



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

**«Μελέτη της επίδρασης διπλών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίων στην
εξοικονόμηση ενέργειας και την ανάπτυξη και παραγωγή καλλιέργειας
τομάτας»**

**Πτυχιακή διατριβή
Ζησκάτας Αντώνης**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Κατσούλας Νικόλαος
Βόλος 2015**

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΑΡΟΧΟΡΗΣΗΣ



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΑΡΟΧΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 14254/1

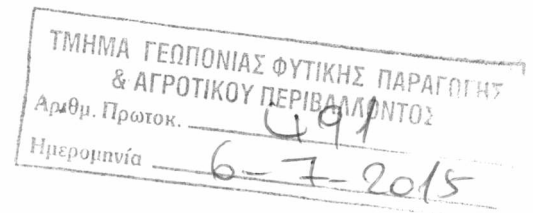
Ημερ. Εισ.: 16/09/2015

Δωρεά:

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ

2015

ZHS



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος

«Μελέτη της επίδρασης διπλών φύλλων κάλυψης θερμοκηπίων στην
εξοικονόμηση ενέργειας και την ανάπτυξη και παραγωγή καλλιέργειας
τομάτας»

Πτυχιακή διατριβή
Ζησκάτας Αντώνης

Επιβλέπων Καθηγητής: Κατσούλας Νικόλαος
Βόλος 2015

Τριμελής Επιτροπή:

Επ. Καθηγητής Ν. Κατσούλας (Επιβλέπων),

Καθηγητής Κ. Κίττας (Μέλος) και

Ερευνητής Β' Θ. Μπαρτζάνας (Μέλος).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που συνέβαλλαν και βοήθησαν στην πραγματοποίηση αυτής της πτυχιακής εργασίας.

Τις θερμές ευχαριστίες μου εκφράζω στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κατσούλα Νικόλαο, Επίκουρο Καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, που μου έδωσε την δυνατότητα να ασχοληθώ με το παρών θέμα και για την πολύτιμη βοήθεια του ώστε να έρθει εις πέρας το πείραμα αυτό.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω, τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής τον κ. Κίττα Κωνσταντίνο, για τον χρόνο, καθώς και τον κ. Θωμά Μπαρτζάνα, Ερευνητή Β του Ινστιτούτου Έρευνας και Τεχνολογίας Θεσσαλίας (Ι.Ε.ΤΕ.Θ), για τις πολύτιμες υποδείξεις και επισημάνσεις που συνέβαλαν σημαντικά στην διαμόρφωση της παρούσας διατριβής.

Επιπρόσθετα, ευχαριστώ θερμά τον μεταπτυχιακό φοιτητή Οδυσσέα Μερκούρη, για την πολύτιμη βοήθεια του και την καθοδήγηση του ως προς τον τρόπο διεξαγωγής του πειράματος καθώς και για την σημαντική βοήθεια του κατά την επεξεργασία και συγγραφή της πτυχιακής μου εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την πολύτιμη στήριξη τους. Όπως επίσης, τον συμφοιτητή μου Σούφλα Δημήτρη για την συνεργασία και την πολύτιμη βοήθεια του ώστε να έρθει εις πέρας το πείραμα αυτό.

Περίληψη

Στη παρούσα πτυχιακή διατριβή μελετήθηκε η επίδραση που έχουν τα διπλά φύλλα κάλυψης στα θερμοκηπία σχετικά με την εξοικονόμηση ενέργειας και την απόδοση και την παραγωγή στην καλλιέργεια υδροπονικής τομάτας. Στο πείραμα χρησιμοποιήθηκε ένα διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου (Double) και ένα απλό φύλλο πολυαιθυλενίου (Clear) ως μάρτυρας για την σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Βρέθηκε πώς το Double είχε τον χαμηλότερο συντελεστή θερμικών απωλειών ($U=3.5 \text{ W/m}^2/^{\circ}\text{C}$) ενώ το Clear είχε ($U=7 \text{ W/m}^2/^{\circ}\text{C}$). Ενώ η κατανάλωση ενέργειας για την θέρμανση ήταν κατα 40% λιγότερη στο Double σε σχέση με το Clear. Όσον αφορά την απόδοση της καλλιέργειας το Double την περίοδο του χειμώνα είχε την μικρότερη σε σχέση με το Clear.

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Εισαγωγή	7
Σκοπός και δομή της εργασίας	8
1 Γενικά.....	9
1.1 Υλικά κάλυψης.....	9
1.1.1 Γενικά χαρακτηριστικά και η επίδοση των υλικών κάλυψης για θερμοκηπιακή χρήση	10
1.1.2 Πολυαιθυλένιο, υλικό κάλυψης των μεσογειακών χωρών.....	13
1.2 Η εικόνα των θερμοκηπίων στην Ελλάδα	15
1.3 Αναφορά προβλημάτων ελληνικών θερμοκηπίων	15
1.4 Νέες τεχνολογίες στα υλικά κάλυψης	17
1.4.1 Θερμικό υλικό κάλυψης	18
1.4.2 Αντι - σταγονικό υλικό κάλυψης (anti-drip)	18
1.4.3 Αντι-ομιχλικό υλικό κάλυψης (anti-mist)	19
1.4.4 Υλικό κάλυψης για δροσισμό (cooling)	19
1.4.5 Υλικό κάλυψης ελέγχου των ασθενειών (UV-Blocking)	21
1.4.6 Κόκκινα φύλλα (LUMINESCENCE)	21
1.4.7 Υλικά κάλυψης UV-OPEN	22
1.4.8 Υλικά κάλυψης παρεμπόδισης συγκεκριμένου μήκους ακτινοβολίας.....	22
2 Ανασκόπηση βιβλιογραφίας.....	23
2.1 Ενέργεια	23
2.1.1 Μείωση των ενεργειακών απωλειών	25
2.1.2 Ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας από τα καλύμματα του θερμοκηπίου	26
2.1.3 Επίδραση διαφορετικών υλικών στην κάλυψη των θερμοκηπίων για την εξοικονόμηση της ενέργειας.....	30
2.1.4 Χρήση μονωτικού αφρού για την εξοικονόμηση ενέργειας στο διπλό κάλυμμα	32
3 Υλικά και μέθοδοι.....	35
3.1 Εγκατάσταση του πειράματος	35
3.1.1 Τα θερμοκήπια.....	35
3.1.1.1 Αερισμός	36
3.1.1.2 Θέρμανση	36
3.2 Εγκατάσταση της καλλιέργειας	36

3.2.1 Άρδευση και λίπανση	36
3.3 Καλλιεργητικές τεχνικές	37
3.3.1 Υποσύλωση	37
3.3.2 Κλάδεμα.....	38
3.3.3 Έλεγχος ασθενειών και εχθρών	38
3.4 Μετρήσεις	39
3.4.1 Μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση.....	39
3.4.2 Αγρονομικές μετρήσεις	40
4. Αποτελέσματα	42
4.1 Κατανάλωση ενέργειας.....	42
4.2 Αγρονομικές μετρήσεις (μη καταστροφικές)	47
4.3 Αγρονομικές μετρήσεις (καταστροφικές)	51
4.4 Απόδοση καλλιέργειας	53
5. Συζήτηση και συμπεράσματα	55
5.1 Ενεργειακή αξιολόγηση	55
5.2 Απόδοση και αύξηση της καλιέργειας.....	55
5.3 Συμπεράσματα	56
6. Βιβλιογραφία	57

Εισαγωγή

Η πρώτη εμφάνιση του θερμοκηπίου, κάποια έστω στοιχεία τουλάχιστον που θυμίζουν θερμοκήπιο, γίνεται απο τον 5^ο αιώνα π.Χ. Φτάνοντας έτσι στο σήμερα και στον 21ο αιώνα, που έχει σαν αποτέλεσμα, όλης αυτής της εξέλιξης του θερμοκηπίου σε συνδιασμό με τις πολλές γνώσεις της φυσιολογίας των φυτών και την ακριβή ρύθμιση του μικροκλίματος. Φυσικά, αυτό που μας ενδιαφέρει και επιτυγχάνεται είναι η πολύ μεγάλη αύξηση της παραγωγής με την παράλληλη ρύθμιση της προσφερόμενης ενέργειας ως σημαντικός παράγοντας για την οικονομική επιβίωση της θερμοκηπιακής μονάδας.

Σημαντική θερμική ενέργεια απαιτείται για να διατηρηθεί ένα κατάλληλο κλίμα για την επιτυχή παραγωγή της καλλιέργειας του θερμοκηπίου καθώς και η προώθηση της παραγωγής. Δυστυχώς, η αύξηση των τιμών για την ενέργεια κατα την τελευταία δεκαετία έχει επηρεάσει αρνητικά την παγκόσμια οικονομία, συμπεριβαλομένης και της βιομηχανίας των θερμοκηπίων. Η κατανάλωση ενέργειας σήμερα αντιπροσωπεύει περισσότερο απο το 25 % του συνολικού κόστους παραγωγής. Επιπλέον κόστος, μπορεί να δημιουργηθεί με την χρήση των ορυκτών καυσίμων για την θέρμανση των θερμοκηπίων όπου μπορεί να δηλιουργηθεί επιπλέον μόλυνση του περιβάλλοντος και εκπομπη αερίων.

Τα διπλά φύλλα πολυαιθυλενίου γίναν ευρέως διαδεδομένα στη χρήση των διάφανων υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων (Giacomelli and Roberts, 1993). Ο συντελεστής μεταφοράς ενέργειας (μεταβλητή U) για τα κοινά διπλά φύλλα πολυαιθυλενίου είναι περίπου $4 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ενώ για τα διπλα θερμικά φύλλα με αναστολείς της υπέρυθρης (IR) ακτινοβολίας $2.8 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, και ίσως να επηρεαστεί από τον αέρα ή την ηλικία του καλύμματος ή της καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

Σκοπός και δομή της εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή διατριβή έγινε με σκοπό την μελέτη των πλαστικών φύλλων κάλυψης στην εξοικονόμηση ενέργειας για την θέρμανση των θερμοκηπίων κατά τους χειμερινούς μήνες και την επίδραση που έχουν στην αύξηση και στην απόδοση της υδροπονικής καλλιέργειας τομάτας. Αναλυτικότερα, για την μόνωση του θερμοκηπίου επιλέχτηκε ένα διπλό φουσκώτο κάλυμμα πολυαιθυλενίου και ένα απλό φύλλο πολυαιθυλενίου σαν μάρτυρας.

Στο κεφάλαιο 1 της εργασίας γίνεται μια γενική αναφορά στα πλαστικά κάλυψης και στις ιδιότητες τους ανάλογα με την χρήση τους, καθώς και η σημερινή εικόνα των θερμοκηπίων στην Ελλάδα και στον υπόλοιπο κόσμο. Επίσης, γίνεται αναφορά στα προβλήματα των σύγχρονων θερμοκηπίων και στους τρόπους λύσης με την χρήση του κατάλληλου υλικού κάλυψης.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται βιβλιογραφική αναφορά σε παλιότερες έρευνες που έγιναν σχετικά με την εξοικονόμηση της ενέργειας για την θέρμανση τους χειμερινούς μήνες.

Στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα υλικά και οι μέθοδοι του πειράματος.

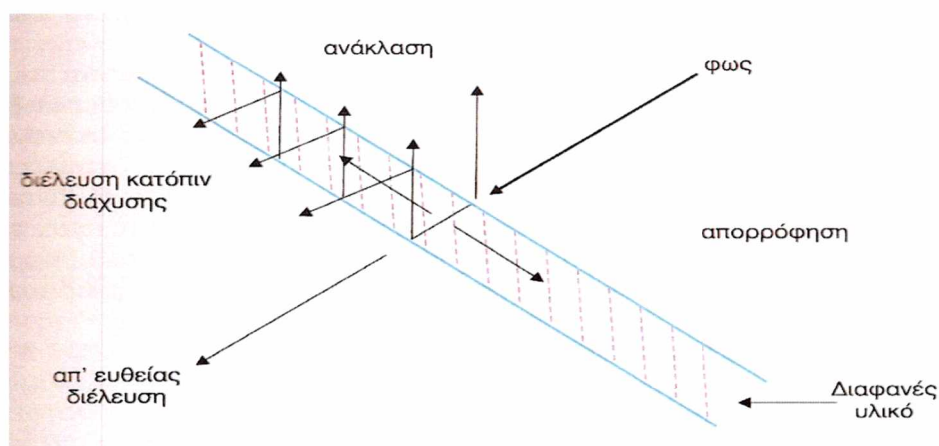
Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα του πειράματος από όλες τις μετρήσεις που πάρθηκαν.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα καθώς και μια συζήτηση των αποτελεσμάτων σχετικά με την εξοικονόμηση της ενέργειας και την απόδοση της καλλιέργειας.

1 Γενικά

1.1 Υλικά κάλυψης

Ένα από τα πιο σημαντικά κομμάτια στην εγκατάσταση των θερμοκηπίων είναι τα υλικά κάλυψης. Τα υλικά κάλυψης είναι το εργαλείο για τη δημιουργία του ιδανικού περιβάλλοντος για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Η ηλιακή ακτινοβολία γενικά είναι ο οριακός συντελεστής κατα την χειμερινή θερμοκηπιακή παραγωγή. Απαραίτητη πρώτη ύλη, το κάλυμα που μεταδίδει τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία για το φάσμα ανάπτυξης του φυτού. Η αντοχή απο την φύση των υλικών και η οπτική σταθερότητα είναι επίσης σημαντικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 1.5. Οι κατευθύνσεις του φωτός κατα τη διέλευση του από το υλικό κάλυψης (Γ.Ν. Μαυρογιαννόπουλος)

Είναι διαθέσιμοι, πολύ τύποι υλικών κάλυψης. Από τους οποίους είναι δύσκολο να πουμε ποίοι είναι καλύτεροι ή οικονομικότεροι στην πολύχρονη χρήση. Το γυαλί έχει τα μακροβιότερα πρότυπα και εξακολουθεί να είναι το πιο σταθερό. Υπάρχουν όμως πλαστικά φύλλα τα οποία προσφέρονται ως φθηνότερα αλλά ποικίλουν σε επίπεδα αξιοπιστίας και διάρκεια ζωής.

Τέλος, όλα τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων θα πρέπει να πληρούν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά :

- Άριστη διαπερατότητα του φωτός.
- Αντοχή ενάντια σε ανέμους, χιόνια, χαλάζι και στον ήλιο.
- Ελαστικότητα απέναντι σε μεγάλα βάρη.

- Καλή θερμική μόνωση.
- Καλή θερμική αγωγιμότητα.

1.1.1 Γενικά χαρακτηριστικά και η επίδοση των υλικών κάλυψης για θερμοκηπιακή χρήση

Πολυαιθυλένιο (PE)

1. Χαμηλό κόστος.
2. Ευρέως διαδεδομένα.
3. Σχετικά μικρός χρόνος ζωής στον ήλιο.
4. Μεταδίδει περίπου το 85-88 % της ηλιακής ενέργειας που δέχεται η γή.
5. Μεταδίδει περίπου όλα τα μήκη κύματος του φάσματος της θερμικής ακτινοβολίας, η οποία επιτρέπει το θερμοκήπιο να κρυώσει πιο γρήγορα τη νύχτα.
6. Επιτρέπει την εφαρμογή διπλού φύλλου πολυαιθυλενίου, το οποίο έχουν δείξει αποτελέσματα ότι μειώνει της απώλειες ενέργειας κατά 35-40%, μειωμένη συμπήκνωση και μόνο το 8-10% μείωση του φωτός λόγω του διπλού φύλλου.
7. Παρέχει ένα αεροστεγώς κλεισμένο θερμοκήπιο με ελάχιστες διαφυγές αέρα που προκαλεί όμως υψηλές συνθήκες υγρασίας.
8. Φύλλα χαμηλού κόστους για προσωρινή ή εποχιακή κάλυψη.
9. Υπάρχουν φύλλα πολυαιθυλενίου ενισχυμένα από συνθετικές ίνες αλλά γενικά δεν χρησιμοποιούνται για θερμοκηπιακή χρήση.

Ακρυλικό/Πολυεστέρας

1. Συνδιασμός στην αντοχή των καιρικών συνθηκών του ακρυλικού και στην αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες του πολυεστέρα.
2. Καλή μεταδοτικότητα.
3. Ευαίσθητο στις πιέσεις του αέρα.
4. Διαθέσιμο μόνο αν 1.5 m πλάτος
5. Εκτιμώμενος χρόνος ζωής πάνω από 10 χρόνια.
6. Κόστος 35-55 λεπτά του Ευρώ

Πολυεστέρας

1. Εξαιρετική μεταδοτικότητα.

2. Αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες.
3. Μικρή αντοχή στα χτυπήματα.
4. Εκτιμώμενος χρόνος ζωής 7 με 10 χρόνια.
5. Κόστος περίπου 0.40 - 0.80 λεπτά του Ευρώ.

Πολυβινυλοφθορίδιο

Το φύλλο Tedlar έχει αποδεχτεί ότι έχει εξαιρετική αντοχή στις καιρικές συνθήκες αλλά είναι πολύ δαπανηρή για ανταγωνιστεί τα υπάρχοντα φύλλα σαν κάλυμμα. Τώρα χρησιμοποιείται σαν επιφανειακή κάλυψη η οποία είναι μοριακά συνδεδεμένη με τα πολυεστερικά πάνελγια να βελτιώσουν την αντοχή τους στις καιρικές συνθήκες.

Πλέξιγκλας

1. Ένα ακρυλικό πλαστικό το οποίο ήταν διαθέσιμο για πολλά χρόνια αλλά δεν χρησιμοποιήθηκε ευρέως ως θερμοκηπιακό υλικό κάλυψης εξαιτίας του υψηλού κόστους, εκτός από ειδικές κλιματολογικές συνθήκες ή ειδικού τύπου θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις.
2. Είναι πιο ανθεκτικό στην κρούση σε σχέση με το γυαλί.
3. Μεταδίδει περίπου το 90-92% του διαθέσιμου ηλιακού φωτός και είναι διαθέσιμο στη μετάδοση και την απορρόφηση των τύπων της U.V. ακτινοβολίας.
4. Έχει μεγάλη διάρκεια ζωής και αντοχή στις καιρικές συνθήκες συγκριτικά με το γυαλί.
5. Μαλακότερο από το γυαλί, φθείρεται εύκολα και είναι ευαίσθητο σε κάποιους διαλύτες
6. Κοστίζει περισσότερο από το γυαλί και από άλλα πιθανά υλικά κάλυψης.
7. Αρκετά εύκαμπτο για να χρησιμοποιηθεί σε κυρτά πάνελ σε θερμοκήπιο.
8. Αρκετά ισχυρό για να αντισταθεί στα φορτία πάγου και χιονίου κοντά στις υδροροές των θερμοκηπίων.
9. Διαστέλλεται και συστέλλεται σε μεγάλο βαθμό με τις αλλαγές της θερμοκρασίας, δεν πρέπει να καρφώνεται ή να βιδώνεται άμεσα αλλά κρατιέται κάτω από μια λωρίδα κάλυψης με μαλακό και εύκαμπτο σφραγιστικό για να επιτρέπεται η κίνηση.

Ακαμπτο πλαστικό(ενισχυμένο) με ίνες γυαλίου (FRP)

1. Πολλές μάρκες της βασικής πολυεστερικής ρητίνης που ενισχύθηκαν με ίνες γυαλίου, είναι διαθέσιμες σε επίπεδες και κυματοειδής τύπους. Η κυματοειδής μορφή προσθέτει δύναμη.
2. Κατασκευάζεται σε βάρος από 4 - 8 ουγγίες ανα τετραγωνικό πόδι και πλάτος μέχρι 51 1/2 In και μήκη κομμένα μέχρι 30 ή περισσότερα πόδια (ειδικές περιπτώσεις). Χρησιμοποιείται ελάχιστος αριθμός αρθρώσεων για να μειθούν έτσι οι πιθανότητες συσσώρευσης σκόνης και βρωμίας μεταξύ των πάνελ και επίσης τη διαρροή αέρα/νερού. Χρησιμοποιείται το σωστό σφραγιστικό για στεγανότητα.
3. Το κόστος κυμαίνεται από 0.70-0.80 Ευρώ ανά τετραγωνικό πόδι και λίγο ακριβότερο στα 1.10 - 1.50 Ευρώ για πάνελ με επικάλυψη Tedlar. Η επιλογή φύλλων δεύτερης διαλογής σε διάφορα μήκη είναι φθηνότερα, σε τιμή περίπου 0,40 Ευρώ ανά τετραγωνικό πόδι αλλά αμφιβόλου ποιότητας και αντοχής
4. Δυο έως τέσσερις φορές πιο ανθεκτικό σε χτυπήματα και σε πλευρικά φορτία. Το ράγισμα είναι συνήθως από χτυπήμα, αλλά στο συγκεκριμένο υλικό δεν έχει επιβλαβή επίδραση εκτός και αν η επιφάνεια του πάνελ είναι σπασμένη.
5. Ο πολυεστέρας των πάνελ ζεσταίνεται γρήγορα με αποτέλεσμα ολόκληρο το θερμοκήπιο να ζεσταίνεται σε μικρό χρονικό διάστημα. Τα επιβραδυντικά της θερμότητας και η αντοχή στις καιρικές συνθήκες δεν παρουσιάζουν μεγάλη αποτελεσματικότητα, όταν χρησιμοποιούνται μαζί.
6. Τα πάνελ όταν είναι καινούρια έχουν ικανότητα διαπερατότητας στο φώς 78 - 90%.
7. Τα πάνελ με 15% πρόσθετο ακρυλικό έχουν αποδεχθεί πιο ανθεκτικά από τους απλούς τύπους πολυεστέρα.
8. Τα πάνελ πολυεστέρα που είναι τροποποιημένα με ακρυλικό χρειάζονται καθαρισμό τουλάχιστον μια φορά το χρόνο, και γενικά να ξαναπεραστεί η επιφάνεια τους με ακρυλικό υγρό στεγανωτικό κάθε 4 - 5 χρόνια. Η αντοχή του στεγανωτικού επιστρώματος είναι αμφισβητήσιμη.
9. Η σωστή σύνδεση με τη κατασκευή και τη σφράγιση/στερέωση στις πολυτυλιγμένες αρθρώσεις είναι απαραίτητη για την αντίσταση στις δυνάμεις που δημιουργεί ο άνεμος (Χρήση συνδετήρων κάθε 8-12 in στα άκρα και στις πλευρές ή με τις προδιαγραφές των κατασκευαστών).

Απλό Γυαλί

Ενιαία δύναμη σε όλη την επιφάνεια του, μικρά κομμάτια γυαλίου δεν χρησιμοποιούνται σε καινούριες μελέτες και κατασκευές.. Η αντικατάσταση των ήδη υπάρχων γυαλίων προσφέρει στα θερμοκήπια διπλή δύναμη και αντοχή στο σπάσιμο.

Γυαλί ασφαλείας (tempered)

1. Δύο ή τρεις φορές δυνατότερο από το κοινό γυαλί.
2. Χρησιμοποιούνται για καλύτερη διάχυση του φωτός και μείωση της σκίασης.
3. Μεγαλύτερα μεγέθη παραθύρων για λιγότερο πολύπλοκους σκελετούς και κατ'επέκταση λιγότερη σκίαση
4. Απαιτεί ειδικά δομικά μέλη και διάφορες μεθόδους για να δίνει προστασία από το νερό και από τον αέρα.(internet)

1.1.2 Πολυαιθυλένιο, υλικό κάλυψης των μεσογειακών χωρών

Τα πλαστικά είναι συνθετικά πολυμερή υλικά που αποτελούνται από γιγαντιαία μόρια. Αναπτύχθηκαν κατά τον 20^ο αιώνα, όπου στην αρχή είχαμε επεξεργασία φυσικών πολυμερών και στη συνέχεια ανάπτυξη συνθετικών πολυμερών.

Οι τύποι των πλαστικών υλικών είναι :

1. Θερμοπλαστικά υλικά (πολυαιθυλένιο, PVC, PC, PMMA, ETFF κ.α)
2. θερμοσκληρα υλικά πολυεστέρας (Βακελίτης, ενισχυμένος πολυεστέρας)
3. Ελαστομερή (Μεγάλη ελαστικότητα σε συνήθεις θερμοκρασίες)

Το πολυαιθυλένιο προέρχεται από το αέριο αιθυλένιο και κατ'επέκταση από τη βιομηχανία πετρελαίου. Παράγεται μέσω χημικής σιδικασίας του πολυμερισμού. Έχει άριστη αντοχή στη διάβρωση, είναι ισχυρό και εύκαμπτο, έχει μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση και σχηματοποιείται εύκολα. Ένα βασικό χαρακτηριστικό του είναι πως είναι φθηνό υλικό κάλυψης. Είναι πολυ διαδεδομένο και χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό από τις χώρες της μεσογειακής λεκάνης, άρα και στην Ελλάδα.

Πιο συγκεκριμένα, ως υλικό κάλυψης σε θερμοκήπια έχουμε το χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο, δηλαδή το 50% του υλικού έχει κρυσταλική δομή, με προσθήκη σε αυτό σταθεροποιητών. Η προσθήκη αυτή γίνεται για αύξηση της αντοχής του στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Στο πολυαιθυλένιο προστίθεται 0.18% αντιοξειδωτικό, 2 - 3 % διάφορες ενώσεις για την απορρόφηση των υπεριώδων ακτίνων και ως 10% ελαστικό βουτύλιο για να είναι εύκαμπτο. Στους -40°C το πολυαιθυλένιο παρουσιάζει απώλεια ελαστικότητας, άνω των 70% μαλακώνει υπερβολικά, ενώ σε έντονη ακτινοβολία χάνει πολλές ιδιότητες ή και καταστρέφεται τελείως.

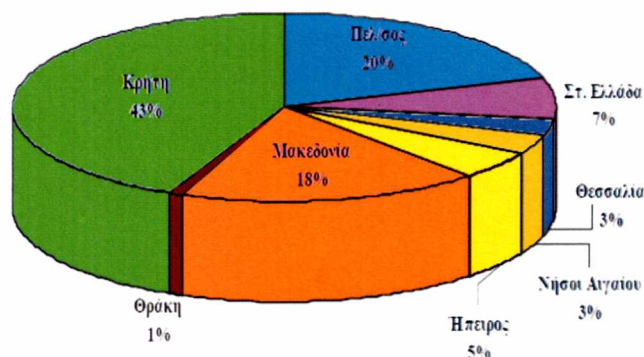
Το φύλλο πολυαιθυλενίου διαμορφώνεται και με τη μέθοδο της συνεξώθησης, δηλαδή το φύλλο αποτελείται μέχρι και από τρία ενωμένα επίπεδα. Το ένα επίπεδο μπορεί να αποτελείται από καθαρό πολυαιθυλένιο, το άλλο να περιέχει πρόσθετα για την απορρόφηση του μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας και το τρίτο να περιέχει πρόσθετα για τη δημιουργία υδρόφιλης επιφάνειας με αποτέλεσμα να μην συμπηκνώνονται οι υδρατμοί υπο μορφή σταγόνας με φυσικό επόμενο να πέφτει πάνω στα φυτά. Με τη μέθοδο αυτή αυξάνεται η αντοχή του φύλλου και έχουμε καλύτερο αποτέλεσμα στην απόδοση του θερμοκηπίου όσον αφορά το υλικό κάλυψης.(Γ.Ν. Μαυρογιαννόπουλος)



Εικόνα 1.2. Ποσοστό θερμοκηπίων στην Ελλάδα με πλαστικό κάλυμμα και γυαλί (Ε. Ψυλλινάκη).

1.2 Η εικόνα των θερμοκηπίων στην Ελλάδα

Οι εδαφοκλιματικές συνθήκες της Ελλάδας, βοήθησαν στην ταχύτατη εξάπλωση των θερμοκηπιακών εκτάσεων. Σημαντικό ρόλο έπαιξε και το πολυαιθυλένιο σαν υλικό κάλυψης το οποίο παρότρυνε πολλούς παραγωγούς να δοκιμάσουν την καλλιέργεια σε θερμοκήπιο. Το σχετικά χαμηλό κόστος εγκατάστασης λόγω πολυαιθυλενίου, καθώς και η αύξηση της ζήτησης των θερμοκηπιακών προϊόντων στην εσωτερική αγορά ευνοϊσαν τους παραγωγούς με την Κρήτη και την Πελοπόννησο να κατέχουν την πρωτιά σε εκτάσεις θερμοκηπίων. Τα αποτελέσματα να δείχνουν υψηλά έσοδα από μικρής έκτασης γεωργική εκμετάλλευση και με την πολιτεία να θεσπίζει οικονομικά κίνητρα, άρχισε να παρατηρήται αύξηση των θερμοκηπίων και σε υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδας με την Μακεδονία και την Θεσσαλία να μπαίνουν στον ανταγωνισμό. (Ο. Μερκούρης)



Εικόνα 1.3. Γεωγραφική κατανομή των θερμοκηπίων στην Ελλάδα το 1999 (Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων)

1.3 Αναφορά προβλημάτων ελληνικών θερμοκηπίων

Το πρόβλημα των θερμοκηπίων ανά το κόσμο είναι η διατήρηση του μικροκλίματος εντός του θερμοκηπίου με σκοπό τη μέγιστη απόδοση των φυτών με το πιο χαμηλό κόστος για τον παραγωγό.

Συγκεκριμένα για την Ελλάδα η δυσκολία διατήρησης μπορεί να οφείλεται στο κακό σχεδιασμό της κατασκευής και μπορεί φυσικά να αντιμετωπιστεί με καλύτερο και πιο προσεγμένο σχεδιασμό, παίρνοντας υπόψιν όλες τις παραμέτρους. Στα ακριβά καύσιμα, που αποτελεί γενικό πρόβλημα και επηρεάζει φυσικά και τα θερμοκήπια κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Το συγκεκριμένο πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με χρήση εξελιγμένων

συστημάτων θέρμανσης, με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και σε συνδιασμό με τη σωστή επιλογή κατάλληλων υλικών κάλυψης, ικανά να μειώσουν τις απώλειες ενέργειας. Στο πείραμα έγιναν δοκιμές για την συγκεκριμένη περίπτωση προβλήματος με χρήση διπλού φύλλου πολυαιθυλενίου. Τα φύλλα που θα χρησιμοποιήθουν δεν θα πρέπει να είναι εντόνως διαχέοντα, διότι δημιουργούν συνθήκες μειωμένου φωτός, σε τέτοια περίπτωση θα δημιουργούνταν μεγαλύτερο πρόβλημα ικανό να βλάψει την αύξηση και την απόδοση της καλλιέργειας. Συνιστάται λοιπόν η χρήση δύο διάφανων φύλλων.

Οι ίδιες οι καιρικές συνθήκες της χώρας και αυτό το μεγάλο εύρος της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ καλοκαιριού και χειμώνα αποτελεί σοβαρό πρόβλημα. Οι χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να αντιμετωπιστούν όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες με τη χρήση φυσικού ή δυναμικού αερισμού, ψύξη του χώρου και σκίαση της καλλιέργειας με θερμοκουρτίνες. Λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας εντός και εκτός του θερμοκηπίου παρατηρείται το φαινόμενο της συμπύκνωσης των υδρατμών υπό μορφή σταγόνας που πέφτει πάνω στα φυτά, το οποίο δεν είναι θεμιτό καθώς δημιουργούνται προϋποθέσεις ανάπτυξης μικροοργανισμών και ευνοϊκό περιβάλλον για έντομα. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί έχοντας στην εσωτερική επιφάνεια του φύλλου υδρόφιλη επιφάνεια (PE φύλλο) έτσι ώστε οι υδρατμοί να συμπυκνώνονται υπό μορφή μεμβράνης με το νερό να ρέει προς την περιφέρεια του φύλλου. Επίσης, λύση δίνει και η χρησιμοποίηση διπλού φύλλου πολυαιθυλενίου.

Επιπλέον, οι μεσογειακές χώρες πέρα από τις υψηλές θερμοκρασίες κυρίως τους θερινούς μήνες έχουν να αντιμετωπίσουν και την υψηλής έντασης ηλιακή ακτινοβολία που δημιουργεί εγκάυματα στα φύλλα και αυξάνει την θερμοκρασία του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να δημιουργεί καταπονήσεις στα φυτά.

Τέλος, πρόβλημα χωρίς λύση και το πιο σημαντικό, είναι η ελλειπής τεχνογνωσία σε συνδιασμό με την οικονομική κατάσταση του ελλήνα παραγωγού. Γεγονός που θέτει σε σοβαρό πρόβλημα ανταγωνισμού στις αγορές των προϊόντων με τις βόρειο - ευρωπαϊκές χώρες.(Γ.Ν. Μαυρογιαννόπουλος)

1.4 Νέες τεχνολογίες στα υλικά κάλυψης

Η διάρκεια ζωής ενός υλικού κάλυψης εξαρτάται από τη ποιότητα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υλικού και από εξωτερικούς παράγοντες, την περιοχή, τον τύπο του θερμοκηπίου, την εγκατάσταση και τη χρήση των αγροχημικών. Τα διπλό κάλυμμα πολυαιθυλενίου αυξάνει την ελάχιστη εσωτερική θερμοκρασία κατά 2-3 °C σε σχέση με το μονό κάλυμμα. Σε ένα θερμαινόμενο θερμοκήπιο αυξάνει η θερμομόνωση και εξοικονομείται θερμότητα της τάξεως του 30-40 %. Τέλος, μειώνεται το πρόβλημα της έντονης συμπίκνωσης των υδρατμών, με την παρεμβολή του στρώματος του αέρος ανάμεσα στον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου και στο περιβάλλον. Το φιλμ πολυαιθυλενίου είναι θερμικό μακράς διάρκειας, κατασκευασμένο με τη μέθοδο των τριών στρώσεων, όπου επιτυγχάνεται καλύτερη θερμομόνωση και καλύτερη διάχυση του φωτός.

Η τεχνολογία των τριών στρώσεων επιτρέπει την παραγωγή περίτεχνων συνδυασμών. Το φύλλο μπορεί να έχει την ακόλουθη δομή.

- Τρία διαφορετικά πολυμερή
- Τρεις διαφορετικούς συνδυασμούς σταθεροποίησης
- Παράγοντες IR (θερμομόνωση)
- Παράγοντες για διάχυση φωτός
- Παράγοντες για μη δημιουργία σταγόνων και αποφυγή ομίχλης

Μια νέα γενιά πολύ σκληρών κάλυψης (super-tough films) έχει εισαχθεί χρησιμοποιώντας τα τελευταία χρόνια ειδικά υψηλής αντοχής πολυμερή σώματα. Αυτές οι ταινίες προσφέρουν επιπρόσθετη ασφάλεια σε περιοχές με πολύ ισχυρούς ανέμους. Το φως από τον ήλιο που περνά μέσω ενός υλικού κάλυψης στο θερμοκήπιο είναι χωρισμένο σε άμεσο και διασκορπισμένο. Η PAR (φωτοσυνθετική ενεργός ακτινοβολία) που παραλαμβάνεται από τα φυτά είναι η ίδια. Τώρα γενικά γίνεται αποδεκτό ότι το διασκορπισμένο φως έχει μια θετική επίδραση στην αύξηση των φυτών, ειδικά για τις ανοιξιότικες και καλοκαιρινές καλλιέργειες και στις περιοχές με ισχυρό ηλιακό φως.

Η ελαφρά διάχυση μειώνει τη σκιά, εξασφαλίζει πιο ομοιόμορφη διανομή του φωτός στο θερμοκήπιο έτσι ώστε φθάνει ακόμη και στα χαμηλότερα μέρη των φυτών, αποτρέπει τα

καψίματα και προσφέρει έναν μέτριο δροσισμό. Η επιλογή του υλικού με το πιο κατάλληλο επίπεδο διάχυσης εξαρτάται από το κλίμα της περιοχής, την καλλιέργεια και την εποχή. Έχουν δημιουργηθεί τα ακόλουθα υλικά (Κυκρικής, 2008):

- Crystal clear υλικά κάλυψης με χαμηλή διάχυση (μέγιστο άμεσο φως)
- Υλικά κάλυψης με μέση διάχυση
- Υλικά κάλυψης με πολύ υψηλή διάχυση

1.4.1 Θερμικό υλικό κάλυψης

Έχουν δημιουργηθεί θερμικά φύλλα πολυαιθυλενίου, που περιέχουν ένα συνδυασμό EVA και υπέρυθρων πρόσθετων ουσιών που δημιουργούνται σε τρία στρώματα, τα οποία απορροφούν την υπέρυθη ακτινοβολία και μειώνουν τις απώλειες θερμότητας καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας (Κυκρικής, 2008).

Τα πλεονεκτήματα των θερμικών ταινιών είναι:

- Προστασία από το παγετό και την χαμηλή θερμοκρασία
- Ομαλότερη πτώση της θερμοκρασίας και υψηλότερες θερμοκρασίες νύχτας
- Μειωμένη κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση
- Υψηλότερη παραγωγή
- Πρωίμιση της συγκομιδής

1.4.2 Αντι - σταγονικό υλικό κάλυψης (anti-drip)

Τα σταγονίδια που διαμορφώνονται στην εσωτερική επιφάνεια των υλικών κάλυψης του θερμοκηπίου λόγω της συμπύκνωσης των υδρατμών, έχουν αρνητικές συνέπειες στην ποιότητα και στην αύξηση των φυτών δεδομένου ότι μειώνουν τη διαπερατότητα του φωτός κατά 15-30 % και αυξάνουν τη πιθανότητα ορισμένων ασθενειών.

Οι anti-drip ταινίες όταν χρησιμοποιούνται κατάλληλα προσφέρουν τα ακόλουθα οφέλη (Κυκρικής, 2008):

- Περισσότερο φως στο θερμοκήπιο

- Υψηλότερη παραγωγή
- Πρωίμιση της συγκομιδής
- Καλύτερη ποιότητα της συγκομιδής, υψηλότερη εμπορική αξία
- Λιγότερες ασθένειες
- Μειωμένη ανάγκη για φυτοφάρμακα
- Αποφυγή εγκαυμάτων

Τα anti-drip υλικά κάλυψης συστήνονται κυρίως για τα αεριζόμενα ή/και θερμαινόμενα θερμοκήπια, με επαρκή κλίση της στέγης. Η επίδραση anti-drip ιδιότητα διαρκεί μέχρι και δύο έτη. Υπό ορισμένες συνθήκες υπάρχει σχηματισμός ομίχλης στα θερμοκήπια που καλύπτονται με τα anti-drip υλικά κάλυψης. Τέτοια ομίχλη εμφανίζεται συνήθως κατά το ηλιοβασίλεμα και την αυγή και είναι ανεπιθύμητη, δεδομένου ότι μπορεί να προκαλέσει ζημιές στα φυτά. Είναι απαραίτητος ο αερισμός ή η θέρμανση αμέσως μόλις εμφανιστεί ομίχλη για να την αφαιρέσει. Οι Katsoula N. et al (2007) σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε διαπίστωσαν ότι τα επίπεδα σχετικής υγρασίας ήταν πολύ πιο υψηλά σε θερμοκήπιο καλυμμένο με anti-drip, καθώς και οι τιμές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ήταν ελαφρώς υψηλότερες, εν συγκρίσει με θερμοκήπιο που ήταν καλυμμένο με anti-drip + anti-fog + PE υλικό κάλυψης. Η ανάπτυξη και η παραγωγή όμως της καλλιέργειας ήταν παρόμοιες (Κυκρικής, 2008).

1.4.3 Αντι-ομιχλικό υλικό κάλυψης (anti-mist)

Η υγρασία που συγκρατείται στην οροφή υπό τη μορφή σταγόνων, στα AD (anti-drip) φύλλα, διαχέεται στην ατμόσφαιρα του θερμοκηπίου, και εκδηλώνεται ως ομίχλη όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από το σημείο δρόσου. Τα φαινόμενο παρατηρείται συνήθως αργά το απόγευμα ή και λίγο πριν ή μετά την ανατολή του ηλίου.

Με ειδικά πρόσθετα που έχουν σαν βάση το φθόριο μπορούμε να αποτρέψουμε το σχηματισμό ομίχλης. Το νέο αυτό υλικό ονομάζεται anti-mist (Κυκρικής, 2008).

1.4.4 Υλικό κάλυψης για δροσισμό (cooling)

Η χρονική επέκταση των καλλιεργειών μέσα στον ετήσιο κύκλο, δημιουργεί την ανάγκη για φιλικότερο περιβάλλον στις καλλιέργειες, κατά τη θερμή περίοδο (Κυκρικής, 2008).

- Δημιουργία περιβάλλοντος με τη μικρότερη δυνατή διακύμανση θερμοκρασιών ημέρας/νύχτας
- Μείωση της εξατμισοδιαπνοής των φυτών
- Μείωση της σχετικής υγρασίας μειώνοντας τις πιθανότητες ανάπτυξης μυκητολογικών ασθενειών

Δημιουργήθηκε ένας ειδικός τύπος υλικών κάλυψης ο οποίος απορροφά την κοντινή υπέρυθη ακτινοβολία (NIR), που είναι το μέρος του ηλιακού φάσματος που φέρνει το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που εισάγεται σε ένα θερμοκήπιο την ημέρα και που είναι άχρηστο για την αύξηση των φυτών, μειώνοντας κατά συνέπεια μέσα στο θερμοκήπιο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έχει καταδειχθεί ότι όσο υψηλότερη είναι η εξωτερική θερμοκρασία, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας που επιτυγχάνεται μέσα στο θερμοκήπιο με τη χρήση του νέου υλικού.

Ειδικά ασημί φύλλα (cooling films)

Φύλλα που περιέχουν ειδικό πρόσθετο με βάση το Al (Πατέντα πλαστικών Κρήτης), που απομακρύνει την NIR ακτινοβολία. Σαν αποτέλεσμα, παρέχουν δροσισμό το καλοκαίρι (5-7 °C) και πρόσθετη θερμομόνωση το χειμώνα, διότι εκτός του EVA και των IR παραγόντων το ειδικό πρόσθετο προσδίδει επίσης θερμομονωτική ιδιότητα. Παρέχουν καλύτερο φωτισμό στο θερμοκήπιο, πιο όμορφη ανάπτυξη φυτών, καλύτερη παραγωγή, πιο ευχάριστο περιβάλλον εργασίας. Υπάρχουν ενδείξεις ότι πιθανόν να αποφεύγεται το στοκάρισμα σε σχέση με τα φύλλα με φουσαλίδες, λόγω ομοιογένειας του πλαστικού.

Οι τύποι των cooling υλικών κάλυψης περιλαμβάνει:

- Υλικό κάλυψης υψηλής διαχυσής
- Υλικό κάλυψης διπλής επίδρασης, ασημένιο υλικό κάλυψης (που δροσίζει κατά τη διάρκεια της ημέρας και το κάνει πιο θερμό κατά τη διάρκεια της νύχτας)
- Υλικό κάλυψης εκλεκτικής παρέμβασης

Μετά από κρύες χειμερινές νύχτες, η άνοδος της θερμοκρασίας το πρωί μπορεί να είναι λίγο πιο αργή κάτω από τα cooling υλικά κάλυψης από ότι κάτω από τις συμβατικές ταινίες PE (Κυκρικής, 2008).

1.4.5 Υλικό κάλυψης ελέγχου των ασθενειών (UV-Blocking)

Μία νέα σειρά των υλικών κάλυψης ελέγχου των ασθενειών, οι οποίες συμβάλλουν αποτελεσματικά στην ολοκληρωμένη διαχείριση των παρασίτων και βοηθούν στη μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων.

Ένας σημαντικός τύπος ειδικών υλικών κάλυψης ελέγχου των ασθενειών και εντόμων είναι UV-BLOCKING ταινίες, οι οποίες απορροφούν την UV ακτινοβολία μέχρι 390 nm, επιτυγχάνοντας κατά συνέπεια (Κυκρίλης, 2008):

- Μείωση του πληθυσμού των αλευροειδών, των θριπών, των αφίδων και άλλων εντόμων στα θερμοκήπια, με αυτό τον τρόπο μειώνονται επίσης οι ιοί που μεταφέρονται από αυτά τα έντομα.
- Έλεγχος της εξάπλωσης ορισμένων ασθενειών (όπως βοτρυτής), με τη μείωση των σπορίων των σχετικών παθογόνων μυκήτων.
- Μείωση της ανθράκωσης των κόκκινων ροδαλών πετάλων, με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η εμπορική αξία τους.

1.4.6 Κόκκινα φύλλα (LUMINESCENCE)

Πλαστικά φύλλα που περιέχουν ειδικές χρωστικές μπορούν να μετατρέψουν μέρος της απορροφούμενης UV ακτινοβολίας σε ερυθρά ακτινοβολία, αυξάνοντας έτσι το ποσοστό της χρήσιμης ακτινοβολίας για την φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Έχουν όμως πολύ υψηλό κόστος (2-3 φορές περισσότερο από τα συμβατικά φύλλα). Οι επιδράσεις είναι οι ακόλουθες (Κυκρίλης, 2008):

- Ο λόγος R/FR αυξάνεται σημαντικά
- Συνιστώνται κυρίως για δρεπτά άνθη
- Αύξηση τη παραγωγής

Οι κατασκευαστές τέτοιων PIGMENTS αναφέρουν ότι σε σχετικά πειράματα σε Ευρώπη, Αμερική, Αφρική, Ασία παρατηρήθηκε αύξηση της παραγωγής κόκκινων τριαντάφυλλων.

1.4.7 Υλικά κάλυψης UV-OPEN

Είναι υλικά κάλυψης που επιτρέπουν όλη τη UV-A και UV-B ακτινοβολία να εισέλθει στο θερμοκήπιο. Χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση του χρωματισμού, τη σκλήρυνση και τη μικρότερη επιμήκυνση των στελεχών. Μερικές καλλιέργειες παράγουν το χαρακτηριστικό τους χρώμα μόνο κάτω από UV-OPEN υλικά κάλυψης (πχ. Κόκκινη σαλάτα, μερικές ποικιλίες τριαντάφυλλων). Τα UV-OPEN φύλλα είναι απολύτως φιλικά στους βομβίνους, μειώνουν δραματικά τη χρήση αγροχημικών και τη δημιουργία μαύρων στιγμάτων στα κόκκινα τριαντάφυλλα (Κυκριλής, 2008).

1.4.8 Υλικά κάλυψης παρεμπόδισης συγκεκριμένου μήκους ακτινοβολίας

Ειδικές χρωστικές βασισμένες στη Mica (είδος πέρλας) μπορούν να προκαλέσουν αντανάκλαση του πράσινου και NIR φωτός προσφέροντας έτσι αξιοσημείωτο δροσισμό και διάχυση του φωτός. Παρά το υψηλό κόστος των χρωστικών αυτών, αυτή η κατηγορία υλικών κάλυψης μειώνει το στρες της καλλιέργειας από τις υψηλές θερμοκρασίες και ταυτόχρονα επιτρέπει την είσοδο περισσότερου μπλε και ερυθρού φωτός (Κυκριλής, 2008).

2 Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

2.1 Ενέργεια

Τα φυτά ανταλλάσσουν θερμότητα με τον περιβάλλοντα χώρο και η ανταλλαγή της θερμότητας συμβαίνει λόγω των διαφορών θερμοκρασίας.

Η θερμοκρασία είναι μια ποσότητα η οποία μπορεί να προσδιοριστεί είτε με όρους μακροσκοπικής θερμοδυναμικής από ποσότητες όπως η θερμότητα.

Η μικροσκοπική ερμηνεία της θερμοκρασίας κάνει δεκτό ότι η μακροσκοπικά μετρήσιμη ποσότητα που ονομάζεται θερμοκρασία είναι ένα αποτέλεσμα της τυχαίας κίνησης των μικροσκοπικών σωματιδίων από τα οποία είναι κατασκευασμένο ένα σύστημα. Η κινητική ενέργεια των μορίων σχετίζεται με τη θερμοκρασία του σώματος.

Με την κινητική θεωρία της θερμοκρασίας εξηγείται εύκολα ο τρόπος μετάδοσης της θερμότητας από ένα σώμα σε ένα άλλο.

Έχουμε τρεις τρόπους μεταφοράς θερμότητας :

- Την αγωγή
- Τη συναγωγή
- Και την ακτινοβολία

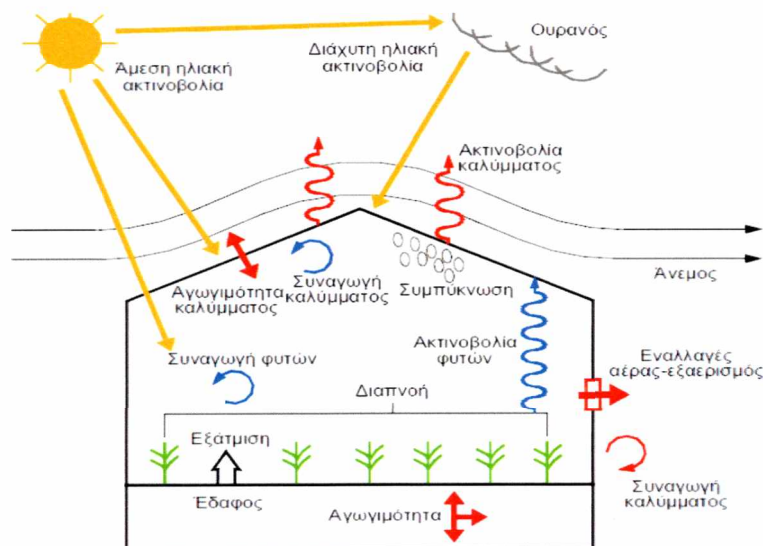
Κατα την αγωγή, η θερμική ενέργεια μεταφέρεται από τα σωματίδια με την κίνηση τους και με τις συγκρούσεις των σωματιδίων από ένα σώμα σε ένα άλλο, όταν έρχονται σε επαφή. Αυτό συμβαίνει όταν υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας σε ένα σώμα, όπου μεταφέρεται ενέργεια από τη θερμότερη στη ψυχρότερη περιοχή.

Κατα τη συναγωγή, αποτελεί τον μηχανισμό μετάδοσης θερμότητας μεταξύ μιας επιφάνειας και του ρευστού που την περιβάλλει. Δηλαδή είναι η διαδικασία κατά την οποία η μεταφορά θερμότητας γίνεται μεταξύ της επιφάνειας ενός στερεού και ενός ρευστού που βρίσκεται σε επαφή με αυτή. Επίσης, έχουμε δύο κατηγορίες συναγωγής. Την ελεύθερη ή φυσική συναγωγή και τη βεβιασμένη συναγωγή.

Κατα την ακτινοβολία η ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί μέσω του κενού. Αυτός είναι ο τρόπος που ο ήλιος ζεσταίνει τη γη. Εδώ έχει εισαχθεί και η έννοια του μέλανος σώματος, το οποίο είναι ένας τέλειος πομπός και δέκτης της θερμικής ακτινοβολίας. Ένα φυσικό σώμα απορροφά μικρότερη ακτινοβολία από ένα μέλαν σώμα ίδιας θερμοκρασίας και εκπέμπει μικρότερη ακτινοβολία. Όταν θερμική ακτινοβολία πέφτει στην επιφάνεια ενός φυσικού σώματος, ένα μέρος ανακλάται, ένα μέρος απορροφάται και ένα μέρος περνά μέσα από το σώμα αυτό.

Οι μεταβολές της υγρασίας μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου επηρεάζουν σημαντικά τη μεταφορά ενέργειας. Οποδήποτε γίνεται αλλαγή φάσης του νερού και συνδυάζεται με φαινόμενα μεταφοράς μπορούν να μεταφερθούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας από ή προς μια επιφάνεια. Η μεταβολή από την υγρή κατάσταση στην αέρια ενός ρευστού συνεπάγεται την απορρόφηση ενέργειας, γνωστής ως λανθάνουσα θερμότητα.

Στο θερμοκήπιο, η σημαντικότερη περίπτωση που αφορά λανθάνουσα θερμότητα είναι αυτή της διαπνοής, όπου το νερό εξατμίζεται από τα φύλλα, της εξάτμισης του νερού από το έδαφος και της συμπύκνωσης του νερού στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου.



Εικόνα 2.1. Ισοζύγιο ενέργειας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.

2.1.1 Μείωση των ενεργειακών απωλειών

Οι προστατευμένες καλλιέργειες στην περιοχή της Μεσογείου επεκτάθηκαν απότομα το 1950 από το μηδέν, σε 120.000 εκτάρια γης με θερμοκήπια το 1985 και πάνω από 200.000 το 1997 (FAO). Η εικόνα σήμερα στην Μεσόγειο παρουσιάζει απλά πλαστικά θερμοκήπια που αναπτύχθηκαν με βάση την αρχή του ελάχιστου κεφαλαίου και με χαμηλή τεχνολογική κατάρτιση. Τα θερμοκήπια των βορείου - δυτικών περιοχών της ευρώπης σε αντίθεση με τα θερμοκήπια της νότιας ευρώπης παρουσιάζονται με τεχνολογικά προηγμένα συστήματα ελέγχου του περιβάλλοντος στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Τα θερμοκήπια της μεσογειακής λεκάνης βασίζονται σε απλές και φθηνές κατασκευές γεγονός που τα κάνει να είναι πιο ενεργοβόρα, με χαμηλή απόδοση της καλλιέργειας και αλόγιστη χρήση ορυκτών υλών (πετρέλαιο, φυσικό αέριο).

Πρόσφατα έχουν γίνει πολλές μελέτες βελτίωσης της τρέχουσας καταστασης που επικρατεί στα θερμοκήπια των μεσογειακών χωρών με στόχο την ορθολογική χρήση της ενέργειας και την αύξηση της αποδοτικότητας της παραγωγής. Ορθολογική διαχείριση της ενέργειας του θερμοκηπίου στοχευεί συνήθως στη μεγιστοποίηση της ενέργειας εφοδιασμού ενώ θα μειωθούν οι απώλειες. Οι απώλειες που συμβαίνουν στο περιβάλλον των θερμοκηπίων είναι οι παρακάτω :

- Με αγωγή προς το έδαφος
- Λόγω διαφυγών του αέρα
- Λανθάνουσα ενέργεια (αερισμός, συμπύκνωση, διαπνοή)
- Με συναγωγή και ακτινοβολία από το κάλυμμα.

Για την κατασκευή ενός ενεργειακά αποδοτικού θερμοκηπίου θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και να βελτιωθούν η παραπάνω παράμετροι.

Οι De Pascale και Maggio (2004) η μελέτη των οποίων στηρίχθηκε στη μείωση των ενεργειακών απωλειών αυξάνοντας το ποσό της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας με φυσικές και τεχνητές μεθόδους.

Οι Kyraskas και Slipek (2000) έκαναν μελέτη σχετικά με τη μετάφορά ενέργειας με αγωγή προς το υπέδαφος. Η μελέτη τους περιεχί την ενεργειακή αξιοποίηση της αποτελεσματικότητας που έχει η εγκατάσταση σωληνώσεων θαμμένα κάτω από το έδαφος όπου βρίσκεται το θερμοκήπιο. Βρήκαν το καλύτερο δυνατό βάθος των σωληνώσεων και το κατάλληλο ευρώς των θερμοκρασιών του νερού που τροφοδοτούσε τους σωλήνες. Τα αποτελέσματα της έρευνας τους έδειξαν μείωση των ενεργειακών απωλιών με αγωγή προς το υπέδαφος.

Αρχικά οι Seginer et al., το 1988 και στη συνέχεια οι Zhang Y. et al., το 1996, οι Papadopoulos et al., το 1997, οι Papadakis et al., το 2000, οι Cemek et al., το 2006, οι Al-Mahdouri et al., το 2013) στις έρευνες τους δοκίμασαν διαφορετικούς τύπους καλλυμάτων (γυαλί, PE, PVC, UV, IR) ή συνδιασμός αυτών με στόχο την επιλογή του κατάλληλου καλλύματος στη μόνωση του θερμοκηπίου.

Το 1980 οι ερευνητές Chandra και Albright δοκίμασαν για πρώτη φορά τη χρήση της θερμοκουρτίνας ακολούθησαν οι Kittas et al., το 2003, οι Glosal και Tiwari, το 2004, οι Dieleman και Kempkes, το 2006.

Επίσης, μελέτες στηριζόμενες στην εφαρμογή νέων μεθόδων θέρμανσης των θερμοκηπίων και στην βελτίωση του εξοπλισμού τους θα έδινε θερμοκήπια λιγότερο ενεργοβόρα (Teitel et al., 1998; Chou et al., 2004; Bartzanas et al., 2005; Καυγά, 2010).

Τέλος, οι ελαχιστοποίηση των απωλιών ενέργειας με συναγωγή και ακτινοβολία από το κάλυμμα του θερμοκηπίου, αρκετές προσπάθειες περιγράφονται παρακάτω από τους Garzoli και Blackwell το 1987, τους Seginer et al., το 1988, τους Abak et al., το 1994, τους Zhang et al., το 1996, τους Gupta και Chandra, το 2002; τους Cemek et al., το 2006.

2.1.2 Ανάλυση της μεταφοράς θερμότητας από το κάλυμμα του θερμοκηπίου

Οι Garzoli και Blackwell (1987) μελέτησαν της απώλειες ενέργειας από ένα συμβατικό θερμοκήπιο με μονό κάλυμμα και ένα θερμοκήπιο στο οποίο είχαν προσθήκη διπλό κάλυμμα πολυαιθυλενίου. Οι μετρήσεις αφορούσαν τις νυκτερινές απώλειες ενέργειας όπου η εξωτερική θερμοκρασία έπεφτε αρκετά με αποτέλεσμα να υφίσταται αυξημένη ροή ενέργειας από το

εσωτερικό περιβάλλον του θερμοκηπίου προς το εξωτερικό. Τα διαφανή υλικά που χρησιμοποιούνται κοίτως στα συμβατικά θερμοκήπια είναι τόσο λεπτά που συμβάλουν ελάχιστα στη θερμική μόνωση των θερμοκηπίων, σχεδόν το σύνολο του αποτελείται από ένα οριακό στρώμα αντίστασης στις εσωτερικές και τις εξωτερικές επιφάνειες των υλικών. Η προκύπτουσα χαμηλή θερμική αντοχή των καλυμμάτων των θερμοκηπίων σημαίνει ότι απαιτούνται μεγάλες εισροές ενέργειας για την διατήρηση της επιθυμητής διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του εσωτερικού και εξωτερικού αέρα. Με την μελέτη τους προσπάθησαν να αναπτύξουν μια μαθηματική έκφραση, για κάθε μία από τις διεργασίες μεταφοράς ενέργειας που συμβάλλουν στην απώλεια θερμότητας και ως εκ τούτου, να αναπτύξουν μια σειρά εξισώσεων για το ισοζύγιο ενέργειας στο κάλυμμα του θερμοκηπίου. Παρακάτω δίνεται η εξίσωση για την απώλεια ενέργειας με αγωγή και συναγωγή, όπου ο συντελεστής συναγωγής θεωρείται γνωστός :

$$Q = U A c (T_{in} - T_{out}) \text{ (W)}$$

$A c$ η επιφάνεια του καλύμματος (m²)

T_{in} η θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο (oC)

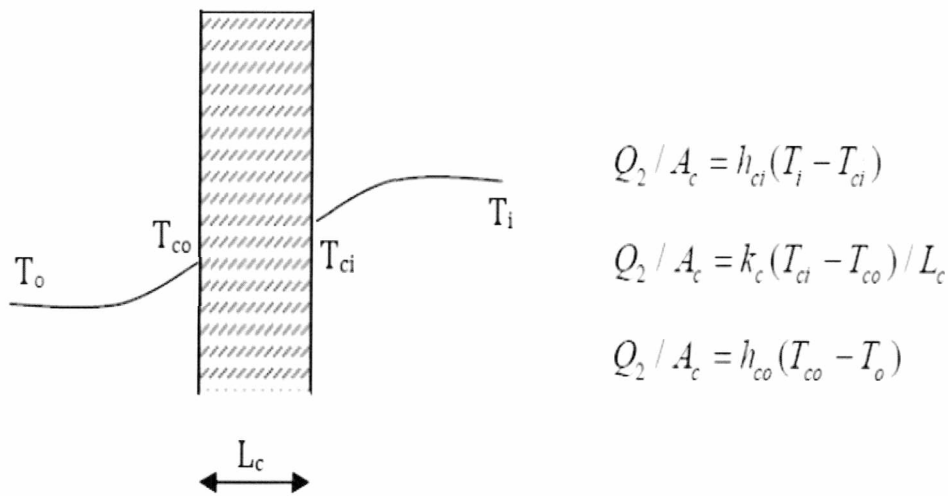
T_{out} η θερμοκρασία του περιβάλλοντος (oC)

U ο συντελεστής απωλειών θερμότητας του καλύμματος (W m⁻² oC⁻¹)

Πιο συγκεκριμένα οι απώλειες θερμότητας από το κάλυμμα οφείλονται σε τρεις επιμέρους αντιστάσεις:

1. h_{ci} συντελεστής συναγωγής του εσωτερικού αέρα προς το κάλυμμα.
2. k_c συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού του καλύμματος.
3. h_{co} συντελεστής συναγωγής του εξωτερικού αέρα προς το κάλυμμα.

Στην εικόνα 2.2 παρουσιάζονται οι σχέσεις των επιμέρους αντιστάσεων :



Εικόνα 2.2. Οι σχέσεις των επιμέρους αντιστάσεων.

Σύμφωνα με την μελέτη της Καυγά (2010) το μονό γυαλί ως κάλυμμα, ο συντελεστής αγωγής του έχει συνήθως αμελητέα ποσότητα. Ως εκ τούτου, η εσωτερική θερμοκρασία του θερμοκηπίου ταυτίζεται με την εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Τα μονά διαφανή υλικά κάλυψης συγκεκριμένα το γυαλί και το πλαστικό έχουν υψηλό συντελεστή θερμικών απωλειών της τάξης του $6,2 \text{ W m}^{-2} \text{ C}^{-1}$ (ASAE Standards, 2003) απαιτούν δηλαδή για την θέρμανση του θερμοκηπίου να δαμανηθούν υψηλά ποσά ενέργειας ώστε στο εσωτερικό του να υπάρχει η κατάλληλη θερμοκρασία για την καλλιέργεια. Κοινή μέθοδος αύξησης της θερμικής αντίστασης (Garzoli και Blackwell το 1987), είναι η εγκατάσταση ενός δεύτερου καλύμματος, συνήθως με μορφή της εσωτερική επένδυσης με διάφανο πλαστικό φύλλο σε απόσταση 10 cm από το πρώτο φύλλο. Η επιπλέον αντίσταση προκύπτει από το κενό ανάμεσα στα δύο πλαστικά φύλλα με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των απαιτήσεων για θέρμανση. Η εγκατάσταση του εσωτερικού φύλλου γίνεται με την προϋπόθεση ότι θα υπάρξει αποδεκτή μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η μεταφορά θερμότητας για τα θερμοκήπια με το διπλό φουσκωτό κάλυμμα απαιτεί μελέτη των διεργασιών της αγωγής και της συναγωγής του εσωτερικού και του εξωτερικού αέρα και του αέρα ανάμεσα στα δύο καλύμματα. Το παραπάνω συμπέρασμα αποδείχτηκε ότι μπορεί να εκφραστεί με τις παρακάτω μαθηματικές σχέσεις δηλαδή τη συναγωγή από τον εσωτερικό αέρα στο εσωτερικό κάλυμμα, H_{ci} , μέσω του κενού από το εσωτερικό στο εξωτερικό κάλυμμα, H_{gap} και από το εξωτερικό κάλυμμα στον εξωτερικό αέρα, H_{co} :

- $H_{ci} = h_{ci} A_c (T_{ai} - T_1)$
- $H_{cgap} = h_{cg} A_c (T_1 - T_2)$
- $H_{co} = h_{co} A_c (T_2 - T_{ao})$

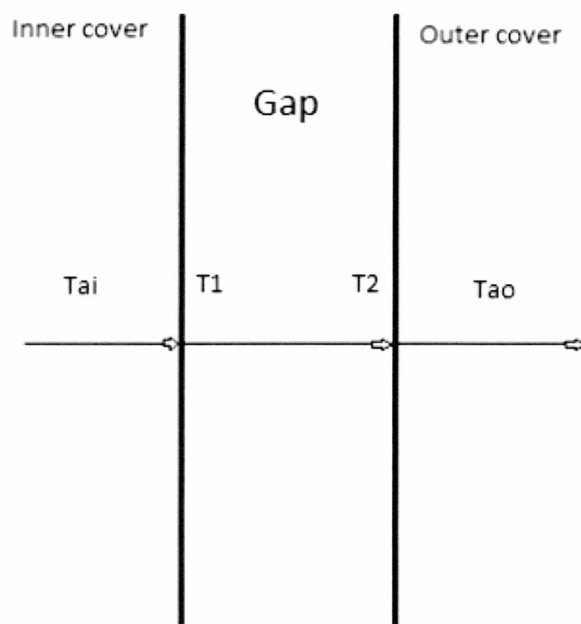
Όπου :

H_c = Μεταφορά ενέργειας (W)

h_c = Συντελεστής μεταφοράς ενέργειας ($W m^{-2} C^{-1}$)

A_c = Επιφάνεια καλύμματος (m^2)

T = Θερμοκρασία ($^{\circ}C$)



Εικόνα 2.3. Η θερμοκρασία στην εσωτερική και εξωτερική επιφάνεια των καλυμμάτων.

2.1.3 Επίδραση διαφορετικών υλικών στην κάλυψη των θερμοκηπίων για την εξοικονόμηση της ενέργειας

Αρκετές έρευνες έχουν γίνει με στόχο την αξιολόγηση διαφορετικών υλικών κάλυψης του θερμοκηπίου, ως αναφορά την κατανάλωση ενέργειας, την αύξηση της καλλιέργειας και την απόδοτικότητα του θερμοκηπίου κατά τους χειμερινούς μήνες του χρόνου. Εκτός από πλαστικά φύλλα πολυαιθυλενίου με διάφορες ιδιότητες, χρησιμοποιήθηκαν και υλικά όπως το γυαλί, το plexiglass και τα διπλά φουσκωτά πλαστικά. Τέλος, σημαντική είναι η χρήση της θερμοκουρτίνα για την εξοικονόμηση ενέργειας.

Σε πολλές χώρες της μεσογείου, η θέρμανση των θερμοκηπίων είναι σχετικά πρόσφατη δοκιμασία. Σε πολλές, μάλιστα, το κόστος θέρμανσης του θερμοκηπίου αντιπροσωπεύει το 30-40 % (De Maggio) του συνολικού κόστους παραγωγής. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν διπλά φουσκωτά φύλλα, θερμοκουρτίνες και πλαστικά με απορροφητές IR για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Ουσιώδης εξοικονόμηση ενέργειας παρατηρήθηκε από αυτές της μεθόδους κοντά στο 25 - 40 % (O'Flaherty και Maher το 1978 και 1980, Weimann το 1989, οι Ferare και Goldsberry το 1984, οι Magnani το 1987, οι Lagier το 1991). Ωστόσο παρουσιάστηκε μείωση του φωτός σε ποσοστό 10 - 30 %, αύξηση της υγρασίας (οι Nisen το 1979, οι Nisen και Coutisse το 1981) και μείωση στην απόδοση και στην ποιότητα της παραγωγής (οι Steinbuch και de Vooren το 1984).

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων κόστους/κέρδους έδειξαν για την παραγωγή μελιτζάνας ότι είναι οικονομικά βιώσιμη σε όλα τα θερμοκήπια τα οποία καλύπτονταν με διπλό φύλλο πολυαιθυλενίου, IR + PE και UV + PE αλλά όχι με απλά φύλλα πολυαιθυλενίου. Οι αναλογίες κόστους/κέρδους για UV + PE, IR + PE και διπλό πλαστικό ήταν 0.77, 0.74 και 0.55 αντίστοιχα. Οι Tiwari and Sharma βρήκαν παρόμοια αποτελέσματα για την θερμοκηπιακή παραγωγή αγγουριού. Δεδομένου ότι η αναλογία στο θερμοκήπιο με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου ήταν μεγαλύτερο του 1 ήταν επίσης οικονομικά βιώσιμη.

Οι Gupta και Chandra βρήκαν ότι διπλό τοίχωμα τζαμίων ήταν ικανό για την μείωση της απαιτούμενης θέρμανσης γοθτικού τύπου θερμοκηπίου κατά 23%.

Οι Zhang et al., (1996) στο πείραμα τους εξαιτίας της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στο ισοζύγιο ενέργειας, η κατανάλωση της ενέργειας εξετάστηκαν ξεχωριστά για την μέρα και την νύκτα. Η ενέργεια που προέρχεται από το φως δεν μπορεί να αγνοηθεί. Τα υλικά κάλυψης είναι δυνατό να συγκριθούν μόνο όταν βρίσκονται στις ίδιες συνθήκες. Σαν μάρτυρα χρησιμοποίησαν θερμοκήπιο με γυαλινη οροφή. Η συγκριτική μελέτη έδειξε, και όταν οι θερμοκουρτίνες ήταν κλειστές σε όλα τα θερμοκήπια, ότι η εξικονόμηση ενέργειας ήταν κοντά στο 44-48 %. Για τα θερμοκήπια τα οποία ήταν καλυμμένα με το αντι-fog διπλό κάλυμμα και το θερμικό (IR) διπλό κάλυμμα σε σύγκριση με αυτό με την γυαλινη οροφή. Κατα την διάρκεια της νύκτας με τις θερμοκουρτίνες πλέον τραβηγμένες μόνο στο γυαλινο θερμοκήπιο. Καταναλώθηκε μόνο 24-40 % στο διπλό με το αντι - fog φύλλο και για το διπλό με το θερμικό φύλλο (IR) η κατανάλωση ήταν περίπου 7-28 % περισσότερη με αυτη στο θερμοκήπιο με την γυαλινη οροφή. Όταν χρησιμοποιήθηκαν οι θερμοκουρτίνες σε όλα τα θερμοκήπια, οι μετρήσεις έδειξαν πως για το διπλό αντι-fog η κατανάλωση ήταν μειωμένη σε σχέση με τη γυαλινη οροφή κατά 10 % ενώ το διπλό με θερμικό φύλλο (IR) βρέθηκε να είναι κατά 15 % περίπου μειωμένη η κατανάλωση ενέργειας. Όταν η θερμοκουρτίνα ήταν σε λειτουργία ακόμα και στα πλαστικά κατά την διάρκεια της νύκτας, η κατανάλωση ενέργειας ολόκληρη την ημέρα ήταν πάντα χαμηλότερη από το γυαλινο.

Επίσης, Οι Zhang et al., το 1996 στο ίδιο πείραμα για να καταγράψουν και να συγκρίνουν την κατανάλωση ενέργειας του μονού σε σχέση με τα διπλά θερμοκήπια χρησιμοποίησαν μια διαφορετική προσέγγιση με το συντελεστή απωλειών. Έδειξαν ότι ο συντελεστής απωλειών στο διπλό-αντι-fog με το διπλο IR θερμικό φύλλο ήταν 3.4 και 2.9 W m⁻² C⁻¹ αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι η ταχύτητα του ανέμου και οι συνθήκες του ουρανού δηλαδή αν ήταν καθαρός ή συννεφιασμένος επηρεάζουν τις τιμές που παίρνει το U. Γενικά, κάτω από καθαρές καιρικές συνθήκες αναμενόμενο είναι να υπάρχει μεγάλη απώλεια στην θέρμανση σε αντίθεση με τις συννεφιασμένες μέρες.

Οι Garzoli και Blackwell (1987) υπολόγισαν τις τιμές των απωλειών ενέργειας συγκρίνοντας ένα θερμοκήπιο με μονό πλαστικό κάλυμμα και ένα θερμοκήπιο με διπλό πλαστικό κάλυμμα με τις ίδιες συνθήκες, έδειξαν πως υπήρχε εξοικονόμηση ενέργειας σε μια ακτίνα γύρω στο 19 - 40 % με έναν μέσο όρο 32 %. Παρ' όλα αυτά απφεύγονταν η συμπίεση του κενού με εσωτερικό αέρα, και γίνονταν μόνο με εξωτερικό, ο οποίος θα είχε μικρά ποσοστά

υγρασίας με αποτέλεσμα λιγότερη συμπύκνωση στην οροφή του θερμοκηπίου άρα και υψηλότερη εκπομπή ακτινοβολίας άλλο ένα πλεονέκτημα. Οι Mulder και de Vries δήλωσαν πως η εξοικονόμηση ενέργειας σε αντίστοιχα πειράματα ήταν κοντά στο 30-35 % και ο Hesse στην έρευνά του δηλώσε εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 40 %.

Οι Papadopoulos και Hao (1997) μελέτησαν την επίδραση του μονού στρώματος γυαλίου, του διπλού φουσκωτού πολυαιθυλενίου και του άκαμπτου ακρυλικού, ως καλύμματα θερμοκηπίου καλλιέργειας τομάτας για την ανάπτυξη, την παραγωγή και την κατανάλωση ενέργειας. Στο κομμάτι της ενέργειας ωστόσο η έρευνα έδειξε εξοικονόμηση ενέργειας στα θερμοκήπια που ήταν καλυμμένα με ακρυλικό και το διπλό πλαστικό της τάξεως του 30 % έναντι του γυαλίου. Γενικότερα τονίστηκε, ότι αλλαγές στα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων ακόμα και ο σχεδιασμός τους σχετίζεται με την αλλαγή του μικροκλίματος του θερμοκηπίου. Η αλλαγή των περιβαλλοντικών συνθηκών σχετίζεται άμεσα με την αύξηση και ανάπτυξη της καλλιέργειας. Επομένως η επιλογή ενεργειακά αποδοτικότερων υλικών κάλυψης δεν βασίζεται μόνο στις εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και στην επίδραση τους στο μικροκλίμα του θερμοκηπίου.

2.1.4 Χρήση μονωτικού αφρού για την εξοικονόμηση ενέργειας στο διπλό κάλυμμα

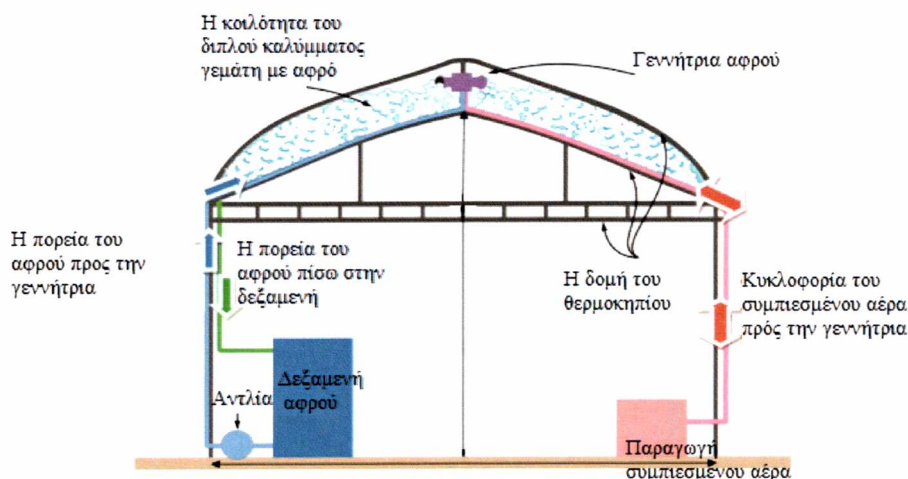
Σημαντική ενέργεια απαιτείται για να διατηρηθεί ένα κατάλληλο κλίμα για την επιτυχή παραγωγή της καλλιέργειας του θερμοκηπίου σε περιοχές όπως ο Καναδάς. Δυστυχώς, η αύξηση των τιμών για την ενέργεια κατα την τελευταία δεκαετία έχει επηρεάσει αρνητικά την παγκόσμια οικονομία, συμπεριβαλομένης και της βιομηχανίας των θερμοκηπίων. Η κατανάλωση ενέργειας σήμερα αντιπροσωπεύει περισσότερο απο το 25 % του συνολικού κόστους παραγωγής στο Καναδά. Επιπλέον κόστος, μπορεί να δημιουργηθεί με την χρήση των ορυκτών καυσίμων για την θέρμανση των θερμοκηπίων όπου μπορεί να δημιουργηθεί επιπλέον μόλυνση του περιβάλλοντος και εκπομπη αερίων.

Τα διπλά φύλλα πολυαιθυλενίου γίναν ευρέως διαδεδομένα στη χρήση των διάφανων υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων (Giacomelli and Roberts, 1993). Αναπτύσσοντας έτσι, ένα μονωτικό υλικό με αντίσταση και ακαμψία και χαμηλή τιμή του U θα μειώνονταν η μεταφορά

ενέργειας του αέρα απο συναγωγή (Sheard, το 1997, Baille et al., το 2006) και άλλες μορφές όπως θερμική αγωγή και ακτινοβολία (Plaisier, 1992).

Τα συστήματα του αφρού αναπτύχθηκαν για την βελτίωση της μόνωσης των θερμοκηπίων στα τέλη της δεκαετίας του 70 κατά την διάρκεια της πρώτης ενεργειακής κρίσης. Ο αφρός παράγεται και απλώνεται στην κοιλότητα μεταξύ των διπλών φύλλων του πολυαιθυλενίου στην οροφή του θερμοκηπίου, ο αφρός όταν πέφτει στραγγίζεται σε μια δεξαμενή αποθήκευσης, για να ξανα χρησιμοποιηθεί. Αν και οι θεωρητικοί υπολογισμοί προβλέπουν ένα μεγάλο δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας (πάνω 85%, Groh, 1977), οι πραγματικές δοκιμές έδειξαν περίπου 20 εως 40 % εξοικονόμηση ενέργειας. Οι Papadopoulos και Hao (2011) στη μελέτη τους απέδειξαν ότι ο αφρός είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για την εξοικονόμηση ενέργειας του θερμοκηπίου. Ο μονωτικός αφρός μείωσε την απώλεια θερμότητας προς τα έξω κατά 31%, 29%, 36%, 42%, 62%, και 58% για τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο και αντίστοιχα. Η μονωτική συμπεριφορά του αφρού ποικίλει ανάμεσα στους μήνες από Δεκέμβριο έως Μάιο. Αυτή η διακύμανση ξεκάθαρα σχετίζεται με την εξωτερική θερμοκρασία.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η λειτουργία του συστήματος :



Εικόνα 2.4 Η πορεία του μονωτικού αφρού στο θερμοκήπιο.

Σκοπός του δεύτερου κεφαλαίου ήταν να γίνει μια θεωρητική παρουσίαση του πειράματος και να παρουσιαστούν έρευνες που έγιναν στο παρελθόν σχετικά με την

εξοικονόμηση ενέργειας στα θερμοκήπια με την χρήση διάφορων υλικών κάλυψης. Έτσι ώστε, τα αποτελέσματα του πειράματος να συγκριθούν με τα αποτελεσμάτα των παλαιότερων ερευνών στο κεφάλαιο 5.

3 Υλικά και μέθοδοι

3.1 Εγκατάσταση του πειράματος

Το πείραμα της διπλωματικής εργασίας, έγινε στο αγρόκτημα του πανεπιστημίου Θεσσαλίας, το οποίο βρίσκεται λίγο έξω από την πόλη του βόλου, σε σχετικά κοντινή απόσταση από αυτήν. Το πείραμα έγινε την χειμερινή περίοδο του 2013, από τις 6 Σεπτεμβρίου όπου και έγινε η εγκατάσταση της καλλιέργειας μέχρι και τα τέλη του Φεβρουαρίου.

3.1.1 Τα θερμοκήπια

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν δύο θερμοκήπια. Τα θερμοκήπια είχαν έκταση 160 m^2 με τις παρακάτω διαστάσεις :

- Μήκος 20 m
- Πλάτος 8 m,
- Ύψος ορθοστάτη 2.4 m,
- Ύψος κορφιά 4.1 m.

Ο σκελετός ήταν ο ίδιος και για τα δύο θερμοκήπια, ο οποίος ήταν κατασκευασμένος από γαλβανισμένο χάλυβα. Το πάτωμα των θερμοκηπίων ήταν καλυμμένο με ένα λευκό πλαστικό κάλυμα εδάφους. Ήταν εφοδιασμένα με τον ίδιο απαραίτητο εξοπλισμό, σύστημα λίπανσης, αερισμού και θέρμανσης. Η διαφορά στα δύο θερμοκήπια ήταν τα πλαστικά με τα οποία ήταν καλυμμένη η οροφή, άλλωστε είναι και το βασικό σημείο για το οποίο γίνεται το πείραμα. Έτσι λοιπόν, για το πρώτο θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκε ένα απλό πλαστικό φύλλο πολυαιθυλενίου PE για μάρτυρας. Στο δεύτερο θερμοκήπιο χρησιμοποιήθηκε διπλό φουσκωτό πλαστικό φύλλο.

3.1.1.1 Αερισμός

Και τα δύο θερμοκηπία ήταν εξοπλισμένα με ανοίγματα-παράθυρα, οροφής και πλευρικά αντίστοιχα. Σχεδιασμένα σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζει ο κανονισμός αναλόγως με το συντελεστή που αντιστοιχεί σε κάθε γεωγραφική περιοχή στην οποία πρόκειται να κατασκευαστούν. Πιο συγκεκριμένα τα πλευρικά ανοίγματα είχαν διαστάσεις 15 m πλάτος και 0.9 m ύψος ενώ της οροφής ένα ενιαίο με διαστάσεις 20 m μήκος. Τα παράθυρα ελέγχονταν ηλεκτρονικά μέσω υπολογιστή.

3.1.1.2 Θέρμανση

Όπως και στον αερισμό, έτσι για την θέρμανση τα θερμοκήπια ήταν εξοπλισμένα με τον ίδιο ακριβώς εξοπλισμό. Ο βασικός τρόπος θέρμανσης ήταν μέσω ενός αερόθερμου το οποίο βρίσκονταν στην οροφή των θερμοκηπίων. Σε περίπτωση που οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή ήταν ψυχρές, τα θερμοκήπια ήταν σχεδιασμένα να έχουν και ένα συμπληρωματικό εξοπλισμό θέρμανσης, ένα σύστημα υπεδαπέδιον σωληνώσεων. Οι σωλήνες βρίσκονταν κάτω από την καλλιέργεια. Και στα δύο θερμοκήπια υπήρχε από ένας καυστήρας πετρελαίου 48.8 KW και ένας λέβητας ζεστού νερού όπου τροφοδοτούσε το αερόθερμο και τους σωλήνες.

3.2 Εγκατάσταση της καλλιέργειας

Το πείραμα έγινε πάνω στη τομάτα (*Lycopersicon esculentum*). Η μεταφύτευση για το χειμερινό κομμάτι του πειράματος έγινε στις 6 Σεπτεμβρίου του 2013 πάνω σε υπόστρωμα πετροβάμβακα. Στα θερμοκήπια υπήρχαν 8 σειρές με 40 φυτά σε κάθε σειρά. Με αποστάσεις 0.3 m επι της γραμμής και 0.7 m μεταξύ των σειρών. Με πυκνότητα φύτευσης 2.1 φυτά/m².

3.2.1 Άρδευση και λίπανση

Και στα δύο θερμοκήπια η καλλιέργεια ήταν υδροπονική. Η άρδευση και λίπανση γινόταν με στάγδην άρδευση, η ώρα και η δόση της ρυθμιζόταν από την εξίσωση της εξατμισοδιαπνοής κατά Penman - Monteith στην οποία συνυπολογίζονται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, το έλλειμα κορεσμού, η θερμοκρασία καθώς και η φυλλική επιφάνεια της καλλιέργειας. Ενώ για την λίπανση της καλλιέργειας υπήρχε ειδικό λογισμικό για να ρυθμίζει την δόση και την ώρα της λίπανσης ανάλογα με τις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων, της αγωγιμότητας και του pH του διαλύματος.

<i>EC</i>	2.1	dS/m			
<i>pH</i>	5.5		C_{NaCl}	2	mmol/L
<i>K</i>	8	mmol/L	C_{Fe}	15	μmol/L
<i>Ca</i>	3	mmol/L	C_{Mn}	10	μmol/L
<i>Mg</i>	1.6	mmol/L	C_{Zn}	5	μmol/L
<i>NO3</i>	13.2	mmol/L	C_{Cu}	0.8	μmol/L
<i>NH4</i>	1.8	mmol/L	C_B	24	μmol/L
$H_2PO_4^-$	1.3	mmol/L	C_{Mo}	0.5	μmol/L

Πίνακας 3.1. Η συγκέντρωση των μακροστοιχείων και ιχνοστοιχείων του θρεπτικού διαλύματος.

$$\lambda \times E = \alpha \times \{1 - \exp(-K_c \times LAI)\} \times R_n + \beta \times LAI \times D_i - (\text{Penman - Monteith})$$

E - ρυθμός διαπνοής kg/m²ls

K_c - καλλιεργητικός συντελεστής (εξαρτάται από το είδος του φυτού)

LAI - δείκτης φυλλικής επιφάνειας

R_n - πυκνότητα ροής της καθαρής ακτινοβολίας W/m²

D_i - έλλειμμα κορεσμού του αέρα του θερμοκηπίου kPa

α και β - είναι σταθερές παράμετροι που εξαρτώνται από το είδος της καλλιέργειας και τις συνθήκες του περιβάλλοντος του θερμοκηπίου και προσδιορίζονται στατιστικά.

3.3 Καλλιεργητικές τεχνικές

3.3.1 Υποστύλωση

Τα φυτά και στα δύο θερμοκήπια αναπτύχθηκαν με τις συνηθισμένες καλλιεργητικές πρακτικές όπως είναι το μονοστέλεχος σύστημα διαμόρφωσης. Για την υποστύλωση των φυτών

χρησιμοποιήθηκαν πλαστικά κλίπ και σπάγκος, με τα οποία όταν τα φυτά θα ψηλώσουν αρκετά, θα είναι εύκολο να χαμηλώσουν επίπεδο ξετυλίγοντας τον σπάγκο και έτσι να δέχονται πιο εύκολα τις καλλιεργητικές φροντίδες.

3.3.2 Κλάδεμα

Κάθε εβδομάδα κόβονταν οι πλάγιοι βλαστοί των φυτών, και τα δύο θερμοκήπια δέχονταν την ίδια μεταχείριση. Με την πρώτη συγκομιδή των καρπών, έγινε καθαρισμός των κατώτερων φύλλων του βλαστού για τον καλύτερο αερισμό της καλλιέργειας και τη αποφυγή μυκητολογικών ασθενειών. Επίσης έγινε ένα κορυφολόγημα. Υποχρεωτική ήταν και η απομάκρυνση των κομμένων στελεχών έξω από τα θερμοκήπια καθώς παρείχαν ιδανικό περιβάλλον σε έντομα όπως ο θρίπας και ο αλευρώδης. Σε κάθε ανθοταξία αφήνονταν να αναπτυχθούν μέχρι πέντε καρποί.

3.3.3 Έλεγχος ασθενειών και εχθρών

Στην αρχή της καλλιεργητικής περιόδου έγινε προληπτικός ψεκασμός της καλλιέργειας και στα δύο θερμοκήπια για την αποφυγή προσβολής από περονόσπορο. Στην περίπτωση εμφάνισης καρπών που είχαν προσβληθεί από ξηρή σήψη κορυφής (τάπα) αφήνονταν στην ανθοταξία να αναπτυχθούν μέχρι 3 καρποί. Για τον έλεγχο των εντόμων, αλευρώδη και θρίπα χρησιμοποιήθηκαν κίτρινες και μπλέ παγίδες ενώ παγίδες με νερό χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της *Tuta absoluta*.



Εικόνα 3.1. Τα άνθη της τοματίας.



Εικόνα 3.2. Η καλλιέργεια της τομάτας στο θερμοκήπιο Double.

3.4 Μετρήσεις

3.4.1 Μετρήσεις κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση

Και στα δύο θερμοκήπια, για να γίνει μέτρηση της κατανάλωσης της ενέργειας χρησιμοποιήθηκαν θερμοζεύγη χαλκού - κοσταντάνης τα οποία ήταν τοποθετημένα στην εξωτερική πλευρά των σωλήνων θέρμανσης. Η μέτρηση της ροής του νερού έγινε με ροόμετρα όταν το σύστημα μέτρησης ήταν σε λειτουργία. Η καταγραφή των μετρήσεων γινόταν κάθε 5 λεπτά στο data logger με φορητό υπολογιστή.

Για την αξιολόγηση της ενέργειας χρησιμοποιήθηκε ο τύπος :

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T / (600 \cdot 160)$$

όπου :

Q : αποδιδόμενη ενέργεια ανά 10 λεπτά ανά m^2 . (W)

C_p : ειδική θερμότητα του νερού.

m : ποσότητα νερού στο 10 λεπτό.

DT : Διαφορά θερμοκρασίας του νερού στου σωλήνες είσοδου και εξόδου.

Για το υπολογισμό του συντελεστή ολικών απωλειών θερμότητας :

$$U = Q / DT (in - out) * Ac / Ag (W / m^2 / ^\circ C)$$

όπου :

Q : αποδιδόμενη ενέργεια (W)

DT : (in - out)

Ac : επιφάνεια καλύμματος οροφής (m²)

Ag : επιφάνεια του εδάφους (m²)

Τέλος, γινόταν καταγραφή της κατανάλωσης καυσίμου για την θέρμανση.

3.4.2 Αγρονομικές μετρήσεις

3.4.2.1 Αγρονομικές μετρήσεις (Μη καταστροφικές)

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε εβδομαδιαία βάση σχεδόν ανά δέκα μέρες. Πάρθηκαν συνολικά εννιά μετρήσεις, οι οποίες αφορούσαν τον ρυθμό αύξησης και ανάπτυξης των φυτών. Αύξηση ορίζεται ως η αύξηση της βιομάζας και των διαστάσεων του φυτού, ενώ ανάπτυξη ορίζεται ως η ωρίμανση των οργάνων του φυτού. Και στα δύο θερμοκήπια επιλέχτηκαν σε κάθε μέτρηση οχτώ φυτά εκ των οποίων τα τέσσερα ήταν βασικά και τα τα άλλα τέσσερα τυχαία σε κάθε μέτρηση.

Οι αγρονομικές μετρήσεις αφορούσαν τα παρακάτω :

- Ύψος βλαστού
- Μήκος φύλλων
- Αριθμός φύλλων
- Αριθμός ανθοταξιών
- Αριθμός εμπορεύσιμων καρπών

- Συνολικό βάρος των εμπορεύσιμων καρπών

Οι μετρήσεις του ύψους και του μήκους γινόταν με εύκαμπτη πλαστική μετροταινία. Βασικό σε κάθε μέτρηση ήταν ότι η μέτρηση γινόταν από το ανώτερο σημείο του υποστρώματος.

3.4.2.2 Αγρονομικές μετρήσεις (Καταστροφικές)

Έγιναν τέσσερις καταστροφικές μετρήσεις περίπου ανά μήνα. Σε κάθε μέτρηση επιλέγονταν κάθε φορά 3 φυτά από κάθε θερμοκήπιο, από τα οποία αρχικά γινόταν η μέτρηση του ύψους του βλαστού, του μήκους των φύλλων, ο αριθμός των φύλλων των ανθοταξιών και των καρπών. Ύστερα αποστυλώνονταν, και γινόταν μέτρηση για το καθένα, το νωπό και το ξηρό βάρος. Τα φυτικά μέρη και όργανα κόβονταν και τοποθετούνταν ξεχωριστά στο φούρνο για 48 ώρες στους 80 °C για να στεγνώσουν και να μετρηθεί το ξηρό βάρος. Το ζύγισμα γινόταν σε ηλεκτρονικές ζυγαρίες στο πανεπιστήμιο και τους χώρους του αγροκτήματος του βελεστίνου. Τέλος, μετά από κάθε καταστροφική μέτρηση γινόταν και η μέτρηση της φυλλικής επιφάνειας των κομμένων φυτών.



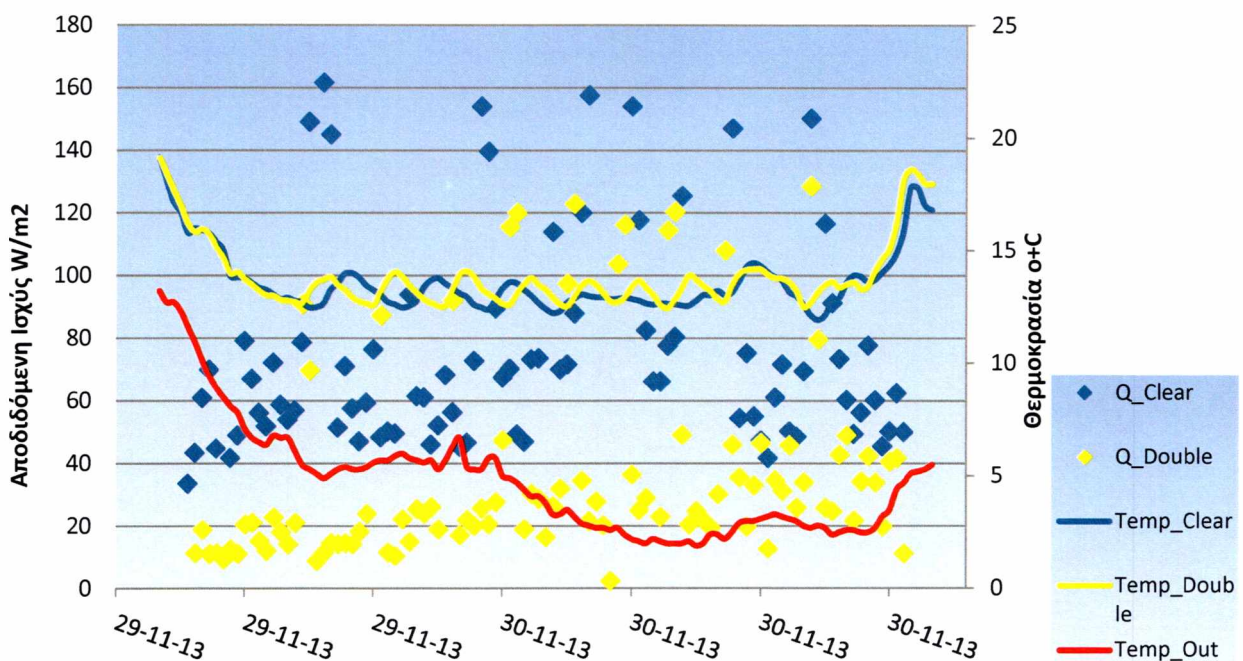
Εικόνα 3.3. Τρεις καρποί σε κάθε ανθοταξία.

4. Αποτελέσματα

4.1 Κατανάλωση ενέργειας

Στα διαγράμματα παρακάτω γίνεται η παρουσίαση της πορείας της θερμοκρασίας τις βραδινές ώρες καθώς και η ενεργειακή κατανάλωση στα θερμοκήπια Double και Clear, για το διάστημα των ημερών που ήταν σε λειτουργία η θέρμανση. Επίσης παρουσιάζονται πίνακες με την συνολική αποδιδόμενη ενέργεια για κάθε μέρα ξεχωριστά, καθώς και η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται.

- 29-30/11/2013

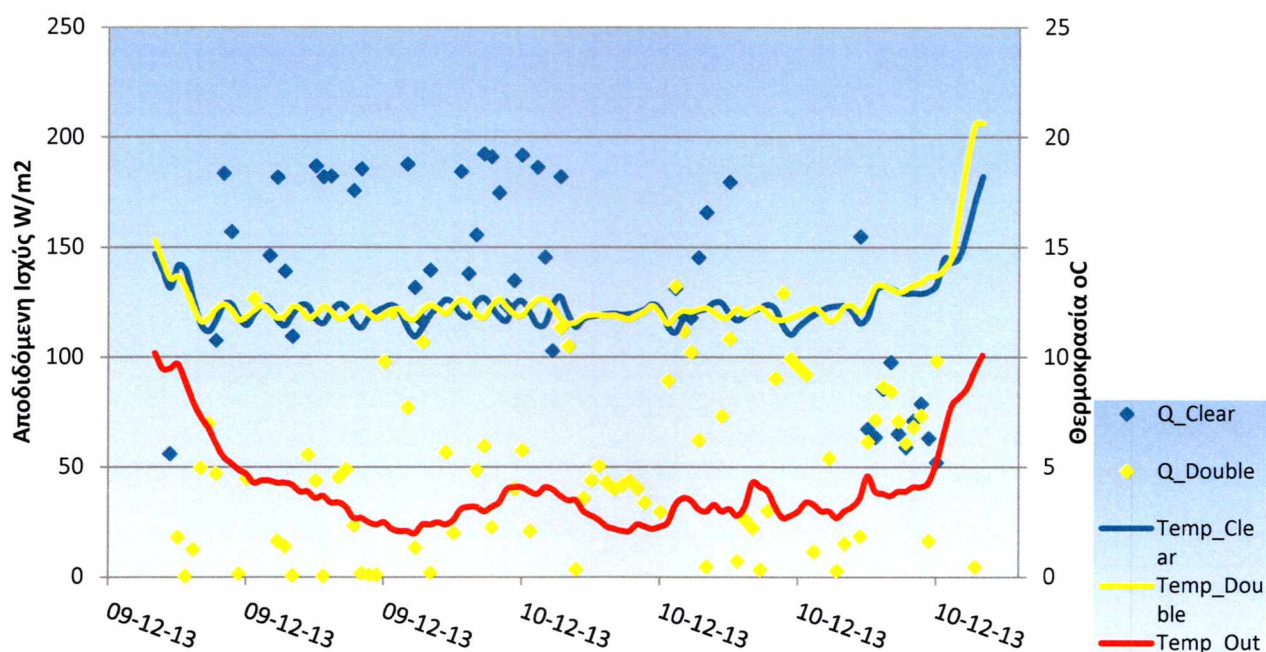


Διάγραμμα 4.1.1 Πορεία της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα (Out), και των δυο θερμοκηπίων Clear και Double και της ισχύος (Q) αποδίδονται απο το σύστημα θέρμανσης κατα τις βραδινές ώρες στις 29-30/11/13.

Αποδιδόμενη ενέργεια σε KJ/m^2			
Ημερομηνία	Clear	Double	Εξοικονόμηση ενέργειας
29-30/11/2013	3795.07	2323.26	38.8%

Πίνακας 4.1.1 Αποδιδόμενη ενέργεια του συστήματος θέρμανσης για την περίοδο 29-30/11/2013 και την υπολογισμένη εξοικονόμηση ενέργειας.

• 9-10/12/2013

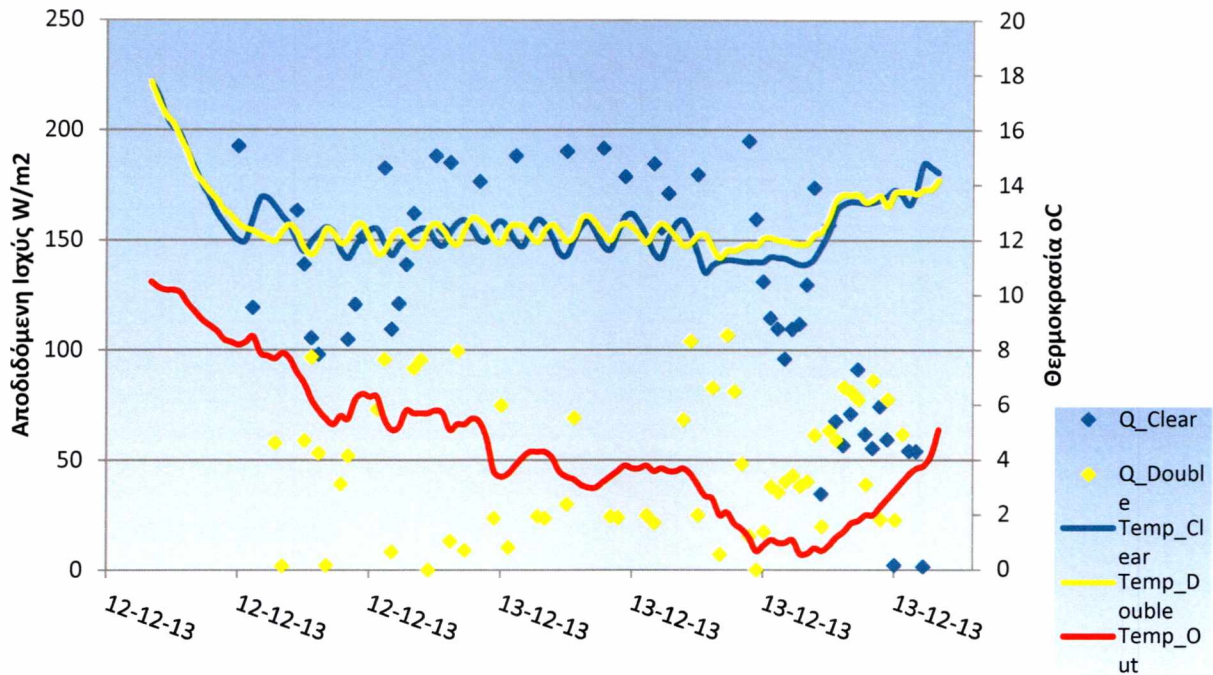


Διάγραμμα 4.1.2 Πορεία της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα (Out), και των δυο θερμοκηπίων Clear και Double και της ισχύος (Q) αποδίδονται απο το σύστημα θέρμανσης κατα τις βραδινές ώρες στις 9-10/12/13.

Αποδιδόμενη ενέργεια σε KJ/m ²			
Ημερομηνία	Clear	Double	Εξοικονόμηση ενέργειας
9-10/12/2013	3830.77	2444.41	36.1%

Πίνακας 4.1.2 Αποδιδόμενη ενέργεια του συστήματος θέρμανσης για την περίοδο 9-10/12/2013 και την υπολογισμένη εξοικονόμηση ενέργειας.

• 12-13/12/2013

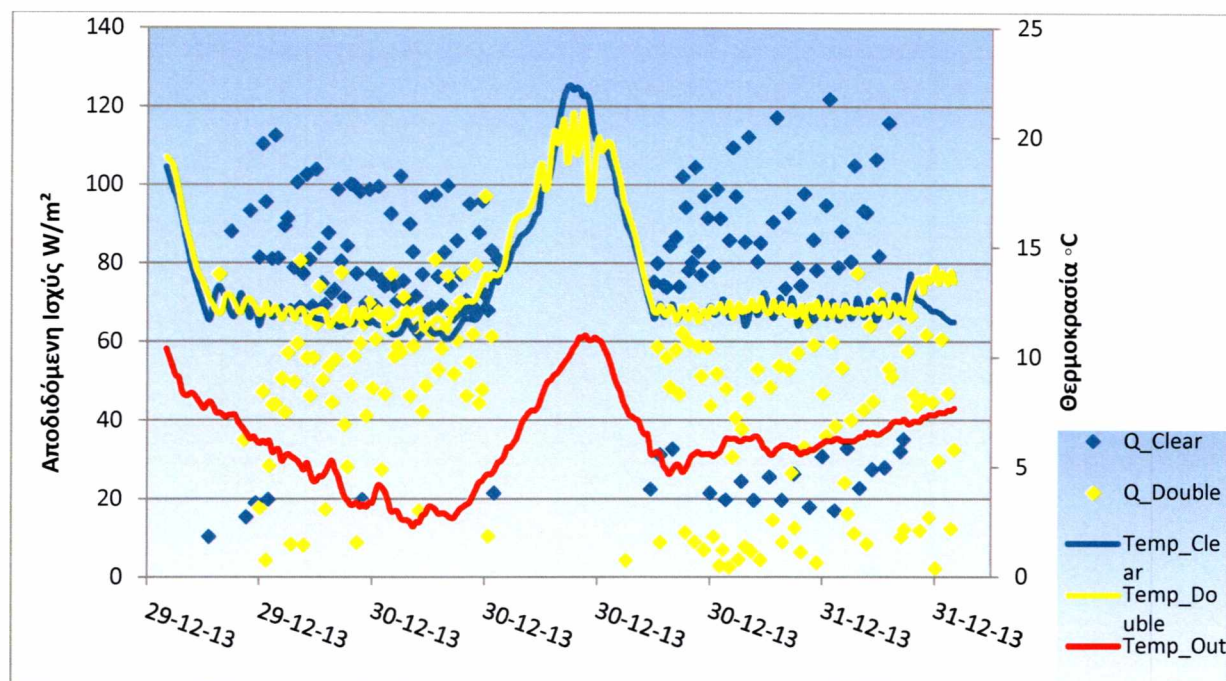


Διάγραμμα 4.1.3 Η Πορεία της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα (Out), και των δυο θερμοκηπίων Clear και Double και της ισχύος (Q) αποδίδονται απο το σύστημα θέρμανσης κατα τις βραδινές ώρες στις 12-13/12/13.

Αποδιδόμενη ενέργεια σε KJ/m ²			
Ημερομηνία	Clear	Double	Εξοικονόμηση ενέργειας
12-13/12/2013	2835.49	1653.24	55%

Πίνακας 4.1.3 Αποδιδόμενη ενέργεια του συστήματος θέρμανσης για την περίοδο 12-13/12/2013 και την υπολογισμένη εξοικονόμηση ενέργειας.

• 29-31/12/2013



Διάγραμμα 4.1.4 Η Πορεία της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα (Out), και των δυο θερμοκηπίων Clear και Double και της ισχύος (Q) αποδίδονται απο το σύστημα θέρμανσης κατα τις βραδινές ώρες στις 29-31/12/13.

Αποδιδόμενη ενέργεια σε KJ/m ²			
Ημερομηνία	Clear	Double	Εξοικονόμηση ενέργειας
29-30/12/2013	3809.96	2406.02	36,8%
30-31/12/2013	2770.84	1396.59	49,5%
Σύνολο	6580.80	3802.61	42,2%

Πίνακας 4.1.4 Αποδιδόμενη ενέργεια του συστήματος θέρμανσης για την περίοδο 29-31/12/2013 και την υπολογισμένη εξοικονόμηση ενέργειας.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, το θερμοκήπιο με το διπλό φουσκωτό κάλυμμα σε σχέση με αυτό με το μονό κάλυμμα αποδείχθηκε λιγότερο ενεργοβόρο σε ποσοστό 36-55%. Επίσης, για τις παραπάνω ημέρες υπολογίστηκε και ο συντελεστής απωλειών για τα δύο θερμοκήπια. Στον πίνακα 4.1.5 φαίνεται αναλυτικά ο συντελεστής απωλειών για το κάθε θερμοκήπιο.

Συντελεστής απωλειών θερμότητας U (W/m²/°C)

Ημερομηνία	Clear	Double
29-30/11/2013	5.07	2.23
9-10/12/2013	8.81	3.63
12-13/12/2013	8.74	3.64
29-30/12/2013	6.04	3.75
30-31/12/2013	6.41	3.22
ASAE Standard	6.2	4 - 2.8(IR)

Πίνακας 4.1.5. Ο συντελεστής απωλειών θερμότητας (U) των δύο θερμοκηπίων τις ημέρες των μετρήσεων της ενέργειας.

Σύμφωνα και με τον πίνακα 4.1.5 ο συντελεστής απωλειών θερμότητας φαίνεται να συμφωνεί με το συντελεστή που δίνει η ASAE (American Society of Engineers) για τα συγκεκριμένα υλικά κάλυψης.

Στην υποθετική ύπαρξη θερμοκηπίου έκτασης ενός εκταρίου (10000 m²) στην περιοχή του βελεστίνου με ύψος 5.5 m με ελάχιστη θερμοκρασία 12 °C η ενέργεια που θα καταναλώναμε για την θέρμανση του θα ήταν 19812 MJ/ημέρα για κάλυψη με διπλό φουσκωτό φύλλο και 36023 MJ/ημέρα για κάλυψη με απλό πλαστικό φύλλο.

	Θερμική ισχύς	Ποσότητα καυσίμου	Τιμή	Κόστος €
Ελαφρύ πετρέλαιο θέρμανσης	35.8 MJ/lit	1006.24	1.3 €/lt	1308
Φυσικό αέριο 93% μεθάνιο	37.6 MJ/lit	958.07	0.8 €/lt	766
Μαζούτ	39.1 MJ/lit	921.31	0.71 €/lt	654
Μπριγκέτες	20.2 MJ/Kg	1783.34	0.25 €/lt	445
Ρεύμα	3.6 MJ	10006.52	0.09 €/lt	900

Πίνακας 4.1.6. Ποσότητες καυσίμων και το κόστος που απαιτούν για την θέρμανση μιας ημέρας σε θερμοκήπιο με απλό κάλυμμα.

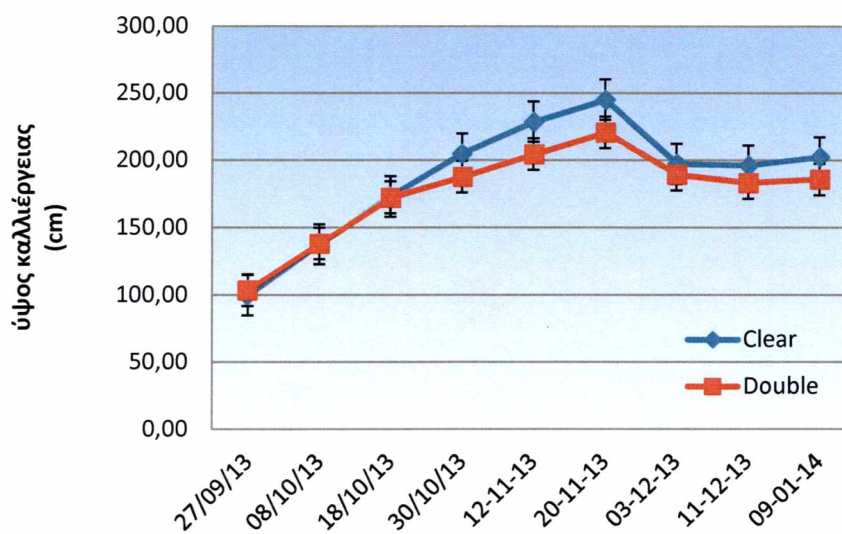
	Θερμική ισχύς	Ποσότητα καυσίμου	Τιμή	Κόστος €
Ελαφρύ πετρέλαιο θέρμανσης	35.8 MJ/lit	553.40	1.3 €/lt	719
Φυσικό αέριο 93% μεθάνιο	37.6 MJ/lit	526.91	0.8 €/lt	421
Μαζούτ	39.1 MJ/lit	506.91	0.71 €/lt	359
Μπριγκέτες	20.2 MJ/Kg	980.79	0.25 €/lt	245
Ρεύμα	3.6 MJ	5503.33	0.09 €/lt	495

Πίνακας 4.1.6. Ποσότητες καυσίμων και το κόστος που απαιτούν για την θέρμανση μιας ημέρας σε θερμοκήπιο με διπλό φουσκωτό κάλυμμα.

4.2 Αγρονομικές μετρήσεις (μη καταστροφικές)

Παρακάτω ακολουθούν τα διαγράμματα που δείχνουν την αύξηση της καλλιέργειας σε συνάρτηση με το χρόνο. Τα διαγράμματα που αφορούν την πορεία της καλλιέργειας περιέχουν τιμές για το ύψος και τον αριθμό των ανθοταξίων σε σχέση πάντα με το χρόνο.

- Ύψος :



Διαγράμμα 4.2.1 Το ύψος των φυτών σε συνάρτηση με το χρόνο.

Το διάγραμμα 4.2.1 παρουσιάζει το μέσο όρο του ύψους των φυτών και την πορεία του στο χρόνο. Στον πίνακα 4.2.1 παρουσιάζονται αναλυτικά οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις του ύψους των φυτών του clear (μάρτυρας) και του double (διπλό φουσκωτό) στις ημερομηνίες που έγινε η καταγραφή των μετρήσεων.

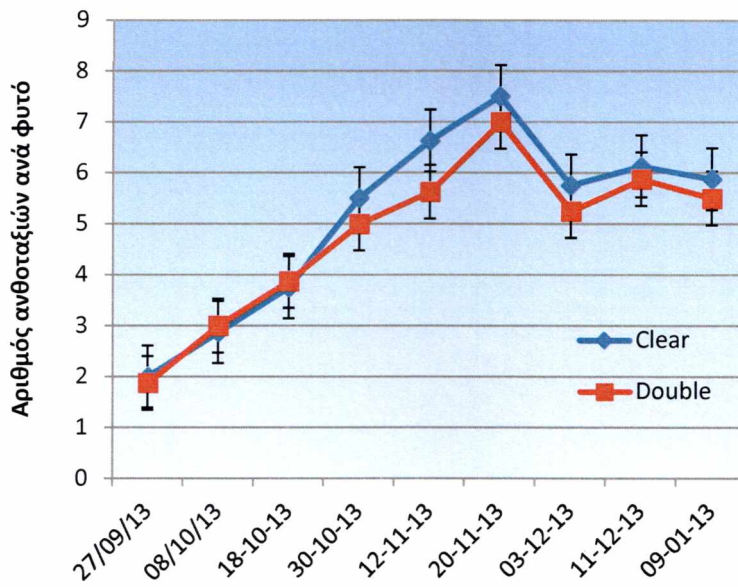
Ημερομηνία	Clear	Double
27-09-13	99.57±5.71	103.38±4.63
08-10-13	137.56±11.95	138.04±7.88
18-10-13	172.99±12.46	172.24±10.52
30-10-13	204.79±12.46	187.55±25.99
12-11-13	228.56±7.50	204.41±22.77
20-11-13	245.00±13.86	220.65±17.69
03-12-13	197.21±15.34	189.20±23.55
11-12-13	196.03±10.16	183.11±17.32
09-01-14	202.31±8.59	185.76±15.48

Πίνακας 4.2.1 Οι ημερομηνίες των μετρήσεων μαζί με τους μέσους όρους και τυπικές αποκλίσεις.

Από τον πίνακα 4.2.1 και το διάγραμμα 4.2.1 τα φυτά παρουσίαζαν μια ομαλή ανάπτυξη μέχρι τον Νοέμβριο με πρωτοπώρο το θερμοκήπιο με το απλό φύλλο πολυαιθυλενίου (clear) έναντι του διπλού. Η μείωση που παρατηρείται στο ύψος από τις 20 Νοεμβρίου μέχρι και το τέλος της καλλιέργειας είναι λόγω του κορυφολογήματος που έγινε στη καλλιέργεια η οποία είχε αναπτυχθεί αρκετά επειδή επικρατούσαν ήπιες καιρικές συνθήκες για την εποχή. Ωστόσο, και μετά το κορυφολόγημα η καλλιέργεια στο απλό φύλλο πολυαιθυλενίου συνέχισε να έχει μεγαλύτερη ανάπτυξη σε σχέση με το διπλό κάλυμμα.

- **Αριθμός ανθοταξιών**

Το διάγραμμα 4.2.2 δείχνει τον μέσο όρο του αριθμού των ανθοταξιών ανά φυτό στα δύο θερμοκήπια με τις ημερομηνίες που έγιναν οι μετρήσεις.



Διάγραμμα 4.2.2 Οι ανθοταξίες ανά φυτό σε συνάρτηση με το χρόνο.

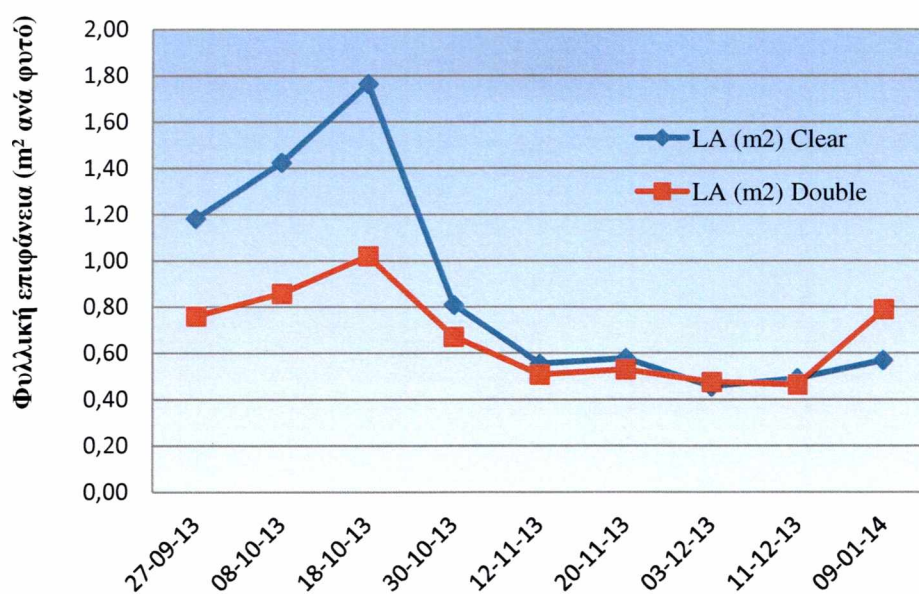
Από το διάγραμμα 4.2.2 αρχικά παρατηρείται μια φυσιολογική αύξηση του αριθμού των ανθοταξιών στο clear σε σχέση με το double μέχρι και τις 20 Νοεμβρίου, από εκεί και πέρα η μείωση που εμφανίζει ο αριθμός των ανθοταξιών είναι επειδή έγινε κορυφολόγημα της καλλιέργειας και στα δύο θερμοκήπια.



Εικόνα 4.2.1. Αναπτυγμένα άνθη τοματίας.

- Φυλλική επιφάνεια

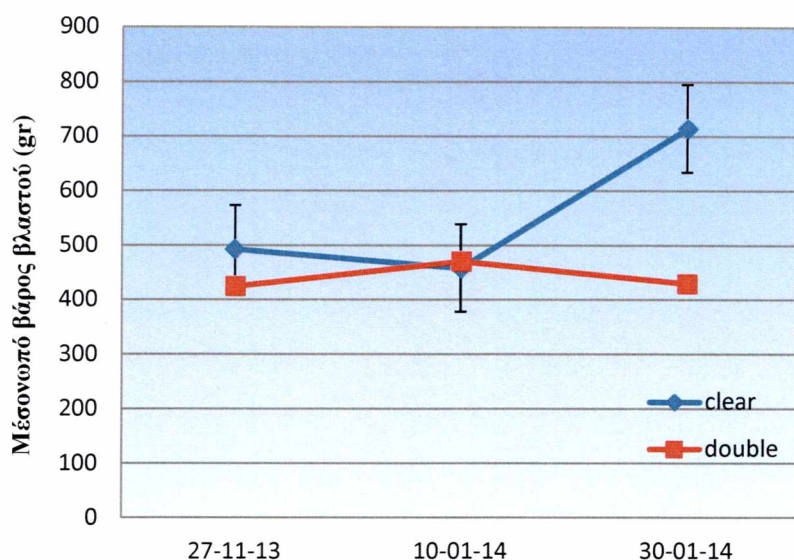
Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζονται ο μέσος όρος της φυλλικής επιφάνειας ανά φυτό για κάθε μεταχείριση (m^2 / φυτό) και ο δείκτης της φυλλικής επιφάνειας (m^2/m^2 εδάφους) στις μέρες μετά την μεταφύτευση.



Διάγραμμα 4.2.3 Η πορεία της φυλλική επιφάνεια στο χρόνο.

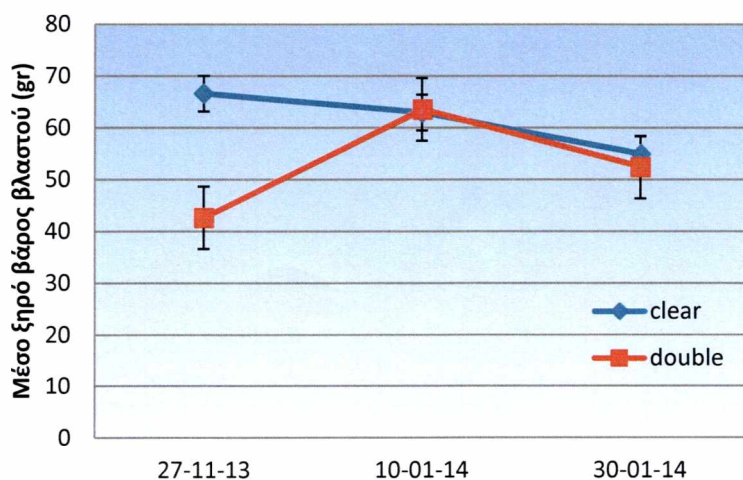
4.3 Αγρονομικές μετρήσεις (καταστροφικές)

Στο διάγραμμα 4.3.1 παρουσιάζεται το νωπό βάρος των βλαστών από τα φυτά που επιλέχθηκαν, από τα θερμοκήπια clear και double σε συνάρτηση με τον χρόνο δηλαδή τις τρεις ημερομηνίες που έγιναν οι καταστροφικές μετρήσεις.



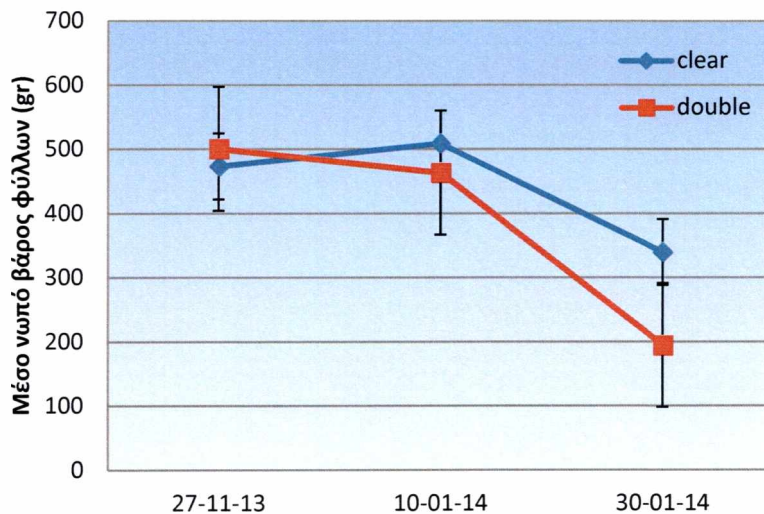
Διαγραμμα 4.3.1. Η πορεία του μέσου όρου του νωπού βάρους του βλαστού στο χρόνο.

Στο διάγραμμα 4.3.2 παρουσιάζεται η πορεία των μέσων τιμών του ξηρού βάρους των βλαστών των φυτών, από τα θερμοκήπια clear και double από τα οποία επιλέχθηκαν τα συγκεκριμένα φυτά που έγιναν οι καταστροφικές μετρήσεις.



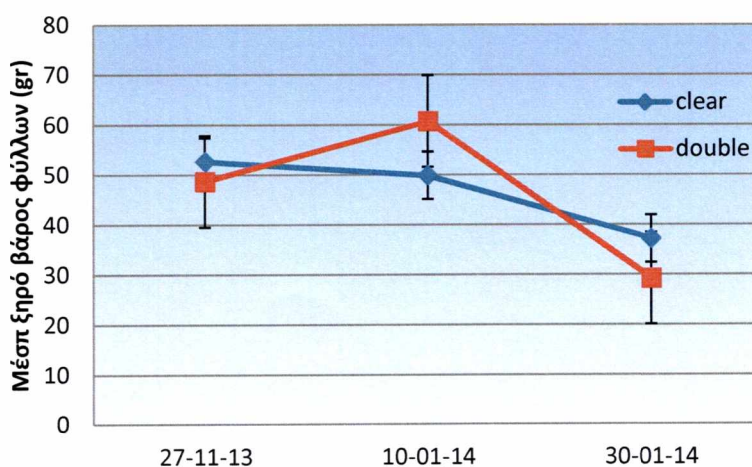
Διάγραμμα 4.3.2. Η πορεία του ξηρού βάρους του βλαστού στο χρόνο

Στο διάγραμμα 4.3.3 γίνεται σύγκριση των μέσων τιμών του νωπού βάρους των φύλλων και η πορεία τους προς το χρόνο, σύμφωνα με τις ημερομηνίες με τις οποίες που συλλέχθηκαν τα φυτά από τα δύο θερμοκήπια clear και double. Η μείωση του βάρους των φύλλων εξηγείται από την αφαίρεση των φύλλων στο κατώτερο επίπεδο του φυτού με σκοπό τον αποτελεσματικότερο αερισμό και ωρίμανση των καρπών.



Διάγραμμα 4.3.3. Η πορεία του νωπού βάρους των φυλλων στο χρόνο.

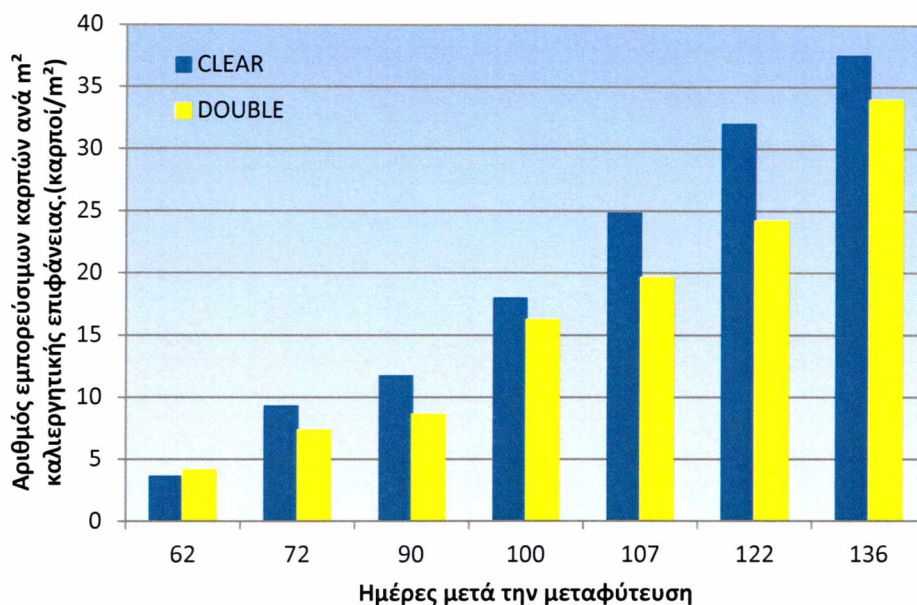
Στο διάγραμμα 4.3.4 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες μέσες τιμές του ξηρού βάρους των φύλλων των δύο μεταχειρήσεων, σε συνάρτηση με το χρόνο. Όπως και στο νωπό έτσι και στο ξηρό βάρος των φύλλων η μείωση που παρουσιάζεται είναι για τον ίδιο λόγο.



Διάγραμμα 4.3.4. Η πορεία του ξηρού βάρους των φυλλων στο χρόνο.

4.4 Απόδοση καλλιέργειας

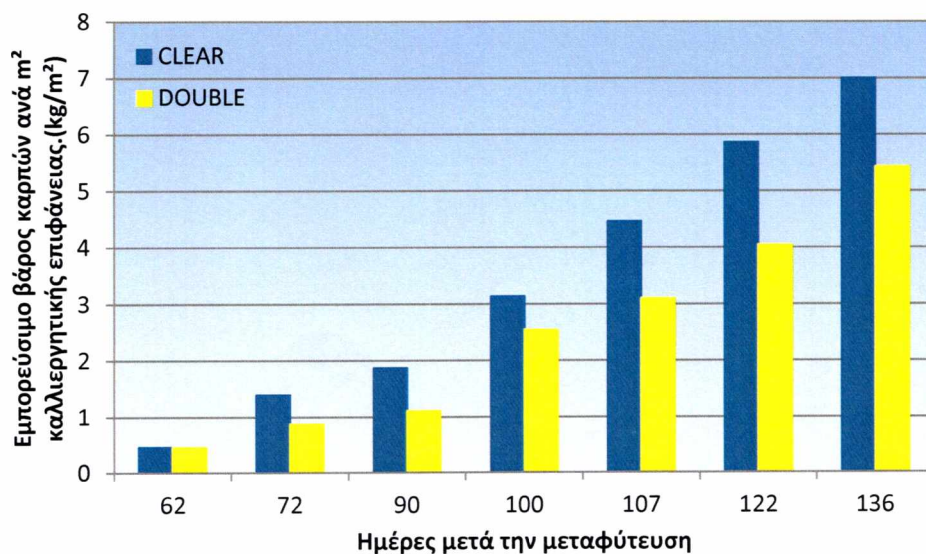
Στο διάγραμμα 4.4.1 παρουσιάζεται ο αριθμός των εμπορεύσιμων καρπών (καρπού/μ²) αθροιστικά την περίοδο του πειράματος.



Διάγραμμα 4.4.1. Ο αριθμός των εμπορεύσιμων καρπών (αθροιστικά) για το Double και Clear.

Το θερμοκήπιο Clear έχει κατά 10% περισσότερους καρπούς από το θερμοκήπιο με το διπλό κάλυμμα του πολυαιθυλενίου (Double).

Στο διάγραμμα 4.4.2. παρουσιάζεται η αθροιστική παραγωγή (καρπού/μ²) ανά μονάδα καλλιεργητικής επιφάνειας των δύο θερμοκηπίων.



Διαγραμμα 4.4.2. Εμπορεύσιμη παραγωγή για τα δύο θερμοκήπια.

Στο θερμοκήπιο Clear η παραγωγή ήταν υψηλότερη κατά 22% σε σχέση με το Double.
Ενώ η συνολική απόδοση για το Clear ήταν 7 Kg/m² και για το Double 5.61 Kg/m²

5. Συζήτηση και συμπεράσματα

5.1 Ενεργειακή αξιολόγηση

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων του πειράματος των δύο θερμοκηπίων, σχετικά με τις μετρήσεις της ενέργειας επαλήθευσαν παλιότερες έρευνες, η οποίες ανέφεραν πως υπάρχει εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση ενός διπλού πλαστικού καλύμματος έναντι του απλού. (Garzoli και Blackwell, 1987; Seginer et al, 1988; Abak et al, 1994; Zhang et al, 1996; Gupta και Chandra, 2002; Cemek et al 2006;). Τα θερμοκήπια με διπλό φουσκωτό κάλυμμα σε αντίθεση με τα θερμοκήπια με απλά φύλλα πολυαιθυλενίου έχουν μικρότερο συντελεστή θερμοπερατότητας ($U \approx 3.5 \% \text{ W/m}^2/\text{°C}$) έναντι ($U \approx 7 \% \text{ W/m}^2/\text{°C}$) του απλού. Αυτό συμβαίνει γιατί το διπλό κάλυμμα προσφέρει μόνωση στην οροφή του θερμοκηπίου και μειώνει την μεταφορά ενέργειας απο συναγωγή και ακτινοβολία. Εδικότερα η εξοικονόμηση ενέργειας στο διπλό φύλλο (Double) ήταν σε ποσοστό 40% σε σχέση με το απλό φύλλο (Clear).

Για παράδειγμα, για να διατηρηθεί η θερμοκρασία στους 12°C σε ένα θερμοκήπιο 10000 m² στη περιοχή του Βελεστίνου με απλό φύλλο πολυαιθυλενίου θα πρέπει να καταναλωθεί 16000 MJ/ ημέρα περισσότερο, από ένα αντίστοιχο θερμοκήπιο με διπλό κάλυμμα. Αυτό σημαίνει πως θα υπάρξει εξοικονόμηση 500€/ημέρα (για καυστήρα πετρελαίου) για την περίοδο του χειμώνα.

5.2 Απόδοση και αύξηση της καλλιέργειας

Από τις αγρονομικές μετρήσεις του πειράματος βρέθηκε πως τα ύψη των φυτών είχαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο μεταχειρήσεων. Από τα τέλη Νοεμβρίου παρατηρήται απότομη μείωση του ύψους λόγω του κορυφολογήματος. Ο αριθμός των ταξιανθιών των δύο μεταχειρήσεων, εξίσου δεν παρουσίαζαν σημαντικές διαφορές με το Clear να έχει λίγες παραπάνω. Επίσης, οι ταξιανθίες τέλη Νοεμβρίου μειώθηκαν απότομα λόγω του κορυφολογήματος.

Σχετικά με την απόδοση της καλλιέργειας, το θερμοκήπιο Clear βρέθηκε να έχει την μεγαλύτερη απόδοση (7 kg/m²) σε σχέση με το Double (5.42 kg/m²). Επίσης βρέθηκε πως στο θερμοκήπιο Clear ο αριθμός των καρπών ήταν μεγαλύτερος από αυτόν στο Double, όπως επίσης και το μεγαλύτερο βάρος ανά καρπό (193 gr) σε σχέση με το Double. Τα αποτελέσματα βρέθηκαν να συμφωνούν με αυτά της έρευνας του Benton Jones (1999) όπου αναφέρεται πως το μέγεθος των καρπών είναι ανάλογο της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς με τη μείωση της έντασης

του φωτός, μειώνεται η μεταφορά των προϊόντων της φωτοσύνθεσης στους καρπούς. Σε συνθήκες χαμηλής έντασης φωτός, ευνοείται περισσότερο η βλαστική ανάπτυξη των φυτών σε βάρος της αναπαραγωγικής.

5.3 Συμπεράσματα

Στόχος του πειράματος ήταν να μελετηθεί η επίδραση του διπλού φουσκωτού καλύμματος στην εξοικονόμηση ενέργειας για θέρμανση και ανάπτυξη και την παραγωγικότητα της καλλιέργειας της τομάτας. Παρακάτω παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

Το θερμοκήπιο Double βρέθηκε να έχει χαμηλότερες απώλειες θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία από το κάλυμμα σε αντίθεση με το Clear. Δίνει την δυνατότητα για εξοικονόμηση ενέργειας περίπου στο 40 %.

6. Βιβλιογραφία

Ξένη βιβλιογραφία

- Abak, K. A., Bascetincelik, N., Baytorun, O., Alluntas, H.H., Ozlurk, K.E., Cockshulled, Y., Tuzel, Gul. A., 1994. Influence of double plastic cover and thermal screens on greenhouse temperature, yield and quality of tomato. *Acta Horticulturae* 366, 149–54.
- Aberkani, K., Hao, X.M., de Halleux, D., Papadopoulos, A.P., Dorais, M., and Vineberg, S. (2011). Energy saving achieved by retractable liquid foam between double polyethylene films covering greenhouses,, *Transactions of the ASABE*, 54(1), pp. 275-284.
- Baille, A., J. C. Lopez, S. Bonachela, M. M. Gonzalez-Real, and J. J. Montero. 2006. Night energy balance in a heated low-cost plastic greenhouse. *Agric. and Forest Meteorology* 137(1-2):107-118.
- Bartzanas, T., Tchamitchian, M., Kittas, C., 2005. Influence of the Heating Method on Greenhouse Microclimate and Energy Consumption. *Bio systems Engineering* 91 (4), 487–499.
- Boulard, T., Baille, H., Lagier, J., Mermier, M. Vanderschmitt, E., 1989. Water vapour transfer in a plastic house equipped with a dehumidification heat pump. *Journal of Agricultural Engineering Research* 44, 191-204.
- Cemek, B., Yusuf, D., Uzun, S., Ceyhan, V., 2006. The effects of different greenhouse covering materials on energy requirement, growth and yield of aubergine. *Energy* 31, 1780- 1788.
- Chandra, P., Albright, L. D., 1980. Analytical determination of the Effect on Greenhouse Heating Requirements of using night curtains. *Transactions of the ASAE* 23 (4), 994-1000.
- Chou, S.K., Chau, K.J., Ho, J.C., Ooi, C.L., 2004. On the study of an energy-efficient greenhouse for heating and dehumidification application. *Applied Energy* 77, 355–373.
- De Pascale S., and Maggio A. 2004. Sustainable protected cultivation at Metiterranean climate, perspectives and challanges. *Acta Horticulturae*, 691: 29-42

- Dieleman, A., Kempkes, F., 2006. Energy screens in tomato: determining the optimal opening strategy. *Acta Horticulturae* 718, 599-606.
- Ferare, J., Goldsberry, K.L., 1984. Environmental conditions created by plastic greenhouse covers. *Acta Horticulturae* 148, 675-682.
- Garzoli, K., Blackwell, J., 1987. An analysis of the nocturnal heat loss from a double skin plastic greenhouse. *Journal of Agricultural Engineering Research* 36, 75-85.
- Ghosal, M.K., Tiwari, G.N., 2004. Mathematical modeling for greenhouse heating by using thermal curtain and geothermal energy. *Solar Energy* 76, 603–613.
- Giacomelli, G. A., and W. J. Roberts. 1993. Review: Greenhouse covering systems. *Hort Tech.* 3(1): 50-58.
- Groh, J. 1977. Liquid foam: Greenhouse insulation and shading techniques. In *Proc. Intl. Symp. on Controlled Environment Agriculture*, 305-311. Tucson, Ariz.: University of Arizona, Environmental Research Laboratory.
- Hesse, B. J., 1980. Report on Visit to Florida and California. South East Queensland Electricity Board.
- Kittas, C., Katsoulas, N., Baile, A., 2003. Influence of an aluminized thermal screen on greenhouse microclimate and canopy energy balance. *Transactions of ASAE* 46(6), 1653-1663.
- Kupraska, S., Slipek, Z., 2000. Optimization of Greenhouse Substrate Heating. *Journal of Agriculture Engineering Research* 76, 129-139.
- Magnani, G., 1987. Performance of different plastics films in double-clad greenhouse: four year research. *Plasticulture* 73, 9-22.
- Mulder, P. W. de Vries., 1979. Means of reducing energy consumption in the heating of greenhouses. United Nations Economic Commission for Europe. Report No 75.
- Nisen, A., Coutisse, S., 1981. Photometric properties of double wall plastics used as covering for greenhouses. *Acta Horticulturae* 115, 85-97.
- O’Flaherty, T., Maher, M.J., 1978. Evaluation of double-clad polyethylene greenhouses for energy saving in early tomato production. *Acta Horticulturae* 76, 335-339.
- O’Flaherty, T., Maher, M.J., 1980. Fuel consumption and crop performance in double-covered polyethylene greenhouses. *Acta Horticulturae* 107, 81-85.

- Papadakis, G., Briassoulis, D., Scarascia Mygnozza, G., Vox G., Feuilloley ,P., Stoffers J.A., 2000. Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials. *Journal of Agriculture Engineering Research* 77(1), 7-38.
- Papadopoulos, A.P., Hao, X., 1997. Effects of greenhouse cover materials on tomato growth, productivity, and energy use. *Science Horticulturae* 70, 165–78.
- Papadopoulos, A.P., Hao, X., 1997. Effects of greenhouse covers on seedless cucumber growth, productivity, and energy use. *Science Horticulturae* 68, 113–23.
- Papadopoulos, A.P., Hao, X., 1997. Effects of three greenhouse cover materials on tomato growth, productivity, and energy use. *Scientia Horticulturae* 70, 165-178.
- Plaisier, I. R. H. F. 1992. Energy saving and climate improvement with thermal screens. *Acta Hort.* 312: 63-64.
- Seginer, I., Kantz, D., Peiper, U., Levav, N., 1988. Transfer coefficients of several polyethylene greenhouse covers. *Journal of Agricultural Engineering Research* 39, 19-37.
- Sheard, G. F. 1978. Shelter and the effect of wind on the heat loss from greenhouses. *Acta Hort.* 76: 357-360.
- Steinbuch, F., Vooren, V., 1984. Production and quality of cut flowers and pot plants grown in greenhouses covered with energy saving double layer materials. *Acta Horticulturae* 148, 555-559.
- Teitel, M., Tanny, J., 1998. Radiative heat transfer from heating tubes in a greenhouse. *Journal of Agriculture Engineering Research* 69, 185-188.
- Tiwari, G.N., Sharma, P.K., 1999. Off-season cultivation of cucumbers in a solar greenhouse. *Energy* 24, 151–156.
- Weimann, G., 1984. Development of energy saving greenhouse conceptions. *Acta Horticulturae* 148, 683–690.
- Zhang, Y., Gauthier L., de Halleux D., Dansereau B., Gosselin A., 1996. Effect of covering materials on greenhouse microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology* 82, 227-244.

Ελληνική βιβλιογραφία

- Αναφορά Πλαστικά Κρήτης - Μ.Β. Κυκρικής, 2008
- Καυγά, Α., 2010. Ενεργειακή βελτιστοποίηση θερμοκηπίου με χρήση συστήματος θέρμανσης με υπέρυθη ακτινοβολία. Διδακτορική διατριβή.
- Μαυρογιαννόπουλος, Γ.Ν., 2005. Θερμοκήπια, Έκδοση ' Δ, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.
- Μερκούρης Ο., 2014. Μελέτη υλικών κάλυψης για εξοικονόμηση ενέργειας και αύξηση της παραγωγής σε μεσογειακά θερμοκήπια. Μεταπτυχιακή διατριβή
- Παυλίδου Σ., 2005. Χρήση πλαστικών φύλλων στην κάλυψη των θερμοκηπίων. Πτυχιακή διατριβή
- Υπουργείο Αγροτική Ανάπτυξης - Τεχνικές προδιαγραφές θερμοκηπίων
- Ψυλλινάκη Ε., 2009. Προσδιορισμός μηχανικών αντοχών και επιμήκυνσης από την επίδραση φορτίου σε πλαστικά φύλλα. Πτυχιακή διατριβή

Από Internet

- www.caes.uga.edudepartmentsbaeextensionhandbookdocumentscoverings.pdf



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000134058