

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ  
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Αριθμ. Πρωτοκ. 428

Ημερομηνία 9-10-13



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 12615/1  
Ημερ. Εισ.: 15/05/2014  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ-ΦΠΑΠ  
2013  
ΜΠΑ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ  
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

.....

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**Θέμα:**

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΦΥΛΛΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ ΣΤΟ  
ΜΙΚΡΟΚΛΙΜΑ ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΗΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ  
ΤΟΜΑΤΑΣ**

**Όνοματεπώνυμο συγγραφέα:**

**Μπαχλιτζανάκης Αμίλιος, Φοιτητής Π.Θ.**

**Επιβλέπων Καθηγητής:**

**Δρ. Νικόλαος Κατσούλας, Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.**

**ΒΟΛΟΣ 2013**

**UNIVERSITY OF THESSALY**  
**SCHOOL OF AGRICULTURE SCIENCE**  
**DEPARTMENT OF AGRICULTURE, CROP PRODUCTION AND RURAL**  
**ENVIRONMENT**  
**Laboratory of agriculture constructions and environmental control**

.....

**THESIS**

**Subject:**

**EFFECT OF THERMAL GREENHOUSE COVERING FILMS IN  
MICROCLIMATE AND YIELD OF HYDROPONIC TOMATO CULTIVATION**

**Author:**

**Emilios Bachlitzanakis, U.TH. Student**

**Supervisor:**

**Dr. Nikolaos Katsoulas, U.TH. Assistant Professor**

**VOLOS 2013**

## ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Επιβλέπων:

Δρ. Νικόλαος Κατσούλας, Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.

Μέλη:

Δρ. Θεοφάνης Γέμτος, Καθηγητής Π.Θ.

Δρ. Θωμάς Μπαρτζάνας, Ερευνητής, Επικεφαλής Αγροτεχνολογίας Κ.Ε.ΤΕ.Α.Θ.

*“Τὸ ψυχρὸ θέρεται, θερμὸν ψύχεται, ὕγρὸν αὐαίνεται, καρφαλέον νοτίζεται”*

(Ηράκλειτος, 544-484 π.Χ., Ἴων φιλόσοφος)

Αφιερωμένο στους  
γονεῖς μου

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ Κωνσταντίνο Κίττα, Καθηγητή Π.Θ. που ως διευθυντής του Εργαστηρίου των Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεχτικέ την ένταξη μου στο δυναμικό του εργαστήριου.

Τις μεγαλύτερες ευχαριστίες τις οφείλω στον Δρ. Νικόλαο Κατσούλα, Επίκουρο Καθηγητή Π.Θ., που ως Επιβλέπων Καθηγητής με στήριξε σε όλη αυτήν την προσπάθεια και υπομονετικά με καθοδήγησε και με δίδαξε ώσπου να ολοκληρώσω την παρούσα διατριβή.

Επίσης ευχαριστώ τον Δρ. Θεοφάνη Γέμτο, Καθηγητή Π.Θ., και τον Δρ. Θωμά Μπαρτζάνα, Ερευνητή Κ.Ε.ΤΕ.Α.Θ. για τον χρόνο που αφιέρωσαν και της συμβουλές που μου έδωσαν καθώς συγκρότησαν την συμβουλευτική επιτροπή.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία Πλαστικά Κρήτης ΑΒΕΕ για τη γενναιόδωρη βοήθεια τους , καθώς παραχώρησαν τα υλικά κάλυψης που απαιτήθηκαν για την εκπόνηση του πειράματος της διατριβής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνάδελφο κ. Τσουκνίδα Αθανάσιο για την βοήθεια του στο πειραματικό μέρος της εργασίας αυτής.

Ευχαριστώ όλο το προσωπικό τους Υποψηφίους Διδάκτορες και τους μεταπτυχιακούς φοιτητές του εργαστηρίου για την στήριξη που μου παρείχαν.

Και τέλος ευχαριστώ τους γονείς μου που ήταν δίπλα μου κατά την εκπόνηση της διατριβής.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<u>Σελ./Pg.</u>
<b>Περίληψη</b> .....	9
<b>Abstract</b> .....	10
<b>Κεφ. 1 Εισαγωγή</b> .....	11
1.1 Τα θερμοκήπια σε παγκόσμια κλίμακα.....	14
1.2 Καλλιέργεια θερμοκηπίων στην Ελλάδα.....	16
1.3 Υλικά κάλυψης.....	18
1.4 Σκοπός.....	22
<b>Κεφ. 2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση</b> .....	23
2.1 διαχείριση ενεργειας.....	24
2.2 Μοντελοποίηση ροής ενέργειας.....	24
2.3 Επίδραση της θερμικής ακτινοβολίας στο μικρόκλιμα.....	25
2.4 Επίδραση της θερμικής ενέργειας στην ενεργειακή κατανάλωση.....	27
2.5 Έρευνες πάνω σε αλλά υλικά κάλυψης.....	27
<b>Κεφ. 3 Υλικά και μέθοδοι</b> .....	29
3.1 Πειραματικός αγρος.....	30
3.2 Υλικό κάλυψης.....	30
3.3 Πειραματικό σχέδιο.....	31
3.4 Επιλογή φυτων.....	31
3.5 Εγκατάσταση καλλιέργειας.....	31
3.6 Καλλιεργητική τεχνική.....	34
3.7 Άρδευση λίπανση.....	35
3.8 Θέρμανση .....	37



	<u>Σελ./Pg.</u>
3.9 Οπτικές ιδιότητες θερμικών φυλλων.....	38
3.10 Μικρού μήκους ακτινοβολία.....	38
3.11 Αγρονομικές μετρήσεις.....	40
3.12 Υπολογισμός αύξησης και ανάπτυξης.....	42
<b>Κεφ. 4 Οπτικές ιδιότητες υλικών κάλυψης .....</b>	<b>44</b>
4.1 Οπτικές ιδιότητες υλικών κάλυψης.....	45
<b>Κεφ. 5 Μελέτη της ανακλαστικής ιδιότητας του υλικού .....</b>	<b>55</b>
5.1. Αποτελέσματα περιόδου με θέρμανση των θερμοκηπίων.....	56
5.2. Ημέρες χωρίς θέρμανση.....	71
<b>Κεφ. 6 Αγρονομικές μετρήσεις .....</b>	<b>80</b>
6.1.Μετρήσεις μορφολογίας φυτών.....	81
6.2 Αποδόσεις.....	86
<b>Κεφ. 7 Ανάλυση αποτελεσμάτων .....</b>	<b>88</b>
7.1 Ιδιότητες υλικών κάλυψης.....	89
7.3 Μικροκλίμα .....	89
7.2 Ηλιακή ακτινοβολία.....	89
7.4 Κατανάλωση ενέργειας.....	89
7.5 Αγρονομικές μετρήσεις .....	90
7.5 Αποδόσεις .....	91
<b>Κεφ. 8 Συμπεράσματα .....</b>	<b>92</b>

## ΕΡΜΗΝΕΥΤΙΚΟ ΛΕΞΙΚΟ ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΩΝ & ΟΡΩΝ

Π.Θ. ....Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

L.A.C.E.C. .... Laboratory of agriculture constructions and environmental control

Κ.Ε.ΤΕ.Α.Θ. .... Κέντρο έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης Θεσσαλίας

PE.....Polyethylene (πολυαιθυλένιο)

IR.....Infrared radiation (υπέρυθρη ακτινοβολία)

NIR.....Near infrared radiation (κοντινή υπέρυθρη ακτινοβολία)

PAR.....Photosynthetically active radiation (φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία)

ST.....Super thermic (σούπερ θερμικό υλικό κάλυψης)

Standard.....Απλό πολυαιθυλένιο

Control.....Μεταχείριση «Μάρτυρας»

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το κόστος θέρμανσης των θερμοκηπίων σήμερα είναι πολύ υψηλό καθώς το κόστος της των καυσίμων όλο και αυξάνει. Με γνώμονα αυτό τα Πλάστικα Κρήτης ΑΒΕΕ κατασκεύασαν ένα πλαστικό κάλυψης Θερμοκηπίων Super Thermic με μικρή περατότητα του στη θερμική ακτινοβολία. Σκοπός της διατριβής είναι να μελετηθούν οι ιδιότητες του πλαστικού αυτού καθώς και η επίδραση του στο μικρόκλιμα και στην καλλιέργεια υδροπονικής τομάτας. Για την μελέτη αυτή χρησιμοποιήσαμε δύο θερμοκήπια στην περιοχή του Βελεστίνου Βόλου όπου το ένα καλύφθηκε με το Super Thermic υλικό και το άλλο με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου. Οι παράγοντες που μελετήθηκαν ήταν η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία, το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, η ηλιακή ακτινοβολία και η κατανάλωση ενεργείας καθώς και η απόδοση των υπό κάλυψη φυτών. Κατά τους χειμερινούς μήνες δεν παρατηρηθήκαν ιδιαίτερες διαφορές στην θερμοκρασία και την σχετική υγρασία λόγω του συστήματος θέρμανσης, ωστόσο το θερμοκήπιο που ήταν καλυμμένο με το Super Thermic υλικό κατανάλωσε κατά μέσο όρο 10% λιγότερη ενέργεια από αυτό με το απλό φύλλο πολυαιθυλενίου, αυτό αντιστοιχεί σε 12L πετρέλαιο /στρέμμα ημερησίως. Τα φυτά υπό το Super Thermic δέχονταν  $12\text{W}/\text{m}^2$  περισσότερη καθαρή ακτινοβολία είχαν 30% μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια και απέδωσαν 19% περισσότερο καρπό από τον Μάρτυρα που ήταν καλυμμένος με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου.

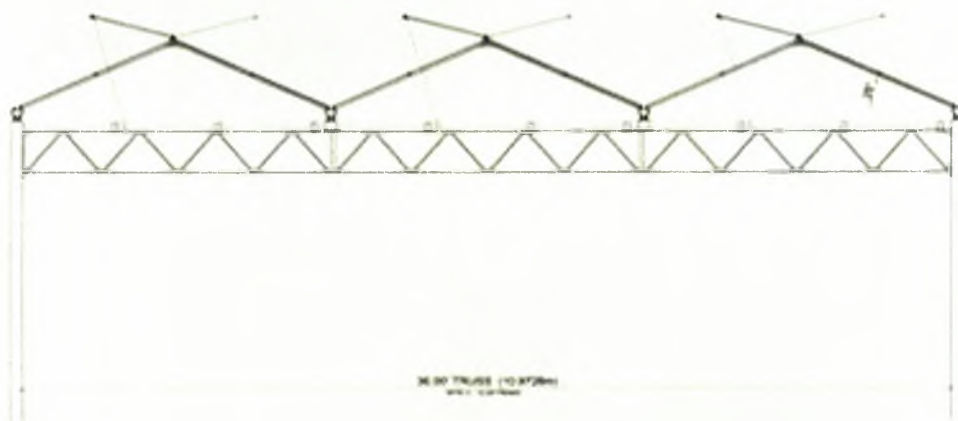
## ABSTRACT

The cost of the greenhouses heating today is very high, since the cost of fuel is continuously increasing. With this in mind the company Plastika Kritis SA built a greenhouse plastic cover film, Super Thermic, with low permeability of the thermal radiation. The aim of this thesis is to study the properties of plastic, together with the influence on greenhouse microclimate and on hydroponic tomatoes growth. For this study we used two greenhouses at Velestino at Volos, one covered with Super Thermic material and the other with plain polyethylene film. The factors studied were air temperature, relative humidity, air saturation deficit, solar radiation, energy consumption and the performance of plants under cover. During the winter months no particular differences in temperature and relative humidity because of greenhouse heating system, however, the greenhouse that was covered with Super Thermic material consumed on average 10% less energy than the single sheet of polyethylene, this corresponds to 12L diesel / stremma per day. The plants in the Super Thermic was accepting 12 W/m<sup>2</sup> more net radiation, had 30% more leaf area and yielded 19% more fruit than the Control which was covered with a single standard film of polyethylene.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιδέα της καλλιέργειας φυτών σε περιβαλλοντικά ελεγχόμενες συνθήκες υπήρχε από τους ρωμαϊκούς χρόνους. Η κηπουροί κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους χρησιμοποιούσαν τεχνητές μεθόδους (παρόμοιες με το σύστημα του θερμοκηπίου) Αγγούρια φυτεύονταν σε τροχοφόρα καροτσάκια που τα εκθεταν στον ήλιο καθημερινά, όταν ο ήλιος έφευγε τα επανατοποθετούσαν σε κλειστούς χώρους έτσι ώστε να κρατηθούν ζεστά το βράδυ. Τα αγγούρια αποθηκεύονταν κάτω από τα πλαίσια με κάλυψη είτε με λαδωμένο πανί γνωστό ως *specularia* ή με φύλλα σεληνιάδους (γνωστός και ως *lapis specularis*), σύμφωνα με την περιγραφή από τον Πλίνιο τον Πρεσβύτερο (internet 1). Η ιστορία των θερμοκηπίων δεν είναι υπόθεση των τελευταίων χρόνων. Ένα από τα πρώτα θερμοκήπια που φτιάχτηκαν στην Ευρώπη ήταν στη Βοημία περίπου το 1680. Στο θερμοκήπιο αυτό καλλιεργήθηκαν οι πρώτες ορχιδέες στην Ευρώπη. Αργότερα, περίπου το 1750, ο πρίγκιπας του Λιχτενστάιν έφτιαξε το πρώτο μεγάλο και θερμαινόμενο θερμοκήπιο στην Ευρώπη στην πόλη Λέντνιτσε (*Lednice*) στη νότια Τσεχία(internet 2).

Με την πάροδο του χρόνου δημιουργήθηκαν ψηλές γυάλινες κατασκευές που αποτέλεσαν τους πρόδρομους του σημερινού θερμοκηπίου. Οι ολλανδοί υπήρξαν πρωτοπόροι σε αυτό με την περίφημη σειρά Venlo (Σχήμα 1) που διαδόθηκε σε όλο τον κόσμο. Τα τελευταία 40 χρόνια η εξάπλωση των θερμοκηπίων κέρδισε και τις μεσογειακές χώρες που όπως εσφαλμένα πίστευαν η μέχρι τότε οι ευνοϊκές συνθήκες ηλιοφάνειας δεν δικαιολογούσαν τέτοια παραγωγικά εργαλεία (Κίττας 2002).



Σχήμα 1. Θερμοκήπιο τύπου Venlo (Venlo greenhouse systems .Inc)

### Υδροπονία

Υδροπονία είναι μια ευρέως και συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική για την καλλιέργεια φυτών χωρίς χώμα, παρέχοντας ένα σημαντικό βαθμό έλεγχου του στοιχειακού περιβάλλοντος γύρω από την ρίζα. (Benton Jones Jr. (1982) )

Οι λόγοι που προτιμάται από την από την απλή καλλιέργεια είναι

1. Η δανική αναλογία θρεπτικών στοιχείων η οποία αναπροσαρμόζεται στο στάδιο ανάπτυξης των φυτών,
2. Ίδανική θρέψη των φυτών με αποτέλεσμα πολύ υψηλή παραγωγικότητα και εξαιρετική ποιότητα,
3. Απομόνωση από επικίνδυνα παθογόνα του εδάφους γιατί η καλλιέργεια απομονώνεται από το έδαφος με πλαστικά φύλλα, η καλλιέργεια γίνεται χωρίς βλαβερές και πολυέξοδες χημικές επεμβάσεις
4. η καλλιέργεια των φυτών σε σάκους (growbags) όπου μας απαλλάσσει από τις εργασίες προετοιμασίας του εδάφους (όργωμα, εφαρμογή χημικών απολυμαντικών μυκητοκτόνων, ζιζανιοκτόνων και παρασιτοκτόνων)
5. Όταν το νερό έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα, ηλεκτρική αγωγιμότητα άνω του 1,5 dS/m, η υδροπονία είναι ίσως ο μόνος τρόπος επιτυχημένης αντιμετώπισης του προβλήματος, μείωση της σπατάλης νερού, και κόστος θέρμανσης είναι μειωμένο διότι η εξάτμιση νερού συνοδεύεται πάντοτε από κατανάλωση ενέργειας.
6. Στην υδροπονία η εξάτμιση νερού από την επιφάνεια του εδάφους είναι αμελητέα, διότι είναι απομονωμένο και οι ανάγκες για θέρμανση του αέρα μειώνονται,
7. Είναι καλύτερο φυσικοχημικό περιβάλλον για το ριζικό σύστημα των φυτών.

### Υποστρώματα

Τα πιο διαδεδομένα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται είναι ο πετροβάμβακας (rockwool) το οποίο είναι ανόργανο ινώδες υλικό, που παρασκευάζεται βιομηχανικά με θερμική επεξεργασία φυσικών πετρωμάτων. Έχει ολικό πορώδες 92- 96 % και ειδικό βάρος 60 – 100 kg/m<sup>3</sup>. Είναι χημικά αδρανές, αποστειρωμένο υλικό, τυποποιημένο, σταθερής ποιότητας. Έχει πολύ καλή συμπεριφορά ως υλικό, γι' αυτό και χρησιμοποιείται ευρέως ως υπόστρωμα υδροπονίας. Συνήθως για τα λαχανικά

χρησιμοποιούνται πλάκες διαστάσεων 7,5 x 15 x 100 cm, επίσης ο περλίτης (Rockwool) ο οποίος είναι ηφαιστειακό, υαλώδες αργιλλοπυριτικό πέτρωμα λευκού χρώματος, το οποίο περιέχει εγκλωβισμένο κρυσταλλικό νερό 3 – 6%, παρασκευάζεται με θέρμανση του πρωτογενούς ορυκτού στους 1300 οC, οπότε και διογκώνεται στο 10πλάσιο με 20πλάσιο του αρχικού του όγκου, το ολικό του πορώδες είναι περίπου 95 %, ειδικό βάρος 60 – 80 kg /m<sup>3</sup> και η ικανότητα συγκράτησης νερού σε 200 – 450 % του βάρους του και τέλος ο κοκοφοίνικας (cocosoil, cocopeat) ο οποίος είναι φυσικό υλικό και προέρχεται από το παχύ μεσοκάρπιο του καρπού της καρύδας και συνεπώς είναι υλικό απαλλαγμένο από ασθένειες. Σε σύγκριση με τα παραπάνω υποστρώματα, ο κοκοφοίνικας είναι οργανικό υλικό. Η ηλεκτρική αγωγιμότητα κυμαίνεται στο 0,5 mS/cm ή και χαμηλότερα και pH από 5,5 έως 6.(Internet 3)

### 1.1 Τα θερμοκήπια σε παγκόσμια κλίμακα

Η έκταση των θερμοκηπίων παγκόσμια είναι 15.000.000 στρέμματα (2002) (Πίνακας 1) με την Κίνα να έχει περί του 83.3% της παγκόσμιας καλυπτόμενης με θερμοκήπια έκτασης, ακλουθεί η Ευρωπαϊκή Ένωση με 8% και η Ιαπωνία με 3%. Από τον συνολικό αριθμό θερμοκηπίων Στην Ευρωπαϊκή ένωση γύρο στο 48% είναι υαλόφρακτα και 52% πλαστικά (Γ.Ν. Μαυρογιανοπούλου 2005)



**Πίνακας 1.** Καλλιεργούμενη έκταση θερμοκηπίων ανά χώρα Παγκόσμια

ΧΩΡΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ (ΕΚΤΑΡΙΑ)	ΠΗΓΗ
Κίνα (2010)	2.760.000	Yang 2011
Κορέα (2009)	57.444	Lee 2011
Ισπανία	52.170	EuroStat 2005
Ιαπωνία	49.049	MAFF 2011
Τουρκία	35.515	TurkStat 2007
Ιταλία	26.500	EuroStat 2007
Μεξικό	11.759	SAGAPRA 2010
Ολλανδία	10.370	EuroStat 2007
Γαλλία	9.630	EuroStat 2005
ΗΠΑ	8.425	US Census Hort Spec 2010

Στην Ευρώπη (Πίνακας 2) την μεγαλύτερη καλλιέργεια θερμοκηπίων καλυμμένων με πλαστικό έχει η Ισπανία με 59% ακολουθεί η Ιταλία με 26% η Γαλλία με 6% και η Ελλάδα με 4.5%

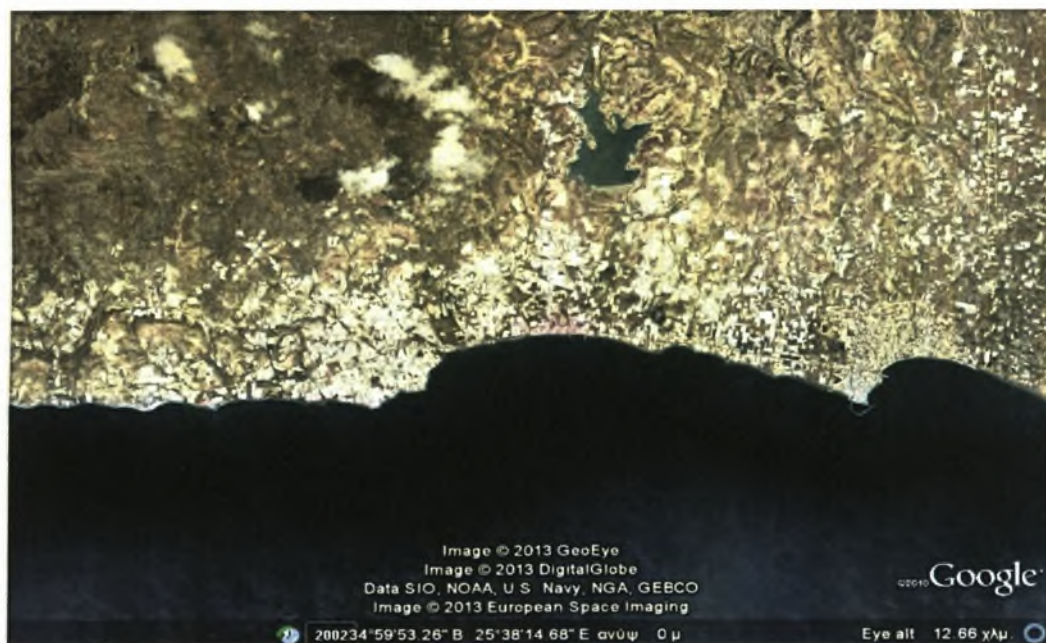
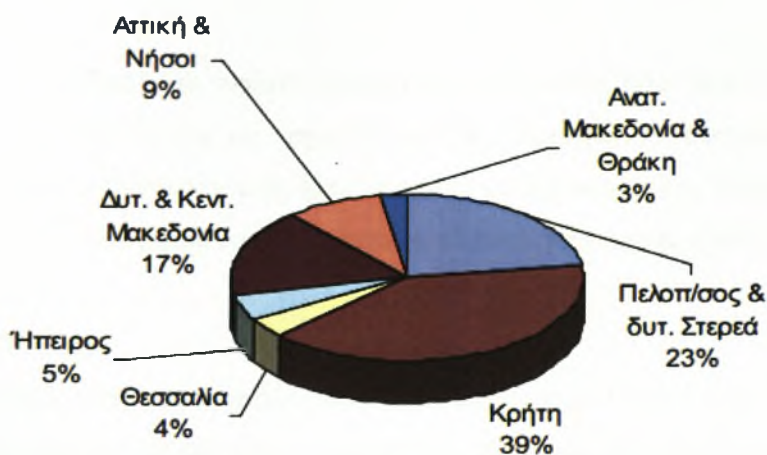
## Πίνακας 2. Στοιχεία έκτασης θερμοκηπίων στην Ευρώπη

ΧΩΡΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΩΝ (εκτάρες)	ΠΗΓΗ / ΑΝΑΦΟΡΑ
Ισπανία	52.170	EuroStat 2005
Τουρκία	33.515	TurkStat 2007
Ιταλία	26.500	EuroStat 2007
Ολλανδία	10.370	EuroStat 2007
Γαλλία	9.620	EuroStat 2005
Πολωνία	7.560	EuroStat 2007
Ελλάδα	4.670	EuroStat 2005
Γερμανία	3.430	EuroStat 2007
Ρουμανία	2.790	EuroStat 2005
Πορτογαλία	2.310	EuroStat 2005

### 1.2 Καλλιέργεια θερμοκηπίων στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα η πρώτες συστηματικές εγκαταστάσεις θερμοκηπίων ξεκίνησαν το 1955 και αποτελούσαν υαλόφρακτα θερμοκήπια για την παραγωγή καλλωπιστικών φυτών. Αλλά σημαντική εξάπλωση έγινε μετά το 1961 με την χρήση του πλαστικού φύλλου πολυαιθυλενίου ως υλικού κάλυψης των θερμοκηπίων. Λόγο του χαμηλού κόστους παρατηρήθηκε μια μεγάλη έκταση των καλλιεργούμενων εκτάσεων που ανήλθε σε 46.441 (Σχήμα 2) στρέμματα το 2003 (Γ.Ν. Μαυρογιανοπούλου 2005). Μεγάλη παράγωγη πρώιμων κηπευτικών στην Ελλάδα έχει η πόλη της Ιεράπετρας στο Λασιθί Κρήτης (Εικόνα 1)

Σχήμα 2. Τα θερμοκήπια της Ελλάδος ανά νομό (Μ.Β. Κυκρίλης 2008)



Εικόνα 1. Πανοραμική φωτογραφία, από δορυφόρο, Ιεράπετρας Κρήτης. Τα θερμοκήπια (λεύκα τετράγωνα αντικείμενα) φαίνονται ακόμα και από τα 12km πάνω από το έδαφος (Google earth 2013).

### 1.3 Υλικά κάλυψης

#### Γυαλί

Σήμερα στην Ελλάδα τα γυάλινα θερμοκήπια αντιπροσωπεύουν ποσοστό <5%, γιατί με την ανάπτυξη της χημείας και της βιομηχανίας πλαστικού, το γυαλί εγκαταλείπεται, λόγω κόστους (βαρύτερη μεταλλική κατασκευή, ακριβότερο υλικό) και λόγω τεχνικών ζητημάτων, (πτωχότερο σε άλλες επιθυμητές ιδιότητες).

#### Πολυαιθυλένιο

Με το γυαλί παρέχουμε μεγάλη διαπερατότητα φωτός (88-92%) και ικανοποιητική θερμομόνωση ενώ με τα σύγχρονα πλαστικά φθάνουμε στα ίδια επίπεδα φωτισμού και θερμομόνωσης επί πλέον όμως μπορούμε να προσθέσουμε κι άλλες πολύτιμες ιδιότητες, ιδιότητες όπως, οπτικές, θερμομονωτικές/δρυσιστικές, μηχανικές, αντισταγονικές / αντιομιχλικές, έχουμε έλεγχο ασθενειών και μπορούμε να παράγουμε φωτοεπιλεκτικά φύλλα. Ακόμη έχουμε αρκετά χαμηλότερο κόστος (Μ.Β. Κυκρίλης 2008).

#### Σύγχρονα φύλλα πολυαιθυλενίου

Σήμερα χρησιμοποιείτε τεχνολογία παραγωγής «πολυστρωματικών» φύλλων (από 3 στρώσεις και πάνω), ώστε να μπορούν να προστίθενται όσο το δυνατό περισσότερα υλικά, χωρίς τον κίνδυνο ασυμβατότητας ή αδρανοποίησης κάποιου. Αναλυτικά κάποιες από τις ιδιότητες είναι:

Αυξημένη αντοχή (super-tough)

Χρησιμοποιώντας πολυμερή μεγάλης αντοχής δημιουργήθηκαν φιλμ που αντέχουν απέναντι σε δυνατούς ανέμους η χαλάζι.

Υψηλή φωτοδιαπερατότητα (High light transmission)

### Διάχυση του φωτός (light diffusion)

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι το διαχέον φως είναι πολύ πιο χρήσιμο στις καλλιέργειες από το απευθείας προσπίπτον, διότι δημιουργεί μεγαλύτερη ομοιομορφία φωτός και σχεδόν εκμηδενίζει τη σκίαση στα κατώτερα μέρη του φυτού (Σχήμα 3). Επίσης μειώνει το σοκ στα φυτά και τα εγκαύματα που προξενούνται από την απευθείας προσπίπτουσα δυνατή ηλιακή ακτινοβολία. Τα πλαστικά φύλλα με μεγάλο ποσοστό διάχυσης (> 60%) αντανακλούν την NIR ακτινοβολία, προσφέροντας ήπιες συνθήκες δροσισμού, με τη μείωση της εισερχόμενης θερμότητας.



Σχήμα 3. Σχηματική παράσταση διάχυσης του φωτός (Plastika kritis S.A.)

### Αντισταγονικές (Anti-dripping)

Σταγονίδια που σχηματίζονται στην εσωτερική επιφάνεια του φιλμ θερμοκηπίου λόγω συμπύκνωσης του νερού έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα των φυτών και την ανάπτυξη, καθώς μειώνουν την μετάδοση του φωτός κατά 15-30% αυξάνει η συχνότητα εμφάνισης ορισμένων ασθενειών. (Σχήμα 4)



**Σχημα 4.** Σχηματική παράσταση αντισταγονικής προστασίας(Plastika kritis S.A.)  
Αντιομιχλικές (Anti-mist)

Για να καταστεί δυνατή η χρήση των αντισταγονικών φιλμ, με όλα τα οφέλη τους, χωρίς το φόβο της ομίχλης που σχηματίζεται μερικές φορές κατά τη διάρκεια του ηλιοβασιλέματος και της αυγής εφαρμόζεται ειδική αντιθαμβωτική λειτουργία που μειώνει ή προλαμβάνει το σχηματισμό της ομίχλης.

#### Ψύξη (cooling)

Σε πολλές περιοχές του κόσμου, υπάρχει αυξανόμενη απαίτηση για ταινίες που μειώνουν την υπερβολική θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και διατηρούν ένα ψυχρότερο περιβάλλον στο θερμοκήπιο. Ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη ηλιοφάνεια και ζεστό καιρό, καθώς και για την σκιά που χρειάζονται τα καλλωπιστικά φυτά, αντανακλώντας και απορροφώντας την υπέρυθη (NIR) ακτινοβολία, μειώνοντας έτσι τη θερμότητα εντός του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας. (Σχήμα 5)



**Σχήμα 5 .** Σχηματική παράσταση τρόπου ψύξης (Plastika kritis S.A.)

### Έλεγχος εχθρών (Disease control)

Έχει ανατηχθεί Ειδικά φιλμ ελέγχου ασθενών , τα οποία συμβάλλουν αποτελεσματικά στην «Ολοκληρωμένη Διαχείρισης Επιβλαβών Οργανισμών» καθώς γίνεται μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων.

### Φωτοεκλεκτικά Φιλμ(Photoselective)

Φιλμ που ενσωματώνουν επιλεγμένα πρόσθετα και χρωστικές ουσίες για να τροποποιηθεί το φάσμα του φωτός που εισέρχεται στο θερμοκήπιο, με αποτέλεσμα την αλλαγή στην συμπεριφορά της ανάπτυξης των φυτών (φωτοσύνθεση και φωτομορφογένεση) όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2. Φωτοεκλεκτικά Φιλμ (Shanghai hitec plastics)

### Θερμικά φιλμ (Thermic)

Περιέχουν ένα συνδυασμό από EVA και Infra-Red δομημένο σε 3 επίπεδα, τα οποία απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία μειώνουν τις απώλειες θερμότητας κατά τη νύχτα. (Σχήμα 6)

Τα πλεονεκτήματα του θερμικού φιλμ είναι τα εξής:

1. Προστασία από τον παγετό και της χαμηλές θερμοκρασίες.
2. Ομαλότερη πτώση της θερμοκρασίας και οι υψηλότερες θερμοκρασίες την νύχτα.
3. Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση.
4. Υψηλότερη απόδοση των καλλιεργειών.
5. Πρώιμη συγκομιδή.
6. Καλύτερη ποιότητα των καλλιεργειών.



**Σχήμα 6.** Σχηματική απεικόνιση τρόπου λειτουργίας θερμικού φιλμ. (Plastika kritis S.A.)

#### 1.4 Σκοπός

Όπως γίνεται κατανοητό από την εισαγωγή τα θερμοκήπια είναι ένας δυναμικός τρόπος καλλιέργειας όπου νέες τεχνολογίες αναπτύσσονται και εφαρμόζονται καθημερινός. Στόχος της διατριβής είναι να συγκρίνουμε ένα θερμικό φιλμ με ένα απλό και να μελετήσουμε την επίδραση στο μικροκλίμα και στην παράγωγή υδροπονικής καλλιέργειας ντομάτας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

## 2.1 Διαχείριση ενέργειας

Τις τελευταίες δυο δεκαετίες η παραγωγικότητα και η αποτελεσματικότητα των υλικών που χρησιμοποιούνται στην γεωργία έχουν τραβήξει ιδιαίτερη προσοχή από τους επιστήμονες καθώς οι αγρότες προσπαθούν να εκμεταλλευτούν καλύτερα όλους τους πόρους που τους παρέχει η φύση, οπότε η αύξηση της παράγωγης μέσω της μείωσης του κόστους με την χρήση θερμοκηπίων έχει γίνει πολύ δημοφιλής. (C. Bilal et al. 2006)

Με την συμβατική καλλιέργεια θερμοκηπίων το υψηλό επίπεδο κατανάλωσης ενέργειας έρχεται σε σύγκρουση με τις διεθνείς συμφωνίες για τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Για να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας, θα πρέπει να προχωρήσουμε σε νέες τεχνολογίες φιλικές ως προς τα συστήματα του θερμοκηπίου. Ως εκ τούτου, η νέα τεχνολογία πρέπει να αναπτυχθεί πάνω σε θέματα που βελτιώνουν την μόνωση του θερμοκηπίου και την μετάδοση του φωτός για την διαμόρφωση του κλίματος, τον έλεγχο και τη διαχείριση της ενέργειας. (Gerard P.A. Bot, 2001)

## 2.2 Μοντελοποίηση ροής ενέργειας

Οι G. Papadakis et al. (1989), θέλησαν να μελετήσουν θεωρητικά την ροή της θερμικής ενέργειας σε δυο διαφορετικά σημεία, στο εσωτερικό των θερμοκηπίων και να τα συγκρίνουν, με μετρήσεις σε net-radiometers στα σημεία αυτά. Για να το πετύχουν χρησιμοποίησαν μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης, και προχώρησαν σε πείραμα, σε ένα διπλό αμφύρρικο θερμοκήπιο με κάλυμμα πολυαιθυλενίου. Κατέληξαν ότι το μαθηματικό μοντέλο που χρησιμοποίησαν είχε ελάχιστες αποκλίσεις σε σχέση με της πρακτικές τιμές ροών ενεργείας που έδωσαν από τα net-radiometers οι όποιες οφείλονταν στο ότι όλες οι πλευρές του θερμοκηπίου δεν εκπέμπουν με τον ίδιο ρυθμό το μεγάλο μήκος της ακτινοβολίας κατά τις νυχτερινές ώρες.

Ο R. Rosa το 1988 χρησιμοποιώντας ένα μαθηματικό μοντέλο που εξηγεί την ροή της ενεργείας στο θερμοκήπιο σε συνάρτηση με την προσπίπτουσα ακτινοβολία, την γεωμετρία του σκελετού, την θερμοκρασία και το υλικό κάλυψης αυτού.

Κατέληξε ότι η θερμοκρασία εξαρτάτε από την επίδραση της καμπυλότητας του τόξου αψίδας του θερμοκηπίου στον συντελεστή θερμοδιαπερατότητας του υλικού κάλυψης (όσο πιο μικρό συντελεστή θερμοδιαπερατότητας έχει το υλικό τόσο πιο αργά ψύχεται ο θάλαμος και το έδαφος του θερμοκηπίου) και ότι η καμπυλότητα του τόξου και η αντανάκλαση του υλικού επιδρά στο ποσοστό καθαρής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο θερμοκήπιο.

Οι K.V. Garzoli και J. Blackwell το 1981 θέλοντας να μελετήσουν της νυκτερινές απώλειες ενός θερμοκηπίου χρησιμοποίησαν μαθηματικά μοντέλα προσομοίωσης, και κάνοντας ένα θεωρητικό πείραμα παίρνοντας τρεις υποθερμικές καταστάσεις συμπύκνωσης υδρατμών πάνω σε απλό φύλλο πολυαιθυλενίου που είχε ως αποτέλεσμα τις διαφορετικές διαπερατότητες του υλικού κάλυψης σε θερμική ακτινοβολία.

Οι ίδιοι το 1987 σε πείραμα τους κατέληξαν ότι το ποσοστό της νυκτερινής απώλειας θερμότητας από τα θερμοκήπια με κάλυψη ενός συμβατικού υλικού είναι μεγάλο, διότι τα υλικά που κατασκευάζονται παρέχουν χαμηλή θερμική αντίσταση. Μια κοινή μέθοδος για την αύξηση της θερμικής αντοχής των θερμοκηπίων είναι να προστεθεί ένα δεύτερο στρώμα υλικού συνήθως με τη μορφή μιας εσωτερικής επενδύσεως από διαφανές πλαστικό φιλμ. η επιπλέον θερμική αντίσταση που προκύπτει από το διάκενο αέρος μεταξύ των δύο φύλλων του υλικού κάλυψης μας οδηγεί σε μια μία σημαντική μείωση των απαιτήσεων θέρμανσης.

### 2.3 Επίδραση της θερμικής ακτινοβολίας στο μικρόκλιμα και την παραγωγή

Σύμφωνα με τους A. Kavga et al. (2009) Η χρήση της IR ακτινοβολίας από τεχνητές πηγές αυξάνει την διάφορα θερμοκρασίας εσωτερικά με εξωτερικά του θερμοκηπίου ( $\Delta T$ ) με 45%- 50% εξοικονόμηση ενέργειας σε σχέση με της παραδοσιακές μεθόδους.

Ο N.G Starkey (1985) θέλησε να μειώσει την απώλεια της θερμικής ενέργειας χρησιμοποιώντας θερμοκουρτίνες σε γυάλινο θερμοκήπιο και συμπέραναν ότι μειώθηκαν οι απώλειες ενέργειας κατά 20% , μειώθηκε σημαντικά το έλλειμμα κορεσμού του αέρα, τα φυτά είχαν περισσότερα άνθη και είχαν μεγαλύτερους καρπούς.

Οι Cemek B. et al. (2006), σε πείραμα που διεξήχθη στην περιοχή Σαμσουν της Τουρκίας κατέληξαν ότι ένα θερμοκήπιο που καλύπτεται με φιλμ πολυαιθυλενίου, το οποίο απορρόφα την υπέρυθη ακτινοβολία, διατήρησε υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες από ότι ένα απλό πολυαιθυλενίου, καθώς και υψηλότερη μέση σχετική υγρασία όπως φαίνεται και στους Πινάκες 3, 4.

**Πίνακας 3.** Θερμοκρασίες (°C) στα θερμοκήπια ανάλογα με το υλικό κάλυψης. (Cemek B. et al 2006)

Month	Outside the greenhouse			Inside the greenhouse											
	Max.	Min.	Mean	UV+PE			IR+PE			D-Poly			PE		
				Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean
June	22.5	14.7	19.6	31.0	16.5	25.1	30.0	17.3	25.5	32.5	19.3	26.6	28.0	15.7	23.2
July	28.2	21.0	23.6	33.0	24.8	28.1	33.0	26.8	28.8	34.5	26.0	29.4	30.8	23.3	26.3
August	26.0	21.3	24.5	29.5	23.5	26.9	31.3	24.0	27.6	32.5	24.0	28.9	28.0	23.0	25.5
September	18.0	16.4	17.2	24.3	17.8	21.0	23.0	18.3	21.0	25.3	19.5	21.4	22.5	17.3	18.4
October	20.0	11.1	15.9	25.0	13.0	19.6	26.5	15.5	20.8	26.3	16.0	21.3	22.8	12.0	18.1
November	19.0	9.9	13.1	22.0	14.0	16.1	23.0	14.8	18.2	24.0	15.3	19.1	18.0	14.0	16.0

a UV+PE, UV stabilised polyethylene; IR+PE, IR absorbers polyethylene; D-Poly, double layer polyethylene; PE, single layer polyethylene.

**Πίνακας 4.** Σχετική υγρασία (%) Στα θερμοκήπια ανάλογα με το υλικό κάλυψης. (Cemek B. et al 2006)

Month	Outside the greenhouse			Inside the greenhouse											
	Max.	Min.	Mean	UV+PE			IR+PE			D-Poly			PE		
				Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean	Max.	Min.	Mean
June	86.0	63.0	75.3	94.3	51.3	68.7	9.7	46.7	66.0	96.7	56.0	70.8	93.3	56.7	68.0
July	83.0	53.0	73.3	74.0	38.3	58.4	71.7	46.7	64.8	82.7	57.7	73.7	74.7	72.7	60.5
August	83.3	55.0	72.9	86.0	37	62.8	80.0	58.3	68.7	82.0	44.3	71.2	78.0	56.8	67.4
September	87.0	74.0	80.5	72.0	59.3	65.7	77.7	68.3	74.4	88.0	54.3	78.7	75.0	59.0	73.5
October	92.3	64.7	80.3	83.7	58.3	72.2	89.3	59.3	75.5	97.7	62.0	81.2	93.3	58.0	78.8
November	90.0	48.0	70.9	79.3	53.0	68.8	95.3	59.3	73.0	87.7	75.0	80.1	97.7	51.7	72.7

a UV+PE, UV stabilised polyethylene; IR+PE, IR absorbers polyethylene; D-Poly, double layer polyethylene; PE, single layer polyethylene.

Οι Duranti et al το 1986 Σε πείραμα που έκαναν χρησιμοποιώντας θερμοκουρτίνες πάνω σε καλλιέργεια τομάτας, πιπεριάς, και μελιτζάνας κατέληξαν ότι με την χρήση της θερμοκουρτίνας πέτυχαν αύξηση θερμοκρασίας κατά 2° C σε σχέση με τον μάρτυρα και είχαν υψηλότερη σχετική υγρασία.

Οι Ozturk and Bascetincelik το 2001 μελέτησαν δυο θερμοκήπια καλυμμένα με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου στο ένα από τα οποία, εγκατέστησαν σταθερή θερμοκουρτίνα θέλοντας να μελετήσουν την επίδραση στο μικροκλίμα και στην ανάπτυξη φυτών τοματιάς και κατέληξαν ότι το θερμοκήπιο με την θερμοκουρτίνα είχε πρόωπιση της παραγωγής κατά 10 ημέρες και είχε αυξημένη θερμοκρασία κατά 4 βαθμούς περίπου σε σχέση με αυτό χωρίς θερμοκουρτίνα.

#### **2.4 Επίδραση της θερμικής ενέργειας στην ενεργειακή κατανάλωση**

Σε πείραμα που έγινε στον Καναδά από τους Y. Zang et al. (1995) προσπάθησαν να μειώσουν το κόστος θέρμανσης που μέχρι τότε ήταν το 30-40% του συνολικού κόστους παράγωγης με την χρήση διαφόρων υλικών κάλυψης θερμοκηπίου. Και κατέληξαν ότι με την χρήση διπλού υλικού κάλυψης όπου το εξωτερικό φιλμ ήταν απλό πολυαιθυλενίου και το εσωτερικό thermal polyethylene + antifog όπου στο δεύτερο έχουμε διάχυση του φωτός και παρεμπόδιση της ανάκλασης της υπέρυθρης ακτινοβολίας πίσω στο περιβάλλον επιτυγχάνουμε μικρότερες απώλειες θερμοκρασίας κατά την νύχτα από ότι με Single glass (απλό γυαλί) και του απλού πολυαιθυλενίου με εσωτερικό PE+ antifog οπότε και μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.

Οι Cemek B. et al το 2006 με το πείραμα τους κατέληξαν ότι με φιλμ πολυαιθυλενίου, το οποίο απορρόφα την υπέρυθρη ακτινοβολία, είχαν 50% εξοικονόμηση ενεργείας και 60% με διπλό απλό φύλλο σε σχέση με μόνο απλό φύλλο πολυαιθυλενίου.

Οι Ozturk and Bascetincelik στο πείραμα τους το 2001 κατέληξαν ότι το θερμοκήπιο που είχε εγκατεστημένη την θερμοκουρτίνα είχε μειωμένες απώλειες της τάξεως του 20% σε σχέση με τον μαρτύρα.

#### **2.5 Έρευνες πάνω σε αλλά υλικά κάλυψης**

Οι Heming et al το 2003, δοκίμασαν την χρήση φωτοεκλεκτικών υλικών κάλυψης, ανάκλασης της NIR ακτινοβολίας σε θερμοκήπια στην Ολλανδία και κατέληξαν ότι με το υλικό ανάκλασης της NIR ακτινοβολίας είχαν μεγαλύτερη απόδοση πάρα με το απλό άσπρισμα οροφής που χρησιμοποιούνταν μέχρι τότε.

Οι Katsoulas N. et al το 2006 πειραματιστήκαν σε θερμοκήπια με χρήση anti-drip υλικά κάλυψης και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι με anti-drip υλικό κάλυψης επιτυγχανόταν μεγαλύτερη σχετική υγρασία μέσα στο θερμοκήπιο, ενώ σε θερμοκήπιο με anti-drip anti-fog υλικό κάλυψης χρειάστηκε περίπου της μισές εφαρμογές μυκητοκτόνων σε σχέση με τα υπόλοιπα.

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 3.1 Ο Πειραματικός αγρός

Το Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας διέθεσε για την εκτέλεση του προγράμματος 2 παρόμοια τροποποιημένα τοξωτά θερμοκήπια έκτασης 160 m<sup>2</sup> το καθένα. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των θερμοκηπίων ήταν : μήκος 20 m, πλάτος 8 m, ύψος ορθοστάτη 2.4 m, ύψος κορφιά 4.1 m. Το έδαφος των θερμοκηπίων ήταν πλήρως καλυμμένο με αδιαφανές, διπλής όψεως ασπρόμαυρο πλαστικό. Μέχρι τις 30/01/09 είχε ολοκληρωθεί η κάλυψη των θερμοκηπίων με τα νέα πλαστικά φύλλα στα δυο πειραματικά θερμοκήπια: το πρώτο θερμοκήπιο καλύφθηκε με το super thermic υλικό κάλυψης και το δεύτερο θερμοκήπιο καλύφθηκε με το απλό φύλλο πολυαιθυλενίου. (Εικόνα 4)



**Εικόνα 4.** Τα πειραματικά θερμοκήπια (ιδία λήψη 2009)

Το κάθε ένα θερμοκήπιο είχε 4 διπλές γραμμές φύτευσης, οι οποίες απείχαν μεταξύ τους 1,5 m. Οι αποστάσεις των φυτών επί της γραμμής ήταν 0,33 m και μεταξύ των διπλών γραμμών 0,75 m.

### 3.2 Το Υλικό κάλυψης

Τα δυο υλικά κάλυψης που χρησιμοποιήθηκαν και μελετήθηκαν ήταν κατασκευασμένα από πολυαιθυλένιο και παρήχθησαν από την Πλαστικά Κρήτης ΑΒΕΕ. Τα φύλλα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα :

1. Super thermic
2. PE



### 3.3 Πειραματικό σχέδιο

Το θερμοκήπιο που καλύφθηκε με το φύλλο PE ήταν ο μάρτυρας. Οι κλιματικές και αγρονομικές μετρήσεις του super thermic συγκρίθηκαν με του μάρτυρα, για να μελετηθεί η επίδραση της χαμηλής περατότητας στη θερμική ακτινοβολία, στην κατανάλωση ενέργειας.

### 3.4 Επιλογή φυτών

Χρησιμοποιήθηκαν φυτά τομάτας *Lycopersicon esculentum*, var. Lorelay. Το υβρίδιο αυτό είναι τύπου cluster, αυτογονιμοποιούμενο, απεριόριστης ανάπτυξης, με καρπό μεγάλης διάρκειας. (Εικόνα 5)



Εικόνα 5. *Lycopersicon esculentum* (biopix 2013)

### 3.5 Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Τα φυτά τα προμήθευσε η AGRIPLANT και ήταν φυτρωμένα σε κύβους πετροβάμβακα GRODAN. Η τελική μεταφύτευση στα θερμοκήπια έγινε 02/02/09 και η καλλιέργεια είχε διάρκεια έως τις 30/06/09. (Εικόνες 6,7,8)



**Εικόνα 6.** Άποψη της εγκατεστημένης καλλιέργειας τομάτας σε ένα από τα τρία πειραματικά θερμοκήπια στις 13 Φεβρουαρίου 2009.



**Εικόνα 7.** Άποψη της εγκατεστημένης καλλιέργειας τομάτας σε ένα από τα τρία πειραματικά θερμοκήπια στις 20 Μαρτίου 2009.



**Εικόνα 8.** Η φυτεία σε πλήρη ανάπτυξη στις 3 Μαΐου 2009.



**Εικόνα 9.** Η φυτεία στις 3 Ιουνίου 2009.

### 3.6 Καλλιεργητική τεχνική

#### 3.6.1 Κλάδεμα

Η αφαίρεση των πλάγιων βλαστών πραγματοποιούνταν κάθε βδομάδα. Στις 15/05/09 έγινε κορυφολόγημα των φυτών, ενώ από τις 4/05/09 που ξεκίνησε η συγκομιδή των καρπών, ξεκίνησε και η αποφύλλωση των φυτών, με στόχο να μείνουν κάτω από κάθε ταξικαρπία 3 φύλλα, ώστε να βοηθηθεί ο καλύτερος φωτισμός του καρπού και ο αερισμός του φυτού.

#### 3.6.2 Υποστύλωση

Για την υποστύλωση των φυτών χρησιμοποιήθηκαν κλίπ (Εικόνα 10), με τα οποία, όταν τα φυτά περάσουν το ύψος των οριζόντιων συρμάτων, τότε ξετυλίγεται ο σπάγκος και τα φυτά χαμηλώνουν σε επίπεδο που να μπορούν να δέχονται πιο εύκολα τις καλλιεργητικές φροντίδες.



Εικόνα 10. “Κατέβασμα” των φυτών με τα κλίπ.

### 3.6.3 Γονιμοποίηση

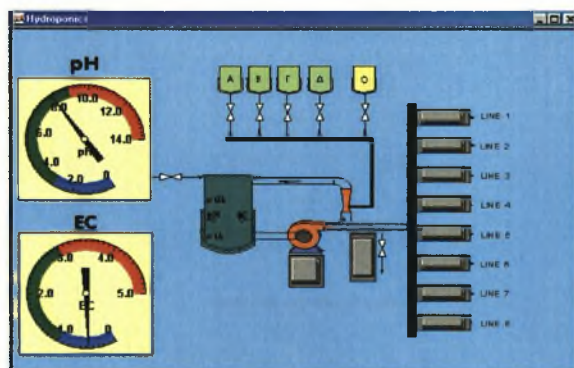
Για τη γονιμοποίηση των φυτών εγκαταστάθηκε στις 02/03/09 σε κάθε θερμοκήπιο μια κυψέλη του εντόμου *bombus terrestris* (Εικόνα 11).



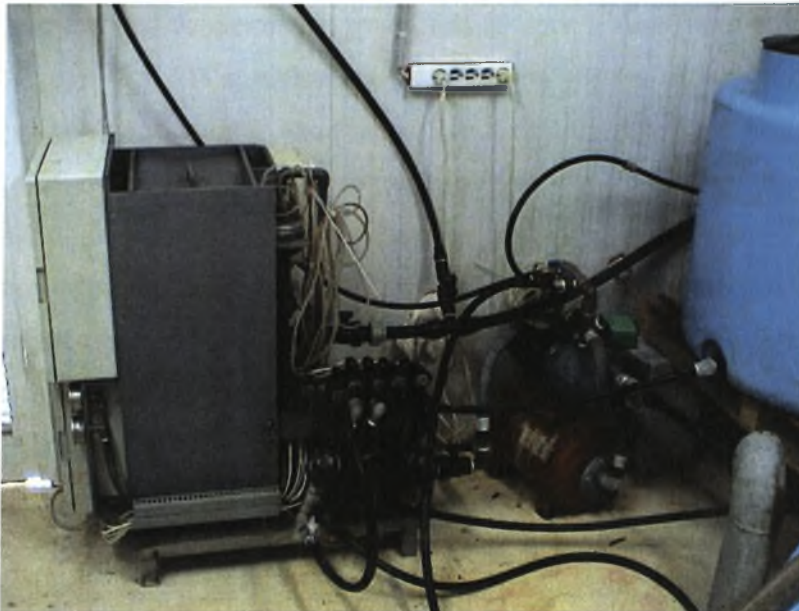
Εικόνα 11. Κυψέλη εντόμου *bombus terrestris*

### 3.7 Άρδευση- λίπανση

Η άρδευση και η λίπανση της υδροπονικής καλλιέργειας γινόταν με το σύστημα της στάγδην άρδευσης με παροχή σταλακτών  $1 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ . Εφαρμόστηκε ανοιχτό υδροπονικό σύστημα με το οποίο το απορρέον θρεπτικό διάλυμα δεν επαναχρησιμοποιείται. Η παρασκευή του θρεπτικού διαλύματος έγινε με τη χρήση ενός Η/Υ με το κατάλληλο λογισμικό, μιας σειράς δοσομετρικών αντλιών, ενός pHμέτρου, ενός αγωγιμομέτρου και τριών δεξαμενών. Η σύσταση του θρεπτικού διαλύματος δίνεται στον Πίνακα 5.



Εικόνα12.Λογισμικό σύστημα παρασκευής θρεπτικού διαλύματος.



Εικόνα 13. Δοσομετρικές αντλίες και δεξαμενές

Πίνακας 5. Σύσταση του θρεπτικού διαλύματος που εφαρμόστηκε στην υδροπονική καλλιέργεια.

Στοιχείο	ppm
$K^+$	280
Mg	46
$SO_4^-$	40
$PO_4^-$	40
$Ca^{+2}$	164
$NO_3^-$	233

### 3.8 Θέρμανση

Για τη θέρμανση των θερμοκηπίων χρησιμοποιήθηκαν 2 καυστήρες πετρελαίου με ονομαστική ισχύ 48.8 kW ο κάθε ένας. Η θέρμανση γινόταν με αερόθερμα και με εύκαμπτους σωλήνες διανομής διαμέτρου 25 mm που είχαν τοποθετηθεί επάνω στο έδαφος, κοντά στα φυτά. Το νερό που κυκλοφορεί στους σωλήνες είναι χαμηλής θερμοκρασίας, μέχρι 45<sup>0</sup>C και η μετάδοση της θερμότητας του γίνεται με αγωγιμότητα προς το έδαφος και τις ρίζες των φυτών, με ακτινοβολία προς το υπέργειο μέρος των φυτών και με συναγωγή προς το περιβάλλον. Στο σύστημα των αγωγών μεταφοράς του νερού από το λέβητα στο αερόθερμο και από το αερόθερμο προς την επιδαπέδια θέρμανση τοποθετήθηκαν 2 ροόμετρα, προκειμένου να υπολογιστεί η ενέργεια που δίνει το σύστημα θέρμανσης από τον τύπο  $Q=m C_p DT/(600*160)$  ανά 10λεπτο και ανά m<sup>2</sup> (160 m<sup>2</sup> είναι η έκταση του κάθε θερμοκηπίου). Από την αρχή του πειράματος (2/2) μέχρι 27/2 ο έλεγχος γινόταν από το εσωτερικό των θερμοκηπίων χωρίς κεντρικό έλεγχο. Από 27/2 ο έλεγχος γίνεται μέσω των Data loggers με βάση τη θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό κάθε θερμοκηπίου :

Έλεγχος αερόθερμου: έναρξη 14<sup>ο</sup> διακοπή στους 15<sup>ο</sup>

Έλεγχος επιδαπέδιας: έναρξη στους 14.8<sup>ο</sup> και διακοπή στους 15.5<sup>ο</sup>

Από 13/4 ο έλεγχος τροποποιείτε στα:

Έλεγχος αερόθερμου: έναρξη 7,5<sup>ο</sup> διακοπή στους 8<sup>ο</sup>

Έλεγχος επιδαπέδιας: έναρξη στους 7<sup>ο</sup> και διακοπή στους 8<sup>ο</sup>

Από τις 28/4 έως το τέλος του πειράματος οι καυστήρες ήταν κλειστοί προκειμένου να μελετηθεί η διακύμανση της θερμοκρασίας σε κάθε θερμοκήπιο.

Σχετικά με τον αερισμό, από 2/2 έως 20/3/2009 ο αερισμός, γινόταν από 09:00 το πρωί μέχρι 16:00 με 30% άνοιγμα οροφής. Από 20/3 έως 9/4 ο αερισμός είχε τιμές στόχους από 22 – 30 C<sup>0</sup> για την οροφή και από 26-32C<sup>0</sup> για τα πλαϊνά ανοίγματα σε όλα τα θερμοκήπια. Και από 09/4 έως το τέλος οι τιμές στόχοι είναι από 22 – 28 C<sup>0</sup>

για την οροφή και από 24-30C<sup>0</sup> για τα πλαϊνά ανοίγματα σε όλα τα θερμοκήπια. Οι αισθητήρες θερμοκρασίας ήταν τοποθετημένοι μέσα στην καλλιέργεια.

### 3. 9 Οπτικές ιδιότητες των θερμικών φύλλων

Για την μελέτη των οπτικών ιδιοτήτων των υλικών κάλυψης, πραγματοποιήθηκαν 2 μετρήσεις, στην έναρξη της καλλιέργειας και στο τέλος της καλλιέργειας. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο, με τη χρήση ενός φωτοραδιόμετρου (LICOR 1800) όπου με τη σφαίρα ολοκλήρωσης, μετρήθηκε η ακτινοβολία μιας φωτεινής πηγής, η οποία διέρχονταν διαμέσω των πλαστικών. Η μέτρηση έγινε για εύρος φάσματος 400 έως 1100 nm και για διαστήματα 2 nm. Η σφαίρα ολοκλήρωσης είχε 5 θύρες, στις 3 , A, B , C είχε τη δυνατότητα να προσαρμόζεται η λάμπα, στην 4 προσαρμοζόταν μόνιμα η μονάδα αναφοράς και στην 5 έμπαινε ο αισθητήρας του οργάνου. Μετρήθηκε για κάθε φύλλο ξεχωριστά η :

1. Περαιτότητα
2. Αντανάκλαση
3. Απορρόφηση

### 3.10 Κλιματικές μετρήσεις

#### 3.10.1 Μικρού μήκους ακτινοβολία

Για τη μέτρηση της μικρού μήκους ακτινοβολία τοποθετήθηκαν και στα δυο θερμοκήπια, πυρανόμετρα τύπου KIPP & ZONER CM6b (Εικόνα 14) , πάνω από το ύψος των φυτών.



**Εικόνα 14.** Πυρανόμετρο KIPP & ZONER CM6b (KIPP & ZONER 2013)

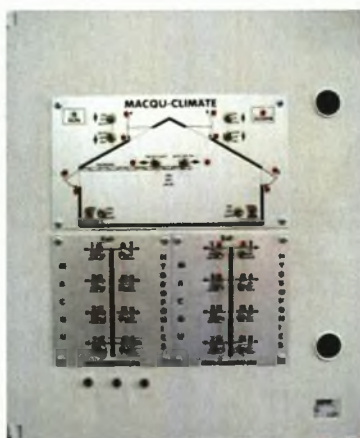


### 3.10.2 Καθαρή ακτινοβολία

Για τον υπολογισμό της καθαρής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκαν net radiometers σε διαφορετικά ύψη εντός και εκτός του θερμοκηπίου. Τοποθετήθηκε ένα net radiometer τυπου R.E.B.S έξω από το κάλυμμα, για να υπολογιστεί η εκπομπή μεγάλου μήκους ακτινοβολίας του καλύμματος, τοποθετήθηκε ένα net radiometer τυπου R.E.B.S επάνω από τη φυτεία, για να υπολογιστεί η εκπομπή μεγάλου μήκους ακτινοβολίας των φυτών και του εδάφους τέλος τοποθετήθηκε ένα net radiometer τυπου Midleton κοντά στο έδαφος, για να υπολογιστεί η εκπομπή της μεγάλου μήκους ακτινοβολίας του εδάφους.

### 3.10.3 Η θερμοκρασία και η υγρασία

Για την καταγραφή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας στο κάθε θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκε η συσκευή MCQU climate control, της οποίας οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν μέσα στη φυτεία. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν και thermistors πάνω σε φυτά για να μετρηθεί η θερμοκρασία των φύλλων των φυτών.



**Εικόνα 15.** MCQU climate control (Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών 2013)

### 3.10.4 Κατανάλωση ενέργειας

Στο σύστημα των αγωγών μεταφοράς του νερού από το λέβητα στο αερόθερμο και από το αερόθερμο προς την επιδαπέδια θέρμανση τοποθετήθηκαν 2 ροόμετρα, προκειμένου να υπολογιστεί η ενέργεια που δίνει το σύστημα θέρμανσης από τον τύπο

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T / (600 \cdot 160) \text{ ανά } 10 \text{ λεπτο και ανά } m^2$$

(160 m<sup>2</sup> είναι η έκταση του κάθε θερμοκηπίου).

### 3.10.6 Καταγραφή μετρήσεων

Η καταγραφή των μετρήσεων θερμοκρασίας, υγρασίας, καθαρής ακτινοβολίας ηλιακής ακτινοβολίας και ροής νερού του συστήματος θέρμανσης γινόταν σε σύστημα συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων (ZENO 3200 data logger)



Εικόνα 16. ZENO 3200 data logger

### 3.11. Αγρονομικές μετρήσεις

Αύξηση ενός φυτού ορίζεται η αύξηση της βιομάζας του ή των διαστάσεών του. Είναι δηλαδή ποσοτικός όρος. Ανάπτυξη ορίζεται η εξέλιξη ενός φυτού προς μια πιο σύνθετη κατάσταση. Δεν είναι όμως μόνο η μετάβαση του από τη νεότητα στην ωριμότητα, αλλά και ο σχηματισμός και η εξέλιξη νέων οργάνων, η ωρίμανση αυτών κ.τ.λ.

Οι αγρονομικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν τις εξής ημέρες :

<u>ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ</u>	<u>Η.Μ.Μ</u>
<u>25/2/2009</u>	<u>22</u>
<u>11/3/2009</u>	<u>36</u>
<u>20/3/2009</u>	<u>45</u>
<u>6/4/2009</u>	<u>51</u>
<u>29/4/2009</u>	<u>73</u>
<u>13/5/2009</u>	<u>87</u>
<u>24/5/2009</u>	<u>98</u>

Η.Μ.Μ : ημέρες μετά τη μεταφύτευση

Στις αγρονομικές μετρήσεις αναλύθηκε η εξέλιξη 8 φυτών από κάθε θερμοκήπιο. Σε κάθε μέτρηση καταγράφονταν :

1. Μήκος στελέχους
2. Αριθμός φύλλων
3. Μήκος και πλάτος φύλλων
4. Αριθμός ταξιανθιών και ανοιχτών ανθέων της κάθε ταξιανθίας
5. Αριθμός καρπών ανά ταξιανθία
6. Αριθμός κόμβων

### 3.12. Υπολογισμοί παραμέτρων αύξησης και ανάπτυξης

#### 3.12.1 Φυλλική επιφάνεια

Ο υπολογισμός της φυλλικής επιφάνειας του φύλλου έγινε από τον τύπο

$$L.A = 2,711 * 10^{-2} + 0,3104 * (\text{μήκος} * \text{πλάτος}).$$

Και ο δείκτης της φυλλικής επιφάνειας προέκυψε από τον τύπο

$$L.A.I = L.A * 2,1 \quad (2,1 = \text{πυκνότητα φυτών} / \text{m}^2)$$



Εικόνα 17. Φύλλα τοματιάς

#### 3.12.2 Αριθμός κόμβων

Ο αριθμός κόμβων προέκυψε από το άθροισμα των φύλλων και των ταξιανθιών του κάθε φυτού.



**Εικόνα 18.** Ταξιανθία τομάτας

### **3.12.3. Μήκος μεσογονάτιων διαστημάτων**

Το μήκος των μεσογονάτιων διαστημάτων προέκυψε από το λόγο του μήκους του στελέχους προς τον αριθμό των κόμβων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΛΥΨΗΣ

#### 4.1 Οπτικές ιδιότητες υλικών κάλυψης

Για την μελέτη των οπτικών ιδιοτήτων των υλικών κάλυψης, πραγματοποιήθηκαν 2 μετρήσεις, από την εξωτερική και την εσωτερική πλευρά του καλύμματος, στην έναρξη της καλλιέργειας και στο τέλος της καλλιέργειας, στο φάσμα 400-1100 nm. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο, με τη χρήση ενός φωτοραδιόμετρου (LICOR 1800)



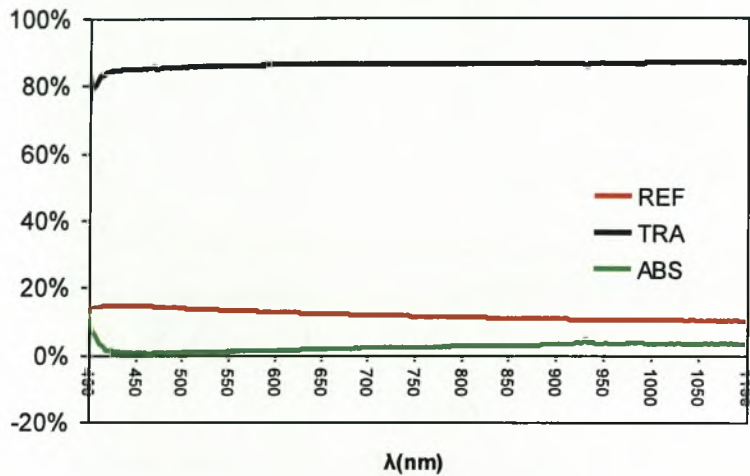
**Εικόνα 19.** Φωτοραδιόμετρο LI-COR 1800 (LI-COR Biosciences)

όπου με τη σφαίρα ολοκλήρωσης, μετρήθηκε η ακτινοβολία μιας φωτεινής πηγής, η οποία διέρχονταν διαμέσω των πλαστικών. Επίσης μελετήθηκαν οι οπτικές ιδιότητες των υλικών στη θερμική ακτινοβολία, στα εργαστήρια της εταιρείας ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΡΗΤΗΣ. Οι τιμές των οπτικών ιδιοτήτων των υλικών που παρουσιάζονται στη συνέχεια, είναι ο μέσος όρος τριών μετρήσεων.

#### Σχήματα

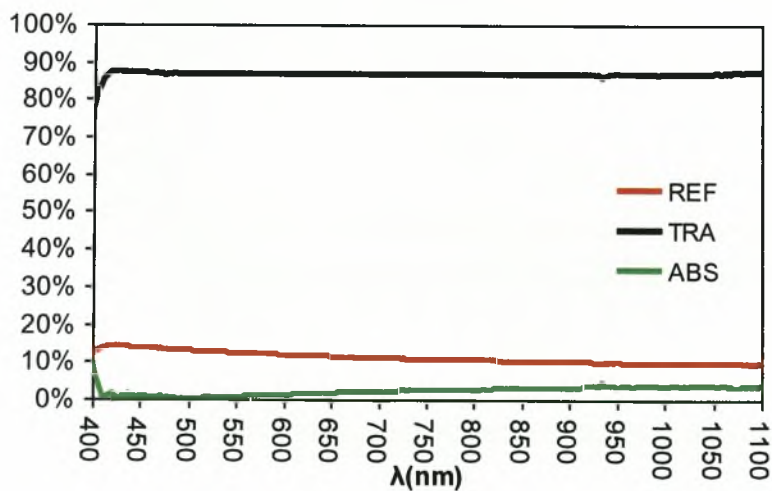
Στα σχήματα 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 παρουσιάζονται οι καμπύλες περατότητας, ανάκλασης και απορρόφησης για την εξωτερική και για την εσωτερική πλευρά των υλικών κάλυψης.

### Εξωτερική επιφάνεια



REF: ανακλαστικότητα, ABS: απορροφητικότητα, TRA: διαπερατότητα

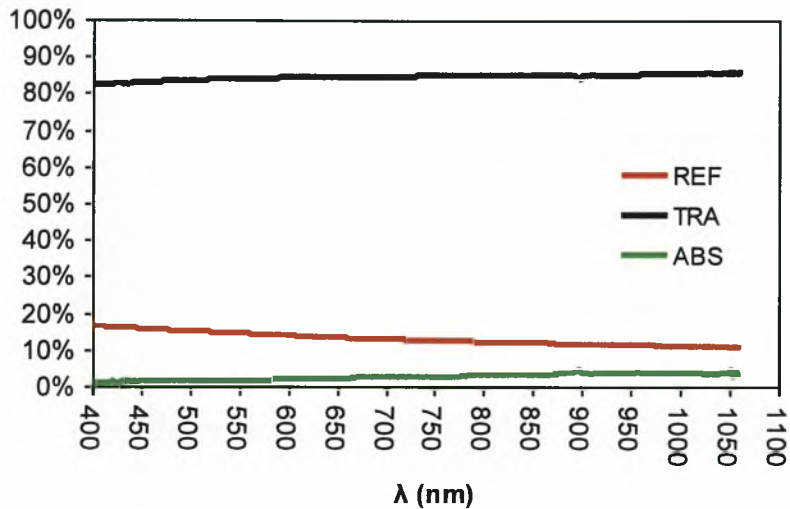
**Σχήμα 7.** Οι καμπύλες περατότητας, ανάκλασης και απορρόφησης για την εξωτερική πλευρά του Super Thermic στην 1<sup>η</sup> μέτρηση.



REF: ανακλαστικότητα, ABS: απορροφητικότητα, TRA: διαπερατότητα

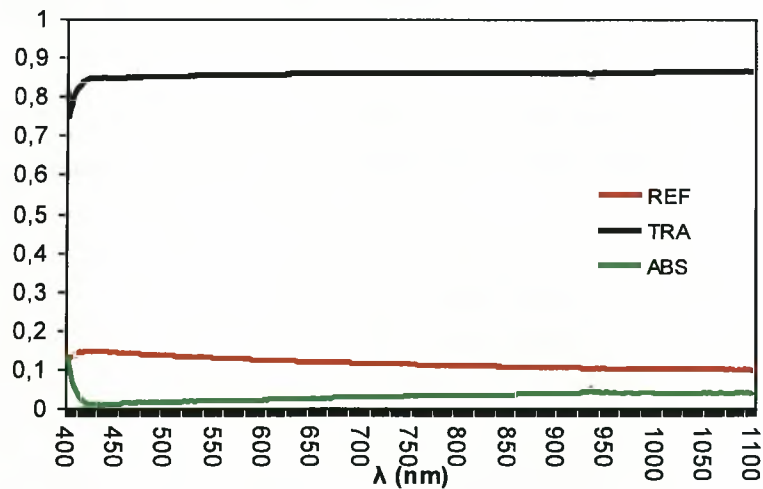
**Σχήμα 8.** Οι καμπύλες περατότητας, ανάκλασης και απορρόφησης για την εξωτερική πλευρά του μάρτυρα στην 1<sup>η</sup> μέτρηση.





REF: ανακλαστικότητα, ABS: απορροφητικότητα, TRA: διαπερατότητα

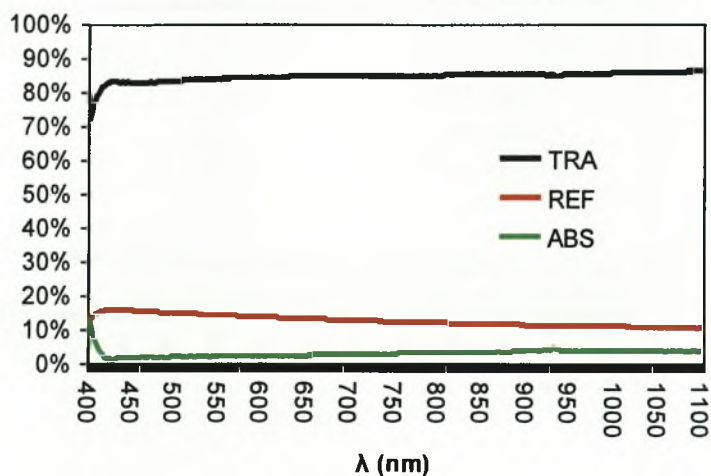
Σχήμα 9. Οι καμπύλες περατότητας, ανάκλασης και απορρόφησης για την εξωτερική πλευρά του Super Thermic στην 2<sup>η</sup> μέτρηση.



REF: ανακλαστικότητα, ABS: απορροφητικότητα, TRA: διαπερατότητα

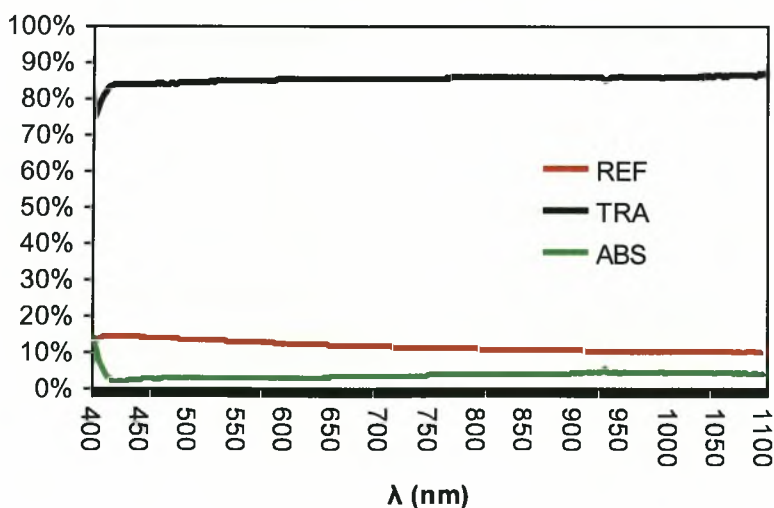
Σχήμα 10. Οι καμπύλες περατότητας, ανάκλασης και απορρόφησης για την εξωτερική πλευρά του μάρτυρα στην 2<sup>η</sup> μέτρηση.

### Εσωτερική επιφάνεια



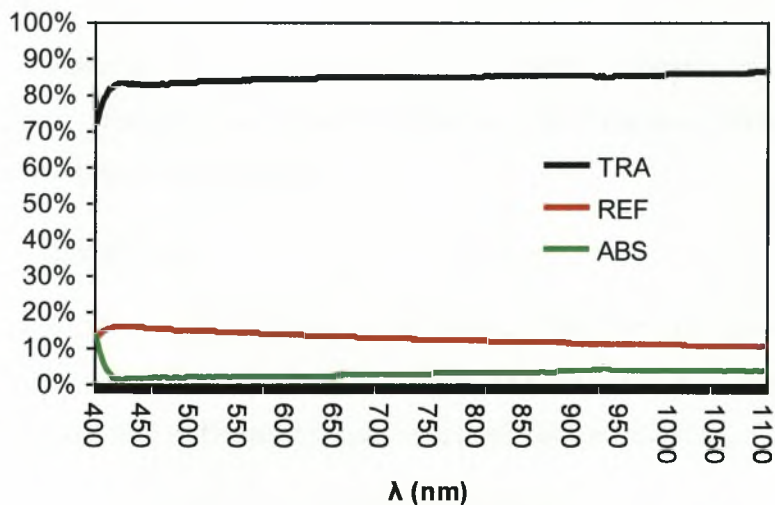
REF: ανακλαστικότητα, ABS: απορροφητικότητα, TRA: διαπερατότητα

**Σχήμα 11.** Οι καμπύλες περατότητας, ανάκλασης και απορρόφησης για την εσωτερική πλευρά του Super Thermic στην 1<sup>η</sup> μέτρηση.



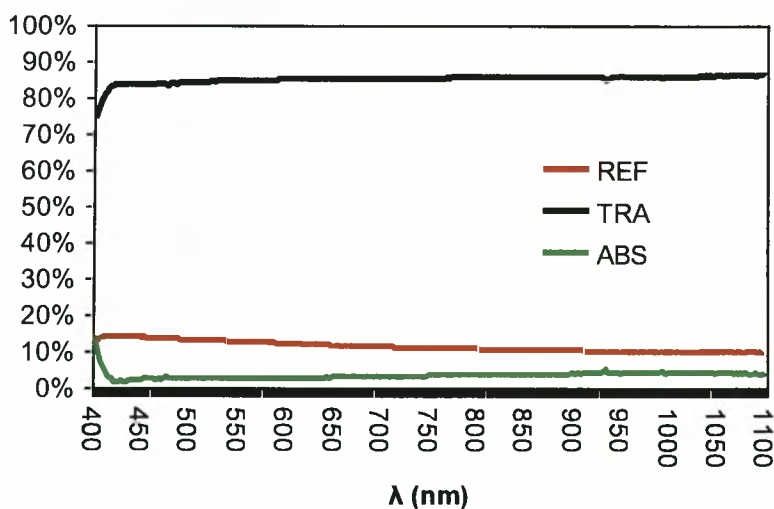
REF: ανακλαστικότητα, ABS: απορροφητικότητα, TRA: διαπερατότητα

**Σχήμα 12.** Οι καμπύλες περατότητας, ανάκλασης και απορρόφησης για την εσωτερική πλευρά του μάρτυρα στην 1<sup>η</sup> μέτρηση.



REF: ανακλαστικότητα, ABS: απορροφητικότητα, TRA: διαπερατότητα

Σχήμα 13. Οι καμπύλες περατότητας, ανάκλασης και απορρόφησης για την εσωτερική πλευρά του Super Themic στην 2<sup>η</sup> μέτρηση.



REF: ανακλαστικότητα, ABS: απορροφητικότητα, TRA: διαπερατότητα

Σχήμα 14. Οι καμπύλες περατότητας, ανάκλασης και απορρόφησης για την εσωτερική πλευρά του μάρτυρα στην 2<sup>η</sup> μέτρηση.

## Πίνακες

Στους Πίνακες 6, 7, 8, 9 παρουσιάζονται οι οπτικές ιδιότητες της εξωτερικής και εσωτερικής πλευράς των υλικών κάλυψης σε διάφορα μήκη κύματος που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα

### Εξωτερική επιφάνεια

**Πίνακας 6** . Οι οπτικές ιδιότητες, της εξωτερικής πλευράς, των δυο υλικών κάλυψης σε διάφορα μήκη κύματος, όπως προκύπτει από μετρήσεις που έγιναν σε δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο, αμέσως μετά την εγκατάσταση, τον Φεβρουάριο

1. ΜΕΤΡΗΣΗ 1 <sup>η</sup> (5/02/09)						
	SUPER THERMIC			CONTROL		
	REF	TRA	ABS	REF	TRA	ABS
<b>B(400-500)</b>	0,14	0,84	0,02	0,14	0,86	0,02
<b>R(600-700)</b>	0,12	0,86	0,02	0,11	0,87	0,02
<b>FR(700-800)</b>	0,11	0,86	0,02	0,1	0,87	0,02
<b>PAR (400-700)</b>	0,13	0,85	0,01	0,12	0,87	0,01
<b>T (400-1100)</b>	0,12	0,86	0,02	0,11	0,87	0,02
<b>NIR (700-1100)</b>	0,11	0,86	0,03	0,1	0,87	0,03

- REF : αντανάκλαση,
- TRA: διαπερατότητα,
- ABS: απορρόφηση,
- B: ακτινοβολία στην περιοχή του μπλε,
- R: ακτινοβολία στην περιοχή του κόκκινου,
- FR: ακτινοβολία στην περιοχή του μακρινού κόκκινου,
- PAR: ενεργός φηοσυνθετική ακτινοβολία,
- T: ολική ακτινοβολία,
- NIR: ακτινοβολία στο κοντινό υπέρυθρο.

**Πίνακας 7.** Οι οπτικές ιδιότητες, της εξωτερικής πλευράς, των δυο υλικών κάλυψης σε διάφορα μήκη κύματος, όπως προκύπτει από μετρήσεις που έγιναν σε δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο τον Ιούνιο.

ΜΕΤΡΗΣΗ 2 <sup>η</sup> (17/06/09)						
	SUPER THERMIC			CONTROL		
	REF	TRA	ABS	REF	TRA	ABS
<b>B(400-500)</b>	0,15	0,82	0,02	0,14	0,84	0,02
<b>R(600-700)</b>	0,13	0,85	0,02	0,12	0,86	0,02
<b>FR(700-800)</b>	0,12	0,85	0,02	0,11	0,86	0,03
<b>PAR (400-700)</b>	0,14	0,84	0,02	0,13	0,85	0,02
<b>T (400-1100)</b>	0,12	0,85	0,02	0,11	0,86	0,03
<b>NIR (700-1100)</b>	0,11	0,86	0,03	0,11	0,87	0,02

- REF: :αντανάκλαση,
- TRA: διαπερατότητα,
- ABS: απορρόφηση ,
- B: ακτινοβολία στην περιοχή του μπλέ,
- R: ακτινοβολία στην περιοχή του κόκκινου,
- FR: ακτινοβολία στην περιοχή του μακρινού κόκκινου,
- PAR: ενεργός φωτοσυνθετική ακτινοβολία
- T: ολική ακτινοβολία,
- NIR: ακτινοβολία στο κοντινό υπέρυθρο

Από τους πίνακες 6, 7 βλέπουμε ότι οι διαφορές στις οπτικές ιδιότητες του Super Thermic καλύμματος με τον μάρτυρα (control) στην εξωτερική επιφάνεια, είναι πολύ μικρές και κυμαίνονται στο 0,5-1%.

### Εσωτερική επιφάνεια

**Πίνακας 8.** Οι οπτικές ιδιότητες της εσωτερικής πλευράς, των δυο υλικών κάλυψης σε διάφορα μήκη κύματος, όπως προκύπτει από μετρήσεις που έγιναν σε δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο, αμέσως μετά την εγκατάσταση, τον Φεβρουάριο.

ΜΕΤΡΗΣΗ 1 <sup>η</sup> (05/02/09)						
	SUPER THERMIC			CONTROL		
	REF	TRA	ABS	REF	TRA	ABS
<b>B(400-500)</b>	0,16	0,83	0,02	0,14	0,84	0,02
<b>R(600-700)</b>	0,13	0,85	0,02	0,12	0,85	0,03
<b>FR(700-800)</b>	0,12	0,84	0,03	0,11	0,85	0,03
<b>PAR (400-700)</b>	0,14	0,85	0,02	0,13	0,84	0,02
<b>T (400-1100)</b>	0,13	0,85	0,03	0,11	0,85	0,03
<b>NIR (700-1100)</b>	0,11	0,85	0,04	0,10	0,86	0,04

- REF: ανακλαστικότητα ,
- TRA: διαπερατότητα,
- ABS: απορροφητικότητα ,
- B: ακτινοβολία στην περιοχή του μπλε,
- R: ακτινοβολία στην περιοχή του κόκκινου,
- FR: ακτινοβολία στην περιοχή του μακρινού κόκκινου,
- PAR: ενεργός φωτοσυνθετική ακτινοβολία
- T: ολική ακτινοβολία,
- NIR: ακτινοβολία στο κοντινό υπέρυθρο

**Πίνακας 9.** Οι οπτικές ιδιότητες της εσωτερικής πλευράς, των δυο υλικών κάλυψης σε διάφορα μήκη κύματος, όπως προκύπτει από μετρήσεις που έγιναν σε δείγματα που λήφθηκαν από το θερμοκήπιο, τον Ιούνιο.

ΜΕΤΡΗΣΗ 2 <sup>η</sup> (17/06/09)						
	SUPER THERMIC			CONTROL		
	REF	TRA	ABS	REF	TRA	ABS
<b>B(400-500)</b>	0,15	0,83	0,02	0,14	0,84	0,02
<b>R(600-700)</b>	0,13	0,85	0,02	0,12	0,85	0,03
<b>FR(700-800)</b>	0,12	0,85	0,03	0,11	0,86	0,03
<b>PAR (400-700)</b>	0,14	0,84	0,02	0,13	0,85	0,02
<b>T (400-1100)</b>	0,13	0,85	0,03	0,11	0,85	0,03
<b>NIR (700-1100)</b>	0,11	0,85	0,04	0,10	0,86	0,04

- REF : ανακλαστικότητα .
- TRA: διαπερατότητα,
- ABS: απορροφητικότητα ,
- B: ακτινοβολία στην περιοχή του μπλέ,
- R: ακτινοβολία στην περιοχή του κόκκινου,
- FR: ακτινοβολία στην περιοχή του μακρινού κόκκινου,
- PAR: ενεργός φωτοσυνθετική ακτινοβολία
- T: ολική ακτινοβολία,
- NIR: ακτινοβολία στο κοντινό υπέρυθρο

Από τους πίνακες 8, 9 οι διαφορές στις οπτικές ιδιότητες της εσωτερικής επιφάνειας του Super Thermic καλύμματος με τον μάρτυρα, είναι πολύ μικρές της τάξεως του 0,5-1% όπως και στην εξωτερική επιφάνεια.

Τέλος στον πίνακα 10 παρουσιάζετε η διαπερατότητα στην θερμική ακτινοβολία των δυο υλικών κάλυψης όπως αυτή μετρήθηκε στα εργαστήρια από τα ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΡΗΤΗΣ ΑΒΕΕ.

**Πίνακας 10.** Τα ποσοστά διαπερατότητας στην θερμική ακτινοβολία των δύο υλικών κάλυψης.

ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ (%) ΣΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ		
	SUPER THERMIC	CONTROL
4000-14000 nm	0,07	0.28
4000-39000 nm	0,28	0,43

Από ότι βλέπουμε στον πίνακα 10 στο μήκος κύματος 4000 με 14000 το υλικό Super Thermic έχει 75% μικρότερη περατότητα στην θερμική ακτινοβολία σε σχέση με το απλό φύλλο πολυαιθυλενίου . Στο μήκος κύματος 4000 με 39000 το υλικό Super Thermic έχει 34% μικρότερη περατότητα σε σχέση με το απλό φύλλο πολυαιθυλενίου.

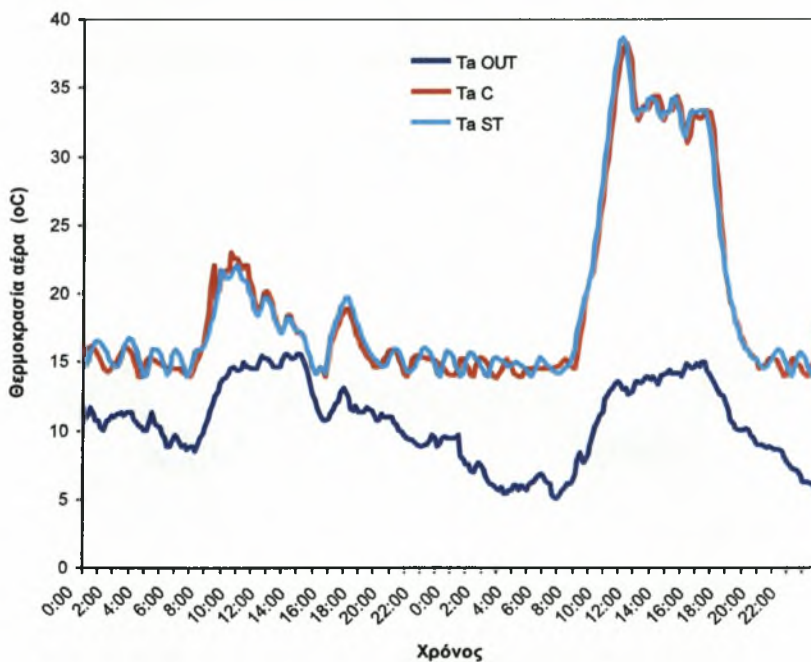


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΙΔΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ

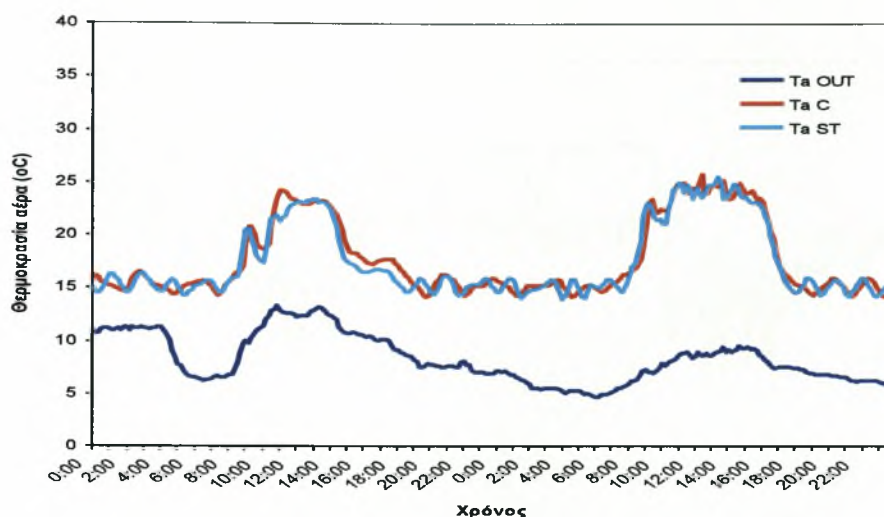
Κατά την χειμερινή περίοδο η μελέτη αφορά κυρίως την επίδραση των υλικών κάλυψης στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου, στην κατανάλωση ενέργειας και στην ανάπτυξη και παραγωγή της καλλιέργειας. Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις που έγιναν στο θερμοκήπιο που ήταν καλυμμένο με το Super Thermic υλικό και στο θερμοκήπιο που ήταν καλυμμένο με το απλό φύλλο πολυαιθυλενίου.

### 5.1. Αποτελέσματα περιόδου με θέρμανση των θερμοκηπίων

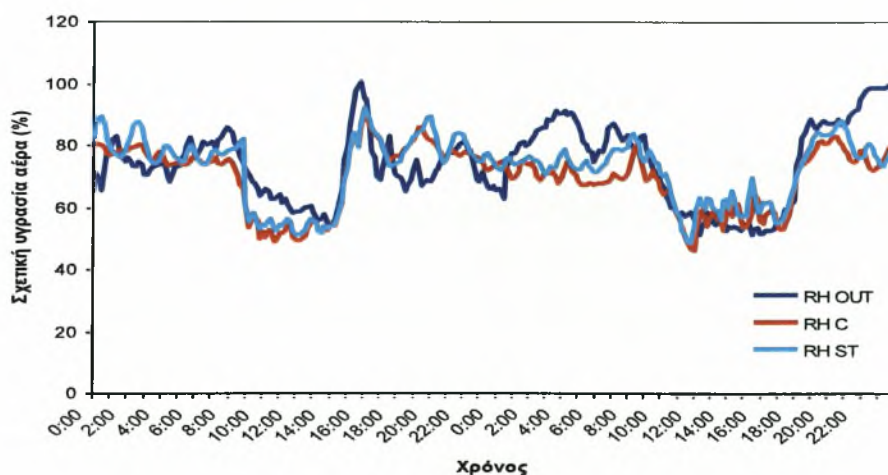
Στα Σχήματα 15, 16, 17, 18 παρουσιάζεται η πορεία της θερμοκρασίας του αέρα εντός και εκτός των δύο θερμοκηπίων και η πορεία των τιμών της σχετικής υγρασίας του αέρα εντός και εκτός των δύο θερμοκηπίων κατά την περίοδο, 6-7/3 και 21-22/3.



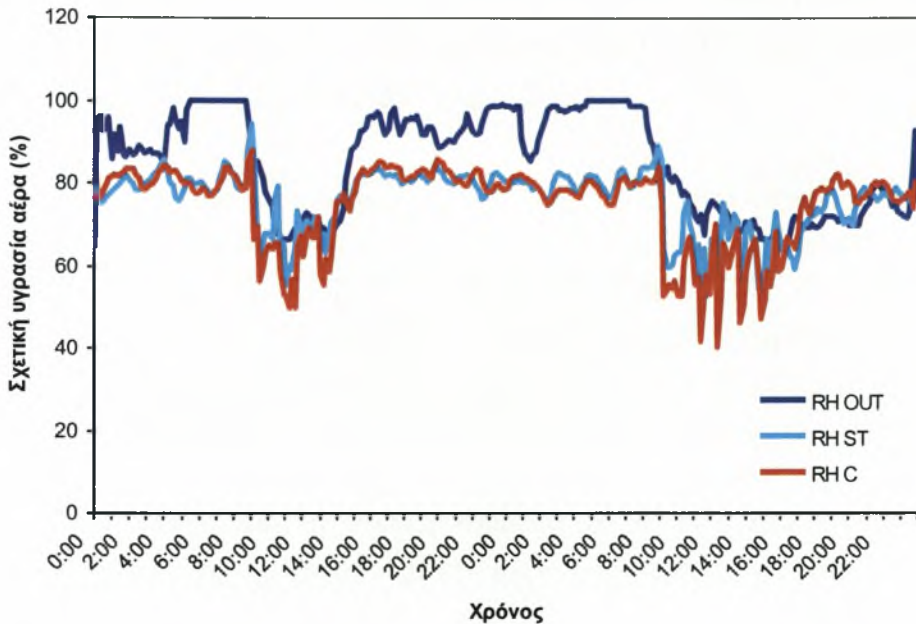
**Σχήμα 15.** Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα μέσα και έξω από τα δύο θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της περιόδου 6-7/3. C= μάρτυρας, ST= Super Thermic



**Σχήμα 16.** Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα μέσα και έξω από τα δύο θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της περιόδου 21-22/3. C= μάρτυρας, ST= Super Thermic



**Σχήμα 17.** Πορεία των τιμών της σχετικής υγρασίας του αέρα μέσα και έξω από τα δύο θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της περιόδου από 6-7/3 C= μάρτυρας, ST= Super Thermic



**Σχήμα 18.** Πορεία των τιμών της σχετικής υγρασίας του αέρα μέσα και έξω από τα δύο θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της περιόδου από 21-22/3 C= μάρτυρας, ST= Super Thermic

Οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του αέρα κατά τις περιόδους ημέρας (08:00 – 20:00) και νύχτας (20:00 – 08:00) για τις παραπάνω ημερομηνίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 11 και στον Πίνακα 12, αντίστοιχα. Δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές στις θερμοκρασίες εντός των θερμοκηπίων, επειδή λειτουργούσε το σύστημα θέρμανσης.

**Πίνακας 11.** Μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα στα τρία θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της ημέρας (08:00 – 20:00) και νύχτας (20:00 – 08:00) για την περίοδο από, 6-7/3 και 21-22/3. C= μάρτυρας, ST= Super Thermic

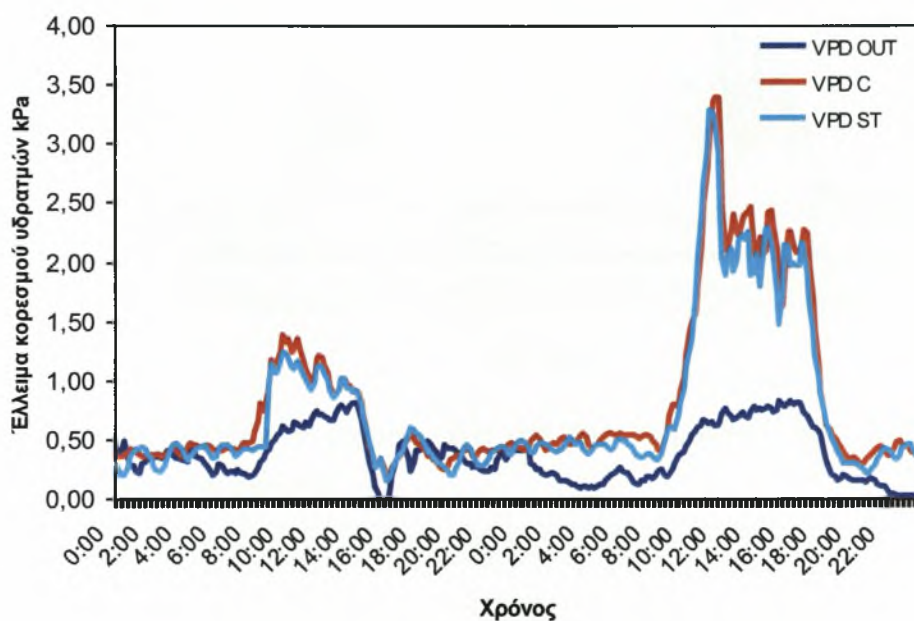
	Θερμοκρασία αέρα (08:00-20:00)			Θερμοκρασία αέρα (20:00-08:00)		
	ST	C	OUT	ST	C	OUT
6-7/3	23,2±7,5	22,9±7,5	12,3±2,4	15,3±0,7	14,8±0,6	8,6±1,8
21-22/3	19,6±3,3	19,7±3,5	9,2±2,2	15,1±0,6	15,1±0,6	7,3±2

**Πίνακας 12.** Μέσες τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα στα τρία θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της ημέρας (08:00 – 20:00) και νύχτας (20:00 – 08:00).C= μάρτυρας, ST= Super Thermic

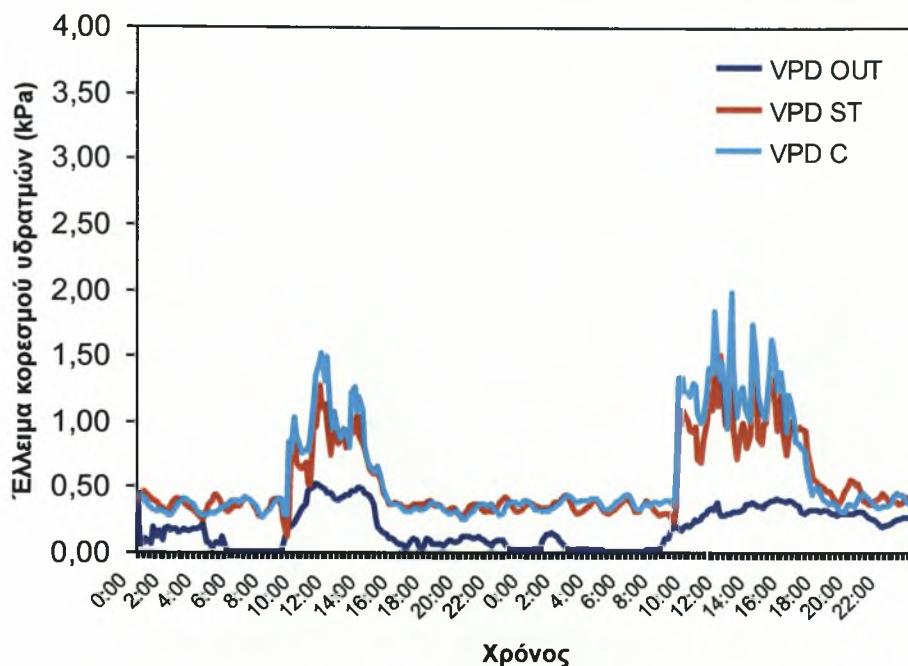
	Σχετική υγρασία αέρα (08:00-20:00)			Σχετική υγρασία αέρα (20:00-08:00)		
	ST	C	OUT	ST	C	OUT
6-7/3	65,9±10,6	64±11	67,7±12,5	77,2±4,5	74,7±4,2	84,8±8,8
21-22/3	72±9,5	69,5±11,5	80,7±12,5	79±2,8	79,4±2,5	88,9±9,9

Από τους πίνακες 11, 12 φαίνεται ότι η πορεία της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας του αέρα ήταν παρόμοια στα τρία θερμοκήπια κατά τη διάρκεια των περιόδων αυτών με μικρές αποκλίσεις. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας ελέγχονταν με τη βοήθεια των συστημάτων θέρμανσης των θερμοκηπίων.

Στα Σχήματα 19, 20 παρουσιάζεται το έλλειμμα κορεσμού του αέρα εντός και εκτός των θερμοκηπίων από 28/2-1/3, 6-7/3 και 21-22/3 .Το έλλειμμα κορεσμού του αέρα (VPD) στο θερμοκήπιο που ήταν καλυμμένο με το Super Thermic υλικό και στο θερμοκήπιο που ήταν καλυμμένο με φύλλο πολυαιθυλενίου κυμαίνονταν στα ίδια επίπεδα τόσο τις πρωινές όσο και τις βραδινές ώρες.



**Σχήμα 19** . Το έλλειμμα κορεσμού αέρα εντός και εκτός των θερμοκηπίων στις 6-7/3  
C= μάρτυρας, ST= Super Thermic



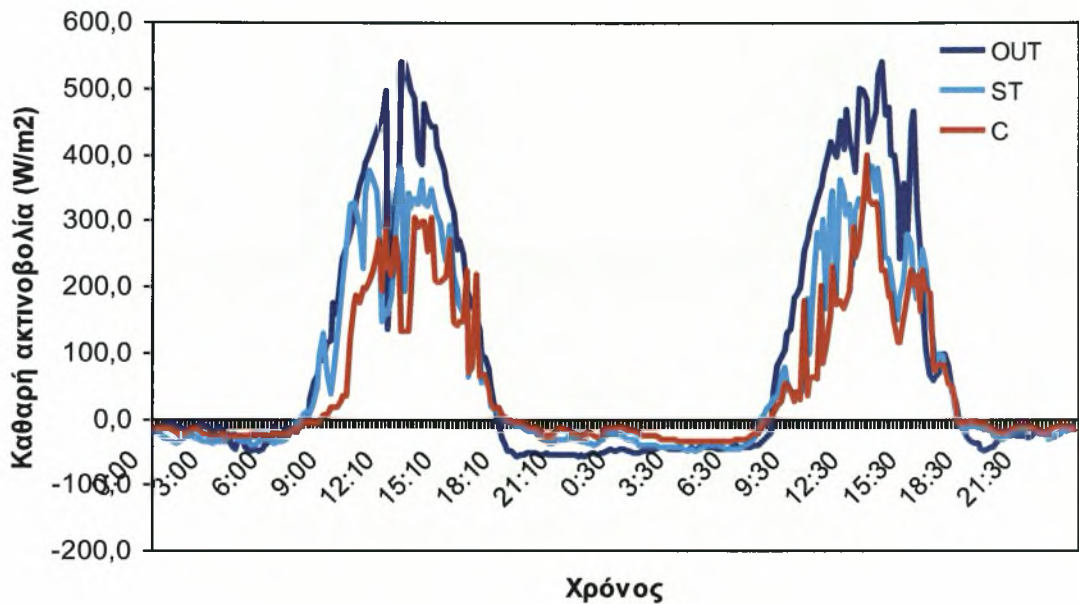
**Σχήμα 20.** Το έλλειμμα κορεσμού αέρα στα δύο θερμοκήπια στις 21-22/3 C= μάρτυρας, ST= Super Thermic

**Πίνακας 13.** Οι μέσες τιμές του ελλείματος κορεσμού του αέρα σε υδρατμούς στα δύο θερμοκήπια. C= μάρτυρας, ST= Super Thermic

ΕΛΛΕΙΜΑ ΚΟΡΕΣΜΟΥ ΥΔΡΑΤΜΩΝ				
	(08:00-20:00)		(20:00-08:00)	
	ST	C	ST	C
6-7/3	1,21 ±0,06	1,22 ±0,04	0,39 ±0,3	0,41 ±0,4
21-22/3	1,12 ±0,05	1,14 ±0,04	0,34 ±0,3	0,36 ±0,4

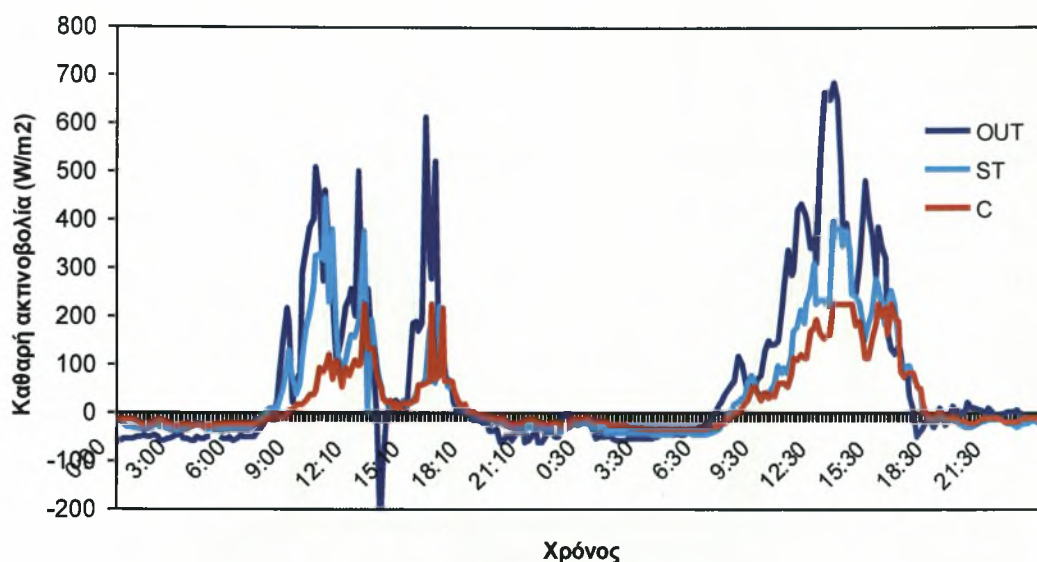
Όπως ήταν αναμενόμενο δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στη διακύμανση των τιμών του ελλείματος κορεσμού του αέρα σε υδρατμούς, γιατί δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές στη θερμοκρασία αέρα και στην υγρασία αέρα των δύο θερμοκηπίων πίνακας 13. Παράλληλα, στο Σχήματα 21, 22, 23, 24 παρουσιάζεται η πορεία των τιμών της καθαρής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων πάνω

από το επίπεδο των φυτών και έξω από τα θερμοκήπια κατά την περίοδο, 6-7/3 και 21-22/3, αντίστοιχα.



**Σχήμα 21.** Πορεία των τιμών της καθαρής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων πάνω από το επίπεδο των φυτών και έξω από τα θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της περιόδου από 6-7/3.





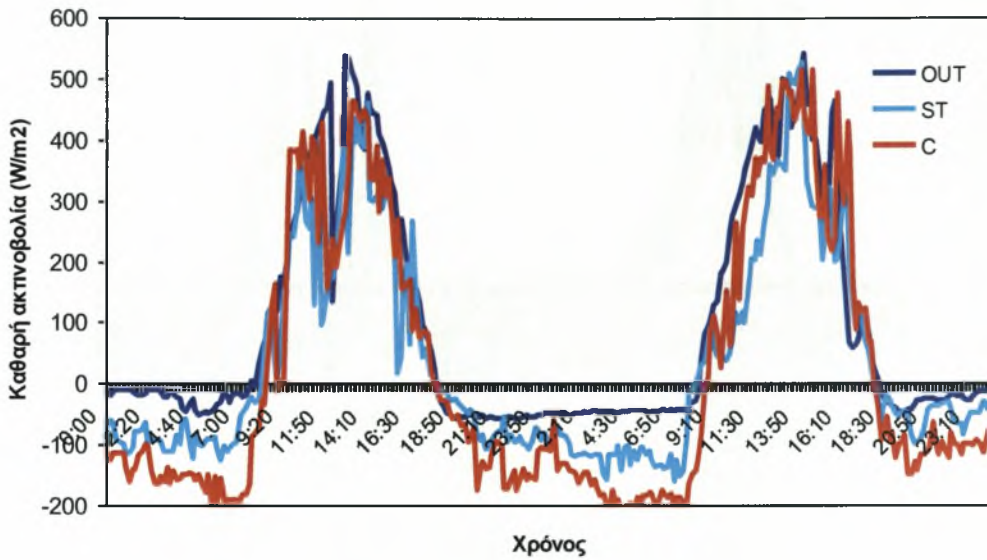
**Σχήμα 22.** Πορεία των τιμών της καθαρής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων πάνω από το επίπεδο των φυτών και έξω από τα θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της περιόδου από 21-22/3.

**Πίνακας 14.** Οι μέσες τιμές της καθαρής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων, στο ύψος των φυτών τις πρωινές και τις βραδινές ώρες. C= μάρτυρας, ST= Super Thermic

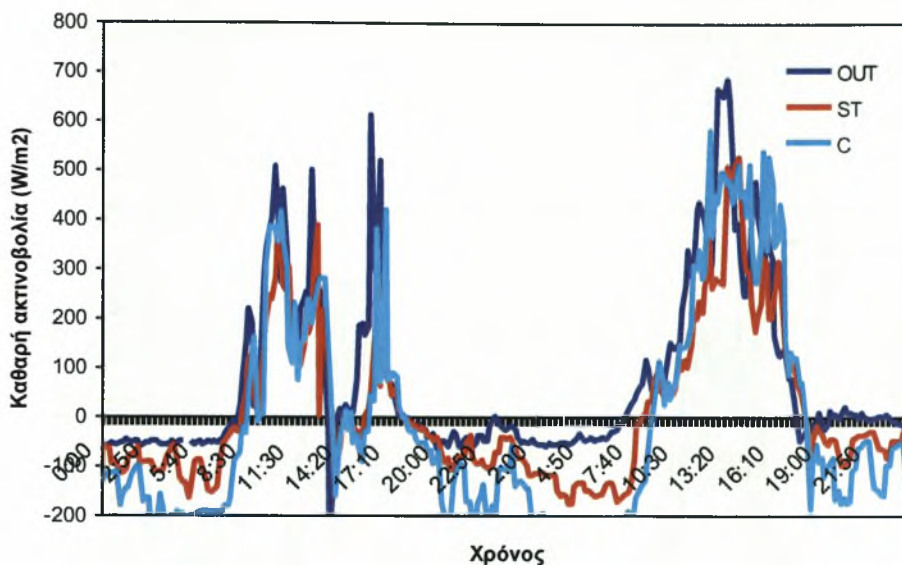
ΚΑΘΑΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΥΨΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ (W/m <sup>2</sup> )				
	Πρωινές ώρες (08:00-20:00)		Βραδινές ώρες (20:00-08:00)	
	ST	C	ST	C
6-7/3	159 ±137	116 ±109	-32 ±12	-24 ±7,5
21-22/3	113 ±108	70,3 ±67,5	-33 ±9,6	-22 ±7,1

Από τον Πίνακα 14, φαίνεται ότι το Super Thermic θερμοκήπιο, τις πρωινές ώρες, έχει 20% περισσότερη ροή ενέργειας προς τα φυτά, σε σχέση με το μάρτυρα, ενώ το βράδυ στο Super Thermic η ροή ενέργειας είναι 35% περισσότερη προς το κάλυμμα σε σχέση με το μάρτυρα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα με την

πορεία της καθαρής ακτινοβολίας στο εξωτερικό των θερμοκηπίων, καθώς και οι μέσες τιμές τις πρωινές και τις βραδινές ώρες.



Σχήμα 23 . Πορεία των τιμών της καθαρής ακτινοβολίας, εξωτερικά του θερμοκηπίου στις 6-7/3. C= μάρτυρας, ST= Super Thermic



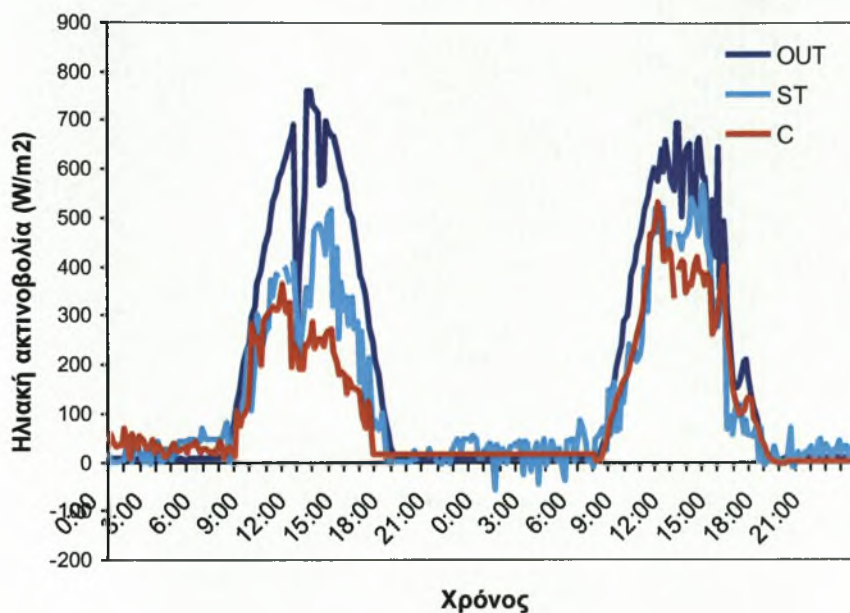
**Σχήμα 24.** Πορεία των τιμών της καθαρής ακτινοβολίας, εξωτερικά του θερμοκηπίου στις 21-22/3. C= μάρτυρας, ST= Super Thermic

**Πίνακας 15.** Οι μέσες τιμές της καθαρής ακτινοβολίας, εξωτερικά των θερμοκηπίων, για την περίοδο 6-7/3 και 21-22/3. C= μάρτυρας, ST= Super Thermic

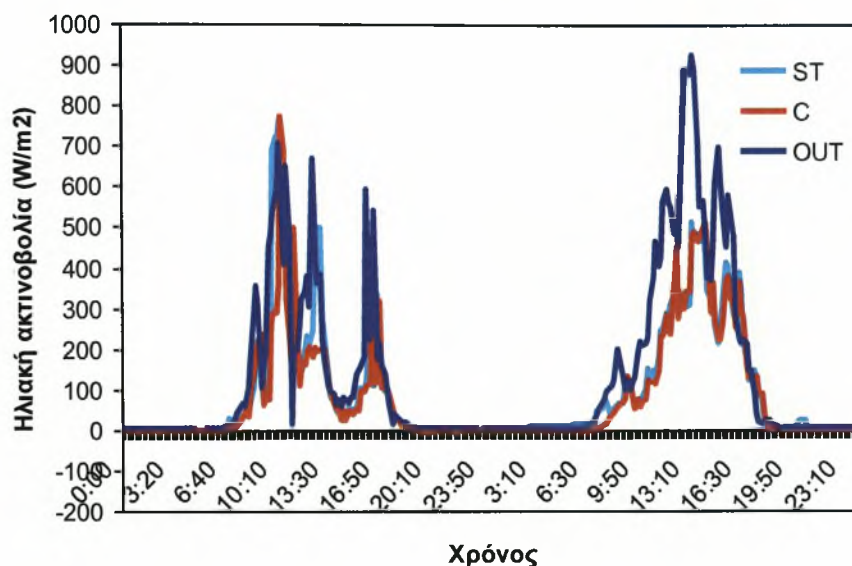
	ΚΑΘΑΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ ( $W/m^2$ )			
	(08:00-20:00)		(20:00-08:00)	
	ST	C	ST	C
6-7/3	156 ±162	183 ±201	-90 ±32	-147 ±36
21-22/3	116 ±148	135 ±206	-97 ±41	-167 ±52

Από τον Πίνακα 15 φαίνεται ότι το Super Thermic τις πρωινές ώρες έχει 12% περισσότερη ροή ενέργειας προς τα κάτω, ενώ τις βραδινές ώρες έχει 45% μικρότερη εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας.

Στα Σχήματα 25, 26 παρουσιάζεται η πορεία των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων, ενώ στον Πίνακα 16 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, τις πρωινές και τις βραδινές ώρες.



Σχήμα 25. Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων στις 6-7/3.



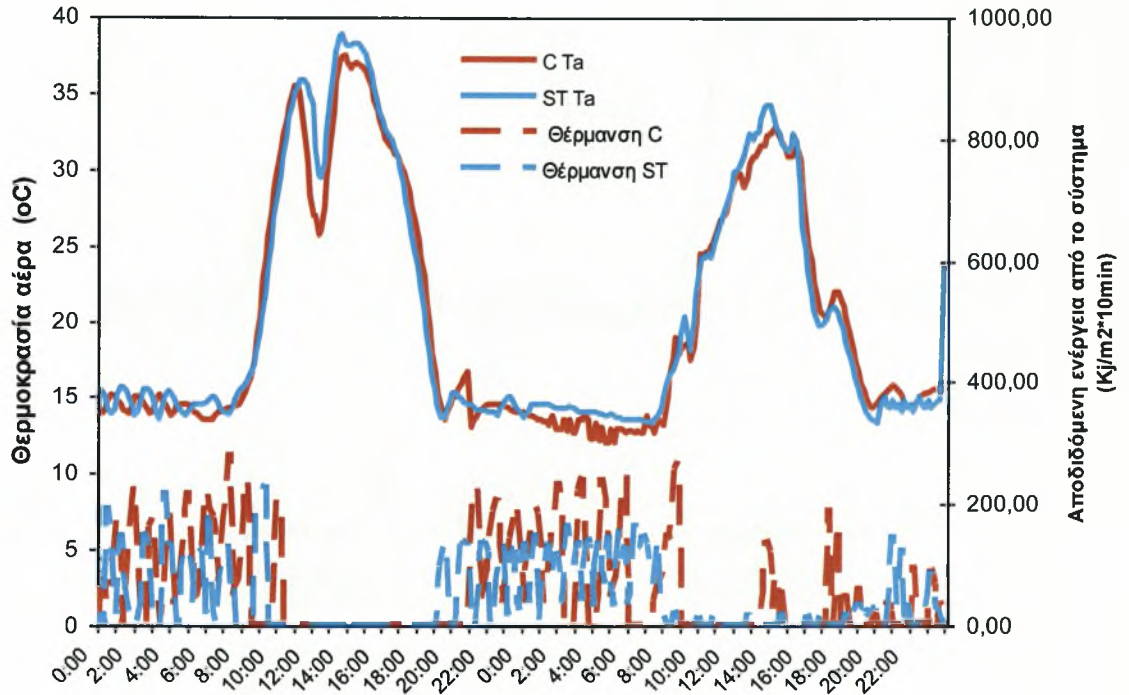
**Σχήμα 26.** Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των δύο θερμοκηπίων στις 21-22/3.

**Πίνακας 16.** Οι μέσες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων.

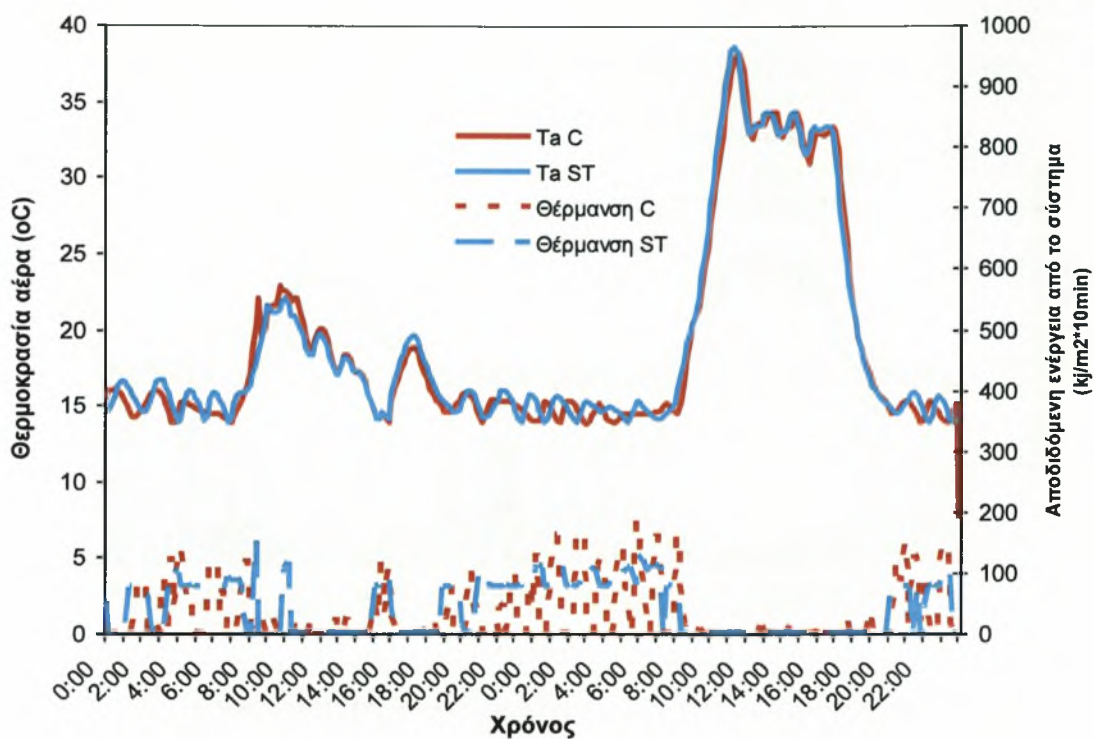
ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (W/m <sup>2</sup> )		
	(08:00-20:00)	
	ST	C
6-7/3	181 ±172	162 ±154
21-22/3	179 ±170	163 ±159

Από τις μέσες τιμές της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, φαίνεται ότι το Super Thermic κάλυμμα, έχει υψηλότερη διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία κατά 7% τις πρωινές ώρες, ενώ το βράδυ δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφορές στη διακύμανση των τιμών.

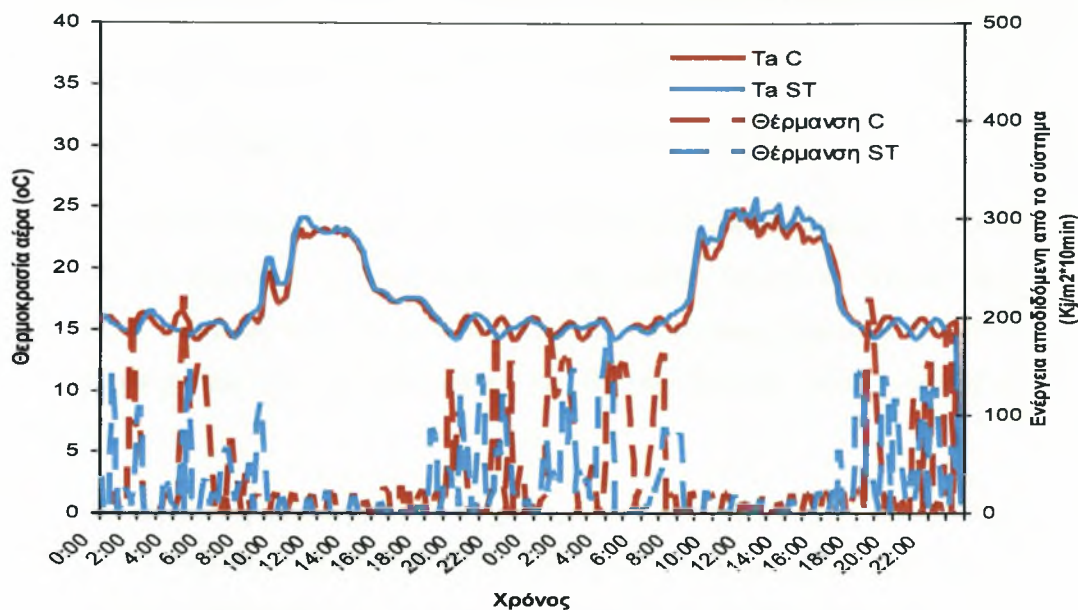
Στα Σχήματα 27, 28, 29 παρουσιάζεται η πορεία της θερμοκρασίας του αέρα μέσα στα δύο θερμοκήπια και της ενέργειας που αποδίδονταν από το σύστημα θέρμανσης στο θερμοκήπιο κατά την περίοδο από 28/2-1/3, 6-7/3 και 21-22/3, αντίστοιχα.



**Σχήμα 27.** Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα μέσα στα δύο θερμοκήπια και της ενέργειας που αποδίδονταν από το σύστημα θέρμανσης στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της περιόδου από 28/2-1/3.



**Σχήμα 28.** Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα μέσα στα δύο θερμοκήπια και της ενέργειας που αποδίδονται από το σύστημα θέρμανσης στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της περιόδου 6-7/3.



**Σχήμα 29.** Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα μέσα στα δύο θερμοκήπια και της ενέργειας που αποδίδονταν από το σύστημα θέρμανσης στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της περιόδου 21-22/3.

Η συνολική ενέργεια που αποδόθηκε (kJ ανά m<sup>2</sup> εδάφους θερμοκηπίου) από το σύστημα θέρμανσης στο εσωτερικό των θερμοκηπίων κατά τη διάρκεια της νύχτας από 28/2-1/3, 6-7/3 και 21-22/3 παρουσιάζεται στον Πίνακα. 17

**Πίνακας 17.** Ενέργεια που αποδόθηκε (kJ ανά m<sup>2</sup> εδάφους θερμοκηπίου) από το σύστημα θέρμανσης στα δύο θερμοκήπια και υπολογισμένη εξοικονόμηση ενέργειας.

Συνολική ενέργεια που καταναλώθηκε (kJ/ m <sup>2</sup> )			Εξοικονόμηση
DATE	SUPER THERMIC	CONTROL	
28/2-1/3	8000	8950	11%
6-7/3	5900	6800	13%
21-22/3	5100	5970	14%



Με βάση τις μέσες τιμές κατανάλωσης ενέργειας που παρουσιάζονται στον πίνακα 17, η μέση ημερήσια κατανάλωση ενέργειας για ένα θερμοκήπιο έκτασης 1000 m<sup>2</sup>

(α) καλυμμένο με το κοινό φύλλο κάλυψης θα ήταν 3620 MJ

(β) καλυμμένο με το νέο θερμικό φύλλο κάλυψης θα ήταν 3160 MJ.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η μέση διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικού-εξωτερικού αέρα κατά τη διάρκεια της περιόδου για την οποία έγιναν οι υπολογισμοί κατανάλωσης ενέργειας ήταν 11,4 °C και 11,7°C, για το θερμοκήπιο με το κοινό φύλλο κάλυψης και για το θερμοκήπιο με το νέο θερμικό φύλλο κάλυψης, αντίστοιχα.

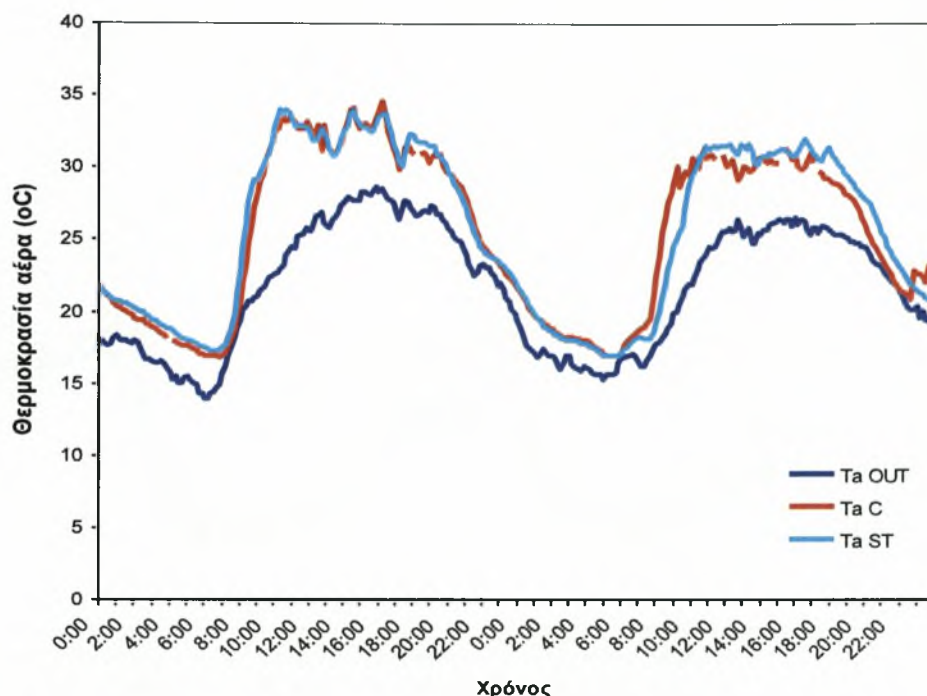
Αν για την θέρμανση του θερμοκηπίου χρησιμοποιούνταν καυστήρας με καύσιμο πετρελαίου και απόδοση συστήματος 85%, τότε η εξοικονόμηση σε καύσιμα για το έκτασης 1000 m<sup>2</sup> θερμοκήπιο και για κλιματικές συνθήκες παρόμοιες με αυτές που περιγράφονται εδώ, θα ήταν περίπου 13 λίτρα πετρελαίου, ανά ημέρα .

(Οι υπολογισμοί έγιναν για απόδοση πετρελαίου ίση με 42 MJ/Liter).

## 5.2. Ημέρες χωρίς θέρμανση

Την καλοκαιρινή περίοδο, σκοπός ήταν να μελετηθεί η συμπεριφορά των καλυμμάτων καθώς και η επίδραση τους στη διαμόρφωση του μικροκλίματος στο εσωτερικό των θερμοκηπίων.

Στο Σχήμα 30 παρουσιάζεται η πορεία της θερμοκρασίας του αέρα εντός και εκτός των δύο θερμοκηπίων κατά την περίοδο από 23-24/6.



**Σχήμα 30.** Πορεία των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα μέσα και έξω από τα δύο θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της περιόδου 23-24/6.

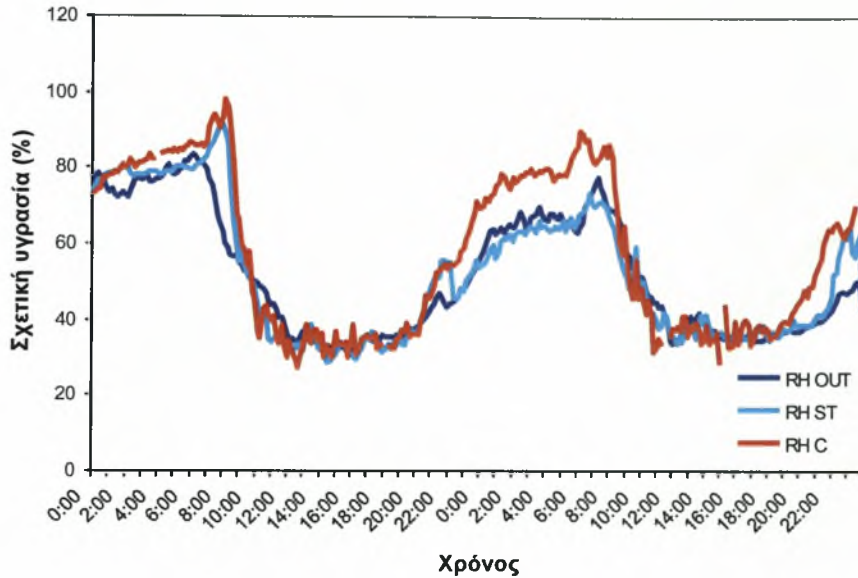
Οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα κατά τις περιόδους ημέρας (08:00 – 20:00) και νύχτας (20:00 – 08:00) για τις παραπάνω ημερομηνίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 18

**Πίνακας 18.** Οι μέσες τιμές θερμοκρασίας του αέρα τις περιόδους 23-24/6

	Θερμοκρασία αέρα (08:00-20:00)			Θερμοκρασία αέρα (20:00-08:00)		
	ST	C	OUT	ST	C	OUT
23-24/6	29,6 ±2,8	29,5 ±2,8	25 ±2,5	23,35 ±3,3	23,2 ±3,4	21,2 ±3

Από τον Πίνακα 18 φαίνεται ότι δεν υπήρχαν διαφορές στη διακύμανση των τιμών της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό των δύο θερμοκηπίων

Στο Σχήμα 31 παρουσιάζεται η πορεία των τιμών της υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό των δύο θερμοκηπίων και στο Πίνακα 19 οι μέσες τιμές της υγρασίας τις πρωινές και τις βραδινές ώρες, αντίστοιχα.



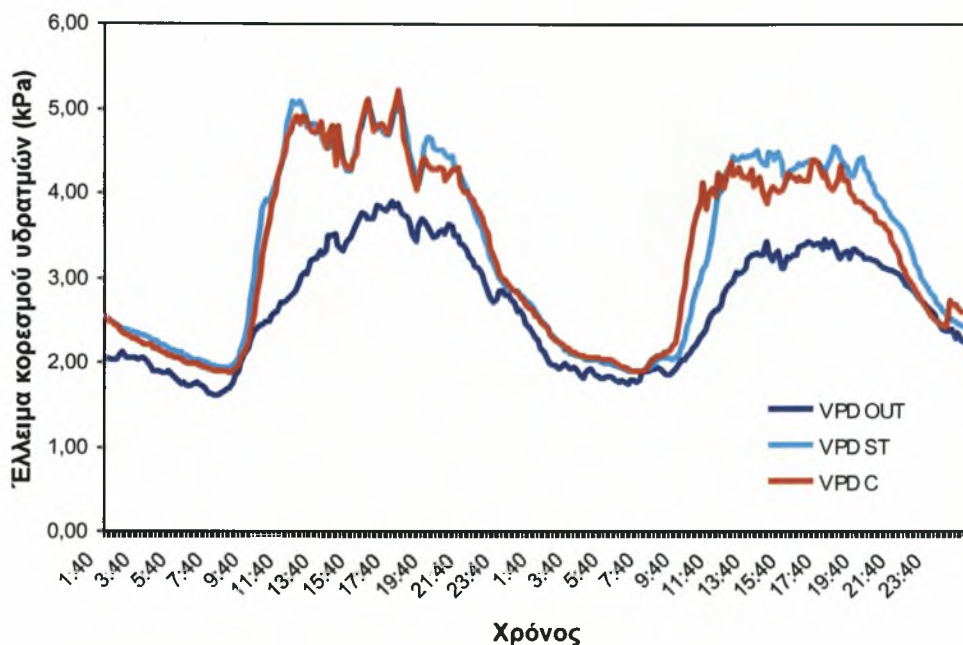
**Σχήμα 31.** Πορεία των τιμών της σχετικής υγρασίας του αέρα μέσα και έξω από τα δύο θερμοκήπια κατά τη διάρκεια της περιόδου 23-24/6

**Πίνακας 19 .** Οι μέσες τιμές υγρασίας του αέρα τις περιόδους 1-2/6 και 23-24/6

	Σχετική γρασία αέρα (%) (08:00-20:00)			Σχετική γρασία αέρα (%) (20:00-08:00)		
	ST	C	OUT	ST	C	OUT
23-24/6	39,6 ±9,8	42,2 ±15,2	40 ±9,3	53,8 ±14,3	55,3 ±14,6	52,9 ±4,2

Από τον Πίνακα 19 φαίνεται ότι δεν υπήρχαν διαφορές στη διακύμανση των τιμών της υγρασίας του αέρα στο εσωτερικό των δύο θερμοκηπίων.

Στη συνέχεια στο Σχήμα 32 παρουσιάζονται τα διαγράμματα με την πορεία των τιμών του ελλείματος κορεσμού σε υδατμούς και οι μέσες τιμές για τα δύο θερμοκήπια τις πρωινές ώρες και τις βραδινές ώρες.



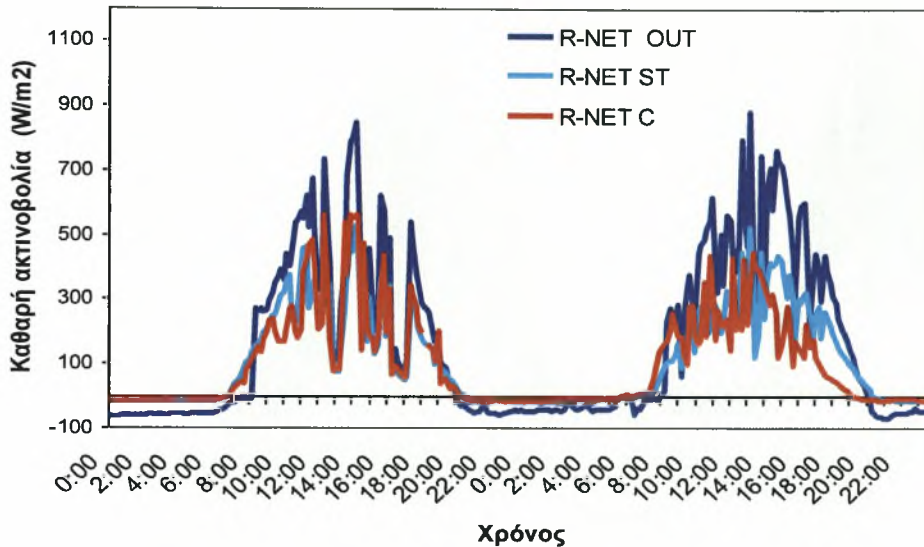
**Σχήμα 32.** Το έλλειμα κορεσμού του αέρα για το SUPER TRERMIC θερμοκήπιο και για το μάρτυρα στις 23-24/6

**Πίνακας 20.** Οι μέσες τιμές του ελλείματος κορεσμού του αέρα από τα δύο θερμοκήπια.

ΕΛΛΕΙΜΑ ΚΟΡΕΣΜΟΥ ΥΔΡΑΤΜΩΝ				
	(08:00-20:00)		(20:00-08:00)	
	ST	C	ST	C
23-24/6	4,5 ±0,7	4,4 ±0,2	2,53 ±0,5	2,46 ±0,3

Από τον Πίνακα 20 φαίνεται ότι δεν υπάρχουν διαφορές στις τιμές του ελλείματος κορεσμού του αέρα, τόσο τις πρωινές ώρες όσο και τις βραδινές. Στο Σχήμα 33 παρουσιάζεται η πορεία των τιμών της καθαρής ακτινοβολίας στο ύψος των φυτών,

για την περίοδο 1-2/6 και 23-24/6. Στον Πίνακα 21 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της καθαρής ακτινοβολίας στο ύψος των φυτών, για τις ίδιες ημερομηνίες.



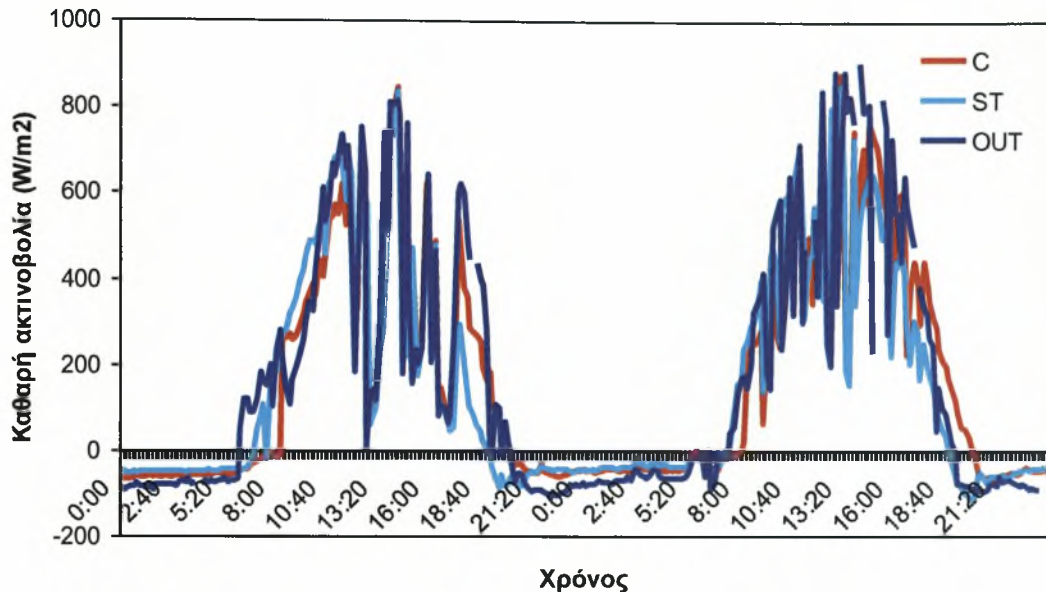
**Σχήμα 33.** Η πορεία της καθαρής ακτινοβολίας στο ύψος των φυτών στο μάρτυρα και στο SUPER THERMIC θερμοκήπιο στις 23-24/6

**Πίνακας 21.** Οι μέσες τιμές της καθαρής ακτινοβολίας στο ύψος των φυτών, στις 1-2/6 και 23-24/6

ΚΑΘΑΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΟ ΥΨΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ (W/m <sup>2</sup> )				
	(08:00-20:00)		(20:00-08:00)	
	SUPER THERMIC	CONTROL	SUPER THERMIC	CONTROL
23-24/6	253 ±121	226 ±136	-6,4 ±27,4	-5,8 ± 17

Από τον Πίνακα 21 φαίνεται ότι το Super Thermic είχε τις πρωινές ώρες 15% περισσότερη ροή ενέργειας προς τα φυτά, ενώ το βράδυ είχε 16% μεγαλύτερη ροή ενέργειας προς τα επάνω.

Στο Σχήμα 34 παρουσιάζεται η πορεία της καθαρής ακτινοβολίας στο εξωτερικό των θερμοκηπίων και στον Πίνακα 22 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της καθαρής ακτινοβολίας τις πρωινές και τις βραδινές ώρες.



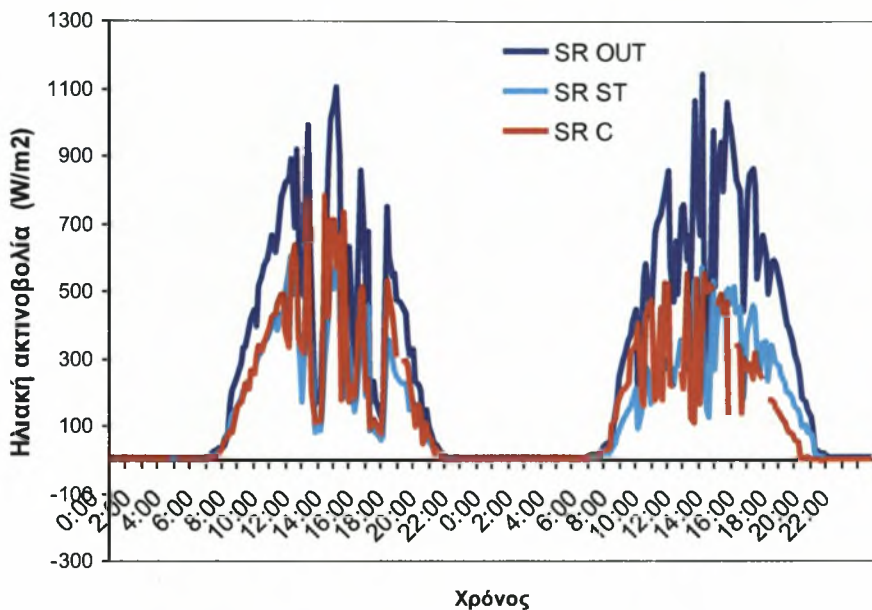
**Σχήμα 34.** Η πορεία της καθαρής ακτινοβολίας εξωτερικά του θερμοκηπίου στο μάρτυρα και στο SUPER THERMIC θερμοκήπιο στις 23-24/6.

**Πίνακας 22.** Οι μέσες τιμές της καθαρής ακτινοβολίας εξωτερικά των θερμοκηπίων τις πρωινές και τις βραδινές ώρες.

ΚΑΘΑΡΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΕΞΩ ΑΠΟ ΤΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟ (W/m <sup>2</sup> )				
	(08:00-20:00)		(20:00-08:00)	
	ST	C	ST	C
23-24/6	314 ±255	320 ±263	-32,57 ±56	-52 ±64

Από τον Πίνακα 22 φαίνεται ότι το Super Thermic τις πρωινές ώρες έχει 2% μικρότερη ροή ενέργειας προς το κάλυμμα και το βράδυ έχει 53% μικρότερη ροή ενέργειας προς την ατμόσφαιρα. Στο σχήμα 35 παρουσιάζεται η πορεία των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων στις 1-2/6 και 23-24/6. Στον

Πίνακα 23 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων, τις πρωινές και τις βραδινές ώρες, στις 1-2/6 και 23-24/6, αντίστοιχα.



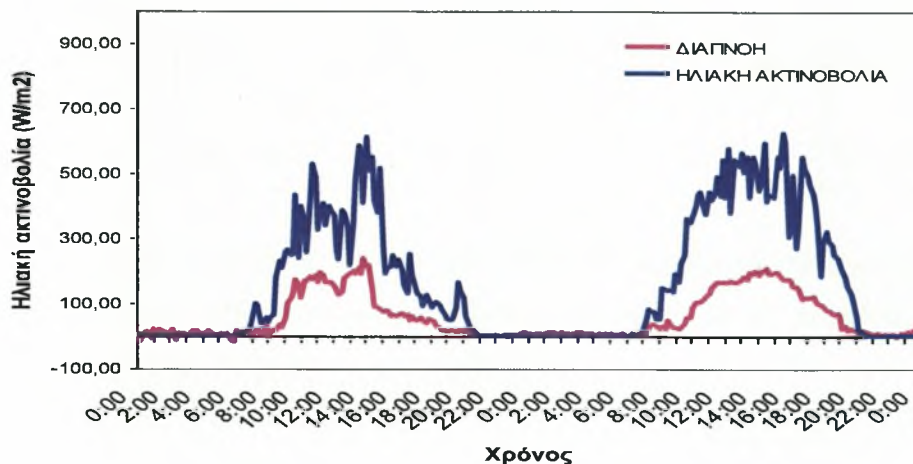
Σχήμα 35. Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, στο μάρτυρα και στο SUPER THERMIC θερμοκήπιο στις 23-24/6

Πίνακας 23. Οι μέσες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό των θερμοκηπίων στις 23-24/6.

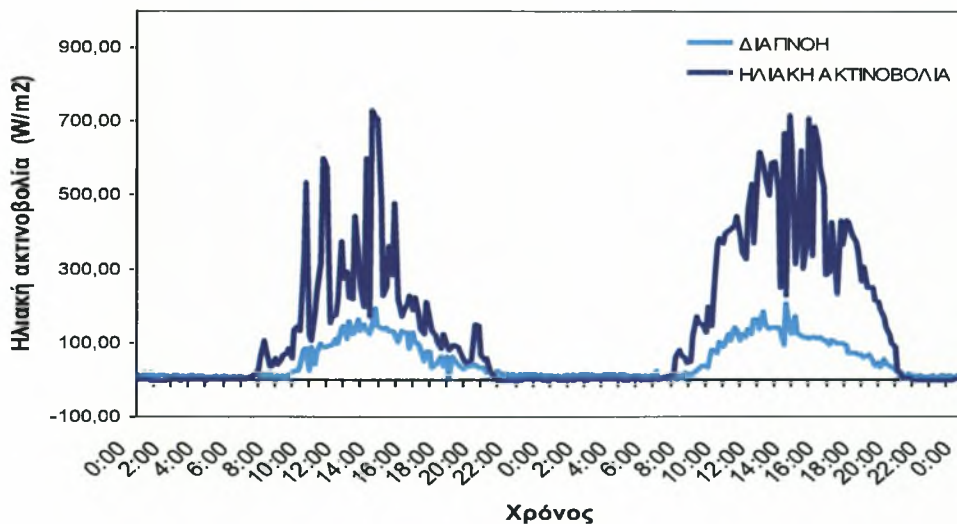
ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΗ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ (W/m <sup>2</sup> )		
(08:00-20:00)		
	ST	C
23-24/6	337 ±144	314 ±175

Από τον Πίνακα 23 φαίνεται ότι η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία είναι 6% περισσότερη τις πρωινές ώρες.

Στα σχήματα 36, 37 παρουσιάζεται η πορεία του ρυθμού διαπνοής στο Super Thermic και στο μάρτυρα, καθώς και της ηλιακής ακτινοβολίας στις 3-4/6.



Σχήμα 36. Ο ρυθμός διαπνοής και η ηλιακή ακτινοβολία στο Super Thermic θερμοκήπιο στις 3-4/6



Σχήμα 37. Ο ρυθμός διαπνοής και η ηλιακή ακτινοβολία στο μάρτυρα στις 3-4/6.



**Πίνακας 24.** Οι μέσες τιμές του ρυθμού διαπνοής, στα δύο θερμοκήπια, τις πρωινές και τις βραδινές ώρες.

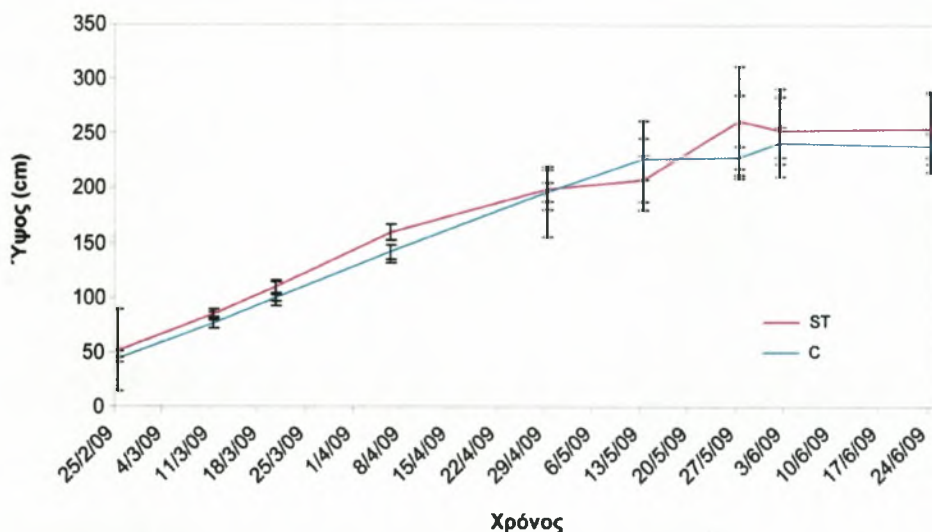
ΡΥΘΜΟΣ ΔΙΑΠΝΟΗΣ (W/m <sup>2</sup> )				
	(08:00-20:00)		(20:00-08:00)	
	ST	C	ST	C
3-4/6	108,1 ±66	85,3 ±47	7,5 ±8,2	8,3 ±5,5

Από τον πίνακα 24 φαίνεται ότι στο Super Thermic, τις πρωινές ώρες με τη διαπνοή απελευθερώθηκε 20% περισσότερη ενέργεια σε σχέση με το μάρτυρα, ενώ τις βραδινές ώρες, δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές.

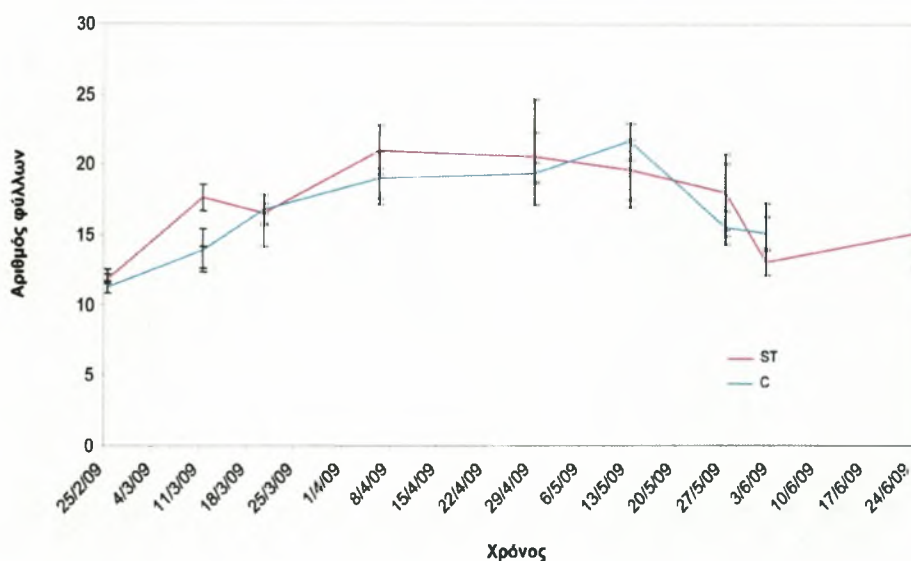
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> ΑΓΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

### 6.1.1 Μετρήσεις μορφολογίας φυτών.

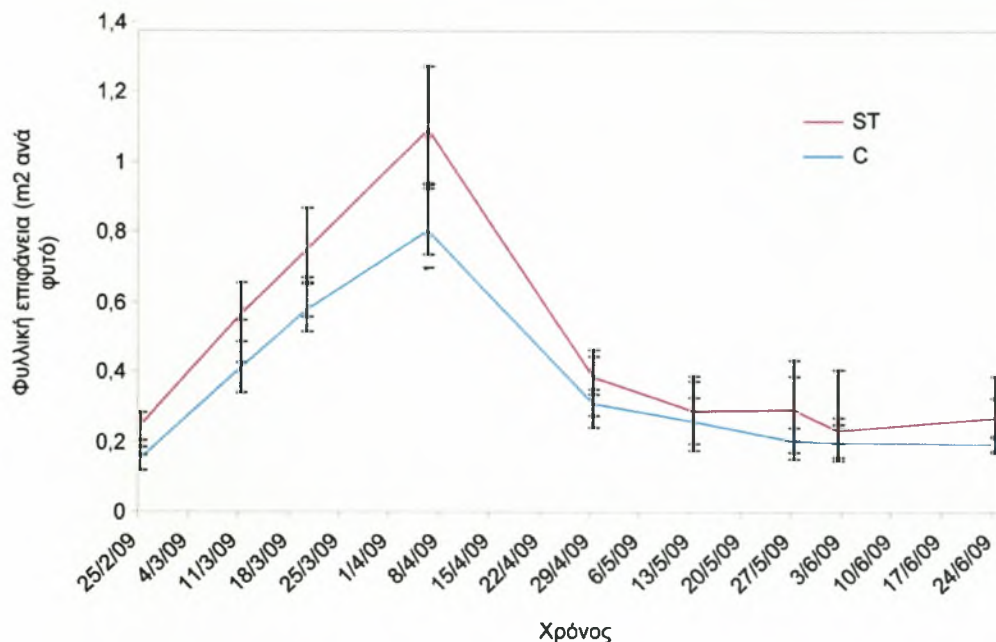
Στα σχήματα 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45 βλέπουμε την εξέλιξη των μορφολογικών χαρακτηριστικών των φυτών καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος



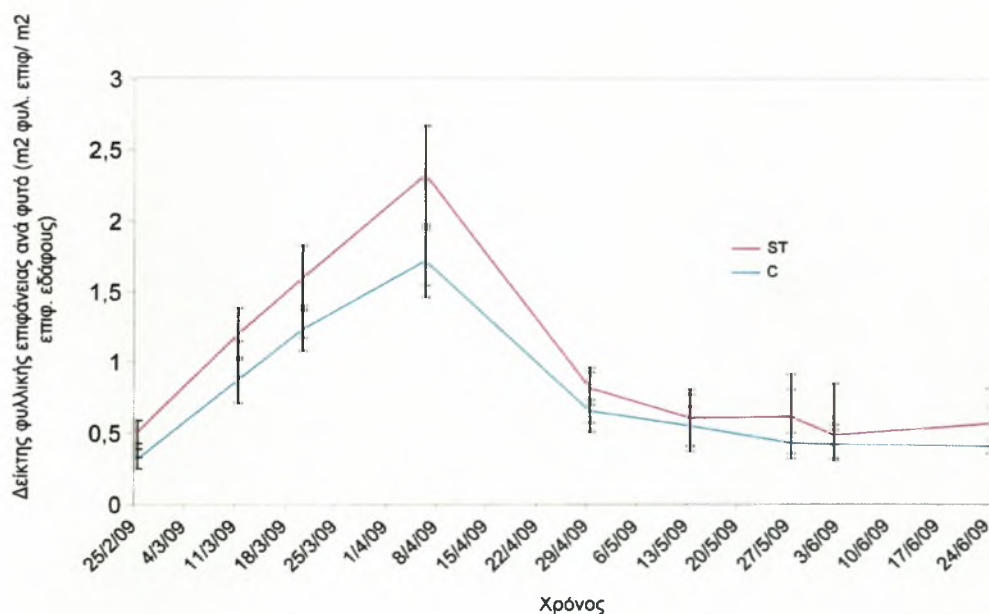
Σχήμα 38. Η εξέλιξη των τιμών του ύψους των φυτών



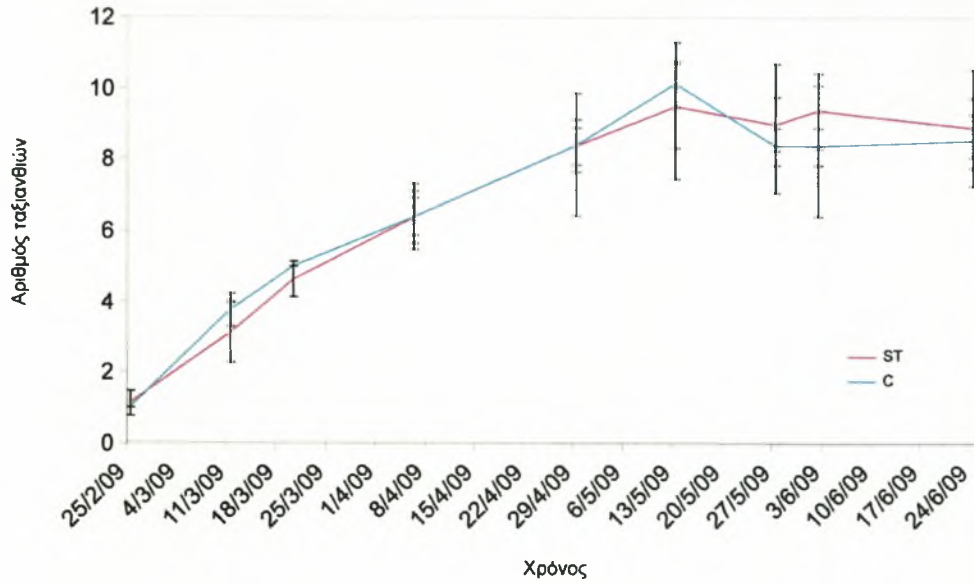
Σχήμα 39. Η εξέλιξη του αριθμού των φύλλων.



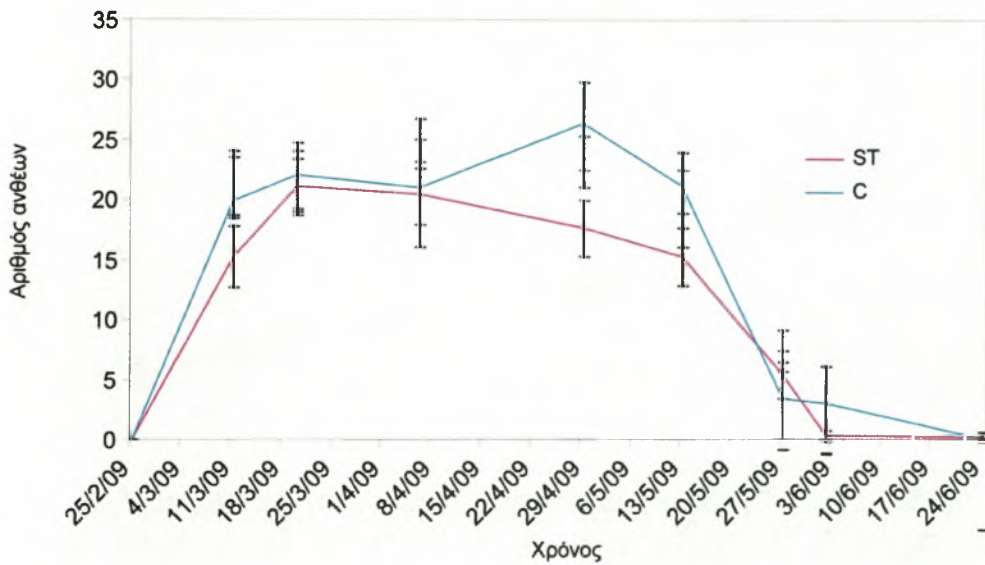
Σχήμα 40. Η εξέλιξη των τιμών της φυλλικής επιφάνειας των φυτών



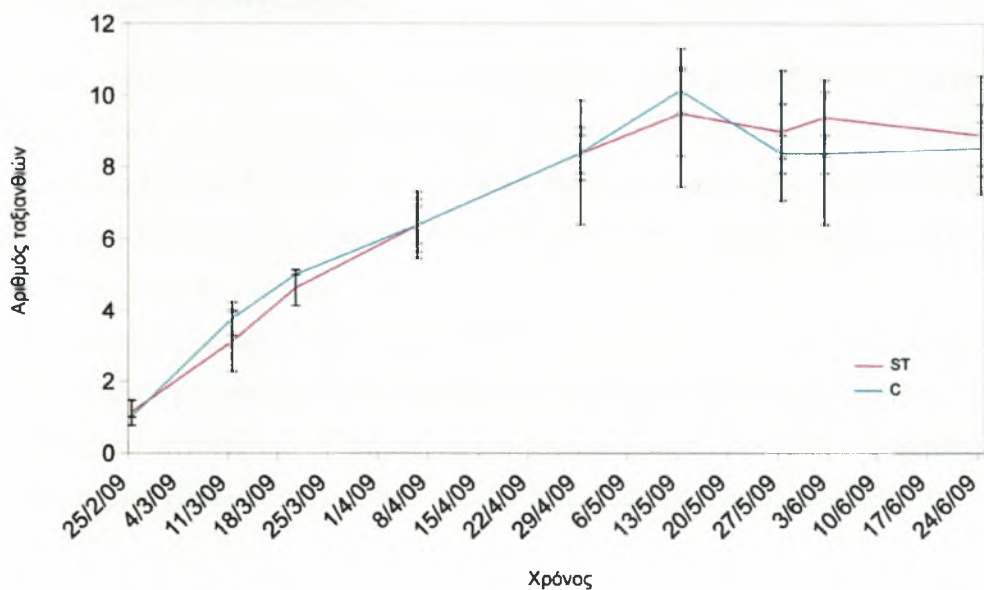
Σχήμα 41. Η εξέλιξη των τιμών του δείκτη της φυλλικής επιφάνειας



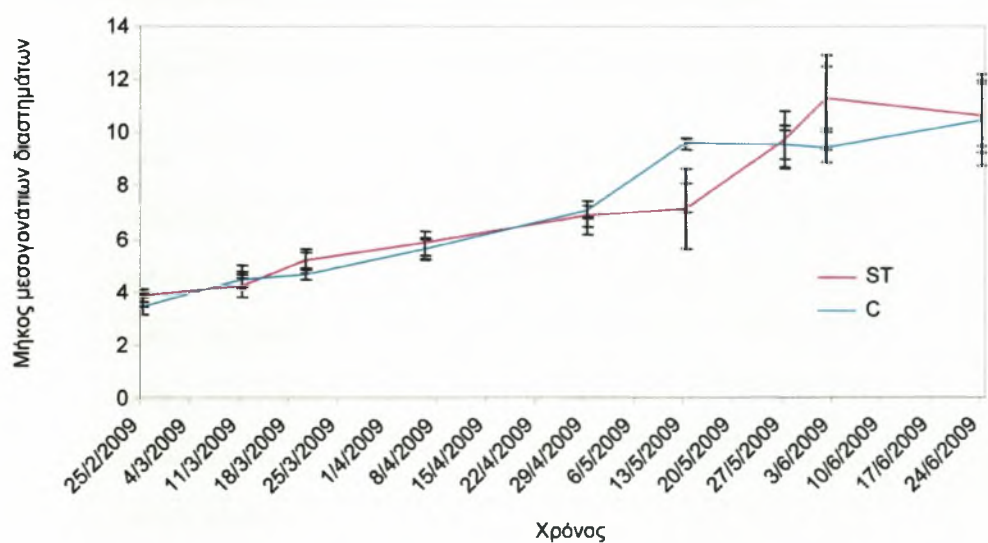
Σχήμα 42. Η εξέλιξη του αριθμού των ταξιανθιών



Σχήμα 43. Η εξέλιξη του αριθμού των ανθέων



Σχήμα 44. Η εξέλιξη του αριθμού των ταξιανθιών



Σχήμα 45. Η εξέλιξη του μήκους των μεσογονάτιων διαστημάτων

### 6.1.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων

Για την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο SPSS και η μέθοδος one-way anova, όπου δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μορφολογικών μετρήσεων του φυτού, έκτος από την φιλική επιφάνεια του φυτού υπό το Super Thermic υλικό κάλυψης, που είναι μεγαλύτερη από το μάρτυρα.

Στην συνέχεια εφαρμόστηκε η μέθοδος της one-way anova, ανάμεσα στις μορφολογικές μετρήσεις, δηλαδή σύγκριση των τιμών της 1<sup>ης</sup> μέτρησης του Super Thermic με τις τιμές της 1<sup>ης</sup> μέτρησης του μάρτυρα κ.ο.κ.. Ανάμεσα σε κάποιες από αυτές παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές όπως φαίνεται και στον πίνακα 25.

**Πίνακας 25.** Στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στις αγρονομικές μορφολογικές μετρήσεις των φυτών που είναι καλυμμένα με το Super Thermic σε σχέση με τα φυτά που είναι καλυμμένα με τον μάρτυρα. Όπου «Σ» στατιστικά σημαντική διαφορά όπου «Ο» όχι στατιστικά σημαντική διαφορά.

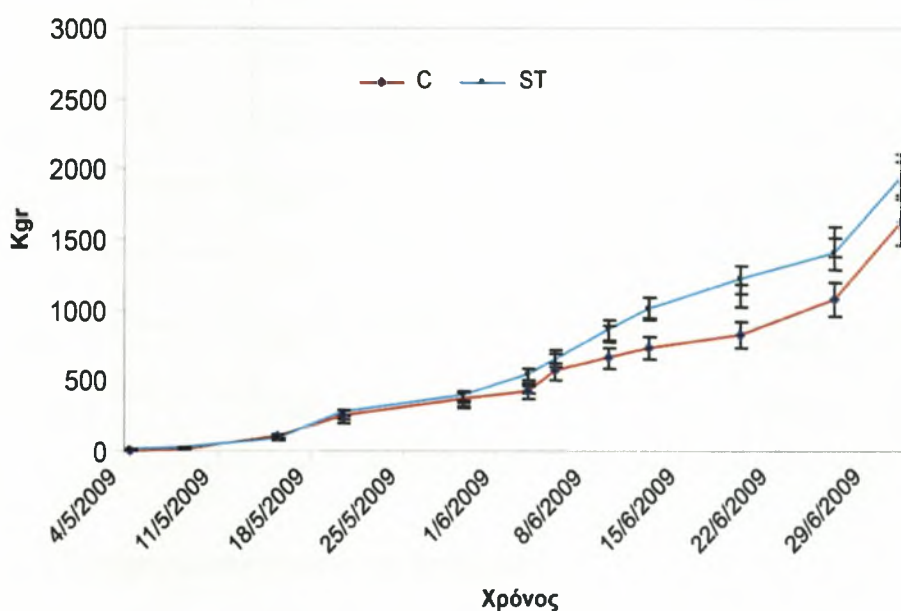
Παράμετροι v	Μετρήσεις >	1η	2η	3η	4η	5η	6η	7η	8η	9η
Ύψος		Σ	Σ	Σ	Σ	Ο	Ο	Σ	Ο	Ο
Αριθμός φύλλων		Σ	Σ	Ο	Σ	Ο	Σ	Σ	Σ	Ο
Αριθμός ανθέων		Ο	Σ	Ο	Ο	Σ	Ο	Ο	Σ	Ο
Αριθμός καρπών		Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Σ	Σ	Ο
Αριθμός ταξιανθιών		Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο	Ο
Φυλλική επιφάνεια		Σ	Σ	Σ	Σ	Σ	Ο	Σ	Ο	Σ
Αριθμός κόμβων		Σ	Σ	Ο	Ο	Ο	Ο	Σ	Σ	Ο
Αριθμός μεσογονατίων		Σ	Ο	Σ	Ο	Ο	Ο	Ο	Σ	Ο

Από τον παραπάνω πίνακα βρέθηκε ότι υπήρχε σημαντικά στατιστική διαφορά ανάμεσα στις μετρήσεις των δυο θερμοκηπίων. Για τον λόγο αυτό εφαρμόστηκε η μέθοδος repeated measures στον αριθμό των κόμβων, στο ύψος, στον αριθμό των φύλλων και στην φυλλική επιφάνεια των φυτών και βρέθηκε ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα θερμοκήπια.

## 6.2 Αποδόσεις

### 6.2.1 Οι αποδόσεις των δυο θερμοκηπίων

Στο σχήμα 46 και στον πίνακα 26 βλέπουμε της αποδόσεις των φυτών στα δυο θερμοκήπια.



Σχήμα 46. Οι αποδόσεις των δυο θερμοκηπίων



**Πίνακας 26.** Οι συγκομιδές των δύο θερμοκηπίων

	<b>SUPER THERMIC</b>	<b>CONTROL</b>
<b>4-Μαΐ</b>	8,04	3,04
<b>8-Μαΐ</b>	18,62	13,6
<b>15-Μαΐ</b>	61,5	90
<b>20-Μαΐ</b>	186,5	151,6
<b>29-Μαΐ</b>	118	107
<b>3-Ιουν</b>	150	59,1
<b>5-Ιουν</b>	102	139,6
<b>9-Ιουν</b>	213	98
<b>12-Ιουν</b>	155	72,3
<b>19-Ιουν</b>	202	86,9
<b>26-Ιουν</b>	187	253
<b>1-Ιουλ</b>	548	564,24
<b><u>ΣΥΝΟΛΟ</u></b>	<b>1945</b>	<b>1640</b>

### 6.2.2 Σύγκριση αποτελεσμάτων αποδόσεων

Από την σύγκριση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι η απόδοση για το θερμοκήπιο με το Super Thermic υλικό κάλυψης ήταν  $12,1 \text{ kg/m}^2$  ενώ στον μάρτυρα  $10,2 \text{ kg/m}^2$ . εφαρμόζοντας την μέθοδο one-way anova στις αποδόσεις των δυο θερμοκηπίων δεν παρατηρήθηκε καμία στατιστικά σημαντική διαφορά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

### 7.1 Ιδιότητες υλικών κάλυψης

Το Super Thermic υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων στις μετρήσεις που παρατηρήθηκαν στο φάσμα 4000nm-1400nm έχει 75% μικρότερη περατότητα στην θερμική ακτινοβολία σε σχέση με το απλό φύλλο πολυαιθυλενίου. Στο φάσμα 400nm-1100nm το Super Thermic υλικό και το απλό φύλλο πολυαιθυλενίου δεν παρουσίασαν μεγάλες αποκλίσεις στις τιμές των οπτικών ιδιοτήτων.

### 7.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Η καθαρή ακτινοβολία που δέχονταν τα φυτά στο θερμοκήπιο με το Super Thermic κάλυμμα ήταν 7% περισσότερη σε σχέση με τα φυτά στο θερμοκήπιο όπου ήταν καλυμμένα με το απλό φύλλο πολυαιθυλενίου. Το Super Thermic υλικό κάλυψης επιτρέποντας την είσοδο της PAR και της NIR ακτινοβολίας ευνοούν την θέρμανση του θερμοκηπίου και αυτό φαίνεται και από τις μετρήσεις όπου τα φυτά δεχτήκαν κατά μέσο όρο  $12 \text{ W/m}^2$  περισσότερη ακτινοβολία σε σχέση με το απλό φύλλο πολυαιθυλενίου. Επίσης το Super Thermic υλικό αντανακλά εσωτερικά 7% περισσότερο την φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία οι οποία προσπίπτει ξανά στην επιφάνεια των φυτών.

### 7.3 Μικροκλίμα

Από τις 02/02/09 έως 25/04/09 όπου λειτουργούσε το σύστημα θέρμανσης δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές αποκλίσεις στην θερμοκρασία του αέρα ,στην σχετική υγρασία και του ελλείμματος κορεσμού του αέρα στα δύο θερμοκήπια. Από 25/04/09 μέχρι την ολοκλήρωση της καλλιέργειας, επίσης δεν παρατηρήθηκαν αξιόλογες αποκλίσεις στην θερμοκρασία, την σχετική υγρασία και στο έλλειμμα κορεσμού του αέρα.

### 7.4 Κατανάλωση ενέργειας

Από τις μετρήσεις της καθαρής ακτινοβολίας πάνω από το κάλυμμα πολυαιθυλενίου κατά της βραδινές ώρες, παρατηρήθηκε ότι το θερμοκήπιο που ήταν καλυμμένο με το απλό φύλλο πολυαιθυλενίου είχε ~ 40% μεγαλύτερη εκπομπή ακτινοβολίας σε σχέση με αυτό που ήταν καλυμμένο με το Super Thermic υλικό. Αυτό είναι σύμφωνο με της

εργαστηριακές μετρήσεις μας στο φάσμα 4000nm μέχρι τα 14000nm όπου το Super Thermic υλικό φάνηκε να έχει 75% μικρότερη περατότητα σε σχέση με τον μάρτυρα, καθώς η μικρή διαπερατότητα του Super Thermic υλικού οδηγεί σε εγκλωβισμό της θερμικής ακτινοβολίας, στο εσωτερικό του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα την μείωση του ρυθμού ψύξης του. Πράγμα το οποίο συμφωνεί με τον R. Rosa (1988), ο οποίος κατέληξε στο συμπέρασμα, ότι όσο μικρότερο συντελεστή θερμοδιαπερατότητας, έχει ένα υλικό κάλυψης, τόσο περισσότερο αργεί να ψυχθεί το εσωτερικό του.

Από τις μετρήσεις βλέπουμε ότι το θερμοκήπιο με το απλό πλαστικό κατανάλωσε περί τα 350 KJ/m<sup>2</sup> περισσότερα από αυτό με το Super Thermic υλικό. Δηλαδή χρειάστηκε περίπου 10% περισσότερη ενεργεία σε σχέση με το Super Thermic υλικό. Άρα με το Super Thermic εξοικονομήθηκαν ~12 L πετρέλαιο/στρέμμα ημερησίως.

### 7.5 Αγρονομικές μετρήσεις

Συμφώνα με τις μετρήσεις για τον υπολογισμό της φυλλικής επιφάνειας τα φυτά υπό το Super Thermic υλικό είχαν στατιστικά μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια έναντι του μάρτυρα, αυτό οφειλόταν στον μεγαλύτερο αριθμό ικανών φύλλων να μετέχουν στην φωτοσύνθεση όσο και στην μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια ανά φύλλο των φυτών.

Η αυξημένη φυλλική επιφάνεια είχε μεγαλύτερη διαπνοή οπότε είχαμε μεγαλύτερη μετατροπή αισθητής θερμότητας σε λανθάνουσα. Ωστόσο αφού το πρόγραμμα άρδευσης ήταν κοινό και για τα δυο θερμοκήπια, το θερμοκήπιο με το Super Thermic υλικό, λόγω μεγαλύτερης φυλλικής επιφάνειας, ψύχονταν αποτελεσματικότερα από τον μάρτυρα.

Οι τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας είχαν αυξητική πορεία, αλλά λόγω αφαιρέσεων στα φύλλα για καλύτερο αερισμό και φωτισμό των φυτών και των καρπών μειώθηκε σημαντικά ο δείκτης.

Το ύψος των φυτών στο θερμοκήπιο με κάλυψη Super Thermic υλικού ήταν σταθερά μεγαλύτερο έναντι του μάρτυρα, ωστόσο μετά από στατιστική ανάλυση δεν υπήρχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

Ο αριθμός των ανθέων των φυτών στο θερμοκήπιο με το Super Thermic υλικό ήταν σταθερά μικρότερος σε σχέση με το μάρτυρα, επίσης μετά από στατιστική ανάλυση δε βρέθηκαν σημαντικές διαφορές.

## 7.6 Αποδόσεις

Το θερμοκήπιο με το Super Thermic υλικό κάλυψης είχε 19% μεγαλύτερη απόδοση σε σχέση με το μάρτυρα. Το θερμοκήπιο με το Super Thermic υλικό κάλυψης είχε απόδοση  $12,1 \text{ kg/m}^2$ , ενώ ο μάρτυρας  $10,2 \text{ kg/m}^2$ . Μετά από στατιστική ανάλυση των συγκομιδών των δύο θερμοκηπίων δεν προέκυψαν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν:

- I. Οι θερμικές ιδιότητες του Super Thermic υλικού
- II. Η εξοικονόμηση κατανάλωσης ενέργειας σε θερμοκήπιο καλυμμένο με Super Thermic υλικό
- III. Την επίδραση του Super Thermic υλικό στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου
- IV. Την αύξηση και ανάπτυξη καλλιέργειας ντομάτας υπό το Super Thermic υλικό.

Οι παράγοντες του μικροκλίματος που μελετήθηκαν ήταν:

- i. Η ηλιακή ακτινοβολία
- ii. Η καθαρή ακτινοβολία στο ύψος των φυτών
- iii. Η καθαρή ακτινοβολία πάνω από τα υλικά κάλυψης
- iv. Η θερμοκρασία του αέρα
- v. Η σχετική υγρασία
- vi. Το έλλειμμα κορεσμού του αέρα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν μετά από ανάλυση των παραγόντων είναι:

- a) Το Super Thermic υλικό κάλυψης θερμοκηπίου, λόγω της μικρής περατότητας του στην θερμική ακτινοβολία είχε μειωμένες εκπομπές θερμικής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια της νύχτας από αυτό που ήταν καλυμμένο με απλό υλικό πολυαιθυλενίου με αποτέλεσμα να αργεί να ψηχθεί και να έχει μικρότερη κατανάλωση ενέργειας κατά 10% που μεταφράζεται σε 12 L πετρέλαιο / στρέμμα ημερησίως.
- b) Τα φυτά υπό το Super Thermic υλικό κάλυψης θερμοκηπίου, λόγω του μεγαλύτερου ποσοστού καθαρής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου ανέπτυξαν μεγαλύτερη φυλλική επιφάνεια που είχε ως αποτέλεσμα να έχουν μεγαλύτερο ρυθμό διαπνοής από αυτά υπό το απλό υλικό κάλυψης.
- c) Τα φυτά υπό το Super Thermic υλικό κάλυψης θερμοκηπίου, είχαν αυξημένη παράγωγη κατά 19%, δηλαδή από 10,2 kg/m<sup>2</sup> στο υπό το απλό υλικό κάλυψης αυξήθηκε σε 12,1 kg/m<sup>2</sup> υπό το Super Thermic υλικό.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

1. Cemek B., Demir Y., Uzun S., Ceyhan V., 2005, The effects of different greenhouse covering materials on energy requirement, growth and yield of aubergine, Energy, Volume 31, Issue 12, Pages 1780–1788
2. G. Papadakis, A. Frangoudakis, S. Kyritsis, 1989, Theoretical and experimental investigation of thermal radiation transfer in polyethylene covered greenhouses, Journal of Agricultural Engineering Research, Volume 44, Pages 97–111
3. Gerard P.A. Bot, 2001, Developments in indoor sustainable plant production with emphasis on energy saving, Computers and Electronics in Agriculture, Volume 30, Issues 1–3, Pages 151–165
4. Hemming S., Kempkes F., van der Braak N., Dueck T. and Marissen N. 2006, Greenhouse cooling by NIR reflection, Acta Hort. (ISHS) 719, pages 97-106
5. Hüseyin H. Öztürk, Ali Başçetinçelik, 2003, effect of thermal screens on the microclimate and overall heat loss coefficient in plastic tunnel greenhouses, turkish journal of agriculture and forestry, Volume 27, Pages 123-134
6. J. Benton Jones Jr., 1982, Hydroponics: Its history and use in Plant nutrition studies, Journal of Plant Nutrition, 5:8, Pages 1003-1030
7. K.V. Garzoli, J. Blackwell, 1981, An analysis of the nocturnal heat loss from a double skin plastic greenhouse Journal of Agricultural Engineering Research, Journal of Agricultural Engineering Research, Volume 26, Issue 3 , Pages 203–214
8. K.V. Garzoli, J. Blackwell, 1987, An analysis of the nocturnal heat loss from a double skin plastic greenhouse, Journal of Agricultural Engineering Research, Volume 36, Issue 2, Pages 75–86
9. Katsoulas N., Manolaraki C.H., Kittas C., and Bartzanas T., 2008, effects of anti-drip cover materials on microclimate and production of a hydroponic cucumber crop, Acta Hort. (ISHS) 801, Pages 267 - 274



10. Kavga, A., Panidis, T. , Bontozoglou, V., Pantelakis, 2009, S. Infrared heating of greenhouses revisited: An experimental and modeling study, Transactions of the ASABE, Volume 52 Issue 6, Pages 2055-2065
11. Rui Rosa, 1988, Solar and thermal radiation inside a multispan greenhouse, Journal of Agricultural Engineering Research, Volume 40, Issue 4, Pages 285–295
12. Starkey, N.G., 1985, The effect of secondary glazing and fixed screens on greenhouse environment and crop response of tomatoes, Acta Hort. (ISHS) 174, Pages 331-340
13. Y. Zhang, L. Gauthier, D. de Halleux, B. Dansereau, A. Gosselin, 1996, Effect of covering materials on energy consumption and greenhouse microclimate, Agricultural and Forest Meteorology, Volume 82, Issues 1–4, Pages 227–244

#### Ελληνική βιβλιογραφία

14. Κίττας Κ., 2002, Θερμοκήπια
15. Μ.Β. Κυκριλής, 2008, Νέα υλικά κάλυψης θερμοκηπίων, επίδραση στο κλίμα και στην παραγωγή, ιδιότητες των υλικών κάλυψης, αξιοποίησή τους για μείωση εισροών.
16. Μαυρογιανοπούλου Γ.Ν., 2005, Θερμοκήπια
17. Τσουκνίδας Αθανάσιος, 2009, Αξιολόγηση νέων θερμικών και ανακλαστικών φύλλων κάλυψης για εξοικονόμηση ενέργειας στο θερμοκήπιο, Μεταπτυχιακή διατριβή.

#### Διαδικτυακή βιβλιογραφία

18. Google earth 2013
19. <http://www.hitecfilms.com> (2013) (image)
20. <http://www.plastikakritis.com> (2013)(image)
21. <http://www.venloinc.com> (2013)(image)
22. <http://www.biopix.com> (2013)(image)
23. Internet 1: <http://www.el.wikipedia.org/wiki/Θερμοκήπιο> (2013)
24. Internet 2: <http://www.en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse> (2013)

25. Internet 3: <http://www.agrek.gr/ydroponia-kaliergies.html> (2013)
26. Internet 4: [http://www.plastikakritis.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=42&Itemid=235#](http://www.plastikakritis.com/index.php?option=com_content&task=view&id=42&Itemid=235#) (2013)