



Ελληνική Δημοκρατία
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα Ηπείρου

Γεωργικές και Θερμοκηπιακές κατασκευές (Θεωρία)

Ενότητα 10 : Τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων
Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



10

Τα υλικά κάλυψης των θερμοκηπίων

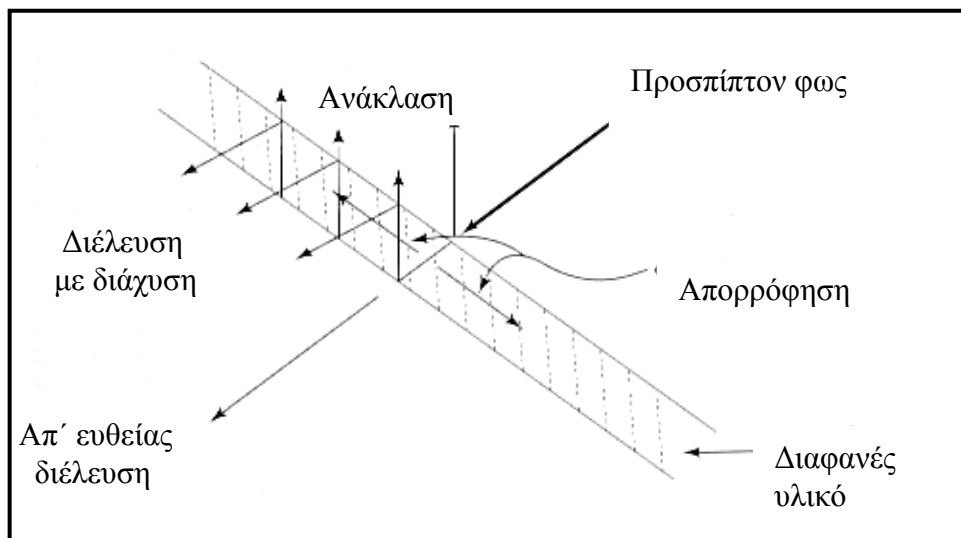
10.1. Γενικά

Η ποσότητα και η ποιότητα του φωτός που περνάει στο χώρο των φυτών επηρεάζεται πολύ από τις ιδιότητες του διαφανούς υλικού κάλυψης του θερμοκηπίου.

Ένα καλής ποιότητας υλικό κάλυψης πρέπει να επιτρέπει τη διείσδυση όσο το δυνατόν μεγαλύτερης ποσότητας από τον προσπίπτοντα σ' αυτό φωτισμό και να ευνοεί τη διάχυσή του στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, ώστε να υπάρχει ομοιογένεια φωτισμού σε όλο τον καλυπτόμενο χώρο. Επί πλέον να επιτρέπει από το φυσικό φως να διέρχονται όλα τα μήκη κύματος τα οποία είναι αναγκαία για την ανάπτυξη των φυτών.

Όπως είναι γνωστό, το φως αφού πέσει πάνω στο διαφανές υλικό κάλυψης είναι δυνατό :

- α. Να ανακλαστεί πάνω στο υλικό
- β. Να απορροφηθεί από το υλικό
- γ. Να διέλθει μέσα από το υλικό



Σχήμα 10.1. Περαιτότητα του διαφανούς υλικού στο φως

Όλα τα μήκη κύματος του φωτός δεν ανακλώνται, απορροφώνται ή διέρχονται μέσω των διαφόρων υλικών κατά τον ίδιο τρόπο. Το γεγονός αυτό επιδρά στην ποιότητα του φωτισμού που εισέρχεται μέσα στο θερμοκήπιο. Γενικά θα πρέπει όλα τα μήκη κύματος του φωτός, τα αναγκαία για την ανάπτυξη των φυτών, να μην ανακλώνται ή απορροφώνται, αλλά να διέρχονται μέσω του καλύμματος στο χώρο του θερμοκηπίου στο μέγιστο βαθμό.

Διέλευση της ακτινοβολίας ορίζεται ο λόγος της διερχόμενης προς την προσβάλλουσα την επιφάνεια ακτινοβολία.

$$\text{διδίοιόδύαεΎεἰδόςδ} = \frac{\text{διερχόμενος φωτισμός}}{\text{δπῖοἰἄῤῥεῖῖοῦδεδείις}}$$

Η διέλευση του φωτός μέσω ενός υλικού μπορεί να γίνει απ' ευθείας ή με διάχυση.

Όταν το φως διέρχεται απ' ευθείας, έχει σχεδόν την ίδια διεύθυνση με εκείνη του προσβάλλοντος φωτισμού. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι σκιές από τα αντικείμενα που εμποδίζουν την πορεία του (σκελετικά στοιχεία) θα είναι πολύ έντονες.

Αντίθετα, όταν με τη διέλευση του φωτός στο θερμοκήπιο γίνεται και διάχυσή του, τότε κατευθύνεται σε ποικίλες κατευθύνσεις με αποτέλεσμα την έλλειψη έντονων σκιάσεων.

Ο υαλοπίνακας με κυματοειδή ή φολιδωτή την εσωτερική του επιφάνεια ή οι ενισχυμένες με ίνες υάλου πολυεστερικές επιφάνειες, μειώνουν το απ' ευθείας διερχόμενο φως μετατρέποντάς το σε διάχυτο.

Η περατότητα ή μη στη θερμική ακτινοβολία είναι η άλλη σημαντική ιδιότητα των υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων. Η θερμική ακτινοβολία (μεγάλου μήκους κύματος), όπως είναι γνωστό εκπέμπεται από όλα τα σώματα που έχουν συνήθεις θερμοκρασίες. Ορισμένα υλικά κάλυψης είναι περατά στη θερμική ακτινοβολία, ενώ άλλα είναι λιγότερο ή καθόλου περατά. Τα υλικά κάλυψης που δεν είναι περατά στη θερμική ακτινοβολία εκδηλώνουν το καλούμενο « φαινόμενο του θερμοκηπίου ». Δηλαδή, ενώ επιτρέπουν την είσοδο της μικρού μήκους κύματος ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας μέσα στο θερμοκήπιο, δεν επιτρέπουν την έξοδο της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας που εκπέμπουν τα φυτά και το έδαφος κι έτσι δημιουργείται μια παγίδα θερμότητας, στην οποία οφείλεται κατά 30 % περίπου η αύξηση της θερμοκρασίας του θερμοκηπίου. Το υπόλοιπο ποσοστό οφείλεται στο φαινόμενο του κλειστού χώρου. Στον επόμενο πίνακα παρατηρούμε ότι το ποσοστό διέλευσης της θερμικής ακτινοβολίας μέσω του πολυαιθυλενίου είναι σαφώς μεγαλύτερο από εκείνο μέσω του γυαλιού ή των άλλων υλικών. Το γεγονός αυτό είναι η αιτία που τα θερμοκήπια τα καλυμμένα με πολυαιθυλένιο ψύχονται πιο γρήγορα τις βραδινές και νυχτερινές ώρες. Παρ' όλα αυτά, το ποσοστό περατότητας περιορίζεται πολύ στην πράξη, λόγω της υγρασίας η οποία επικάθεται στην εσωτερική πλευρά του πολυαιθυλενίου. Με τη συμπύκνωση των υδρατμών πάνω στο πολυαιθυλένιο, παρατηρείται μείωση της περατότητας στη θερμική ακτινοβολία (του συνόλου του θερμοκηπίου) της τάξης του 50 %.

Το κοινό μειονέκτημα των περισσότερων υλικών κάλυψης των θερμοκηπίων είναι η μικρή αντοχή στο χρόνο. Πολλά από τα υλικά αυτά, όπως τα πλαστικά, δείχνουν μικρή αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία (αποπολυμερισμός), άλλα όπως το γυαλί, δείχνουν μικρή αντοχή στο χαλάζι, και άλλα μικρή αντοχή στον άνεμο. Η αντοχή στο χρόνο βέβαια είναι πολύπλοκο θέμα και έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά για κάθε υλικό, γιατί διαφέρουν οι παράγοντες που επιδρούν στην ταχύτητα καταστροφής τους.

Στα πλαστικά η αντοχή στο χρόνο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Η υπεριώδης ακτινοβολία (U.V.) είναι ο σημαντικότερος, γιατί προκαλεί φωτοχημικά φαινόμενα εντός του σώματος του διαφανούς πλαστικού, με αποτέλεσμα μείωση της φωτεινής περατότητάς του, της μηχανικής αντοχής του και τελικά την καταστροφή του. Οι ακτινοβολίες μεταξύ 0,30 και 0,35 μ είναι οι πλέον δραστικές για τα περισσότερα πολυμερή πλαστικά. Αυτό το μήκος κύματος (0,30 - 0,35 μ) δεν αποτελεί παρά μόνο το 5% του ολικού ηλιακού φωτός, που είναι διαθέσιμο στην επιφάνεια της γης (το ίδιο μήκος κύματος προκαλεί το μαύρισμα και τα εγκαύματα στο ανθρώπινο δέρμα). Το πλαστικό φύλλο όμως που αποτελεί το κάλυμμα του θερμοκηπίου, είναι εκτεθειμένο για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα στην ακτινοβολία αυτή.

Άλλοι παράγοντες που επιδρούν στην καταστροφή πολλών τύπων πλαστικών είναι η θερ-

μοκρασία, η σχετική υγρασία και το οξυγόνο. Η επίδραση όλων των βλαπτικών παραγόντων τελικά οδηγεί στην αλλαγή χρώματος και στη μείωση της μηχανικής αντιστάσεως των πολυμερών υλικών. Η ταχύτητα και η ένταση των μεταβολών αυτών εξαρτώνται κυρίως από το πάχος του υλικού και από τον τύπο του πολυμερούς.

Πίνακας 10.1. Περαιτότητα στη μικρού μήκους κύματος και στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία ορισμένων υλικών.

Υλικό		Ποσοστό διέλευσης ακτινοβολίας %				
		Φωτεινής				Θερμικής
		Απλή κάλυψη		Διπλή κάλυψη		Απλή κάλυψη
		Απ' ευθείας φως	Ολικό φως	Απ' ευθείας φως	Ολικό φως	
1.	Πολυαιθυλένιο διαφανές καθαρό χωρίς προσμίξεις	93	93	88	-	88
2.	Πολυαιθυλένιο διαφανές κοινό εμπορίου	76	89	-	80	71
3.	Πολυαιθυλένιο U.V.	74	88	-	-	64
4.	Γυαλί	86	90	75	-	1
5.	P.V.C. διαφανές	86	91	-	84	12
6.	P.V.C. «Haze»	-	89	-	82	12
7.	Mylar (πολυεστέρας φύλλο)	86	90	80	-	16
8.	Πολυεστέρας ενισχυμένος με ίνες γυαλιού	68	78	-	64	1
9.	Ακρυλικό διπλού επιπέδου	-	63-83	-	-	-
10.	Polycarbonate διπλού επιπέδου	-	73-77	-	-	-

Γενικά η επιλογή των διαφόρων υλικών κάλυψης πρέπει να βασίζεται στις παρακάτω ιδιότητες:

- Περαιτότητα στο φως
- Μηχανική αντοχή
- Θερμοπεραιτότητα
- Περαιτότητα στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία
- Αντίσταση στα χτυπήματα από χαλάζι
- Μέγεθος της διαφανούς επιφάνειας που μπορεί να κατασκευασθεί
- Ευαισθησία στη γήρανση
- Αντίσταση στο σκίσιμο
- Ευαισθησία στη συγκράτηση σκόνης
- Τρόπος συμπύκνωσης υγρασίας (σε σταγόνες ή σε μεμβράνη)
- Περαιτότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία (U.V. μέχρι 0,4 μ)
- Ευαισθησία στις διάφορες χημικές ουσίες

10.2. Οι υαλοπίνακες.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του γυαλιού, σαν υλικό κάλυψης των θερμοκηπίων, είναι η διατήρηση των ιδιοτήτων του με το πέρασμα του χρόνου. Έτσι, ένας υαλοπίνακας θερμοκηπίου έχει πρακτικά την ίδια περατότητα στο φως μετά 43 χρόνια με ένα καινούργιο (Nelson P., 1981), πράγμα που δεν συμβαίνει με κανένα άλλο υλικό κάλυψης.

Η πιθανή μείωση της φωτεινότητας του γυαλιού οφείλεται στις ακαθαρσίες, που όμως είναι δυνατό να απομακρυνθούν. Το γυαλί είναι αδιαπέρατο στα αέρια και τους υδρατμούς. Τα προβλήματα στεγανότητας που μπορεί να εμφανισθούν στα υαλόφρακτα θερμοκήπια, προέρχονται από την κακή επαφή που παρουσιάζεται σταδιακά στα σημεία στήριξης του υαλοπίνακα με το σκελετό και από το σπάσιμο των υαλοπινάκων, που προέρχεται από χαλάζι ή απροσεξία λόγω του εύθραυστου που χαρακτηρίζει το γυαλί. Επίσης φαίνεται ότι μερικές ποιότητες γυαλιού γίνονται πιο εύθραυστες με την πάροδο του χρόνου.

Ο υαλοπίνακας μπορεί να είναι διαφανής, με τις δυο του επιφάνειες επίπεδες και λείες, ή διαφώτιστος, με τη μια επιφάνεια κυματοειδή ή φολιδωτή, ώστε να διευκολύνει τη διάχυση του φωτός. Συνήθως στην οροφή του θερμοκηπίου τοποθετούνται υαλοπίνακες με κυματοειδή ή φολιδωτή τη μια πλευρά για καλύτερη διάχυση του φωτός, ενώ στις πλευρές τοποθετούνται υαλοπίνακες με τις δυο τους επιφάνειες επίπεδες, διότι το φως που εισέρχεται από πλάγια είναι κατά το μεγαλύτερο μέρος διάχυτο, προερχόμενο κυρίως από ανακλάσεις στο έδαφος ή άλλα αντικείμενα. Η μη επίπεδη πλευρά του υαλοπίνακα της οροφής τοποθετείται προς το εσωτερικό του θερμοκηπίου, για να μην συγκρατείται η σκόνη.

Το ειδικό βάρος του γυαλιού είναι $25 \text{ KN} / \text{m}^3$. Το υαλόφρακτο θερμοκήπιο απαιτεί φέρουσα κατασκευή ιδιαίτερης αντοχής και χωρίς να υφίσταται σημαντικές παραμορφώσεις από το βάρος των διαφόρων φορτίων. Επίσης τα λεπτά στοιχεία του σκελετού θα πρέπει να είναι κατασκευασμένα και τοποθετημένα έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται καλή στεγανότητα στο νερό και τον αέρα.

Το ποσοστό διέλευσης της μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας στους συνήθους πάχους υαλοπίνακες, είναι συγκριτικά από τα μεγαλύτερα, περίπου 90 % και επειδή η περατότητα αυτή είναι σχεδόν σταθερή στο χρόνο, ο υαλοπίνακας αποτελεί το μέτρο σύγκρισης όλων των άλλων διαφανών υλικών. Σε ένα καινούριο θερμοκήπιο το μεγαλύτερο ποσοστό φωτός, το οποίο αφήνει να διέλθει ο υαλοπίνακας σε σχέση με άλλα διαφανή υλικά, δεν σημαίνει απαραίτητα και σημαντικά μεγαλύτερη φωτεινότητα στο θερμοκήπιο, γιατί ο σκελετός στηρίζεως των μεγάλου βάρους και μικρού μεγέθους υαλοπινάκων παρουσιάζει μεγαλύτερο ποσοστό σκιάς (γι' αυτό το λόγο συνιστώνται όσο είναι δυνατόν, μεγαλύτερων διαστάσεων υαλοπίνακες). Με την πάροδο του χρόνου όμως στα άλλα υλικά μειώνεται η περατότητα του φωτός ενώ στους υαλοπίνακες παραμένει η ίδια και το θερμοκήπιο καθίσταται τελικά σημαντικά φωτεινότερο.

Η θερμική διαστολή του υαλοπίνακα εξαρτάται από την ποιότητα του γυαλιού και κυμαίνεται από $5,6 \times 10^{-7}$ έως $140 \times 10^{-7} \text{ cm} / \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$.

Γενικά, για όλες τις επιφάνειες που πρέπει να καλυφθούν με συνήθων διαστάσεων υαλοπίνακες, αυτοί θα πρέπει να έχουν ένα ελάχιστο πάχος 4 mm. Όταν χρησιμοποιούνται υαλοπίνακες με κυματοειδή τη μια επιφάνεια (Μαρτελιέ), το ελάχιστο μέσο πάχος θα πρέπει να είναι 5 χιλιοστά.

Στις λωρίδες με αυξημένο κίνδυνο που είναι στις περιφερειακές ακμές, συνιστάται να μην τοποθετείται υαλοπίνακας με πλάτος μεγαλύτερο από 0,63 m.

Τελευταία, με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας, κυκλοφορεί στο εμπόριο ο διπλός υα-

λοπίνακας με κενό χώρο μεταξύ των δυο επιφανειών του ή γεμάτος με διοξείδιο του άνθρακα.

Ο διπλός υαλοπίνακας μειώνει το συντελεστή θερμοπερατότητας του υαλοπίνακα περίπου στο ήμισυ, επειδή όμως συμμετέχει και ο σκελετός στην περατότητα του θερμοκηπίου, τελικά ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας μειώνεται περίπου κατά 40 %. Το απλό γυαλί καλυμμένο με μεταλλικό οξειδίο από την έξω πλευρά (Horti-plus) έχει μειωμένη εκπνευτικότητα στην ακτινοβολία και επομένως η ακτινοβολούμενη ενέργεια είναι λιγότερη. Τέτοιου είδους υαλοπίνακες εξοικονομούν σημαντική ενέργεια τις κρύες, ξάστερες νύχτες. Η αποκάλυψη αυτή του γυαλιού διαρκεί πολύ, εφ' όσον έχει γίνει όταν ακόμα είναι θερμό κατά την κατασκευή του. Μειονέκτημα είναι η μειωμένη περατότητά του στο ορατό φως.

Το μέγιστο μέγεθος υαλοπίνακα που χρησιμοποιείται για την οροφή είναι 1,00 x 1,65 m.

10.3. Τα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα.

Στα εύκαμπτα φύλλα πλαστικού περιλαμβάνονται το φύλλο πολυαιθυλενίου (PE), το φύλλο πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) και το φύλλο πολυεστέρα. Το πρώτο είναι το περισσότερο χρησιμοποιούμενο σήμερα.

Γενικά τα πλαστικά μπορεί να ταξινομηθούν σε θερμοπλαστικά και θερμοσκληρά. Τα θερμοπλαστικά με τη θερμοκρασία χάνουν το σχήμα τους, αλλά όταν αφεθούν να κρυσώσουν εξακολουθούν να έχουν τις ιδιότητες που είχαν και πριν (στην ιδιότητα αυτή βασίζεται η θερμοσυγκόλληση). Τα θερμοσκληρά δεν χάνουν το σχήμα τους με την υψηλή θερμοκρασία, η οποία όμως όταν υπερβεί ορισμένα όρια τα καταστρέφει, χωρίς να είναι δυνατόν να ξαναεμφανίσουν τις ιδιότητές τους μετά την πτώση της θερμοκρασίας. Θερμοπλαστικά είναι το πολυαιθυλένιο και το πολυβινυλοχλωρίδιο, ενώ θερμοσκληρό είναι ο πολυεστέρας.

Τα εύκαμπτα πλαστικά φύλλα πλεονεκτούν των άλλων υλικών κάλυψης λόγω του μικρού βάρους τους, της χαμηλής τιμής τους, της ευκολίας προσαρμογής σε διάφορα σχήματα του σκελετού, της δυνατότητας που δίνουν για χρησιμοποίηση ελαφρότερου και φθηνότερου σκελετού και κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους αρχικής επένδυσης που επιτυγχάνεται στο σύνολο του θερμοκηπίου.

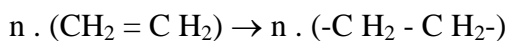
Κατά τη στερέωση του πλαστικού φύλλου στον σκελετό δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω:

- Η στερέωση να είναι ικανή να αντισταθεί στα θετικά και αρνητικά φορτία που δημιουργεί ο άνεμος και το χιόνι και ταυτόχρονα να είναι όσο το δυνατόν απλούστερη η διαδικασία αντικατάστασης του πλαστικού.
- Το πλαστικό να είναι τεντωμένο στην κατασκευή, χωρίς ρικνώσεις ή σακουλιάσματα
- Η άμεση επαφή με οξείες πλευρές του σκελετού να αποφεύγεται με παρεμβολή ειδικής πλαστικής λωρίδας, ώστε να μην σκίζεται, ιδιαίτερα όταν ο σκελετός υπερθερμανθεί από την ακτινοβολία.
- Η τοποθέτηση του φύλλου να γίνεται σε μεγάλα πλάτη, ώστε να επιτυγχάνεται στεγανότητα.
- Όταν η τοποθέτηση γίνεται σε ξύλινο ή μικτό σκελετό με κάρφωμα, το πλαστικό φύλλο να συγκρατείται στη θέση του από τον πήχη στερέωσης που το συμπιέζει στο σκελετό και όχι από αυτό τούτο το καρφί. Το καρφί προορίζεται να συγκρατεί σφιχτά τον πήχη με το σκελετό και όχι να συγκρατεί άμεσα το πλαστικό, γιατί αλλιώς το πλαστικό σχίζεται.

10.3.1. Το πολυαιθυλένιο (PE).

Το φύλλο πολυαιθυλενίου αναπτύχθηκε αρχικά στην Αγγλία στα τέλη του 1930 και χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλη κλίμακα για κάλυψη θερμοκηπίων από το 1950. Η χρήση του στα θερμοκήπια είναι πολύ εκτεταμένη στις χώρες της Μεσογειακής λεκάνης, την Ιαπωνία και σχετικά λιγότερο στην Αμερική (όπου όμως σήμερα καλύπτεται με πολυαιθυλένιο το μεγαλύτερο μέρος των νέων θερμοκηπίων).

Στη Β. Ευρώπη αντίθετα, η χρήση του είναι πολύ περιορισμένη και το γυαλί εξακολουθεί να παραμένει το πιο διαδεδομένο υλικό. Το πολυαιθυλένιο παράγεται από το αέριο αιθυλένιο μετά από πολυμερισμό.



Στο προοριζόμενο για τα θερμοκήπια πολυαιθυλένιο προστίθενται περίπου: 0,18% αντιοξειδωτικό, 2-3% άνθρακας (ή διάφορες ενώσεις) για την απορρόφηση των υπεριωδών ακτίνων και μέχρι 10% ελαστικό βουτύλιο, για να καταστεί το πλαστικό εύκαμπτο.

Το πολυαιθυλένιο στη συνήθη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας διατηρεί τις φυσικές του ιδιότητες. Σε ακραίες όμως θερμοκρασίες -40°C (απώλεια ελαστικότητας), ή άνω των 65°C (ρευστοποιείται), καθώς επίσης και σε έντονη ακτινοβολία, χάνει πολλές από τις ιδιότητές του ή και καταστρέφεται.

Είναι απαράδεκτο σήμερα να χρησιμοποιείται στο θερμοκήπιο φύλλο πολυαιθυλενίου που στο υλικό κατασκευής του δεν έχει προστεθεί παράγοντας που το καθιστά ανθεκτικό στην υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου. Η υπεριώδης ακτινοβολία καταστρέφει βαθμιαία το πλαστικό, το κάνει σκουρότερο, εύθραυστο και τελικά το καταστρέφει εντελώς.

Η διάρκεια ζωής την οποία μπορούμε να αναμένουμε από το πολυαιθυλένιο όταν εγκαθίσταται στο θερμοκήπιο τον Οκτώβριο, είναι όπως στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 10.2. Διάρκεια ζωής φύλλου πολυαιθυλενίου (Dubois P., 1978)

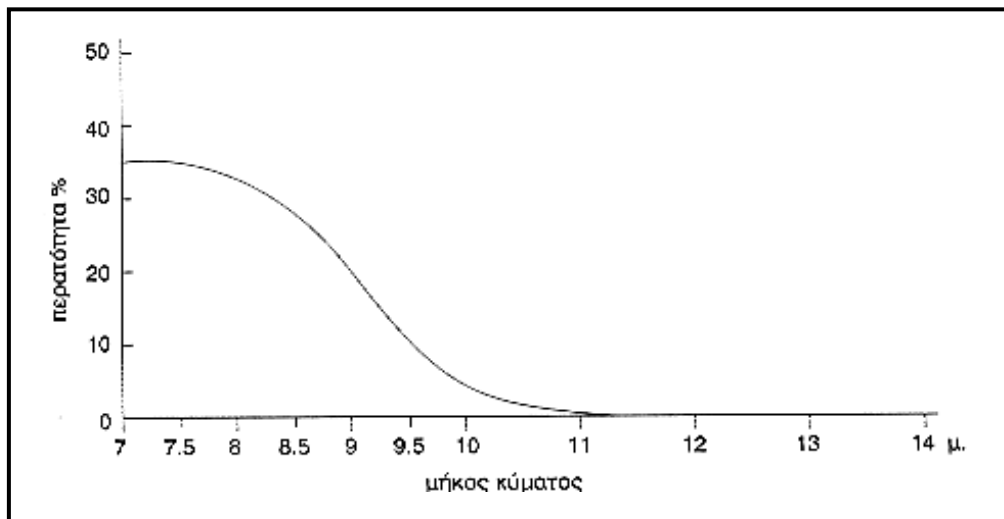
Πάχος φύλλου	Μέση διάρκεια ζωής πολυαιθυλενίου	
	Κανονικό πολυαιθυλένιο	Πολυαιθυλένιο με πρόσθετα ανθεκτικό στην U.V.
100 μ	6 - 9 μήνες	12 - 22 μήνες
150 μ	10 - 11 μήνες	18 - 22 μήνες

Το φύλλο πολυαιθυλενίου γενικά παρουσιάζει τις παρακάτω ιδιότητες:

- Είναι αδιαπέραστο στο νερό και τους υδρατμούς
- Είναι σχετικά περατό στα αέρια, ιδιαίτερα στο CO_2 και στο O_2
- Έχει καλή μηχανική αντοχή, η οποία βέβαια είναι συνάρτηση του πάχους. Φύλλο πάχους 0,10 - 0,15 mm έχει 1-2 φορές μεγαλύτερη αντοχή από αυτήν του γυαλιού, πάχους 3 mm.
- Έχει καλή περατότητα στο φως, φύλλο πάχους 0,15 mm αφήνει να διέλθει το 87% του ορατού φωτισμού.
- Φέρεται στο εμπόριο σε φύλλα μεγάλου πλάτους, με αποτέλεσμα την δυνατότητα κατασκευής στεγανών θερμοκηπίων, χωρίς μεγάλες διαρροές αέρα. Συνήθως κατασκευάζεται φύλλο πάχους από 20 έως 200 μικρά, σε διάφορα πλάτη μέχρι 11 m. Η χρηματική του αξία

υπολογίζεται με το βάρος.

- Έχει υδρόφοβη επιφάνεια, με αποτέλεσμα η συμπύκνωση των υδρατμών πάνω σ'αυτό να γίνεται υπό μορφή σταγόνων, οι οποίες με την παραμικρή δόνηση πέφτουν επάνω στα φυτά.
- Η λύση της συνέχειάς του από το κάρφωμα, αποτελεί το αδύνατο σημείο του πολυαιθυλενίου, που το κάνει να σχίζεται εύκολα από τον άνεμο. Γι' αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην προσαρμογή του φύλλου στο σκελετό και τη στερέωση του. Επίσης σχίζεται εύκολα στα σημεία όπου υπάρχει τσάκισμα.
- Η συγκόλληση φύλλων πολυαιθυλενίου επιτυγχάνεται μόνο με θέρμανση και ταυτόχρονη συμπίεση, έτσι συγκολλάται μόνο με ειδικούς θερμοσυρραπτικούς μηχανισμούς.
- Είναι περατό σχεδόν σε όλα τα μήκη της μεγάλου μήκους κύματος θερμικής ακτινοβολίας. PE πάχους 0.075 mm έχει 76% περατότητα. Το γεγονός αυτό έχει συνέπεια τη γρήγορη ψύξη του θερμοκηπίου κατά τη νύχτα. Η συμπύκνωση όμως της υγρασίας επάνω του, περιορίζει τις απώλειες με ακτινοβολία.
- Έχει μικρή διάρκεια ζωής, που αποτελεί και το κυριότερο μειονέκτημά του, γιατί η έντονη ακτινοβολία και η υψηλή θερμοκρασία το καταστρέφουν.



Σχήμα 10.2. Η επίδραση της μεμβράνης νερού στην περατότητα του υλικού κάλυψης στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία

Η σχετικά χαμηλή τιμή του υλικού και η ευκολία προσαρμογής του σε φθηνές κατασκευές, επιτρέπει τη δημιουργία θερμοκηπίων μικρού κόστους και εποχιακής χρησιμοποίησης.

Διατίθεται και φύλλο πολυαιθυλενίου ενισχυμένο με ίνες πολυαμιδίου ή άλλες συνθετικές ίνες, όμως είναι μεγάλου κόστους (4-5 φορές του κανονικού) και δεν χρησιμοποιείται παρά μόνον ελάχιστα για κάλυψη θερμοκηπίου.

Ο χρόνος που απαιτείται για να καλυφθεί ένα θερμοκήπιο διαστάσεων 10 x 30 m με μεγάλου πλάτους φύλλο πολυαιθυλενίου, είναι περίπου 8 εργατοώρες. Η εργασία αυτή είναι πολύ δύσκολη και γι' αυτό έχει μεγαλύτερο κόστος από μια συνηθισμένη εργασία.

Επειδή το πολυαιθυλένιο παρουσιάζει μια συστολή-διαστολή με τη μεταβολή της θερμοκρασίας (για μεταβολή της θερμοκρασίας μεταξύ -10°C και $+40^{\circ}\text{C}$ μεταβάλλεται κατά 3-4% το μήκος του), καλό είναι η τοποθέτηση του φύλλου να γίνεται σε μια μέση θερμοκρασία 25°C , ώστε να μην προξενούνται σκισίματα στα σημεία στήριξης

Για τη μείωση της περατότητας του PE στην μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία δημιουργήθηκαν ειδικά προϊόντα πολυαιθυλενίου όπως τα Ethylene Vinyl Acetate (EVA), του οποίου η περατότητα σε μεγάλο μήκους κύματος ακτινοβολία εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε vinyl acetate (κυμαίνεται μεταξύ 4-13%) και θερμόφιλο (PE-IR) που είναι φύλλο πολυαιθυλενίου με προσμίξεις διαφόρων αλάτων ή άλλων ενώσεων. Το θερμόφιλο, πρέπει να αναφέρουμε ότι σε μερικές περιπτώσεις, ιδιαιτέρως ο τύπος που κατασκευάζονταν παλαιότερα, παρουσίαζε κάπως περιορισμένη περατότητα και στη μικρού μήκους κύματος ακτινοβολία, καθώς και κάπως μικρότερη μηχανική αντοχή. Προσπάθειες γίνονται και για την κατασκευή φύλλου PE με εσωτερική επιφάνεια υδρόφιλη, ώστε να μην συμπυκνώνονται υδρατμοί υπό μορφή σταγόνας, αλλά υπό μορφή μεμβράνης και το νερό να ρέει προς την περιφέρεια χωρίς να πέφτει πάνω στα φυτά. Εν μέρει αυτό έχει επιτευχθεί, αλλά υπάρχουν μεγάλα περιθώρια βελτίωσης ακόμα.

Το φύλλο πολυαιθυλενίου σήμερα διαμορφώνεται με τη μέθοδο της συνεξώθησης (coextruded), δηλαδή το πλαστικό φύλλο αποτελείται από δυο ή τρία επίπεδα ενωμένα, με δυνατότητα να έχει διαφορετικό μίγμα πολυαιθυλενίου το κάθε ένα. Έτσι το κάθε επίπεδο μπορεί να έχει διαφορετικές ιδιότητες ώστε το συνολικό αποτέλεσμα να είναι αθροιστικό ή το αποτέλεσμα του συνδυασμού.

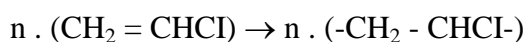
Πίνακας 10.3. Φυσικές ιδιότητες των πλαστικών φύλλων PE και PVC πριν και δυο μήνες μετά τη χρήση

Φυσικές ιδιότητες στους 25 °	Πριν τη χρήση		Μετά τη χρήση	
	PE	P.V.C.	PE	P.V.C.
Απαιτούμενη τάση για παραμόρφωση 50 % (MPa)	8,40 - 8,80	6,10 - 7,20	8,90 - 9,30	6,30 - 7,40
Απαιτούμενη τάση για παραμόρφωση 100 % (MPa)	8,70 - 9,40	9,50 - 11,40	9,00 - 9,90	9,10 - 11,70
Πίεση εντατότητας (MPa)	15,20 - 16,10	14,20 - 23,00	13,50 - 15,50	18,20 - 2,80
Επιμήκυνση στη θραύση (%)	493 - 550	250 - 290	446 - 518	238 - 290
Δύναμη σχισίματος (N)	3,10 - 6,00	8,00 - 8,60	2,70 - 5,40	7,00 - 8,70
Φορτίο πρόσκρουσης (kN/cm)	69,00	142,5	64,70	141,30

Το PE μετά 3 χρόνια χρήσης παρουσιάζει μείωση στην περατότητα του φωτός κατά 5-10 %. Όταν τοποθετείται διπλό φύλλο PE στο θερμοκήπιο, με απόσταση μεταξύ των φύλλων 100 mm, η περατότητα των δύο φύλλων είναι 62 % στη διάχυτη ακτινοβολία και 77 % στην άμεση. Η περατότητα συνολικά του θερμοκηπίου λαμβανομένου υπόψη και του σκελετού, είναι οπωσδήποτε πολύ μικρότερη από αυτές τις τιμές. Όταν τα δύο φύλλα συγκρατούνται σε απόσταση μεταξύ τους με φούσκωμα, τότε ο αέρας που αντλείται θα πρέπει να προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον, ώστε να μην υπάρχει μεγάλη συμπύκνωση υδρατμών στο εσωτερικό των δύο φύλλων.

10.3.2. Το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC).

Το πολυβινυλοχλωρίδιο, γνωστότερο με τα αρχικά P.V.C., παράγεται από το βινυλοχλωρίδιο μετά από πολυμερισμό:

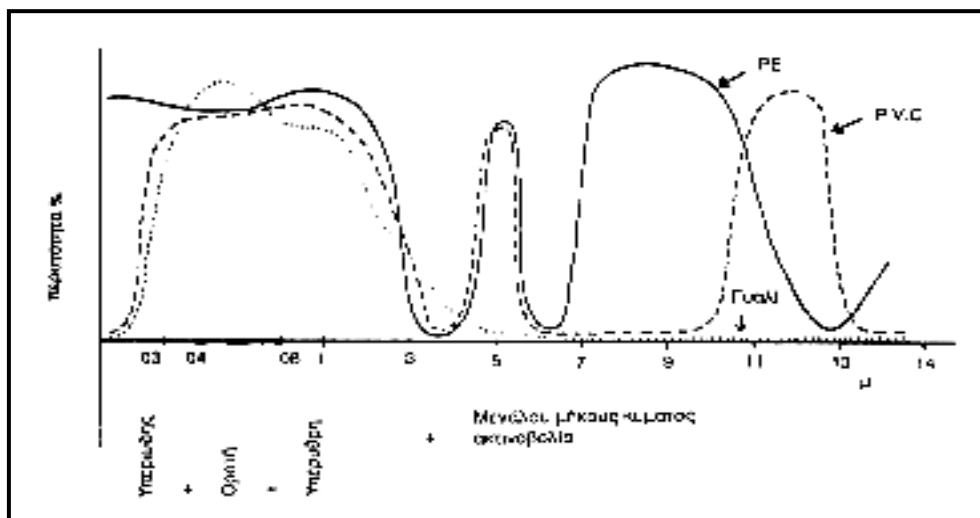


Σε θερμοκρασίες άνω των 50 °C αλλοιώνεται, ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες, γύρω στους -10°C, το P.V.C. γίνεται εύθραυστο, στο προοριζόμενο όμως για γεωργικούς σκοπούς P.V.C.

προστίθενται ουσίες, οι οποίες διευρύνουν τη ζώνη σταθερότητας του P.V.C. από + 60°C ως - 20°C. Στο P.V.C. που χρησιμοποιείται για την κάλυψη θερμοκηπίων μπαίνουν επίσης πρόσθετα που του προσδίδουν μεγαλύτερη αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία.

Το φύλλο P.V.C. έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Είναι αδιαπέρατο στο νερό και κατά κάποιον τρόπο περισσότερο περατό στους υδατμούς από το πολυαιθυλένιο, ενώ παρουσιάζει μικρότερη περατότητα στο O₂ και το CO₂.
- Η θερμοαγωγιμότητά του είναι μικρότερη του πολυαιθυλενίου, $\lambda = 0,17 \text{ Watt} / \text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, με άμεσο αποτέλεσμα την καλύτερη θερμομόνωση του θερμοκηπίου.
- Είναι λιγότερο περατό στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία από το πολυαιθυλένιο. Η περατότητα είναι περίπου 12 %.



Σχήμα 10.3. Συγκριτική περατότητα του πολυαιθυλενίου, P.V.C. και γυαλιού

- Διαρκεί περισσότερο από το πολυαιθυλένιο. Δίδεται εγγύηση 4 και 5 χρόνων για επιφάνειες πάχους 0,2 mm και 0,3 mm αντίστοιχα, όταν έχουν σύνθεση ανθεκτική στις υπεριώδεις ακτινοβολίες.
- Το κόστος του είναι περίπου 3 - 4 φορές μεγαλύτερο από του πολυαιθυλενίου πάχους 0,15 mm.
- Παράγεται σε φύλλα πλάτους 1,25 m ως 2,5 m και πολύ μεγάλο μήκος. Το μικρό πλάτος αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα γιατί απαιτεί περισσότερη εργασία στην τοποθέτηση και γιατί το θερμοκήπιο παρουσιάζει μικρότερη στεγανότητα. Το πλάτος μπορεί να αυξηθεί με κόλλημα, αλλά επιβαρύνεται με επιπλέον κόστος.
- Κρατά ηλεκτροστατικά φορτία με αποτέλεσμα να έλκει και να συγκρατεί τη σκόνη. Αυτό με την πάροδο του χρόνου μειώνει σημαντικά την περατότητα στο φως. Για να ξεπεραστεί αυτό το μειονέκτημα απαιτείται συχνό πλύσιμο ή ψεκασμός με αντιστατικό υγρό.
- Όταν είναι καινούργιο έχει πολύ καλή περατότητα στο φως, περίπου 90%.
- Όταν ενισχυθεί με πλαστικές ίνες πολυαμιδίου, αποκτά μεγαλύτερη αντοχή. Η προσθήκη των ινών προσδίδει επίσης μεγαλύτερη μονωτική ικανότητα, αλλά το καθιστά ακριβότερο και αφαιρεί από την περατότητα στο φως.

- Οι φυσικές ιδιότητες του P.V.C. παρουσιάζονται στον πίνακα 10.3. και τα οπτικά του χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στον πίνακα 10.4.

10.3.3. Πολυεστερικά φύλλα

Οι πολυεστέρες είναι προϊόντα πολυμερισμού της αιθυλικής αλκοόλης, της προπυλικής γλυκόζης και των μαλεϊκού και φουμαρικού οξέως.

Τα πολυεστερικά φύλλα όπως αυτά με το εμπορικό όνομα Mylar και melynex. έχουν το πλεονέκτημα της μεγάλης διάρκειας ζωής. Για οροφή χρησιμοποιείται φύλλο πάχους 0,127 mm που έχει διάρκεια ζωής τουλάχιστον 4 χρόνια, ενώ για τα κάθετα τοιχώματα, φύλλα 0,076 mm με διάρκεια ζωής 7 χρόνια. Πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι επίσης η περατότητά του στο φως, που πλησιάζει εκείνη του γυαλιού, καθώς και η έλλειψη στατικού ηλεκτρισμού, που έχει αποτέλεσμα να μην συκρατεί μεγάλη ποσότητα σκόνης στην επιφάνειά του όπως το P.V.C.

Πίνακας 10.4. Μέση περατότητα στο άμεσο φως (μ.κ. 0,4-0,7 μ) και μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας (μ.κ. 5-14 μ), διαφόρων συνθετικών υλικών, στην κάθετη προς την επιφάνειά τους ακτινοβολία.

Υλικό	Πάχος	Περατότητα στο φως	Περατότητα στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία
P. E.	0,075		76
P. E.	0,100		72
PE, No-Drop	0,150		64
PE	0,200	92-93	55
PE, UV-stabilized	0,200	89-92	56
PE, 5% IR	0,050	89-92	64
PE, 10% IR	0,050		53
PE, IR	0,200	86-92	33
EVA	0,050	93-94	57
EVA, 13% VA	0,100		42
EVA, 8% VA	0,100		53
EVA, 4% VA	0,120		51
EVA	0,180	91	22
PVC διαφανές	0,075		30
PVC διαφανές	0,100		25
PVC ground	0,100		21
PVC διαφανές	0,200	87-91	17
Tedlar PVF	0,030		55
Tedlar PVF	0,050		45
Tedlar PVF	0,200	93-94	33
Polyester (Melinex)	0,050		19
Polyester	0,125	89-90	5
Teflon FEP	0,050	96	57
Hostafon (ETFE)	0,100		22

Άλλες ιδιότητες των πολυεστερικών φύλλων είναι:

- Διατηρούν τη μεγάλη μηχανική αντοχή τους στο χρόνο και τις πολύ καλές θερμικές ιδιότητές του, χωρίς να επηρεάζονται από την υψηλή και χαμηλή θερμοκρασία.

- Έχουν σχετικά χαμηλό συντελεστή συστολής διαστολής.
- Το λεπτό φύλλο πολυεστέρα όταν είναι καινούριο έχει περατότητα στο φως περίπου 91%.
- Ο πολυεστέρας πάχους 0,05 mm έχει περατότητα στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία 19%.
- Σημαντικά μειονεκτήματα μπορεί να θεωρηθούν τα ακόλουθα:
- Παράγονται σε μικρό πλάτος και έχουν υψηλό κόστος. Παλαιότερα, το υψηλό κόστος των πολυεστερικών φύλλων αντισταθμιζόταν από τη μεγάλη διάρκεια της ζωής τους, όμως σήμερα η πολύ υψηλή τιμή τους καθιστά σχεδόν ασύμφορη τη χρησιμοποίησή τους στο θερμοκήπιο.

10.4. Οι επιφάνειες σκληρού πλαστικού.

10.4.1. Ενισχυμένος πολυεστέρας

Προέρχονται από πολυεστέρα στον οποίο έχουν προστεθεί 20-34% ίνες γυαλιού με αποτέλεσμα αυξημένη τη μηχανική αντοχή και καλύτερη διάχυση του φωτός στο θερμοκήπιο. Στο εμπόριο τα προϊόντα αυτά είναι περισσότερο γνωστά με το όνομα «fiberglass». Η προσθήκη 15% ακρυλικού στον πολυεστέρα δίδει επιφάνειες μεγαλύτερης αντοχής. Είναι επίσης δυνατή η προσθήκη ινών πολυαμιδίου (nylon), αντί ινών υάλου.

Το ειδικό βάρος του ενισχυμένου πολυεστέρα είναι 1,3-1,6 g / cm³. Είναι ελαφρότερο σημαντικά του τζαμιού.

Για μεγαλύτερη αντοχή και αποφυγή κυρτώσεων, στην κάλυψη της οροφής του θερμοκηπίου χρησιμοποιούνται αυλακωτές επιφάνειες ενισχυμένου πολυεστέρα, στα πλευρικά όμως τοιχώματα του θερμοκηπίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίπεδες επιφάνειες.

Στο εμπόριο κυκλοφορούν επιφάνειες πλάτους 1,25 m και μήκους μέχρι 8 m, αρκετά εύκαμπτες, ώστε να προσαρμόζονται εύκολα σε κάθε σχήμα και σκελετό θερμοκηπίου. Μπορούν να καλυφθούν θερμοκήπια με πολύ ελαφρύ σκελετό στα οποία συνήθως χρησιμοποιείται κάλυψη πολυαιθυλενίου, αλλά και με βαρύ σκελετό που συνήθως προορίζονται να καλυφθούν με υαλοπίνακες. Στην πρώτη περίπτωση το κόστος του καλυμμένου θερμοκηπίου διαμορφώνεται μεταξύ αυτού που καλύπτεται με πλαστικό φύλλο και αυτού που καλύπτεται με τζάμι. Στη δεύτερη, το κόστος είναι περίπου ίδιο ή μεγαλύτερο με αυτό που καλύπτεται με τζάμι.

Ο ενισχυμένος πολυεστέρας είναι ανθεκτικός στις χαλαζοπτώσεις και στις περιπτώσεις βανδαλισμών. Σημαντικό μειονέκτημά του είναι η διάβρωση που παθαίνει με το χρόνο στην εξωτερική του επιφάνεια, από σωματίδια άμμου που πέφτουν επάνω του (παρασυρμένα από τον αέρα) και τη χημική μόλυνση. Συνέπεια της διάβρωσης είναι η καταστροφή της λείας του εξωτερικής επιφάνειας, με αποτέλεσμα να μαζεύει σκόνη, μειώνοντας έτσι την περατότητά του στο φως. Για να αποφευχθεί το πρόβλημα αυτό, γίνεται συντήρηση με ακρυλική βαφή κάθε δεύτερο χρόνο. Η βαφή γίνεται αφού προηγουμένως τριφτεί και καθαριστεί καλά η επιφάνεια με σκληρή βούρτσα. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι, ενώ το υλικό που χρησιμοποιείται για βάψιμο είναι φθινό, η εργασία είναι δύσκολη και κοπιαστική.

Ένας βελτιωμένος τύπος ενισχυμένου πολυεστέρα είναι αυτός που έχει καλυμμένη την εξωτερική του επιφάνεια με λεπτό φύλλο «tedlar». Το «tedlar» είναι υλικό με βάση το πολυβινυλοφθορίδιο και είναι δοκιμασμένο επί 20ετία σαν υλικό μεγάλης αντοχής, διάρκειας και χημικής αδράνειας, με σημαντικό μειονέκτημά του το υψηλό κόστος. Συχνά, σε κακής ποιότητας προϊόντα, το «tedlar» ξεκολλάει από την πλάκα του πολυεστέρα και δημιουργεί μεγαλύτερο πρόβλημα. Αντί «tedlar» χρησιμοποιούνται τελευταία και διάφορα άλλα υλικά προ-

στασίας υπό μορφή ζελατίνης.

Όταν ο ενισχυμένος πολυεστέρας περιέχει προστατευτικό για τις υπεριώδεις ακτίνες, μπορεί να διαρκέσει μέχρι 10 χρόνια με μια λογική μείωση της περατότητάς του σε φως και μέχρι και 25 χρόνια σε μηχανική αντοχή. Χωρίς προστατευτικό παρουσιάζει περίπου 3 χρόνια ικανοποιητική περατότητα και 5 χρόνια μηχανική αντοχή. Η εγγύηση που πρέπει να δίδεται για τον ενισχυμένο πολυεστέρα θερμοκηπίων πρέπει να αφορά τη μείωση της περατότητας του φωτός με την πάροδο του χρόνου και κατά δεύτερο λόγο τη μείωση της μηχανικής αντοχής.

Ο ενισχυμένος πολυεστέρας κυκλοφορεί στο εμπόριο σε διάφορα χρώματα. Ο διαφανής έχει τη μεγαλύτερη περατότητα σε όλο το φάσμα του ορατού φωτός, ενώ ο χρωματιστός έχει σημαντικά μειωμένη. Για την κάλυψη των θερμοκηπίων χρησιμοποιείται ο διαφανής πολυεστέρας. Καμιά φορά ο χρωματιστός χρησιμοποιείται σε καλλιέργειες καλλωπιστικών φυτών που απαιτούν μικρή ένταση φωτισμού ή σε θερμοκήπια που χρησιμοποιούνται σαν εκθέσεις για πώληση φυτών.

Ο ενισχυμένος πολυεστέρας έχει πολύ μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Γενικά η κατανάλωση ενέργειας το χειμώνα στο θερμοκήπιο είναι ίδια ή μικρότερη με αυτήν του θερμοκηπίου που είναι καλυμμένο με υαλοπίνακες. Αντίθετα η απαίτηση για ψύξη το καλοκαίρι είναι μικρότερη στο θερμοκήπιο που είναι καλυμμένο με επιφάνειες ενισχυμένου πολυεστέρα, γιατί έχει μικρότερη περατότητα στην κάθετη ακτινοβολία.

Για καλή στεγανότητα του θερμοκηπίου κατά την τοποθέτηση των ενισχυμένων πολυεστερικών επιφανειών, πρέπει να τοποθετείται ειδική πλαστική λωρίδα στα σημεία που αλληλεπικαλύπτονται, καθώς και στις γωνίες. Η στερέωση των επιφανειών στο σκελετό γίνεται με αλουμινοβίδες που έχουν μεγάλης διαμέτρου κεφαλή.

Η επιφάνεια του ενισχυμένου πολυεστέρα είναι όπως και του πολυαιθυλενίου υδρόφοβη και συγκεντρώνει μεγάλες σταγόνες νερού που δεν κυλούν εύκολα στις πλευρές και από εκεί στο έδαφος, αλλά τινάζονται στα φυτά, ιδιαίτερα με τη δόνηση που προκαλείται από τον άνεμο. Ένας τρόπος για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα, είναι να ψεκαστεί η επιφάνεια με απορρυπαντικό (που όμως διαρκεί ελάχιστα), ή με ειδικής σύνθεσης υγρά. Στην αγορά κυκλοφορεί μία τέτοια σύνθεση με την ονομασία «Sun clear, που διαλύεται στο νερό και ψεκάζεται. Με την εξαφάνιση των σταγόνων βελτιώνεται και η περατότητα του φωτός την ημέρα.

Παρά το γεγονός ότι οι ίνες από υαλοβάμβακα είναι άκαυστες, τα άλλα δυο υλικά, πολυεστέρας και ακρυλικό είναι εύφλεκτα. Έτσι τα θερμοκήπια από ενισχυμένο πολυεστέρα κινδυνεύουν περισσότερο από φωτιά, από ότι τα υαλόφρακτα.

Γενικά σε θερμοκήπια καλυμμένα με συνθετικά υλικά που είναι γενικά εύφλεκτα, θα πρέπει:

- Να μην χρησιμοποιείται φλόγα μέσα ή κοντά στα θερμοκήπια.
- Να μην αποθηκεύονται σ' αυτά εύφλεκτα υλικά
- Να γίνει προστασία των εύφλεκτων σημείων που είναι επικίνδυνα, με αλουμινόφυλλο.

10.4.2. Οι πολυκαρβονικές επιφάνειες (PC).

Είναι διαθέσιμες στην αγορά με τα ονόματα Thermoclear, Molanex, Qualex, Lexan, Polygal, Makrolon, Akyver και Casalith.

Κυκλοφορούν στο εμπόριο υπό μορφή απλών αυλακωτών επιφανειών και υπό μορφή διπλών τοιχωμάτων.

Τα διπλά τοιχώματα χρησιμοποιούνται στην κάλυψη θερμοκηπίων με σκοπό τη μείωση

των απωλειών θερμότητας. Οι επιφάνειες αυτές αποτελούνται από δυο επίπεδα που συγκρατούνται από εγκάρσιες λωρίδες. Το κόστος ανά μονάδα επιφάνειας είναι αρκετά υψηλό, αλλά προσφέρει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στο θερμοκήπιο. Η εξοικονόμηση ενέργειας που προσφέρει είναι ανάλογη του πάχους της επιφάνειας. Στην αγορά κυκλοφορεί σε πάχος από 4-15 mm, πλάτος 1,20 m και μήκος από 2-4 m ή περισσότερο με ειδική παραγγελία. Το βάρος επιφάνειας πάχους 4 mm είναι περίπου 0,98 Kg/m² και 16 mm 3,92 Kg/ m². Όταν αυτό το υλικό είναι καινούργιο, έχει περατότητα 73-77 % (η μικρότερη τιμή αφορά τις παχύτερες επιφάνειες).

Κατά τη στερέωση θα πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη ο μεγάλος συντελεστής συστολής-διαστολής του υλικού.

Μειονέκτημά τους είναι η μείωση της περατότητάς τους στο φως με την πάροδο του χρόνου. Αποδεδειγμένα μετά από έκθεση 15 ετών στην υπεριώδη ακτινοβολία, οι πολυκαρβονικές επιφάνειες έχουν μια μείωση πάνω από 10% στην περατότητα του φωτός. Από τα πρώτα ήδη χρόνια παρουσιάζεται ένα κιτρίνισμα στο υλικό. Για να μειωθεί ο ρυθμός υποβάθμισής του, οι επιφάνειες μπορεί να βαφούν με ακρυλικό διαφανές υλικό.

Το γεγονός ότι έχει μικρότερη τιμή περατότητας από το γυαλί, δεν σημαίνει ότι το θερμοκήπιο που καλύπτεται με πολυκαρβονική επιφάνεια έχει σημαντικά λιγότερο φωτισμό από το υαλόφρακτο θερμοκήπιο τα πρώτα χρόνια, διότι αυτό το υλικό καλύπτει ελαφρότερα θερμοκήπια με λιγότερα σκελετικά στοιχεία. Θεωρείται όμως ότι γίνεται σημαντικά λιγότερος ο φωτισμός με την πάροδο του χρόνου.

Σύνηθες φαινόμενο επίσης είναι μεταξύ των δυο επιφανειών να συμπυκνώνεται η υγρασία και να μειώνεται ακόμα περισσότερο η περατότητα στο φως. Για να αποφευχθεί αυτό, πρέπει να γίνεται πολύ καλό κλείσιμο περιμετρικά (με σιλικόνη κλπ.) κατά τη διάρκεια ξηρού καιρού, ώστε να μην επικοινωνεί το εσωτερικό των δύο επιφανειών με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

10.4.3. Οι ακρυλικές επιφάνειες.

Προέρχονται από το polymethyl metacrylate (PMMA) και βρίσκονται στο εμπόριο με το όνομα Plexiglas, Perspex, Vedril και Mouch. Έχουν ένα πάρα πολύ καλό συντελεστή περατότητας στο φως. Η καλή περατότητα του υλικού αυτού διαρκεί πολύ.

Πειράματα έχουν δείξει ότι σε 15 χρόνια η πτώση της περατότητάς τους στο φως είναι μόνο 2 %, σε αντίθεση με τα άλλα συνθετικά υλικά που είναι πάρα πολύ μεγαλύτερη.

Φέρονται στο εμπόριο σε σκληρές επίπεδες ή κυματοειδείς πλάκες πάχους 2-4 mm καθώς και σε επιφάνειες διπλών τοιχωμάτων. Είναι υλικό διαφανές, άχρωμο ή με ποικίλους χρωματισμούς.

- Έχουν ειδικό βάρος 1,18 g / cm³.
- Παρουσιάζουν υψηλή μηχανική αντοχή, πολύ μεγαλύτερη του γυαλιού.
- Δεν μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά τους σε ευρεία κλίμακα θερμοκρασιών -70 και +80°C.
- Έχουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας $\lambda = 0,2 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Δεν προσβάλλονται από τα διαλύματα οξέων και αρκετά συμπυκνωμένων βάσεων καθώς και από φυτικά και ορυκτά λάδια.
- Προσβάλλονται από πυκνά οξέα, από αρωματικούς υδρογονάνθρακες, από αλδεΐδες, κετόνες και λοιπούς οργανικούς διαλύτες.

Επιφάνεια διπλών τοιχωμάτων συνολικού πάχους 16 mm παρουσιάζει μια μείωση στην

περατότητα της διάχυτης ακτινοβολίας κατά 8-10 % σε σχέση με την απλή. Η αντοχή του στο χαλάζι είναι ίδια με αυτήν του υαλοπίνακα, 4 mm.

Υπάρχει τύπος υλικού ο οποίος μεταβιβάζει την U.V. ακτινοβολία και άλλος τύπος ο οποίος την απορροφά.

Η διάρκεια αντοχής στο χρόνο είναι συγκρίσιμη με εκείνη του υαλοπίνακα. Έχει πολύ μεγαλύτερο κόστος από αυτό του υαλοπίνακα. Η ακρυλική επιφάνεια παρουσιάζει κάποια ευκαμψία ώστε να μπορεί να καμφθεί ελαφρά κατά την τοποθέτηση, απαιτεί όμως ειδικό τρόπο για να στερεωθεί στον σκελετό, διότι έχει υψηλό συντελεστή συστολής-διαστολής. Η στερέωση γίνεται μέσω ειδικής μαστίχης, ή λαστιχοφλάντζας, η οποία επιτρέπει σχετική κίνηση.

Η συμπύκνωση των υδρατμών στην επιφάνειά του γίνεται υπό μορφή σταγόνων οι οποίες μειώνουν την περατότητα στο φως κατά την διάρκεια της ημέρας. Πρόσφατα όμως κυκλοφόρησαν στο εμπόριο επιφάνειες, εσωτερικά καλυμμένες με μεμβράνη υδρόφιλη, η οποία επιτρέπει την ροή του συμπυκνώματος στην περιφέρεια. Το βάρος επιφάνειας διπλού τοιχώματος πάχους 16 mm είναι 4,91 Kg/ m².

Η χρήση σιλικόνης που έχει οργανικό οξύ ή άλλων οργανικών διαλυτών πρέπει να αποφεύγεται σ' αυτό το υλικό.

Είναι ένα θαυμάσιο υλικό από πλευράς οπτικών ιδιοτήτων και θερμομόνωσης. Το κόστος του όμως είναι πολύ υψηλό, ώστε να μην μπορούμε να πούμε πως μπορεί το υλικό αυτό να βρει γενική χρήση στα θερμοκήπια.

10.4.4. Το σκληρό πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν επιφάνειες από σκληρό διαφανές P.V.C. σαν φθινό υλικό για την κάλυψη των θερμοκηπίων, επειδή είχε χαμηλό κόστος (40 % - 60 % του fiberglass). Αργότερα δεν χρησιμοποιήθηκε σε μεγάλη έκταση, γιατί στην πράξη φάνηκε ότι ήταν πολύ μικρός ο χρόνος κατά τον οποίο διατηρούσε ικανοποιητικά τις ιδιότητές του ως προς την περατότητα και αντοχή, μερικές φορές μόνο 2 χρόνια. Κάτι τέτοιο θεωρείται ασύμφορο, αν σκεφθεί κανείς ότι στοιχίζει 5 φορές περισσότερο από το φύλλο πολυαιθυλενίου και ότι η τοποθέτησή του είναι πιο δύσκολη.

Το σκληρό P.V.C. αποδομείται σχετικά γρήγορα από την υπεριώδη ακτινοβολία, με αποτέλεσμα, αρχικά να σκουραίνει και να μειώνεται η περατότητα του φωτός, ενώ αργότερα να γίνεται πιο εύθραυστο. Στα σημεία που έρχεται σε επαφή με το σκελετό του θερμοκηπίου υποβαθμίζεται γρηγορότερα και η μηχανική αντοχή του.

Τα ερευνητικά αποτελέσματα και η πείρα έχουν δείξει ότι η περατότητα του P.V.C. στο φως εξαρτάται πολύ από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για τη σύνθεσή του και από τα πρόσθετα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του, γι' αυτό η ποιότητα ποικίλει πολύ μεταξύ των διαφόρων προϊόντων που διατίθενται στο εμπόριο. Μερικά από αυτά καλύπτονται με πενταετή ή και μεγαλύτερης διάρκειας εγγύηση ικανοποιητικών ιδιοτήτων.

10.5. Υλικά κάλυψης με επιλεκτική περατότητα στο φως.

Τα υλικά αυτά προέρχονται από τα συνήθη πλαστικά φύλλα, με τη διαφορά ότι με διάφορα πρόσθετα γίνεται αλλαγή των οπτικών χαρακτηριστικών τους, λ.χ. μειώνεται η περατότητα σε ορισμένα μήκη κύματος του ορατού φωτός και ενισχύεται η περατότητα σ' ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις των φυτών, είναι δυνατή η προσαρμογή του θερμοκηπίου ώστε

να εισέρχεται περισσότερη ακτινοβολία ενός καθορισμένου μήκους κύματος για την επίτευξη διαφόρων στόχων.

Τα υλικά αυτά από πειραματισμούς βρέθηκε ότι επιδρούν ποικιλοτρόπως στο περιβάλλον του θερμοκηπίου και την ανάπτυξη των φυτών, χωρίς σημαντικά όμως πρακτικά αποτελέσματα. Η χρήση τους προϋποθέτει σαφή γνώση των φυσιολογικών απαιτήσεων και αντιδράσεων των φυτών στα διάφορα μήκη κύματος φωτός.

Με τη χρησιμοποίηση συγκεκριμένου χρωματισμού στο φύλλο πολυαιθυλενίου, παρατηρήθηκε η απουσία ορισμένων εντόμων από το χώρο του θερμοκηπίου, η μείωση όμως του φωτοσυνθετικά ενεργού φωτός ήταν σημαντική.

10.6. Οικονομική θεώρηση των υλικών κάλυψης.

Οι σπουδαιότεροι οικονομικοί παράγοντες τους οποίους λαμβάνουμε υπόψη προκειμένου να επιλέξουμε ένα υλικό κάλυψης θερμοκηπίου είναι το αρχικό κόστος αγοράς, η διάρκεια ωφέλιμης χρήσης του και η απαιτούμενη συντήρηση και επισκευή.

Η διάρκεια ζωής δεν είναι πάντα εύκολο να προσδιορισθεί, διότι εξαρτάται από τις συνθήκες χρήσης των υλικών, αλλά και από την ποιότητα του υλικού, η οποία στις δικές μας συνθήκες δεν είναι πάντα γνωστή από την αρχή.

Στην περίπτωση των υλικών μεγάλης διάρκειας ζωής, θα πρέπει να υπολογίσουμε και το ετήσιο κόστος συντήρησης. Έτσι, για τους υαλοπίνακες το κόστος αυτό αναφέρεται στην αντικατάσταση των θραυσμένων υαλοπινάκων και τον καθαρισμό τους για την απομάκρυνση των βαφών σκιάσεως ενδεχομένως ή άλλων ακαθαρσιών.

Στην περίπτωση των πολυεστέρων το κόστος αυτό περιλαμβάνει την επιθεώρηση και αντικατάσταση ορισμένων βιδών ή καρφιών στερεώσεως. Το πλύσιμο και βούρτσισμα για τον καθαρισμό των επιφανειών και την ανανέωση της επιφάνειας των πολυεστέρων (εκτός αυτών που έχουν «tedlar») με ένα ακρυλικό προϊόν περίπου μια φορά ανά 2ετία ή 3ετία.

Πίνακας 10.5. Σύγκριση του κόστους κάλυψης των θερμοκηπίων διαφόρων υλικών.

A/A	Υλικό	Συγκριτικό Αρχικό Κόστος Ανά m ² (1) Υλικού (2)	Συγκριτικό κόστος τοποθέτησης ανά m ²	Αναμενόμενη διάρκεια ζωής σε έτη	Ετήσιες δαπάνες ανά m ²	Ετήσιο κόστος ανά m ²
1.	Πολυαιθυλένιο (100-150 μ)	1-1,5	1,5 - 2	1	-	2,5-3,5
2.	Πολυαιθυλένιο U.V. (100-150 μ)	2-2,5	1,5 - 2	2	-	2-2,5
3.	P.V.C. (200-300 μ)	6-9	1,5 - 3	4	0,5 (3)	2-3
4.	Πολυεστέρας +15% ακρυλικό α. 110 g / m ² β. 1400-1700 g / m ²	20-25 30-35	1,5 - 2 1,5 - 2	7-10 10-15	1,5 (4) 1,5 (4)	3-3,5 2,5-3,5
5.	Πολυεστέρας + tedlar 1400 - 1700 g / m ²	40-45	1,5 - 2	12-20	0,5 (4)	2,5-3
6.	Υαλοπίνακες	50	2-3	30 +	1-1,5 (5)	2-2,5

(1) Έχει ληφθεί υπ' όψη και η απαίτηση ακριβέστερου σκελετού.

(2) Κόστος κατ' εκτίμηση διότι το πραγματικό κόστος εξαρτάται από την τιμή των υλικών που χρησιμοποιούνται για τη στερέωση, της ποιότητας των υλικών, των ημερομισθίων, του τύπου του θερμοκηπίου και της ικανότητας των εργατών.

(3) Πλύσιμο κάθε χρόνο ή ανά διετία για την απομάκρυνση της σκόνης κλπ. Υπολογίστηκε ότι ένας εργάτης καθαρίζει την επιφάνεια ενός θερμοκηπίου 9 × 18 m σε 8 ώρες.

(4) Πλύσιμο όπως παραπάνω και στη συνέχεια βούρτσισμα και εφαρμογή επιφανειακά ενός ακρυλικού υλικού

Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

1. EN13031-1. Greenhouses-Design and construction - Part 1: Commercial production Greenhouses, CEN/TC284, December 2001.
2. EN 1990. Eurocode 0 – Basis of structural design, CEN, April 2002.
3. EN 1991. Eurocode 1: Actions on structures, General actions. Part 1-1: Densities, self-weight, imposed loads for buildings, CEN, April 2002, Part 1-3: Snow loads, CEN, July 2003, Part 1-4: Wind actions, CEN, April 2005, Part 1-5: Thermal actions, CEN, Nov. 2003.
4. Θεοχάρης, Μ., 2000. Η εφαρμογή των Ευρωκώδικων στη μελέτη των Ελληνικών θερμοκηπίων, Μεταπτ. Διατρ., Τμ. Γεωπ. Φυτ. και Ζωικ. Παρ/γής Παν/μίου Θεσσαλίας, Βόλος, Μάρτ. 2000, σελ. 215.
5. Θεοχάρης, Μ., 2000. Η ανεμοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, Πρακτ. 2ου Πανελλ. Συν. Γεωργ. Μηχαν., σελ. 406-414, Βόλος, Σεπτ. 2000.
6. Θεοχάρης, Μ., 2003. Η Χιονοφόρτιση των θερμοκηπιακών κατασκευών σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες, Πρακτ. 3ου Πανελλ. Συν. Γεωργ. Μηχαν., σελ. 337-344, Θεσ/νίκη, Μαΐος 2003.
7. Θεοχάρης Μ.: " Γεωργικές Κατασκευές", Άρτα 2000
8. Θεοχάρης Μ.: " Γεωργικές Κατασκευές, Εργαστηριακές Ασκήσεις", Άρτα 2000
9. Θεοχάρης Μ.: " Θερμοκηπιακές Κατασκευές", Άρτα 2000
10. Ιωαννίδης Π. " Οι στέγες στην Οικοδομή " , Αθήνα 1986
11. Αναστασόπουλος Α.: "Γεωργικές Κατασκευές" Αθήνα 1993
12. Beton Kalender 1984: Τόμοι 1 και 2. Μετάφραση στα Ελληνικά , Εκδότης Μ. Γκιούρδας.
13. Βαγιανός Ι. : "Πρακτική των Θερμοκηπίων και των Σηράγγων "
14. Γεωργακάκης Δ. : "Στοιχεία Ρύθμισης Περιβάλλοντος και Σχεδιασμού Αγροτικών Κατασκευών " , Αθήνα 1992
15. Γραφιαδέλλης Μ : "Σύγχρονα Θερμοκήπια" Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη 1980.
16. Δεϊμέζης Α : " Γενική Δομική " , Τόμοι Ι , ΙΙ , Αθήνα 1992
17. Δούκας Σ. : " Οικοδομική", Αθήνα 1994
18. Ευσταθιάδης Α. : " Θερμοκήπια Στοιχεία Κατασκευής, Λειτουργίας και Καλλιέργειας"
19. Μαυρογιαννόπουλος Γ. : " Θερμοκήπια " , Εκδοση Γ' , Αθήνα 2001
- Μπουρνιά Ε. : "Αγροτικά Κτίρια " , Έκδοση Ο.Ε.Δ.Β. , Αθήνα 1995

Σημείωμα Αναφοράς

Θεοχάρης Μενέλαος, (2015). Γεωργικές και Θερμοκηπιακές Κατασκευές (Θεωρία). ΤΕΙ Ηπείρου. Διαθέσιμο από:

<http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG109/>

Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 Διεθνές [1] ή μεταγενέστερη. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, Διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.el>



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Επεξεργασία: Δημήτριος Κατέρης

Άρτα, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ