tin-n °C	W-n (m/s)	RHn %
2/5/2005	37.0	248.8	543.5	2.4	27.6	18.3	0.1	64.7
3/5/2005	37.3	231.8	511.3	2.4	30.9	19.3	0.2	68.5
4/5/05	33.1	170.1	365.0	1.7	42.3	20.1	0.0	70.5
5/5/2005	29.6	106.9	233.6	1.8	38.2	18.9	2.7	72.0
6/5/2005	25.8	118.6	273.4	4.8	49.8	17.6	5.2	71.8
7/5/2005	35.7	259.9	562.8	2.9	29.9	16.6	0.7	70.4
8/5/2005	36.9	249.6	547.0	2.2	29.8	19.9	0.3	66.6

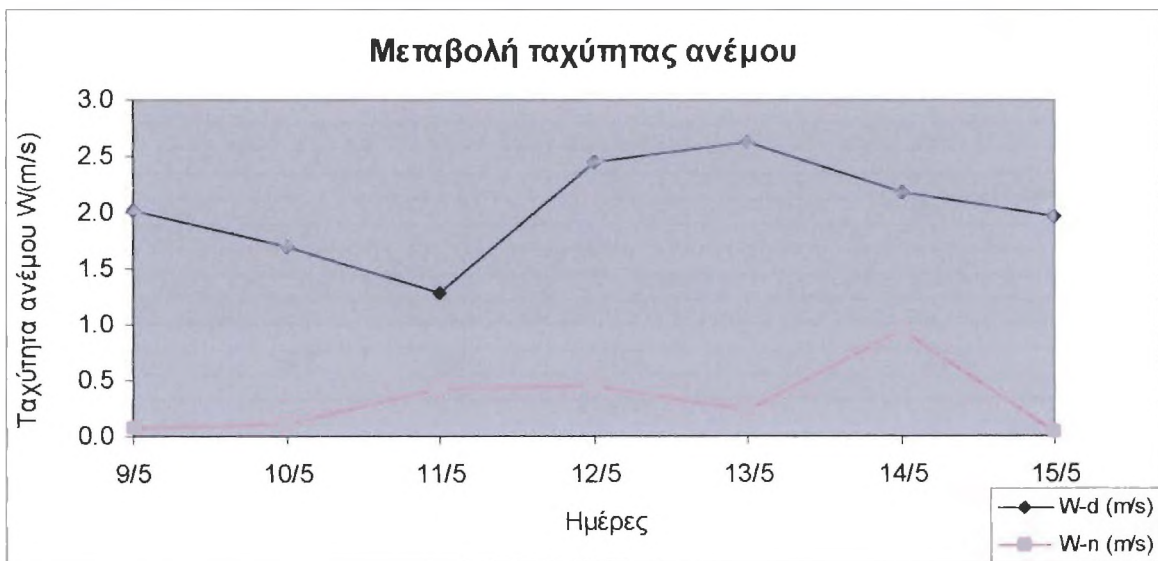
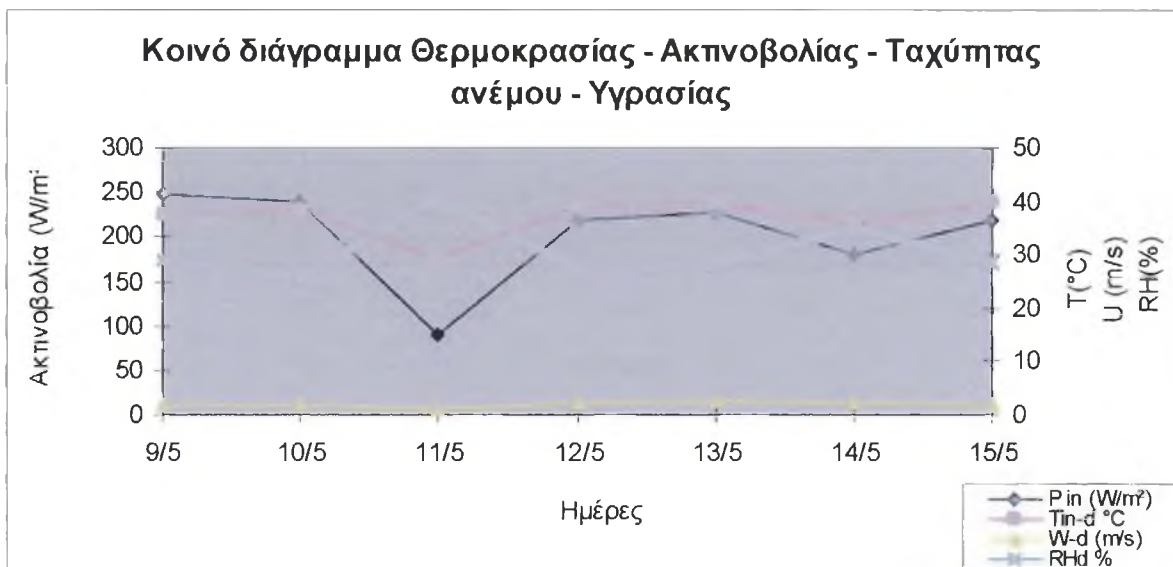
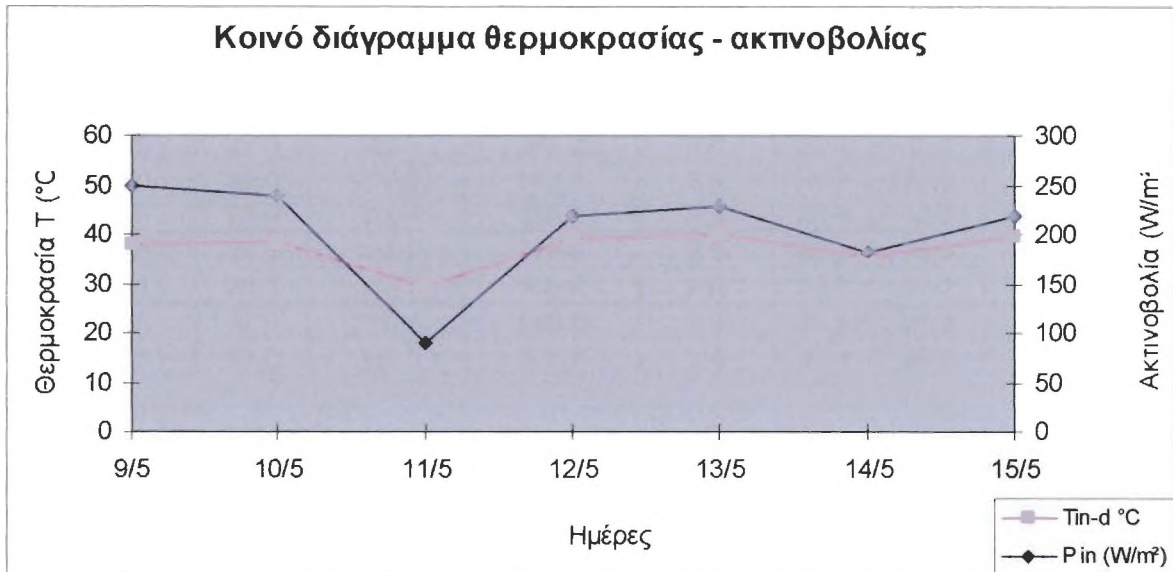


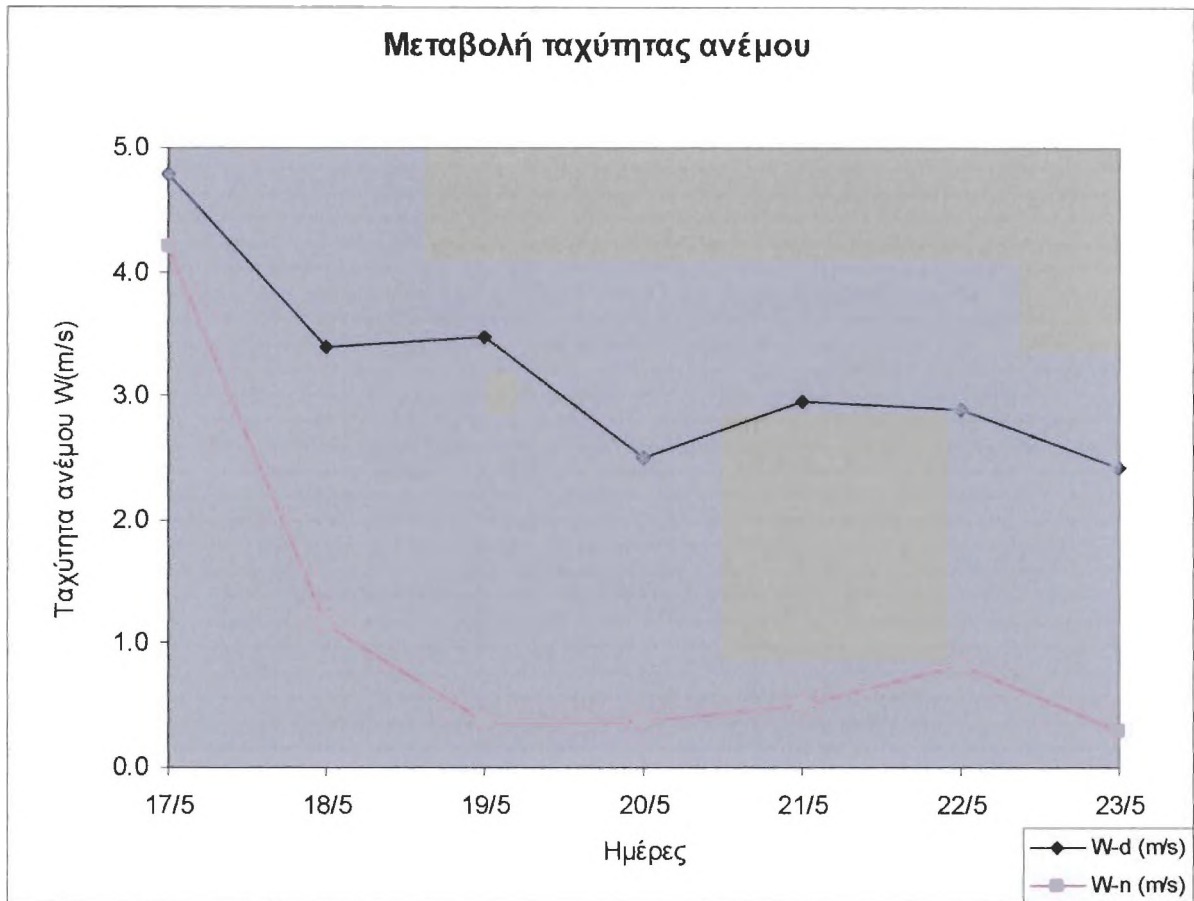


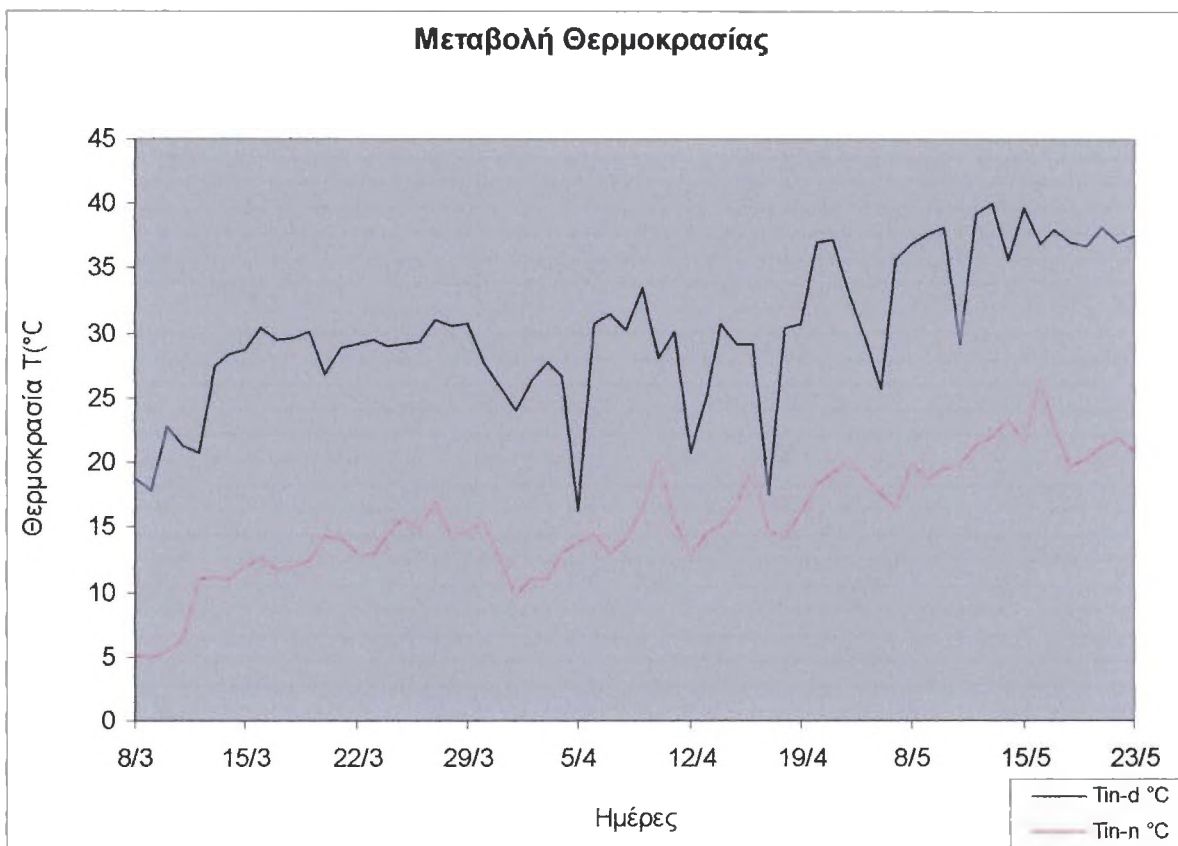
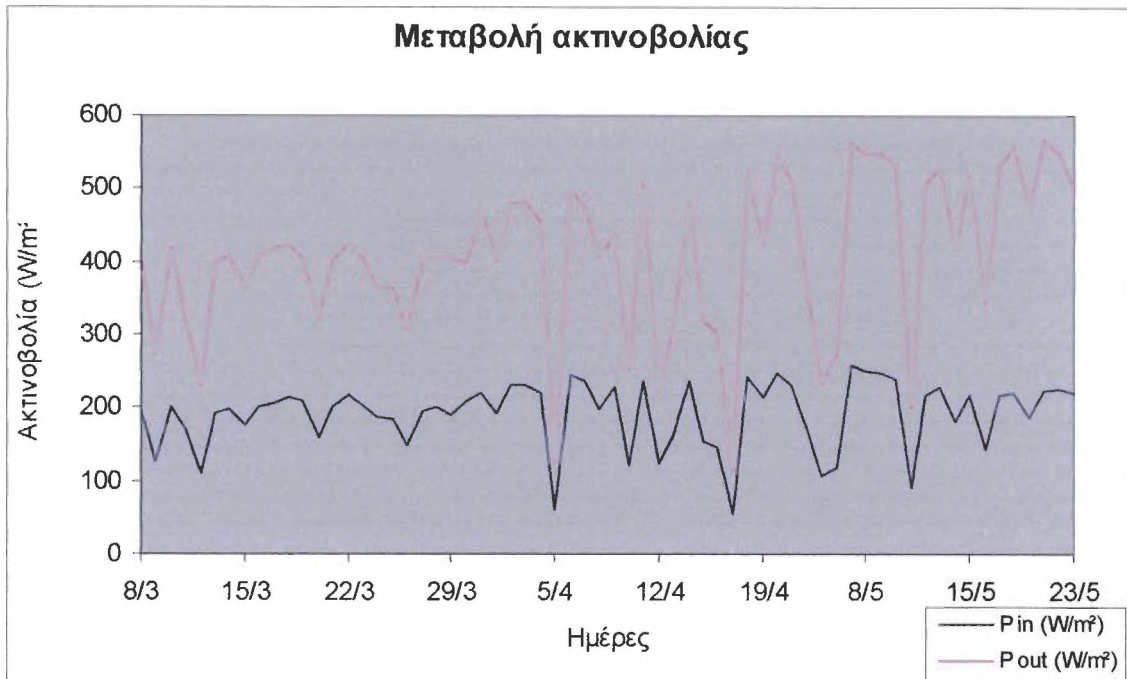
8η ΕΒΔΟΜΑΔΑ

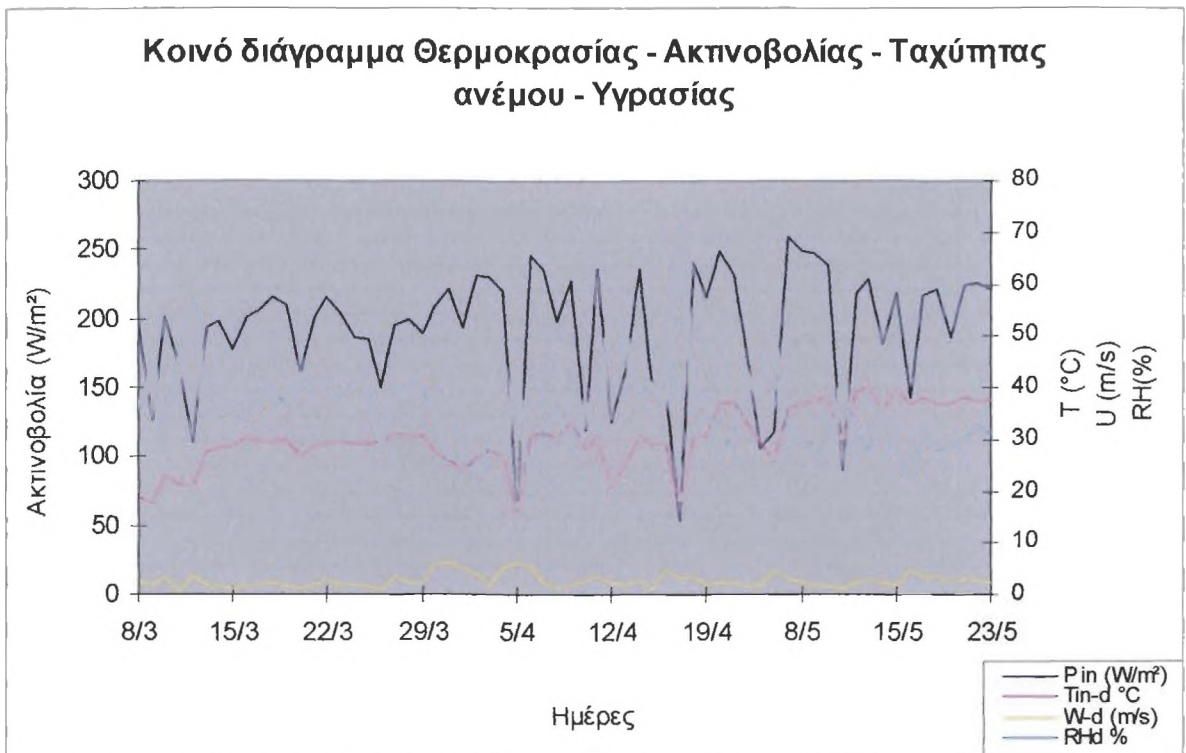
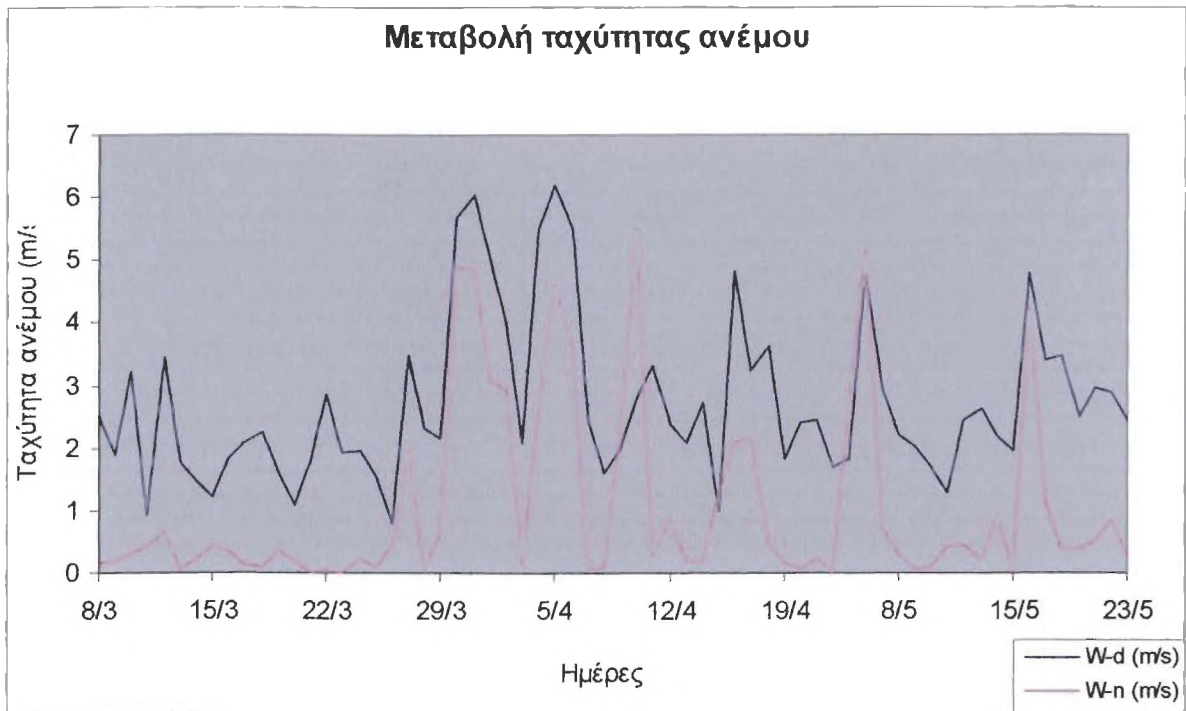
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	7:30-19:30					19:40-7:20		
	T _{in-d} °C	P in (W/m ²)	P out (W/m ²)	W-d (m/s)	RHd %	T _{in-n} °C	W-n (m/s)	RHn %
9/5/2005	37.8	248.2	546.4	2.0	29.1	18.8	0.1	63.6
10/5/2005	38.2	238.3	531.5	1.7	26.0	19.6	0.1	56.9
11/5/2005	29.2	90.0	201.4	1.3	40.4	19.8	0.4	52.1
12/5/2005	39.2	218.3	505.8	2.4	27.4	21.4	0.4	59.5
13/5/2005	40.0	228.8	527.8	2.6	28.3	22.0	0.2	62.7
14/5/2005	35.7	181.4	417.8	2.2	35.1	23.3	0.9	57.2
15/5/2005	39.7	218.6	516.7	2.0	28.7	21.8	0.0	62.8

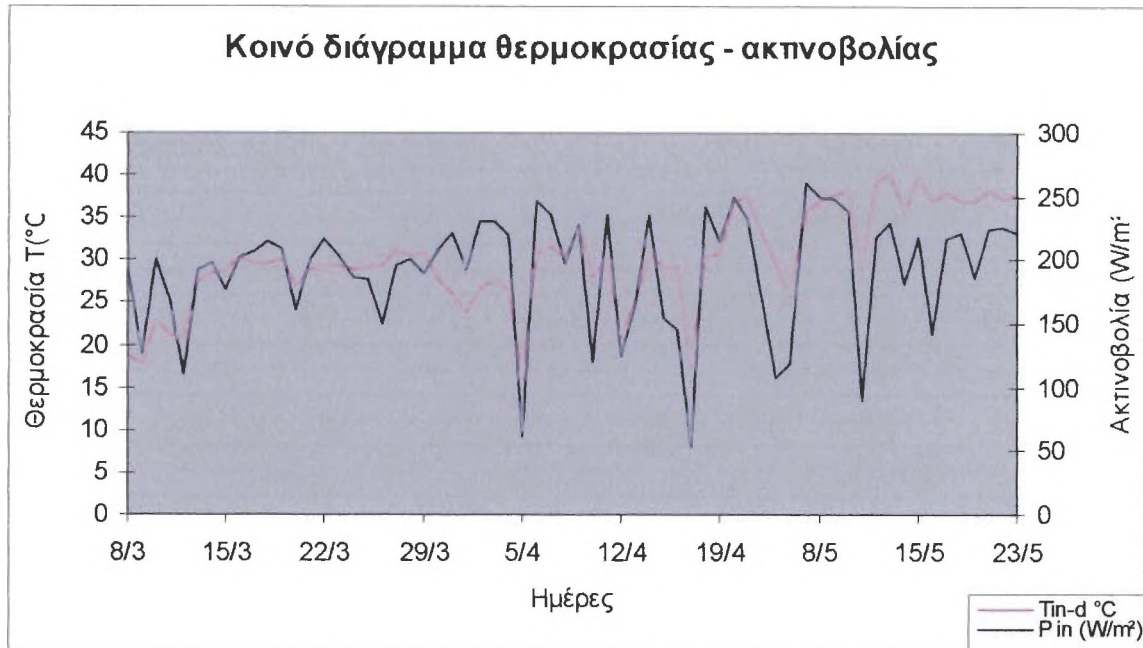






ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ 9 ΕΒΔΟΜΑΔΩΝ





2.4.3 Αποτελέσματα Σάρωσης και Ζωνοποίησης Θερμοκηπίου

Η επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων της σάρωσης και ζωνοποίησης του θερμοκηπίου δίνει τα διαγράμματα που ακολουθούν στα οποία παρουσιάζεται η ημερήσια μεταβολή της κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας και PAR σε ολόκληρο το χώρο του θερμοκηπίου καθώς και η μεταβολή της κατανομής τους σε σχέση με τον προσανατολισμό του θερμοκηπίου. Οι μετρήσεις της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας έγιναν με το πυρανόμετρο (W/m^2) και της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας έγιναν με τον αισθητήρα μέτρησης της PAR ($\mu mol/m^2s$).

Παρατηρείται μια αναμενόμενη και ομαλή κατανομή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και PAR κατά την διάρκεια μιας ηλιόλουστης και καθαρής ημέρας, με χαμηλές τιμές τις πρωινές και απογευματινές ώρες και μέγιστες τιμές τις μεσημβρινές ώρες. Η αντιστοιχία μεταξύ PAR μετρούμενη σε $\mu mol/m^2s$ και εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας μετρούμενη σε W/m^2 είναι 2:1 και παραμένει σταθερή καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Αυτή η αντιστοιχία γίνεται 2.5:1 τις συννεφιασμένες ημέρες λόγω του ότι αυξάνει το διάχυτο μέρος της ακτινοβολίας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο.

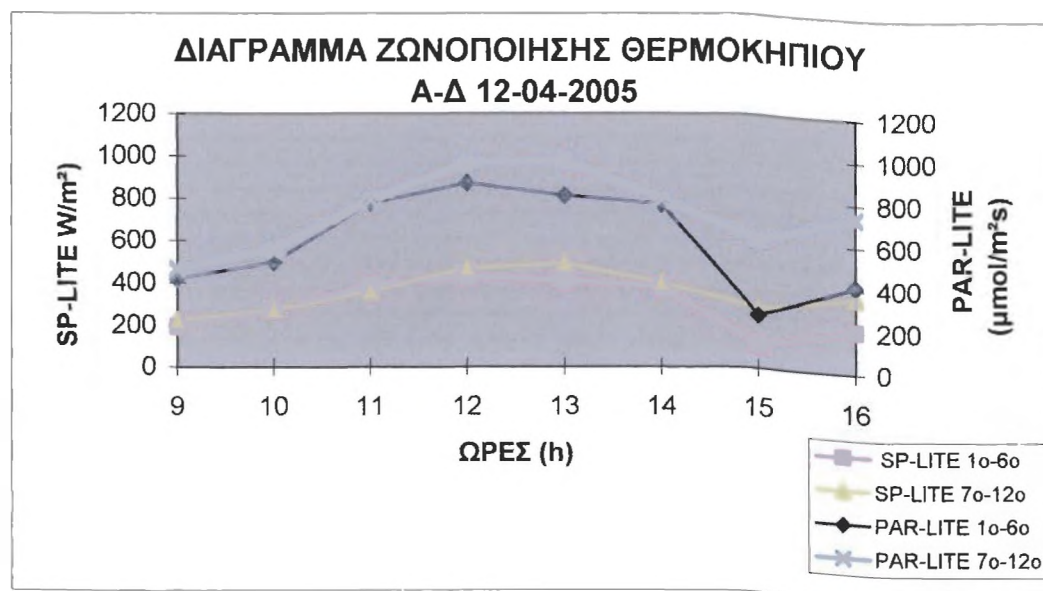
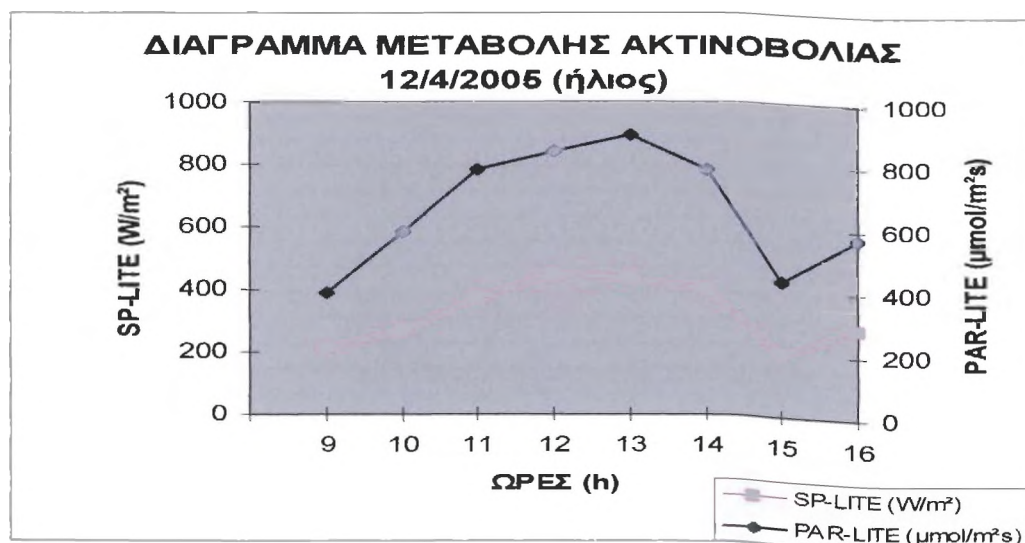
Οι μετρούμενες τιμές της PAR σε $\mu mol/m^2s$ αντιστοιχούν στο 45% της ηλιακής ακτινοβολίας (Kittas et al 1999, Μαυρογιαννόπουλος 2001, Γιαννούλης 2001). Αυτό προκύπτει από την βιβλιογραφία (Campbell and Norman, 1998), σύμφωνα με την οποία τα 2100 $\mu mol/m^2s$ αντιστοιχούν σε 500 W/m^2 στην περιοχή μήκους κύματος της PAR.

Στα διαγράμματα ζωνοποίησης του θερμοκηπίου παρατηρείται αύξηση της έντασης κατανομής της ηλιακής ακτινοβολίας και PAR στο ανατολικό τμήμα του θερμοκηπίου κατά 15%-20% σε σχέση με το δυτικό τμήμα, αυτή δε η αύξηση είναι πιο έντονη κυρίως τις μεσημβρινές ώρες μεταξύ 12 και 15 h.

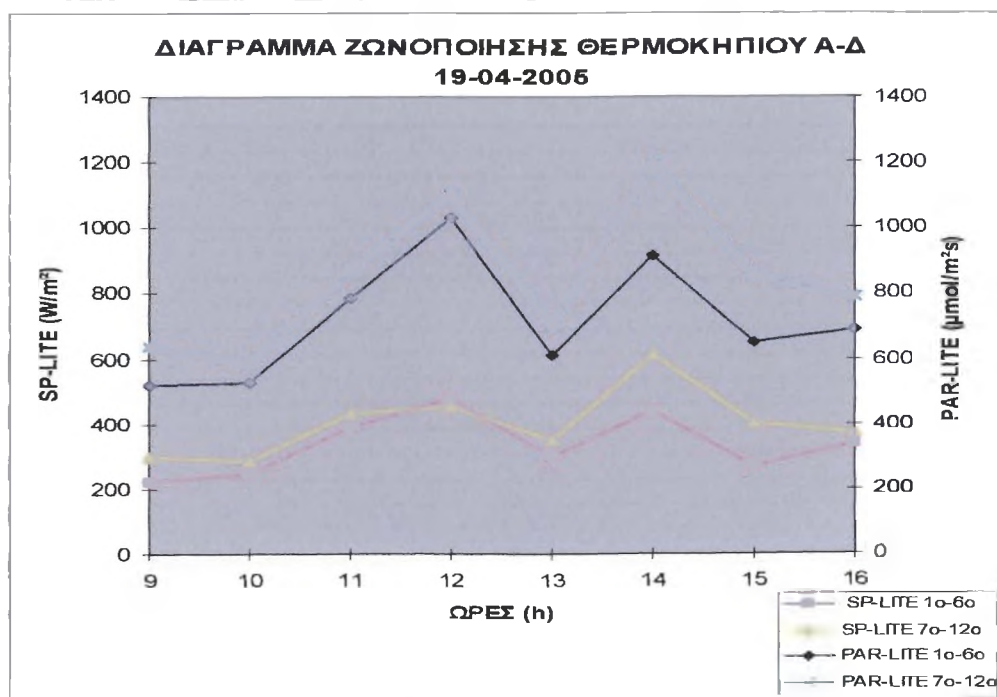
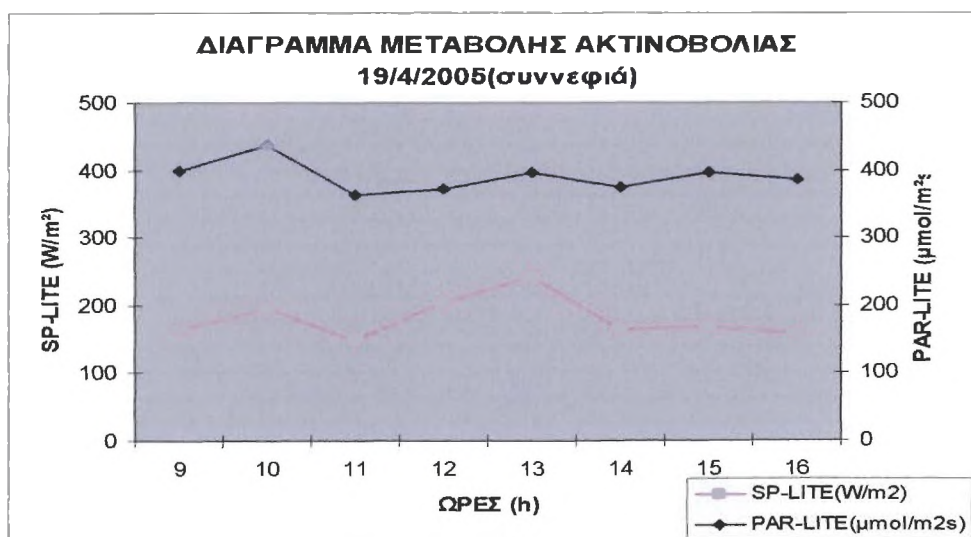
Διαγράμματα Σάρωσης Και Ζωνοποίησης Αποτελεσμάτων Θερμοκηπίου

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ 12/4/2005		
ΩΡΕΣ(h)	SP-LITE (W/m ²)	PAR-LITE (μmol/m ² s)
9:00	209.20	391.00
10:00	270.30	582.00
11:00	374.00	785.00
12:00	449.10	843.00
13:00	435.00	895.00
14:00	400.00	783.00
15:00	200.00	431.00
16:00	282.00	573.00

ΠΙΝΑΚΑΣ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ Α - Δ (12/4/2005)			
SP-LITE 1ο-6ο	SP-LITE 7ο-12ο	PAR-LITE 1ο-6ο	PAR-LITE 7ο-12ο
195.60	222.95	420.33	466.67
267.27	273.43	497.50	559.83
386.10	361.73	777.50	793.33
429.98	468.22	871.00	965.00
410.37	492.27	812.83	976.67
382.18	400.40	771.67	795.00
114.40	284.92	255.00	607.00
204.83	359.02	413.50	733.17

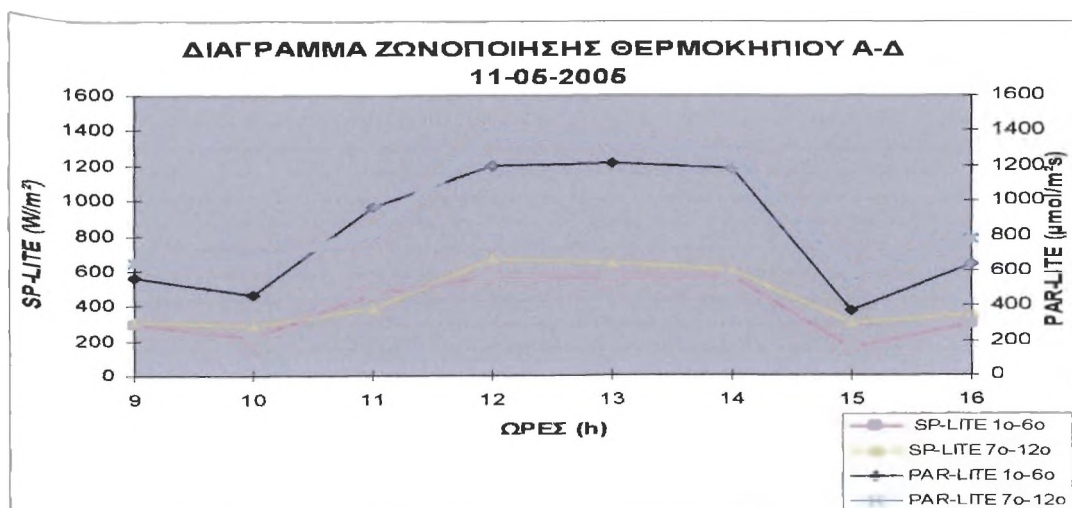
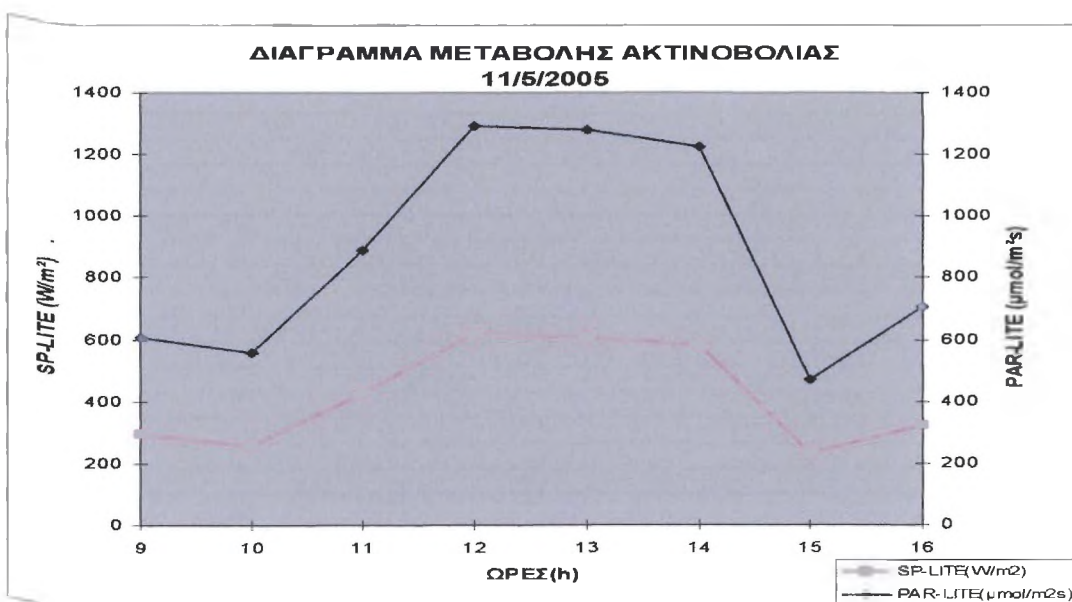


ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ 19/4/2005(συννεφιά)			ΠΙΝΑΚΑΣ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ Α – Δ(19/4/2005)			
ΩΡΕΣ(h)	SP-LITE (W/m ²)	PAR-LITE (μmol/m ² s)	SP-LITE 1ο-6ο	SP-LITE 7ο-12ο	PAR-LITE 1ο-6ο	PAR-LITE 7ο-12ο
9:00	164.42	399.33	220.97	298.93	519.33	638.67
10:00	195.43	438.33	249.10	286.13	529.67	587.17
11:00	147.98	364.17	389.88	435.02	786.00	875.33
12:00	204.23	373.00	480.40	454.13	1031.83	1100.50
13:00	243.10	397.50	299.22	349.87	611.50	703.33
14:00	164.40	374.50	443.42	610.38	916.50	1190.67
15:00	169.03	397.50	269.15	401.12	651.67	853.50
16:00	157.68	386.50	339.12	372.15	689.67	790.17

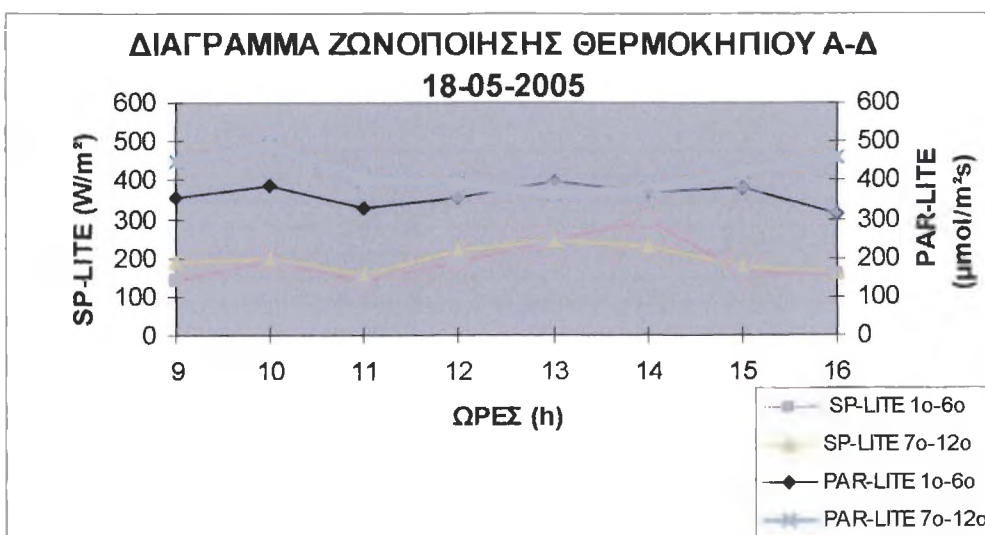


ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ 11/5/2005 (ηλιοφάνεια)		
ΩΡΕΣ(h)	SP-LITE (W/m ²)	PAR-LITE (μmol/m ² s)
9:00	295.60	604.60
10:00	254.00	557.60
11:00	427.40	891.00
12:00	616.60	1291.00
13:00	607.70	1280.00
14:00	584.00	1224.00
15:00	232.20	472.50
16:00	322.60	707.50

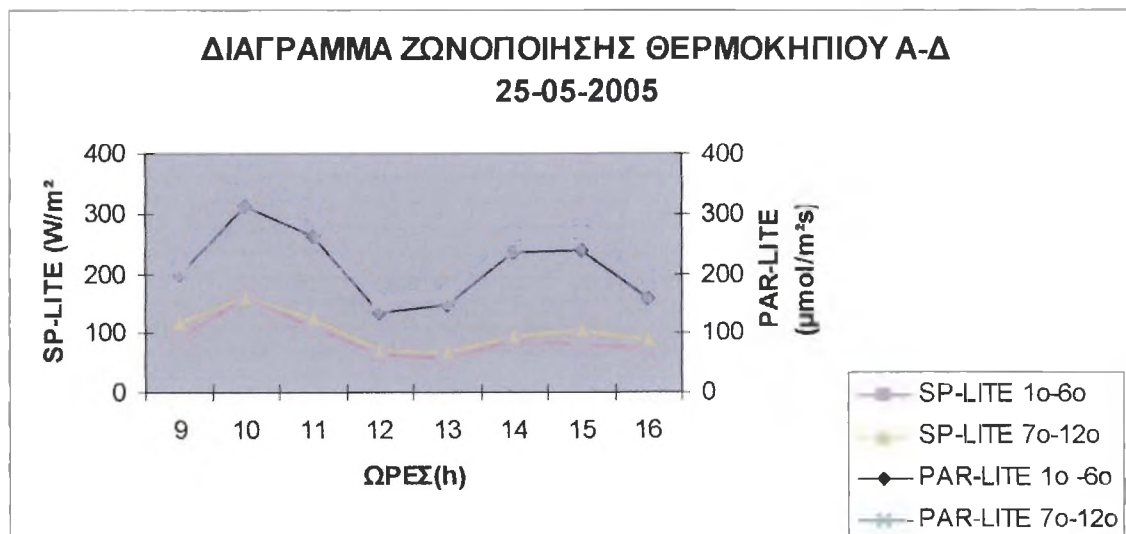
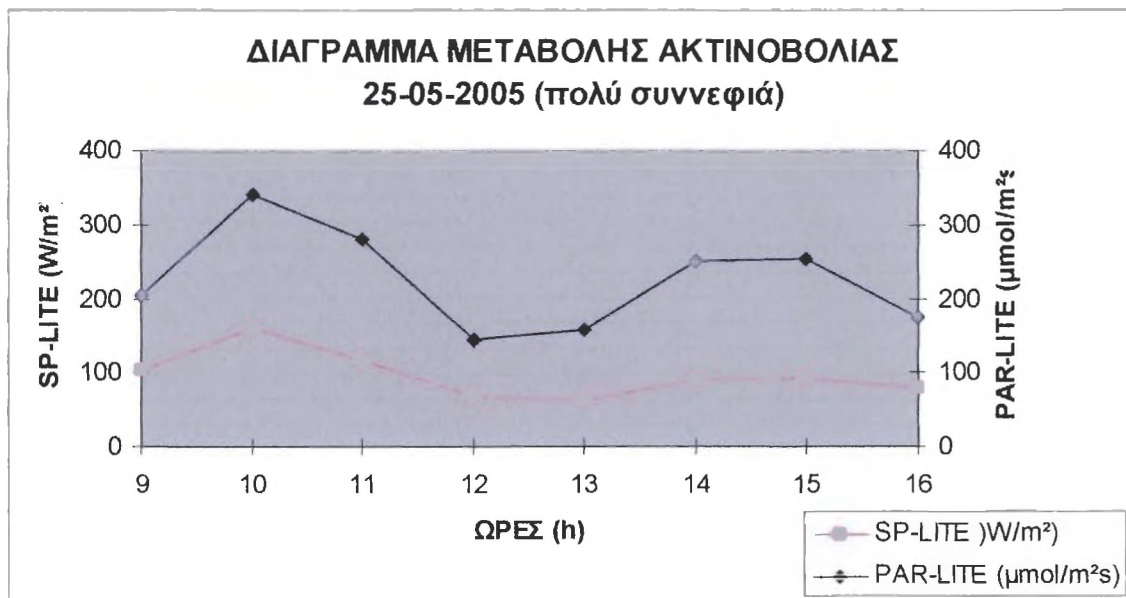
ΠΙΝΑΚΑΣ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ Α - Δ (11/5/2005)			
SP-LITE 1ο-6ο	SP-LITE 7ο-12ο	PAR-LITE 1ο-6ο	PAR-LITE 7ο-12ο
299.38	312.28	564.33	645.00
217.60	290.57	463.67	651.67
469.33	385.47	966.67	816.67
569.28	664.02	1200.00	1383.33
572.30	643.18	1213.33	1348.33
566.58	601.58	1185.00	1263.33
159.43	305.06	368.33	576.67
293.52	351.87	636.67	778.33



ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ 18/5/2005(ηλιοφάνεια)			ΠΙΝΑΚΑΣ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ Α – Δ (18/5/2005)			
ΩΡΕΣ(h)	SP-LITE (W/m ²)	PAR-LITE ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)	PAR-LITE 1ο-6ο	PAR-LITE 7ο-12ο	SP-LITE 1ο-6ο	SP-LITE 7ο-12ο
9:00	260.00	579.00	352.33	446.33	139.84	189.00
10:00	267.60	558.40	386.00	490.67	190.88	199.98
11:00	412.40	830.60	328.33	400.00	139.69	156.28
12:00	467.20	1066.00	352.33	393.67	187.46	221.00
13:00	324.50	657.40	398.00	367.00	242.67	243.53
14:00	527.00	1053.00	371.33	377.67	298.16	230.64
15:00	335.00	752.50	378.33	422.67	161.27	176.80
16:00	355.60	739.90	314.00	459.00	155.39	159.97



ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ 25/5/2005(πολύ συννεφιά)			ΠΙΝΑΚΑΣ ΖΩΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ Α – Δ (25/5/2005)			
ΩΡΕΣ(h)	SP-LITE (W/m ²)	PAR-LITE ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)	PAR-LITE 1ο-6ο	PAR-LITE 7ο-12ο	SP-LITE 1ο-6ο	SP-LITE 7ο-12ο
9:00	104.40	202.83	91.74	117.07	196.67	209.00
10:00	161.63	341.33	161.31	161.96	313.33	369.33
11:00	116.73	281.17	109.98	123.48	262.67	299.67
12:00	67.90	144.33	64.52	71.28	133.33	155.33
13:00	62.28	157.50	58.07	66.50	147.00	168.00
14:00	89.15	251.17	85.78	92.52	235.33	267.00
15:00	92.07	253.00	80.36	103.78	238.00	268.00
16:00	80.19	175.33	74.10	86.28	157.33	193.33



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα θερμοκήπια στοχεύουν να παρέχουν ιδανικές συνθήκες για ανάπτυξη φυτών και παραγωγή προϊόντων σε όλη τη διάρκεια του χρόνου αποφεύγοντας τις αντίξοες καιρικές συνθήκες όπως χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος, χαμηλό φωτισμό και υψηλή ένταση ανέμου. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες (φωτισμός, θερμοκρασία, σχετική υγρασία) καθορίζουν την ανάπτυξη των φυτών. Ο έλεγχος αυτών των παραγόντων μέσα στα θερμοκήπια είναι πολύ δύσκολος, όχι διότι υπεισέρχονται ταυτόχρονα, αλλά γιατί ο κάθε ένας από αυτούς μεταβάλλεται συνεχώς και υπάρχει μια συνεχής αλληλοεπίδραση μεταξύ τους. Μεταξύ αυτών των παραγόντων ο φωτισμός του θερμοκηπίου είναι ο πλέον σημαντικός για τη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξη των φυτών και τα υλικά κάλυψης χαρακτηρίζονται από την σπουδαιότητά τους όσον αφορά το διερχόμενο ποσό και το φάσμα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Ο φυσικός φωτισμός είναι ουσιαστικός παράγοντας ανάπτυξης των φυτών και τα θερμοκήπια κατασκευάζονται από διαφανή καλύμματα για μέγιστη αποδοτικότητα εξαρτώμενη από τις ημερήσιες και εποχιακές ανάγκες. Μεταξύ των συνήθων χρησιμοποιούμενων υλικών κάλυψης το γυαλί είναι το πιο σταθερό υλικό με ικανοποιητικές οπτικές και θερμικές ιδιότητες. Τα πλαστικά καλύμματα είναι φτηνότερα από το γυαλί, αλλά τα περισσότερα εξ αυτών μειονεκτούν όσον αφορά τον φωτισμό και τις θερμικές ιδιότητες (Papadakis et al, 2000).

Ένα εναλλακτικό διαφανές υλικό κάλυψης στην κατηγορία των υαλοπινάκων για θερμοκήπια είναι ο υαλοπίνακας τύπου φακού Fresnel. Η χρήση του για έλεγχο φωτισμού και ενέργειας εσωτερικών χώρων έχει παρουσιαστεί από τον Jirka et al (1998) και έχει σαν αποτέλεσμα την χρήση τους ως υλικό κάλυψης και θερμοκηπίων (Jirka et al, 1999). Η χρήση των φακών Fresnel αντί των τυπικών υαλοπινάκων στην κάλυψη των θερμοκηπίων είναι μια νέα ιδέα που αποσκοπεί στη βελτίωση του φωτισμού και των ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου. Στην παρούσα εργασία μελετάται ο έλεγχος φωτισμού και θερμοκρασίας στα θερμοκήπια με τη χρήση των γραμμικών φακών Fresnel και τρόποι αξιοποίησης της συλλεγόμενης ηλιακής ενέργειας.

3.2 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΙ ΦΑΚΟΙ FRESNEL

3.2.1 Γενικά Για Την Συγκέντρωση Της Ηλιακής Ακτινοβολίας

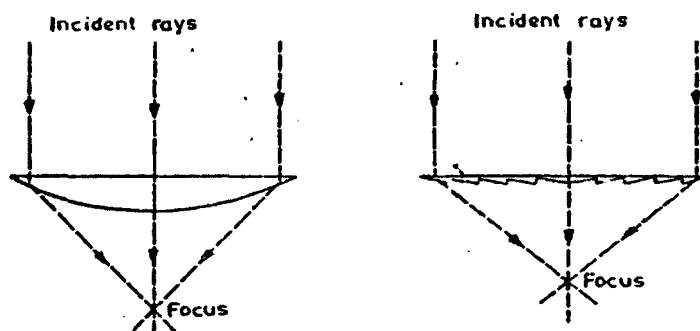
Η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας πριν την απορρόφηση και η μετέπειτα μετατροπή της σε χρήσιμη ενέργεια γίνεται όλο και πιο σημαντική για τις πρακτικές εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας. Οι κύριες αιτίες για συγκέντρωση φωτός είναι δύο: το υψηλό κόστος των μετατροπέων της ηλιακής ενέργειας κάνει προτιμότερη την συλλογή φωτός χρησιμοποιώντας ένα οπτικό στοιχείο χαμηλού

κόστους και μεγάλου διαμετρήματος και συγκέντρωση του φωτός πάνω σε έναν μετατροπέα μικρότερης επιφάνειας και δεύτερον σε πολλές περιπτώσεις η αποδοτικότητα της διαδικασίας μετατροπής αυξάνει όταν μεγαλώνει η πυκνότητα της ακτινοβολίας του προσπίπτοντας φωτός πάνω στον μετατροπέα.

Τα συγκεντρωτικά συστήματα ηλιακής ενέργειας σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι φακοί Fresnel ανήκουν στην κατηγορία των συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων που είναι γραμμικά στοιχεία και που συγκλίνουν μια προσπίπτουσα παράλληλη δέσμη ηλιακών ακτίνων σε μια ευθεία γραμμή ή ζώνη στο επίπεδο εστίασης τους. Οι γραμμικοί συγκεντρωτές είναι φτιαγμένοι από ανακλαστικά ή διαθλαστικά υλικά και είναι συχνά προτιμότεροι έναντι των στοιχείων κυκλικής γεωμετρίας, εξαιτίας της απλότητας τους και των χαμηλών απαιτήσεων ευθυγράμμισης.

3.2.2 Φακοί Fresnel

Ο φακός Fresnel ο οποίος συμπεριφέρεται όπως ο συμβατικός σφαιρικός φακός είναι φτιαγμένος από ένα λεπτό επίπεδο φύλλο από διαφανές υλικό έχοντας ομόκεντρα πρισματικά αυλάκια χαραγμένα στην μια ή και στις δυο πλευρές.



Σχήμα 1 : Συμβατικός φακός και φακός Fresnel

Είναι δύσκολη η διαμόρφωση ενός φακού Fresnel από γυαλί, διότι η υψηλή έκταση της επιφάνειας του γυαλιού εμποδίζει τη συμβατότητα και στην παραμικρή λεπτομέρεια της κατασκευής. Έτσι η εντατική ανάπτυξη και εξάπλωση της χρήσης των φακών Fresnel άρχισε μόλις το 1949 με την ανακάλυψη των οπτικών πλαστικών τα οποία μπορούν να διαμορφωθούν σε φακούς Fresnel, ιδανικοί για δημιουργία ειδώλου, έχοντας περισσότερα από 20 αυλάκια ανά mm. Τα πλαστικά είναι ιδιαίτερος χρήσιμα διότι ένα φύλλο μπορεί να πεπαισθεί θερμικά ή να εκχυθεί υπό πίεση σε εκμαγείο έχοντας γυαλισμένες-λείες πλευρές.

Εξαιτίας των πολλών και ελκυστικών χαρακτηριστικών, του μικρού όγκου και βάρους, της σχετικά μεγάλης διαμέτρου, της μικρής εστιακής απόστασης f και του χαμηλού κόστους, οι φακοί Fresnel έχουν επεκταθεί για πολλές εφαρμογές. Εντούτοις με λίγες εξαιρέσεις, ο σχεδιασμός των φακών Fresnel δίνει έμφαση σε εφαρμογές εστίασης και προβολής. Αυτό οφείλεται στις συγκεντρωτικές του ικανότητες που είναι πολύ σημαντικές στο πεδίο της ηλιακής ενέργειας.

Όταν ο φακός χρησιμοποιείται ως συγκεντρωτής με τα αυλάκια προς τα πάνω (δηλ. προς την μεριά του ήλιου) η απώλεια είναι μεγάλη εξαιτίας του "blocking" αποτέλεσμα της κάθετης πλευράς των αυλάκων και λόγω της σκόνης που

συσσωρεύεται γρήγορα σε τέτοιο ανάγλυφο επίπεδο. Από την άλλη πλευρά αν τα αυλάκια είναι στραμμένα προς τα κάτω, σοβαρές παρεκκλίσεις εκτός αξόνων συμβαίνουν, εμποδίζοντας καλή συγκέντρωση εκτός από πολύ μικρές γωνίες πρόσπτωσης.

Η προέλευση των φακών Fresnel (Miller et al, 1951) χρονολογείται από τις αρχές του 18^{ου} αιώνα όταν ο Abbe Rochon κατασκεύασε ένα φακό με ομόκεντρα αυλάκια. Η πραγματική ανάπτυξη ενός «συγκεντρωτικού κλιμακωτού» τύπου φακών δεν έπιασε μέχρι που ο Fresnel συνέλαβε την ιδέα να κατασκευάσει τέτοιους φακούς και έφτιαξε μεγάλο αριθμό για την χρήση ως φανοστάτες. Το όνομα φακός Fresnel δόθηκε σε αυτό τον τύπο φακού και έχει παραμείνει από εκείνη την περίοδο. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή αυτών των φακών ήταν το γυαλί και στοιχεία εκμαγείου γυαλιού, εμφάνιζε όμως δυσκολίες στη διαμόρφωσή του σε καλούπι ώστε να προσαρμόζεται σε τέλειο πρότυπο αυλακίων σε σχηματισμό φακού μεγάλης διαμέτρου. Οι φακοί Fresnel χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου οι γυάλινοι συμπαγείς φακοί μεγάλου διαμετρήματος δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξαιτίας του βάρους, του όγκου και του κόστους. Οι βελτιωμένες τεχνικές παραγωγής έχουν αναδείξει χρήσεις για αυτούς τους φακούς από απλούς συγκεντρωτές σε μεγάλο διαμετρήματος τηλεσκόπια, έως συλλέκτες ηλιακής ενέργειας σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές για παραγωγή ενέργειας.

3.3 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΦΑΚΩΝ FRESNEL ΣΤΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ.

3.3.1 Η Χρήση Των Γραμμικών Φακών Fresnel Στα Θερμοκήπια.

Η μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στις υπόλοιπες παραμέτρους που σχετίζονται με το θερμοκήπιο παρουσιάζει ιδιαίτερο ερευνητικό ενδιαφέρον επειδή η διερεύνηση νέων τρόπων ρύθμισης του φωτισμού μπορεί να συνδυαστεί με την κατάλληλη αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου για θερμότητα και ηλεκτρισμό (R.Rigoropoulos, Y.Santamouris 1981, “Solar Greenhouse heating”). Στην κατεύθυνση αυτή θα εξεταστεί η δυνατότητα εφαρμογής νέων διαφανών υλικών και οπτικών διατάξεων (γραμμικοί φακοί Fresnel), που έχουν χρησιμοποιηθεί σε άλλες περιπτώσεις ενεργειακών εφαρμογών στο πεδίο της ηλιακής ενέργειας. Έτσι, η απαιτούμενη μείωση του φωτισμού ορισμένη περίοδο της ημέρας, για την αποφυγή υπερέκθεσης των φυτών, μπορεί να οδηγήσει στην αποθήκευση θερμότητας ή και ηλεκτρισμού για χρήση στη διάρκεια της νύκτας όπου υπάρχουν ανάγκες διατήρησης του επιπέδου της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου καθώς και για την επέκταση της περιόδου φωτισμού των φυτών.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των φακών Fresnel είναι ότι διαχωρίζουν την άμεση από την διαχεόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Το πλεονέκτημα τους αυτό τους κάνει ιδιαίτερα κατάλληλους για έλεγχο του φωτισμού και της θερμοκρασίας εσωτερικών χώρων που απαιτείται να φωτίζεται ο χώρος κάτω από έναν συγκεντρωτικό συλλέκτη. Τέτοια μέρη είναι εσωτερικοί χώροι κτηρίων, θερμοκήπια, εργαστήρια, πισινές, εκθεσιακοί χώροι, διάδρομοι, σοφίτες, κ.α παρέχοντας έτσι φως καταλλήλου επιπέδου έντασης και χωρίς έντονες αντιθέσεις (Jirka et al, 1999). Το άμεσο τμήμα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, συγκεντρώνεται στους απορροφητές και μπορεί να απομακρυνθεί από τον περιβάλλοντα χώρο επιτυγχάνοντας χαμηλότερο

επίπεδο φωτισμού και αποφεύγοντας έτσι την υπερθέρμανση του χώρου. Στα επόμενα επικεντρωνόμαστε σε εφαρμογές στα θερμοκήπια.

Η ενσωμάτωση των γραμμικών φακών Fresnel (LFLs) στην οροφή υαλόφρακτων θερμοκηπίων, παρέχει καινούργιες δυνατότητες για φυσικό φωτισμό του εσωτερικού χώρου, αποφεύγοντας την υπερθέρμανση που είναι δυνατόν να συμβαίνει στα συμβατικά θερμοκήπια. αυτό είναι εφικτό να γίνει χρησιμοποιώντας συστοιχία γυάλινων LFLs σε συνδυασμό με ένα μετακινούμενο πλαίσιο πάνω στο οποίο τοποθετούνται οι απορροφητές. Οι LFLs δύναται έτσι να αποτελούν μέρος της δομικής κατασκευές της οροφής, ενώ το μετακινούμενο πλαίσιο με τους απορροφητές τοποθετείται σε μια απόσταση περίπου 40cm κάτω από τους φακούς. Δεδομένου ότι οι LFLs διαχωρίζουν αποτελεσματικά το άμεσο και διαχεόμενο τμήμα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στο θερμοκήπιο, η άμεση ηλιακή ακτινοβολία συγκεντρώνεται. Η διαχεόμενη ακτινοβολία δεν εστιάζεται πάνω στους φακούς, εισέρχεται κατευθείαν μέσα στο θερμοκήπιο και το φωτίζει. Μια τέτοια διαμορφούμενη οροφή ως διαφανής, σταθερός συλλέκτης συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, έχει τις ακόλουθες επιδράσεις πάνω στο φωτισμό και στη διαμόρφωση του μικροκλίματος μέσα στο θερμοκήπιο:

Φωτισμός. Επιτρέπει στην διάχυτη ακτινοβολία να εισέλθει, δίνοντας κατά αυτόν τον τρόπο, πιο φυσικό φωτισμό χωρίς οξείες αντιθέσεις και έντονες σκιάσεις. Η συνολική ένταση της ακτινοβολίας δεν εξαρτάται ουσιαστικά από την σκίαση που μπορεί να δημιουργούν τα διερχόμενα σύννεφα, διότι οι LFLs συγκεντρώνουν μονό την άμεση ηλιακή ακτινοβολία που είναι υψηλής ενέργειας και μόνο αυτή απορροφάται πάνω στην σκούρα επιφάνεια των απορροφητών. Η διάχυτη ακτινοβολία περνά χωρίς σχεδόν καμία αλλαγή, παρέχοντας το κύριο μέρος του ημερησίου φωτισμού κάτω από τον συλλέκτη και είναι κατάλληλη για το εσωτερικό του θερμοκηπίου που απαιτεί καλό και άρτιο φυσικό φωτισμό.

Κλίμα. Οι LFLs διαχωρίζουν αποτελεσματικά την άμεση και διαχεόμενη ηλιακή ακτινοβολία και η άμεση συγκεντρώνεται και μετατρέπεται σε ενέργεια (θερμική ή ηλεκτρική, στο εστιακό επίπεδο του φακού όπου ένας μετακινούμενος απορροφητής είναι τοποθετημένος. Αν η θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη από ένα επιθυμητό επίπεδο, και με την προϋπόθεση ότι ο ουρανός είναι καθαρός, οι απορροφητές μετακινούνται έξω από την ζώνη εστίασης και έτσι στην περιοχή κάτω από τον συλλέκτη αυξάνεται η θερμοκρασία, από την εισερχόμενη άμεση ακτινοβολία. Όταν το βέλτιστο επίπεδο θερμοκρασίας επιτευχθεί εντός του χώρου, οι απορροφητές μπορούν αυτόματα να προσαρμόζονται στην γραμμή εστίασης και το σύστημα αρχίζει να εργάζεται ξανά ως συλλέκτης συγκέντρωσης ηλιακής ακτινοβολίας. Με αυτόν τον τρόπο μια ουσιαστική αναλογία της εισερχόμενης ενέργειας, περίπου το 60% της άμεσης ακτινοβολίας, μεταφέρεται εκτός του θερμοκηπίου μέσω θερμότητας και ηλεκτρισμού, μειώνοντας έτσι το θερμικό φορτίο, τόσο όσο ο χώρος να μην υπερθερμαίνεται, ενώ παραμένουν τα πλεονεκτήματα του κανονικού «Φαινόμενου του Θερμοκηπίου»(Jirka et al, 1999).

Επειδή ο ήλιος αλλάζει θέση όσον αφορά το σύστημα συλλεκτών καθ' όλη τη διάρκεια των εποχών το πλαίσιο με τους τοποθετημένους απορροφητές σχεδιάζεται για να κινηθεί αυτόματα προκειμένου να ακολουθείται η προβολή του ήλιου. Η ενέργεια που απαιτείται για αυτήν την αυτόματη ρύθμιση της θέσης πλαισίων παρέχεται από φωτοβολταϊκά κύτταρα. Συνεπώς το σύστημα συλλεκτών είναι ανεξάρτητο από την εξωτερική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Μια ηλεκτρονική μονάδα για τον έλεγχο του συστήματος και για την ακολουθία της προβολής του

ήλιου συμπεριλαμβάνεται επίσης. Αυτή η μονάδα ελέγχει και την κυκλοφορία ύδατος στο σύστημα (αν μιλάμε για θερμικούς συλλέκτες). Ένα άλλο μέρος της ηλεκτρονικής μονάδας είναι ένα κύκλωμα ασφάλειας που ενεργοποιείται προκειμένου να αποτραπεί οποιαδήποτε υπερθέρμανση του συλλέκτη. Όταν ανιχνεύει τη δυνατότητα υπερθέρμανσης, οι απορροφητές μετατοπίζονται από την εστίαση.

Συμπερασματικά, το περιγραφόμενο σύστημα, δύναται να παρέχει κατάλληλες συνθήκες περιβάλλοντος όπως φωτισμό, θερμοκρασία και σχετική υγρασία, για υψηλής ποιότητας καλλιέργειες θερμοκηπίων προϊόντων, ακόμα και κατά την διάρκεια περιόδων που έχουμε απορρόφηση μέγιστης ποσότητας ηλιακής ενέργειας από τους συλλέκτες, παραμένει επαρκής φωτισμός για ικανοποιητική ανάπτυξη των φυτών μέσα στο θερμοκήπιο.

3.3.2 Συνδυασμός Των Φακών Fresnel Με PVT Συστήματα.

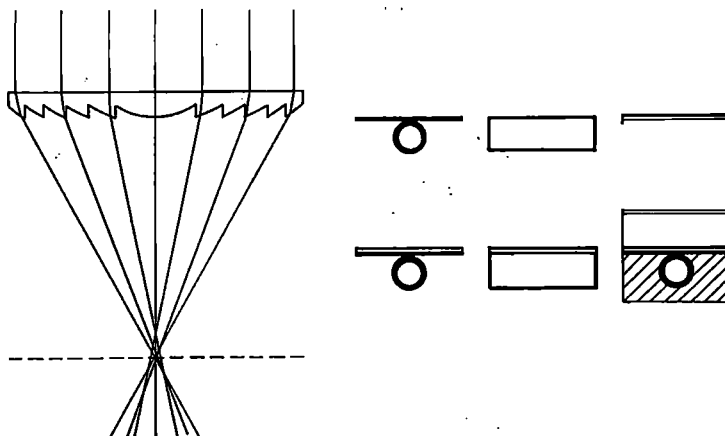
Οι γραμμικοί φακοί Fresnel μπορούν να συνδυαστούν με γραμμικούς πολυχρηστικούς απορροφητές που μετατρέπουν την συγκεντρωθείσα άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα, ηλεκτρισμό ή και τα δυο. Αυτό το συνδυαστικό σύστημα μπορεί να προσαρμόσει τον έλεγχο φωτισμού σε πιο επιθυμητά επίπεδα και να συνεισφέρει στις ανάγκες του αερισμού κατά την διάρκεια της ημέρας. Το πλεόνασμα της ενέργειας μπορεί να αποθηκευτεί για θέρμανση του θερμοκηπίου, για επέκταση του χρόνου του φωτισμού των φυτών μέσω τεχνητού φωτισμού, ή για κάλυψη άλλων ηλεκτρικών αναγκών του θερμοκηπίου. Πρέπει να αναφερθεί ότι σε χαμηλή ένταση ακτινοβολίας, λόγω της θέσης του ήλιου σχετικά με την οροφή του θερμοκηπίου (χαμηλό ύψους θερμοκηπίου), η εξαιτίας σύννεφων, οι απορροφητές μπορούν να τεθούν εκτός της ζώνης εστίασης, αφήνοντας το φως να εισέλθει στον εσωτερικό χώρο και να διατήρηση τον φωτισμό σε ένα αποδεκτό επίπεδο για τα καλλιεργούμενα φυτά.

Όσον αφορά την θερμική μετατροπή, η συγκεντρωθείσα ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται και αυξάνει την θερμοκρασία ενός τύπου σωλήνα ή πτερυγωτού τύπου απορροφητή. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω ενός κυκλοφορούντος ρευστού, που συνήθως είναι το νερό και το υδραυλικό σύστημα συνδέεται με αποθήκη για μετέπειτα χρήση. Όταν εφαρμόζεται αυτό σύστημα στα θερμοκήπια, θεωρούμε ότι η θέρμανση του νερού γίνεται σε περιόδους τέτοιες της ημέρας, κυρίως το μεσημέρι, που υπάρχει πλεόνασμα ηλιακής ακτινοβολίας στο θερμοκήπιο. Το υποθηκευμένο ζεστό νερό δύναται να κυκλοφορεί διαμέσου των σωλήνων του απορροφητή στην διάρκεια της νύχτας συνεισφέροντας στις θερμικές ανάγκες του θερμοκηπίου και διατηρώντας την θερμοκρασία του αέρα σε ένα αποδεκτό επίπεδο. Στην περίπτωση της χρήσης φωτοβολταϊκών ως απορροφητές, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα για τις ηλεκτρικές ανάγκες του θερμοκηπίου, μπορεί να μεταφερθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο, ή μπορεί να αποθηκευτεί σε μπαταρίες.

Τα PV στοιχεία μετατρέπουν ένα μικρό μέρος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό, με το μεγαλύτερο μέρος αυτής να μετατρέπεται σε θερμότητα. Αυτό το γεγονός αυξάνει την θερμοκρασία τους, με αποτέλεσμα η αποδοτικότητα τους να μειώνεται. Τα PV και τα θερμικά συστήματα μπορούν να συνδυαστούν σε μια μονάδα αποτελώντας το υβριδικό PVT σύστημα, το οποίο παρέχει ταυτόχρονα ηλεκτρισμό και θερμότητα και μπορεί να διατηρήσει την απόδοση του PV σε ένα ικανοποιητικό επίπεδο (Tripanagnostopoulos et al, 2001, 2002, 2003). Στις εφαρμογές PVT συστημάτων και θεωρώντας ότι ο ηλεκτρισμός

είναι η προτεραιότητα τους, η λειτουργία των PV στοιχείων σε χαμηλότερες θερμοκρασίες είναι απαραίτητη για να διατηρηθεί η ηλεκτρική αποδοτικότητα των PV στοιχείων σε ένα αποδοτικά υψηλότερο επίπεδο. Αυτή η απαίτηση περιορίζει το λειτουργικό εύρος της θερμικής μονάδας του PVT συστήματος σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και η εξαγόμενη θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θερμικές ανάγκες χαμηλότερης θερμοκρασίας. Θεωρώντας την ενσωμάτωση των φακών Fresnel-PVT συστημάτων στην οροφή του θερμοκηπίου είναι απαραίτητο να θεωρήσουμε την χρήσιμα παραγομένη ηλεκτρική και θερμική ενεργεία μαζί ως επίσης οφέλη στον έλεγχο φωτισμού και στο κέρδος αερισμού για να επιτευχθεί αποδοτικό κόστος εγκατάστασης.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η σχεδιαστική αρχή ενός φακού Fresnel, ο οποίος είναι μη ευκρινούς ειδώλου συγκεντρωτής και επομένως οι διαθλώμενες ακτίνες σχηματίζουν ένα διαχεόμενο είδωλο του ηλίου στην εστιακή απόσταση. Στην ίδια εικόνα, παρουσιάζονται έξι τύποι των δυνατών απορροφητών ηλιακής ακτινοβολίας, όπου στην πρώτη γραμμή είναι ο περυγωτού και σωληνωτού τύπου για θέρμανση νερού, ο αγωγός αέρα για θέρμανση αέρα και ο φωτοβολταϊκού τύπου απορροφητής. Στην δεύτερη γραμμή υπάρχουν οι υβριδικού τύπου PVT απορροφητές, για θέρμανση νερού, για θέρμανση αέρα και επίσης για θέρμανση νερού με επιπλέον τζάμωμα και θερμική μόνωση (Tripanagnostopoulos et al, 2004).

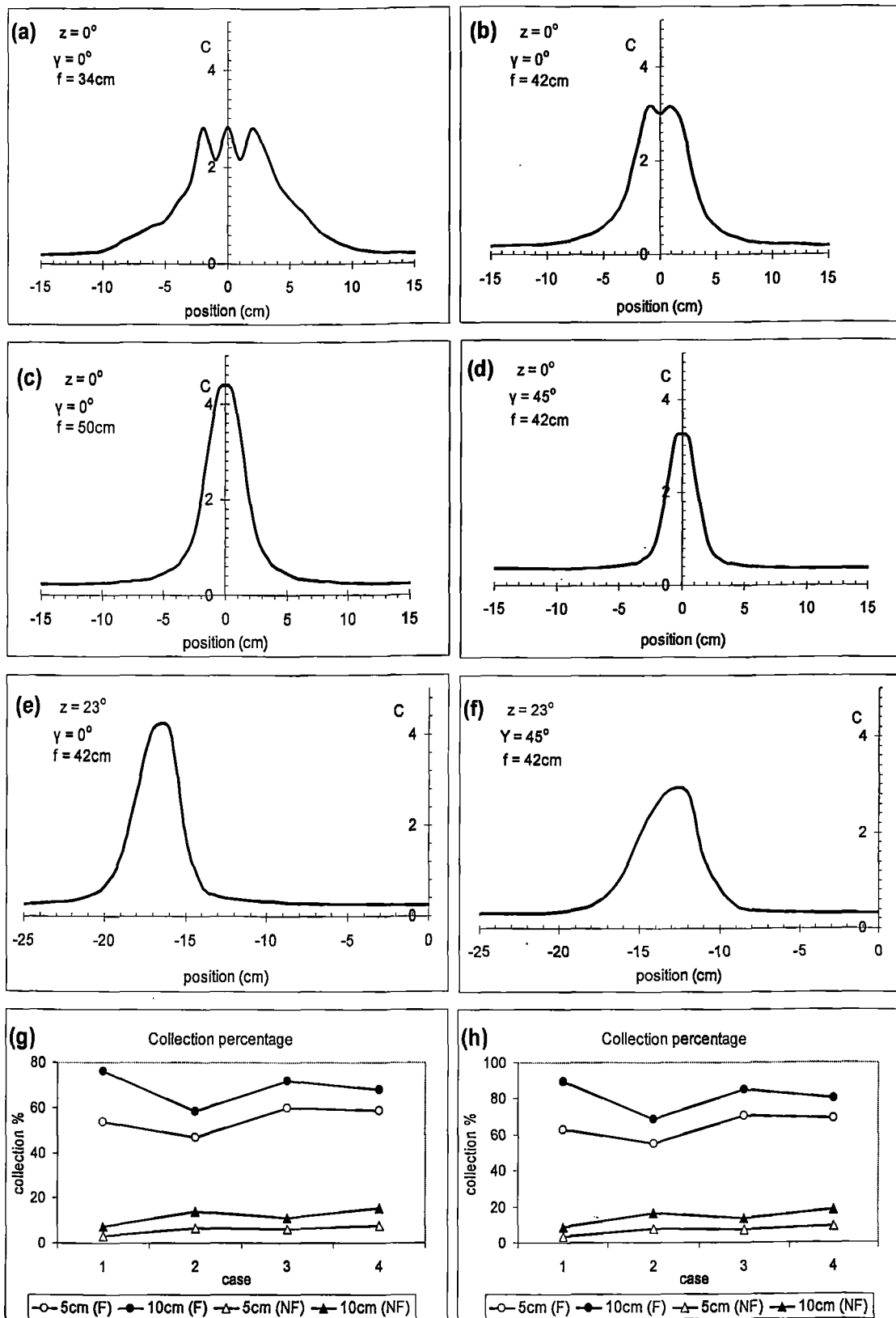


Σχήμα 2: Φακός Fresnel και εναλλακτικοί τύποι απορροφητών θερμικού, φωτοβολταϊκού (PV) και υβριδικού φωτοβολταϊκού (PVT) τύπου.

Θεωρούμε ότι η βέλτιστη εστιακή απόσταση τοποθέτησης των απορροφητών είναι $f=42\text{cm}$ και υπολογίστηκε το ποσοστό της συγκεντρωθείσας ηλιακής ακτινοβολίας εφαρμόζοντας απορροφητές πλάτους 10cm και 5cm. Τα αποτελέσματα είναι με τους απορροφητές σε δύο θέσεις : στη ζώνη εστίασης (F) και έξω από τη ζώνη εστίασης (NF), και είναι βασισμένα στα διαγράμματα της προσπίπτουσας (g) και διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας (h).

Τα διαγράμματα (g και h) δείχνουν ότι η περισσότερη από την διερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία από την γυάλινη οροφή απορροφάται από τους απορροφητές, για να ρυθμιστεί ο φωτισμός στο εσωτερικό του θερμοκηπίου και να παρέχεται

θερμότητα και ηλεκτρισμός που θα συνεισφέρουν στις ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου. Τα πειράματα έδειξαν ότι το 60%-80% της διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του διαφανούς καλύμματος πάνω στους γραμμικούς απλούς η πολυχρηστικούς (PVT) απορροφητές, αφήνει το υπόλοιπο ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας να κατανεμηθεί μέσα στον θερμοκήπιο χώρο για να καλύψει τις ανάγκες φωτισμού των φυτών. Τέλος μια μείωση της θερμοκρασίας της τάξης των 4-6 °C έχει παρατηρηθεί σε πειραματικές δοκιμές, στη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου μονάδας προσομοίωσης θερμοκηπίου, κατά την λειτουργία του συστήματος το μεσημέρι.



Σχήμα 3: Κατανομή της συγκεντρωθείσας ηλιακής ακτινοβολίας με την χρήση φακών Fresnel lens (a-f) και το συλλεγόμενο ποσοστό αυτής μέσω απορροφητών 5 και 10 cm αντίστοιχα (g-h)

3.4 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΡΗΣΗΣ ΦΑΚΩΝ FRESNEL ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΦΑΚΟΙ FRESNEL

3.4.1 Υπολογισμός Ετήσιων Και Εποχιακών Ενεργειακών Αναγκών Θερμοκηπίου Σε kWh

Οι ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου θα υπολογιστούν σε σχέση με τις ανάγκες για θέρμανση, για δροσισμό, για εξαερισμό (δυναμικό) και για φωτισμό.

Όλοι οι υπολογισμοί θα γίνουν για το θερμοκήπιο που περιγράφεται παρακάτω:

- μεταλλικό γυάλινο με καλή συντήρηση οπότε $n=1.5$ (n ο αριθμός αλλαγών του αέρα από διαφυγές με κλειστά παράθυρα ανά ώρα).
- συντελεστής θερμοπερατότητας του καλύμματος $K=2.4 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ (απλό τζάμι και θερμοκουρτίνα).
- έκταση 500m^2 (πλάτος 10m , μήκος 50m), πλάτος κατασκευαστικής μονάδας 5m , ύψος πλαϊνών ορθοστατών 2.60m , ύψος κορυφιά 4.20m , κλίση οροφής 30° .
- όγκος θερμοκηπίου $V=1700 \text{ m}^3$
- επιφάνεια καλύμματος $A= 837 \text{ m}^2$
- Dt η διαφορά θερμοκρασίας μέσα T_1 - T_a όπου $T_1= 14 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_a= 7.2 \text{ }^\circ\text{C}$
Ως T_1 θερμοκρασία, λαμβάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου και ως T_a η μέση ελάχιστη νυχτερινή θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα που εμφανίζεται στην περιοχή με συχνότητα τριετίας $K=2.4 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.

α) Ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου για θέρμανση σε kWh (πρώτος τρόπος υπολογισμού)

Ο υπολογισμός των αναγκών σε θέρμανση γίνεται με τον παρακάτω τύπο :

$$Q = (K * A * Dt + 0,36V * n * Dt) * 1,20$$

Όπου K , A , Dt , V , n , τα στοιχεία τα οποία αναλύθηκαν πιο πάνω.

$$Q = 23882.68 \text{ W ή } 23.88 \text{ KW}$$

Αν υποθέσουμε ότι το σύστημα θέρμανσης πρέπει να δουλεύει κατά μέσο όρο 7 ώρες ημερησίως τότε θα έχουμε:

$$Q = 167178.76 \text{ Wh/ημέρα ή } 167.18 \text{ KWh/ημέρα}$$

$$Q = 5015362.8 \text{ Wh/ μήνα ή } 5015.36 \text{ Wh/ μήνα}$$

Οι ανάγκες σε θέρμανση εντοπίζονται κατά τους μήνες Νοέμβριο- Απρίλιο, δηλ. για έξι (6) μήνες, οπότε ετησίως απαιτούνται:

$Q = 30092176.8$ ή 30092.18 KWh σύνολο.

β) Ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου για εξαερισμό σε kWh.

Ο αερισμός του θερμοκηπίου γίνεται με φυσικό και δυναμικό εξαερισμό. Ο δυναμικός εξαερισμός γίνεται με ανεμιστήρες στην μικρή πλευρά του θερμοκηπίου και είσοδο αέρα από την αντίθετη πλευρά, με δημιουργία υποπίεσης ή υπερπίεσης ανάλογα, οι οποίοι και μας εξασφαλίζουν 45-60 αλλαγές ανά ώρα (n/h).

Η μέση ετήσια κατανάλωση (≈ 8 μήνες) ηλεκτρικής ενέργειας για εξαερισμό του θερμοκηπίου είναι μέσο όρο 35 MJ/m^2 (ετήσιο εύρος κατανάλωσης $20-50 \text{ MJ/m}^2$, Μαυρογιαννόπουλος, 2001) οπότε για το εν λόγω θερμοκήπιο των 500 m^2 η συνολική απαιτούμενη ισχύς είναι 17500 MJ ή 4861.1 KWh .

γ) Ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου για φωτισμό σε KWh.

Τον χειμώνα κυρίως και λιγότερο την άνοιξη που η διάρκεια της νύχτας είναι μεγάλη, όταν θέλουμε να την περιορίσουμε και να επιμηκύνουμε τον φωτισμό για αλλαγή του φωτοπεριοδισμού των φυτών χρησιμοποιούμε τεχνητό φωτισμό.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Απαιτούμενη Διάρκεια Τεχνητού Φωτισμού

ΜΗΝΑΣ	ΩΡΕΣ* ΗΜΕΡΕΣ	Ισχύς λαμπτήρων (kWh)
Απρίλιος, Σεπτέμβριος	$2 * 20 = 80$	360
Μάρτιος, Οκτώβριος	$2 * 30 = 120$	540
Νοέμβριος, Φεβρουάριος	$3 * 30 = 180$	810
Δεκέμβριος, Ιανουάριος	$4 * 30 = 240$	1080
ΣΥΝΟΛΟ (8 μήνες)	620h	2790 kWh

Για τον φωτισμό μέσα στο θερμοκήπιο χρησιμοποιούνται 30 λαμπτήρες φθορισμού χαμηλής πίεσης νατρίου των 150 W . Η συνολική ισχύς των λαμπτήρων είναι 4500 W και στο σύνολο των ωρών που απαιτείται να χρησιμοποιούνται (στήλη 2), η ισχύς είναι 2790 kWh .

δ) Ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου για δροσισμό σε kWh.

Ο δροσισμός του θερμοκηπίου γίνεται με υγρό τοίχωμα που βρίσκεται στην πλευρά απέναντι από τους ανεμιστήρες των οποίων η ισχύς των κινητήρων πρέπει να είναι 5 W/m^2 . Στο συγκεκριμένο θερμοκήπιο χρησιμοποιούνται τρεις (3) ανεμιστήρες, οπότε απαιτούνται συνολικά 7500 W . Ο δροσισμός είναι απαραίτητος κατά τους μήνες Μάιο, Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο και κατά μέσο όρο 2 ώρες δηλαδή συνολικά 300 ώρες.

Η συνολική ισχύς του το διάστημα που απαιτείται δροσισμός είναι 2250 kWh .

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 : Συνολικές Ενεργειακές Ανάγκες Του Θερμοκηπίου Σε kWh

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ	ΑΝΑ ΜΗΝΑ	ΠΕΡΙΟΔΟΥ
ΘΕΡΜΑΝΣΗ	4137.138 (6 μήνες)	30092.18 kWh
ΕΞΑΕΡΙΣΜΟ	555.55 (8 μήνες)	4861.1 kWh
ΦΩΤΙΣΜΟ	405 (8 μήνες)	2790 kWh
ΔΡΟΣΙΣΜΟ	450 (5 μήνες)	2250 kWh
ΣΥΝΟΛΟ	5547.688	39993.28 kWh

3.4.2 Εφαρμογή Φακών Fresnel- Υβριδικού φωτοβολταϊκού /θερμικού (PV/T) συστήματος

Η χρήση φακών Fresnel σε συνδυασμό με PVT απορροφητές για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου με δεδομένο την συλλογή του 60%-80% της ηλιακής ακτινοβολίας που διέρχεται του διαφανούς καλύμματος του θερμοκηπίου, με δεδομένο της μετατροπής της από το PVT σύστημα κατά 30% σε θερμότητα και κατά 10% σε ηλεκτρισμό και με δεδομένα τα ετήσια μετεωρολογικά δεδομένα που μας δίνουν την ηλιακή ακτινοβολία της περιοχής δίνει ως απόδοση τα εξής:

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Συνολικά Προσπίπτουσα Ηλιακή Ενέργεια Στο Σύστημα Fresnel-PVT

Μήνες	t (h)	d	Σύνολο	I (W/m ²)	Q total (kWh/ m ²)
Δεκ-Ιαν-Φεβρ	3	10	90	400	36
Μαρτ-Νοεμ	4	15	120	600	72
Απρ-Οκτωβρ	4	20	320	600	96
Μαιος-Σεπτ	5	20	200	600	120
Ιουν-Ιουλ-Αυγ	8	30	720	600	432
ΣΥΝΟΛΟ					684 (kWh/m²)

Η απόδοση του συστήματος φακών Fresnel σε συνδυασμό με PVT απορροφητές σε θερμική και ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου δίνεται στον πίνακα 4. Η σύνταξη του πίνακα στηρίζεται στα εξής δεδομένα:

Το ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας που συλλέγεται από σύστημα φακών Fresnel- PVT απορροφητές (Qc) εκτιμάται στο 60%. Η μετατροπή της από το PVT σύστημα είναι κατά 30% σε θερμότητα και κατά 10% σε ηλεκτρισμό. Ως επιφάνεια οροφής θερμοκηπίου καλυπτόμενη με φακούς Fresnel

(Αα) λαμβάνεται το ήμισυ της κεκλιμένης οροφής και συγκεκριμένα το κλίτος που έχει μεσημβρινό προσανατολισμό.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Απόδοση Συστήματος Fresnel-PVT Σε Θερμική Και Ηλεκτρική Ενέργεια

ΜΗΝΕΣ	Q total (kWh/m ²)	Aa (m ²)	Qc %	ΣΥΝΟΛΟ kWh	ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ 30% (kWh)	ΗΛΕΚΤΡ. 10% (kWh)
Δεκ-Ιαν-Φεβρ	36	280	60%	6048	1815	604
Μαρτ –Νοεμ	72	280	60%	12096	3628	1209
Μαιος-Σεπτ	96	280	60%	16128	6048	2016
Απρ- Οκτώβρ	120	280	60%	33600	4838	1612
Ιουν-Ιουλ-Αυγ	432	280	60%	72576	21773	7557
ΣΥΝΟΛΟ					38102 kWh	12998 kWh

Εξετάζοντας τις υπολογισθείσες ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου, μπορούν να εξαχθούν μερικά συμπεράσματα από τα οφέλη που αποκομίζονται από τη πιθανή χρήση των γραμμικών φακών Fresnel αντί των τυπικών γυάλινων καλυμμάτων. Όσον αφορά τις ανάγκες θέρμανσης του θερμοκηπίου εξετάστηκε η περίοδος από το Νοέμβριο μέχρι τον Απρίλιο και υπολογίστηκε ένα φορτίο θέρμανσης 30092 kWh. Για τον εξαερισμό εξετάστηκε η περίοδος από το Μάρτιο μέχρι τον Οκτώβριο υπολογίστηκε ένα φορτίο 48628 kWh και για την ψύξη από το Μάιο μέχρι τον Σεπτέμβριο με φορτίο 2790 kWh. Επιπλέον, υπολογίστηκε το φορτίο για τεχνητό φωτισμό του θερμοκηπίου από το Σεπτέμβριο μέχρι τον Απρίλιο σε 2250 kWh.

Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται οι γραμμικοί φακοί Fresnel σε συνδυασμό με τους θερμικούς συλλέκτες υπολογίζεται ένα ενεργειακό όφελος 7800 kWh, που αντιστοιχεί στο 25% του θερμικού φορτίου κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου, θεωρώντας ότι οι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες έχουν απόδοση 30%. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι θερμικές απώλειες των συλλεκτών είναι προς το εσωτερικό του θερμοκηπίου, δεδομένου ότι οι απορροφητές τοποθετούνται κάτω από τη στέγη και έτσι δεν υπάρχει σημαντική απόκλιση στην διακόμανση της θερμοκρασίας μέσα στο θερμοκήπιο. Επιπλέον, μπορεί να επιτευχθεί όφελος 50% από την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τον εξαερισμό και ψύξη, κυρίως κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου λόγω μείωσης της θερμοκρασίας 4-6 °C. Εάν συνδυαστούν οι φακοί Fresnel με τους απορροφητές φωτοβολταϊκών, μπορεί να επιτευχθεί σε μεγάλο βαθμό ικανοποιητική κάλυψη (75%) των ηλεκτρικών αναγκών στον τεχνητό φωτισμό, την ψύξη και τον εξαερισμό. Τέλος, σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται φακοί Fresnel σε συνδυασμό με τους υβριδικούς απορροφητές PV/T, τότε μπορούν να προκύψουν συγκεντρωτικά όλα τα ανωτέρω οφέλη.

3.5 Συμπεράσματα

Το θερμοκήπιο επηρεάζεται πολύ από τις μεταβαλλόμενες κλιματολογικές συνθήκες και κυρίως από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Μια δυναμική διαχείριση των λειτουργικών απαιτήσεων του θερμοκηπίου, μπορεί να εξασφαλίσει ικανοποιητική ρύθμιση των εμπλεκόμενων παραμέτρων και αντιμετώπιση της αλληλεξάρτησης τους ανάλογα του είδους της καλλιέργειας, των κλιματολογικών συνθηκών και των ζητούμενων αποτελεσμάτων. Ο κατάλληλος συνδυασμός των παραγόντων και η επίδρασή τους στην ενεργειακή αποδοτικότητα ενός θερμοκηπιακού συστήματος παραγωγής είναι πολύ δύσκολος αλλά τα τελευταία χρόνια η συσσωρευμένη εμπειρία και η ανάπτυξη διαφόρων υπολογιστικών εργαλείων αυξάνουν τον βαθμό πρόβλεψης της απόκρισής του (Mastalerz, 1977).

Οι γραμμικοί φακοί Fresnel είναι οπτικά συγκεντρωτικά μέσα μικρού πάχους (~5mm), όσο δηλαδή μιας συνήθους γυάλινης πλάκας και συγκεντρώνουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε μια γραμμική εστία μικρού εύρους. Η εφαρμογή τους ως διαφανή καλύμματα στα θερμοκήπια έχει δώσει ενδιαφέροντα αποτελέσματα για τις μέσου γεωγραφικού πλάτους χώρες (Jirka et al 1998, 1999) και θα μπορούσε να έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα και σε χώρες μικρότερου γεωγραφικού πλάτους όπως η Ελλάδα ή άλλες Μεσογειακές χώρες.

Η συλλογή 60% – 80 % της διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των διαφανών καλυμμάτων από τους απορροφητές αφήνει το υπόλοιπο ποσό να διανεμηθεί εντός του θερμοκηπίου για την κάλυψη αναγκών φωτισμού των φυτών. Το προτεινόμενο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιήσει απορροφητές μικρού πλάτους (5-10cm), ανάλογα με την συγκέντρωση, οι οποίοι μετακινούμενοι απορροφούν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Με την προτεινόμενη χρήση των γραμμικών φακών Fresnel επιδιώκεται ο έλεγχος του φωτισμού και της θερμοκρασίας των θερμοκηπίων και επίσης ενεργειακό όφελος από την αξιοποίηση της πλεονάζουσας εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας.

Η εφαρμογή τους σε συνδυασμό με νέους τύπους απορροφητών κατάλληλων για την θέρμανση νερού, αέρα ή άλλου ρευστού απολαβής της θερμότητας, όπως θερμικοί συλλέκτες (TC) για παραγωγή θερμότητας, φωτοβολταϊκά (PV) για παραγωγή ηλεκτρισμού, ή ακόμη και υβριδικού τύπου όπως είναι τα φωτοβολταϊκά / θερμικά συστήματα (PVT) με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας εκτιμάται ότι μπορεί να αποβεί μια καινοτόμος εφαρμογή με σημαντικά ενεργειακά οφέλη.

Από τις μέχρι τώρα πειραματικές μελέτες για τον φακό Fresnel ως βέλτιστο εστιακό μήκος θεωρείται το $f = 42 \text{ cm}$. Η συλλογή ποσοστού 60-80% της ηλιακής ακτινοβολίας στους διάφορους τύπους απορροφητή (5cm και 10 cm αντίστοιχα) σε σχέση με την διερχόμενη, αφήνει το υπόλοιπο ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας να διανεμηθεί στο χώρο του θερμοκηπίου για τις ανάγκες φωτισμού των φυτών. Έτσι μπορεί να επιτευχθεί μια μείωση της θερμοκρασίας εντός του χώρου του θερμοκηπίου από 4 °C έως 6 °C στη διάρκεια λειτουργίας των συστημάτων το μεσημέρι. Σε περιόδους υψηλής έντασης ηλιακής ακτινοβολίας (καλοκαίρι και κατά την διάρκεια του μεσημεριού) μέσα σε ένα θερμοκήπιο αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες (έως και 40 °C) παρόμοιες με αυτές που παρατηρήθηκαν στην μονάδα προσομοίωσης θερμοκηπίου. Η μείωση της θερμοκρασίας συμβάλλει στον περιορισμό της υπερθέρμανσης του χώρου.

Για την μείωση της θερμοκρασίας εντός του θερμοκηπίου σε ικανοποιητικά επίπεδα ως προς την ανάπτυξη και την ποσοτική και ποιοτική παραγωγή των περισσότερων κηπευτικών και ανθοκομικών καλλιεργειών (περίπου 25 °C) το προτεινόμενο σύστημα φακών Fresnel σε συνδυασμό με τους υβριδικούς απορροφητές PV/T από μόνο του μπορεί να μην επαρκεί και μπορεί να συνδυαστεί με φυσικό ή δυναμικό εξαερισμό ή κάποιο σύστημα δροσισμού. Σε κάθε περίπτωση όμως, η αποφυγή κουρτινών σκίασης και λεύκανσης αποτελεί ένα οικονομικό πλεονέκτημα μιας ενδεχόμενης αξιοποίησης του προτεινόμενου συστήματος φακών Fresnel.

Το προτεινόμενο σύστημα, όπως ήδη έχει αναφερθεί, μπορεί να συνδυαστεί με θερμικό και φωτοβολταϊκού τύπου απορροφητή με σκοπό τη μετατροπή της πλεονάζουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα και ηλεκτρισμό, συμβάλλοντας στον έλεγχο φωτισμού και θερμοκρασίας, τη θέρμανση και άλλες ενεργειακές ανάγκες των θερμοκηπίων σύμφωνα με τις τοπικές καιρικές συνθήκες και τις ανάγκες των καλλιεργούμενων φυτών.

Υπολογίζοντας τις ενεργειακές ανάγκες ενός συγκεκριμένου θερμοκηπίου για θέρμανση, εκτιμήθηκε ότι η χρήση των Γραμμικών φακών Fresnel (αντί των συμβατικών υαλοπινάκων ως υλικό κάλυψης), με τους θερμικούς απορροφητές μπορεί να μειώσει κατά περίπου 25% τις θερμικές ανάγκες τον χειμώνα θεωρώντας ότι οι θερμικοί συλλέκτες έχουν απόδοση 30% και κατά 50% το φορτίο εξαερισμού και ψύξης των θερμοκηπίων το καλοκαίρι. Σε συνδυασμό με απορροφητές PV μπορεί να καλύψει το μεγαλύτερο μέρος των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος, σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται φακοί Fresnel σε συνδυασμό με τους υβριδικούς απορροφητές PV/T, τότε μπορούν να προκύψουν συγκεντρωτικά όλα τα ανωτέρω οφέλη.

Δεδομένου ότι στην Ελλάδα η παραγόμενη ενέργεια προέρχεται κατά 90% από συμβατικά καύσιμα (γαιάνθρακες και υδρογονάνθρακες) που προκαλούν από την καύση τους σημαντική επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος (φαινόμενο θερμοκηπίου, άνοδος θερμοκρασίας, υποβάθμιση μεγάλων περιοχών στις οποίες είναι εγκατεστημένες τέτοιες μονάδες παραγωγής ενέργειας, κλπ) γίνεται σαφές ότι, μακροπρόθεσμα, μια πιθανή εκτεταμένη χρήση των φακών στα θερμοκήπια μπορεί να αποβεί ανακουφιστική για το περιβάλλον στο βαθμό και στην έκταση που κάθε θερμοκήπιο καταναλίσκει ηλεκτρική ενέργεια δικτύου ή πετρέλαιο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

BIBLIA

Γιαννούλης Π., *Νέες Πηγές Ενέργειας*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2001

Μαυρογιαννόπουλος Ν. Γ., *Θερμοκήπια, Περιβάλλον-Υλικά-Κατασκευή-Εξοπλισμός*, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε, Αθήνα 2001

Campbell S.G. and Norman M.J., *An Introduction to Environmental Biophysics*, Springer-Verlag, New York, 1998

Rabl Ari., *Active Solar Collectors and Their Applications*, Oxford University Press, 1985.

Duffie J. and Beckman W., *Solar Energy Thermal Processes*, Wiley J. and Sons, INC, 1980

Meinel B. A. and Meinel P. M., *Applied Solar Energy, an Introduction...*

Bakker J.C., Bot G.P.A., Challa H., *Greenhouse climate control*, Wageningen Press, 1995

Rigopoulos R., Santamouris I., *Solar Greenhouse heating*, 1981.

Mastalerz W. J., *The Greenhouse Environment*, 1977.

Θερμοκήπια 1996, Εκδόσεις Γεωργική Τεχνολογία

Γεωργία και Κτηνοτροφία, 1999, τεύχος 9, Εκδόσεις Αγρότυπος

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Bailey B. J., (1988). Energy Conservation and Renewable Energies for Greenhouses Heating. FAO- Reur technical series, Vol. 3, pp. 17-41

Baille A., (1988). Greenhouse micro-climate and its management in mild winter climates. Symposium ISHS on "Protected ornamental cultivation in Mild Winter Climate". Tenerife Oct. 1988

Belessiotis V., Delyannis E., (2000). The History of Renewable energies for Water Desalination. Desalination, Vol. 128, pp. 147-159

Cockshull E. K., Graves J. C., Cave J.R., (1992). The Influence of Shading on Yield of Glasshouse Tomatoes. Journal of Horticultural Science, Vol. 67, pp. 11-24

Delyannis E., (2003). Historic Background of Desalination and Renewable energies. Solar Energy, Vol. 75, pp. 357-366

Grafiadellis M., Kyritsis S., (1978). New developments in shading plastic greenhouse. Acta Horticulture, Vol. 76, pp. 365-368.

Huang B.J. Lin T.H. Hung W.C. and Sun F.S. 2001. Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems. Solar Energy 70: 443-448.

Jirka V., Kuceravy V., Maly M., Pech F., Pokorny J., (1999). Energy flow in a greenhouse equipped with glass raster lenses Part II. Renewable Energy, Vol. 16, pp. 660-664.

Jirka V., Kuceravy V., Maly M., Pokorny J. and Rehor E., (1998). The architectural use of glass raster lenses. In Proc. of World Renewable Energy Congress V, Part III. pp. 1595-1598.

Kaminar R.N., Curchod D., (1990). Desing and Construction of a Extruded, Curved, Linear Focus, Fresnel Lens, 21st IEEE Photovoltaic Specialists Conference

Kempkes F.L.K., Van de Braak J.K., Bakker C. J., (2000). *Effect of Heating System Position on Vertical Distribution of Crop Temperature and Transpiration in Greenhouse Tomatoes*. Journal of Agriculture Engineering Research, Vol. 75, pp. 57-64

Kritchman M. E., Friesem A. A., Yekutieli G., (1979). Efficient Fresnel Lens for Solar Concehtration, Solar Energy Vol.22, pp.119-123

Kritchman M. E., Friesem A. A., Yekutieli G., (1979). Highly Concentrating Fresnel Lenses, Applied Optics, Vol.18, pp.2688-2695

Leutz Ralf, Susuki Akio, Akisawa Atsushi, Kashiwagi Takao, (1999). Desing of a Nonimaging Fresnel Lens for Solar Concentrators, Solar Energy, Vol. 65, pp.379-387

Lorenzo E., Minano C. J., (1986). Desing of One-axis Tracted Linear Fresnel Lenses, Solar Energy, Vol. 36, pp.531-534

Miller E. O., Mcleod H. J., Sherwood T. W., (1951). Thin Sheet Plastic Fresnel Lenses of High Aperture, Optical Society of America, Vol.41, pp. 807-815

Nelson T. D., Evans L. D., Bansal K. R., (1975). Linear Fresnel Lens Concentrators, Solar Energy, Vol. 17, pp.285-289

Ozturk H.H., Bascetincelik A., Paksoy H. O., Demirel Y., (1999). *The Research on Storage of Solar Energy in Fhase Change Material (PCM) for Greenhouse Heating*. Proceedings of ICAME '99 '7th International Congress on Agricultural Mechanisation and Energy, Adana, Turkey, pp. 326-331

Papadakis G., Briassoulis D., Scarascia Mygnozza G, Vox G., Feuilloley P., Stffers A.J., (2000). Radiometric and Thermal Properties of, and Testing Methods for, Greenhouse Covering Materials. Journal of Agriculture Engineering Research, Vol. 77(1), pp.7-38.

Popovski K., (1986). Location of Heating Installations in Greenhouses for Low Temperature Heating. CNRE Bulletin, Vol.15, pp. 51-55

Rozakis S., Soldatos P., Papadakis G., Kyritsis S., (1997). Evaluation of an Integrated Renewable energy System for Electricity Generation in Rural Areas. Energy Policy, Vol. 25 (3), pp. 337-347

Santamouris M.I., (1993). *Active Solar Agricultural Greenhouse. The State of Art*. International Journal Solar Energy. Vol. 14, pp. 19-32

Spanomitsios K. G., (2001). Temperature Control and Energy Conservation in a Plastic Greenhouse. Journal of Agriculture Engineering Research, Vol. 80, pp.251-259

Tripanagnostopoulos Y. Souliotis M., Battisti R. and Corrado A. 2003. Application aspects of hybrid PV/T solar systems. In Proc. (CD-ROM) ISES Solar World Congress 2003, Goteborg, Sweden, 4-19 June.

Tripanagnostopoulos Y., Nousia Th., Souliotis M. and Yianoulis P. 2002. Hybrid Photovoltaic/Thermal solar systems. Solar Energy 72: 217-234.

Tripanagnostopoulos Y., Souliotis M., Tonui J.K. and Kavga A. 2004. Illumination aspects for efficient greenhouses. In Proc. (CD-ROM) Int. Conf. Greensys 2004, Leuven, Belgium.

Tripanagnostopoulos Y., Souliotis M., Tonui J.K. and Kavga A. 2004. Greenhouse energy supply by solar/wind systems. In Proc. (CD-ROM) Int. Conf. Greensys2004, Leuven, Belgium.

Van de Braak N. J., (1988). *New Methods of Greenhouses Heating. Engineering and Economics Aspects*. Acta Horticulturae, Vol. 245, pp. 149-157

Von Elsner B., Briassoulis D., Waaijenberg D., Mistriotis A., von Zabeltitz C., Graatraud J., Russo G., Suay- Cortes R., (2000). Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouse in European Union Countries: Part I, Design Requirements. Journal of Agriculture Engineering Research, Vol. 75, pp. 1-16

Von Elsner B., Briassoulis D., Waaijenberg D., Mistriotis A., von Zabeltitz C., Graatraud J., Russo G., Suay- Cortes R., (2000). Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouse in European Union Countries: Part II, Typical Designs. Journal of Agriculture Engineering Research, Vol. 75, pp. 111-126