



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

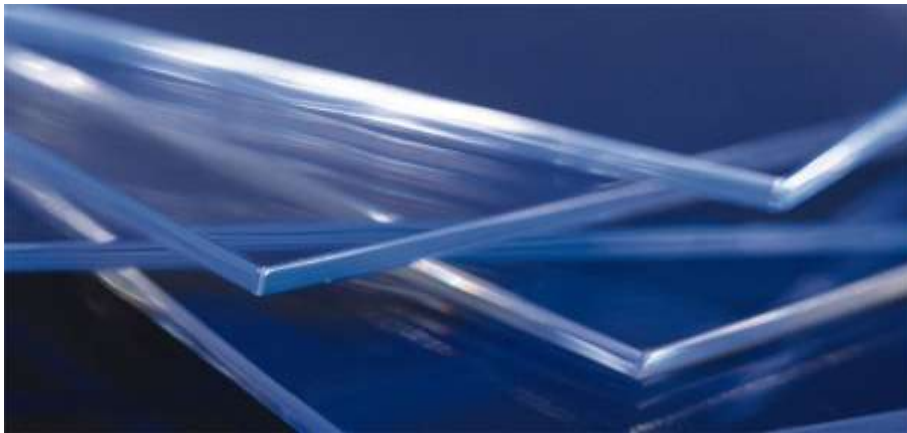
**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**«Επίδραση υδροθερμικής κατεργασίας στις μηχανικές ιδιότητες  
του Plexiglass»**



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΜΠΟΛΛΑΝΟΣ ΒΛΑΣΣΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΑΒΒΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2013

# Ευχαριστίες

Η παρούσα πτυχιακή εργασία δεν θα είχε ολοκληρωθεί χωρίς την συμβολή και την πολύτιμη βοήθεια κάποιων ατόμων, τα οποία θέλω να ευχαριστήσω.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Σαββάκη για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντας μου το θέμα και καθοδηγώντας με καθ' όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της παρούσας πτυχιακής μελέτης.

Επίσης, ευχαριστώ τους γονείς μου και την αδερφή μου, οι οποίοι τόσα χρόνια με έχουν στηρίξει.

Τέλος, ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους για όλα τα φοιτητικά χρόνια που περάσαμε στο Α.Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου.

*Μπολλάνος Βλάσσης*

*Στην οικογένεια μου*

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

Εισαγωγή.....	5
---------------	---

### **ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

#### **Κεφάλαιο 1**

1.1 Ιστορική αναδρομή του Plexiglass.....	7
1.2 Χημική δομή και παραγωγή του Plexiglass.....	8
1.3 Κατεργασία του Plexiglass.....	9
1.4 Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του Plexiglass.....	11
1.5 Μορφοποίηση του Plexiglass .....	14
1.6 Οπτικές ιδιότητες και διαπερατότητα στη ορατή ακτινοβολία.....	16
1.6.1 Οπτικές ιδιότητες.....	16
1.6.2 Διαπερατότητα στη ορατή ακτινοβολία.....	17
1.7 Διαπερατότητα στην υπεριώδη UV ακτινοβολία.....	19
1.8 Διαπερατότητα στην υπέρυθη ακτινοβολία.....	21
1.9 Διαπερατότητα στην πυρηνική ακτινοβολία.....	22
1.10 Διαπερατότητα σε διάφορες ακτινοβολίες και συχνότητες.....	23
1.11 Συντήρηση του Plexiglass.....	24
1.12 Εφαρμογές του Plexiglass.....	25
1.13 Ανακύκλωση του Plexiglass.....	26

### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

#### **Κεφάλαιο 2**

2.1 Υλικά – Συσκευές.....	28
2.2 Αποτελέσματα.....	32
2.3 Συζήτηση των αποτελεσμάτων.....	37
2.4 Συμπεράσματα.....	42

#### **Πηγές Πληροφοριών**

Βιβλιογραφία .....	43
--------------------	----

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σελίδα

### ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

#### Κεφάλαιο 1

Σχήμα 1.1 :Χημικός πολυμερισμός του Plexiglass.....	9
Σχήμα 1.2 : Αναλυτικός πίνακας ιδιοτήτων του Plexiglass.....	13
Σχήμα 1.3 : Φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας ενέργειας στο επίπεδο της θάλασσας.....	17
Σχήμα 1.4 : Ανάκλαση φωτός στην επιφάνεια Plexiglass.....	17
Σχήμα 1.5 : Φασματική διανομή διαφόρων πηγών φωτός.....	18
Σχήμα 1.6 : μετάδοση φωτός των άχρωμων φύλλων Plexiglass στις UV ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.....	20
Σχήμα 1.7 : Υπέρυθρη διαπερατότητα του άχρωμου φύλλου Plexiglass.....	21

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

#### Κεφάλαιο 2

Σχήμα 2.1 : Φωτογραφίες υδραυλικής πρέσας εφελκυσμού του εργαστηρίου Τεχνολογίας Υλικών.....	30
Σχήμα 2.2 : Φωτογραφίες των δοκιμίων μετά τη θραύση τους.....	30
Σχήμα 2.3 : Φωτογραφίες από τη διαδικασία εμβάπτισης των δοκιμίων σε υγρό (άζωτο) στους -194 °C.....	31
Σχήμα 2.4 : (α) Διάγραμμα εφελκυσμού φορτίου-παραμόρφωσης.....	34
Σχήμα 2.5 :(β) Υπολογισμός κλίσης από την περιοχή Β του διαγράμματος (α).....	35
Σχήμα 2.6 :(γ) Υπολογισμός κλίσης από την περιοχή Α του διαγράμματος (α).....	35
Σχήμα 2.7 : Διαγράμματα εφελκυσμού για διάφορες συνθήκες θερμικής γήρανσης	36
Σχήμα 2.8 : Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης του Plexiglass για διάφορες περιεκτικότητες NR.....	39
Σχήμα 2.9 : Αποτύπωση της επίδρασης της γήρανσης στην αντοχή εφελκυσμού (θραύσης του υλικού).....	40
Σχήμα 2.10 : Επίδραση της θερμικής γήρανσης στο μέτρο ελαστικότητας.....	41

# Εισαγωγή

Το Plexiglass είναι ένα ακρυλικό πλαστικό υλικό άχρωμο διαφανές και καθαρό όσο το καλύτερο οπτικό γυαλί . Είναι όμως ελαφρύτερο και έχει μεγαλύτερη αντοχή στη θραύση από το γυαλί. Μπορεί εύκολα να και μορφοποιηθεί σε πολύπλοκα σχήματα και μορφές. Η πολύ μεγάλη ευελιξία στη χρήση του η ανθεκτικότητα του στη θραύση σε σύγκριση με το γυαλί και η ποικιλία χρωμάτων και μεγεθών πάχους που είναι διαθέσιμο το κάνουν ένα πολύ χρήσιμο υλικό για την διακόσμηση την προστασία έργων τέχνης και μιας μεγάλης ποικιλίας προϊόντων στα οποία θα αναφερθούμε στην εργασία αυτή. Τα φύλλα Plexiglass χρησιμοποιούνται στις προθήκες καταστημάτων, σε οπτικά μέσα και σε πολλές εφαρμογές. Το Plexiglass ανήκει χημικά στην κατηγορία των Πολυμεθυλο –μεθύλιο ακρυλικών εστέρων –polymethyl-methyl acrylates (PMMA).Το PMMA λόγω των εξαιρετικών οπτικών ιδιοτήτων χρησιμοποιείται ως βιοϋλικό στην κατασκευή φακών επαφής, ενδοφακών, κλπ.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να μελετήσουμε την επίδραση υδροθερμικής κατεργασίας στις ιδιότητες του Plexiglass που παράγεται και είναι διαθέσιμο στην αγορά υπό μορφή φύλλων μεγάλου πάχους.

Στην εργασία αυτή αρχικά πήραμε ένα μεγάλο φύλλο Plexiglass το οποίο το κόψαμε ομοιόμορφα σε πολλά κομμάτια ώστε να πραγματοποιήσουμε το πείραμα μας. Επιλέχθηκαν συνθήκες γήρανσης έτσι ώστε να προσομοιωθούν με ακραίες συνθήκες χρήσης τα δοκίμια. Έπειτα, βάλαμε τα δοκίμια στην υδραυλική πρέσα του εργαστηρίου και μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστή πήραμε της μετρήσεις και τα διαγράμματα από τη θραύση των δοκιμίων για τον υπολογισμό της αντοχής εφελκυσμού και του μέτρου ελαστικότητας. Στη συνέχεια, αξιολογήσαμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων από το πείραμα μας και στο τέλος βγάλαμε τα συμπεράσματα μας στο κατά πόσο επηρεάζονται οι μηχανικές ιδιότητες του Plexiglass στην επίδραση υδροθερμικής κατεργασίας.

# ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

# Κεφάλαιο 1

## 1.1 Ιστορική αναδρομή του Plexiglass

Το πρώτο ακρυλικό οξύ δημιουργήθηκε το 1843. Το μεθακρυλικό οξύ που προέρχεται από το ακρυλικό οξύ δημιουργήθηκε το 1865. Η αντίδραση του μεθακρυλικού οξέος και της μεθανόλης έχει ως αποτέλεσμα τον εστέρα μεθακρυλικό μεθύλιο. Οι Γερμανοί χημικοί Fittig και Paul ανακάλυψαν το 1877 τη διαδικασία πολυμερισμού που μετατρέπει το μεθακρυλικό μεθύλιο σε πολυμεθακρυλικό μεθύλιο. Πρωτοδημιουργήθηκε το 1928 και διατέθηκε για πρώτη φορά στην αγορά το 1933 από την εταιρεία Rohm & Haas με το πατενταρισμένο όνομα Plexiglass. Από τότε πωλείται με πολλά διαφορετικά ονόματα όπως Lucite και Perspex αλλά στην ουσία πρόκειται για το ίδιο υλικό.



Εικ. Πρώτες εφαρμογές της εποχής

Το 1936 ξεκίνησε η πρώτη εμπορικά βιώσιμη παραγωγή ακρυλικού γυαλιού ασφαλείας. Κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου το ακρυλικό γυαλί χρησιμοποιήθηκε σε περισκόπια υποβρυχίων, ανεμοθώρακες, τέντες και πυργίσκους για αεροπλάνα. Υπάρχουν διάφορες ποιότητες plexiglass στην αγορά με κυριότερα τα χυτά (cast) και τα εξελασμένα (extruded). Γενικότερα αποδεκτό είναι ότι τα χυτά έχουν καλύτερες ιδιότητες για αυτό και η τιμή τους είναι ελαφρά υψηλότερη. Στην αγορά κυκλοφορούν κατά κύριο λόγο σε φύλλα, σε πάχη που κυμαίνονται από 2 χιλ έως και 200 χιλ. Ακόμη υπάρχουν ράβδοι στρογγυλής και τετράγωνης διατομής καθώς και σωλήνες.

## 1.2 Χημική δομή και παραγωγή του Plexiglass

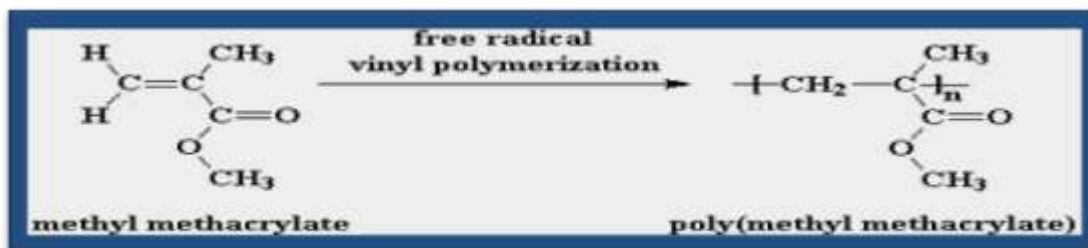
Το Plexiglass, όπως έχει επικρατήσει να αποκαλείται το ακρυλικό, είναι ένα διαφανές θερμοπλαστικό, που συχνά χρησιμοποιείται αντί του γυαλιού λόγω του ότι είναι ελαφρύτερο και ανθεκτικότερο από αυτό. Η επιστημονική του ονομασία είναι πολυμεθακρυλικό μεθύλιο (Polymethyl methacrylate ή PMMA). Γι'αυτό και συχνά ονομάζεται ακρυλικό γυαλί ή απλά ακρυλικό.

Το PMMA είναι μια φθηνότερη εναλλακτική των πολυκαρβονικών όταν οι απαιτήσεις σε δύναμη της εφαρμογής στην οποία θα χρησιμοποιηθεί δεν είναι μεγάλες. Επίσης το PMMA δεν περιέχει στη μοριακή του σύνθεση την επιβλαβή ουσία βινσφενόλη-A και όταν καίγεται δεν παράγεται διοξίνη. Προτιμάται συχνά έναντι των πολυκαρβονικών επειδή κατεργάζεται ευκολότερα και είναι φθηνότερο αλλά σπάει κάτω από πίεση, ειδικά εάν χτυπηθεί με δύναμη και χαράσσεται πολύ ευκολότερα από το γυαλί.

Το PMMA, είναι ένας εστέρας του μεθακρυλικού οξέος  $(CH_2=C[CH_3]CO_2H)$  που ανήκει στην ακρυλικού οικογένεια των ρητινών. Στη σύγχρονη παραγωγή προέρχεται κυρίως από προπυλένιο, μία ένωση εξευγενισμένα από τα ελαφρύτερα κλάσματα του αργού πετρελαίου. Προπυλενίου και βενζολίου τα οποία αντιδρούν μαζί για να σχηματίσουν κουμένιο, ή ισοπροπυλοβενζόλιο. που οξειδώνεται προς κουμόλιο υδροϋπεροξειδίου, το οποίο υποβάλλεται σε επεξεργασία με οξύ για να σχηματίσει ακετόνη. Η ακετόνη με τη σειρά της μετατρέπεται σε μια διαδικασία τριών βημάτων σε μεθακρυλικό μεθύλιο  $(CH_2=C[CH_3]CO_2CH_3)$ , το οποίο είναι ένα εύφλεκτο υγρό. Το μεθακρυλικό μεθύλιο, σε υγρή μορφή μπορεί να ανασταλεί υπό μορφή λεπτών σταγονιδίων εντός ύδατος.



Πολυμερίζεται (μόρια της που συνδέονται μαζί σε μεγάλους αριθμούς) υπό την επίδραση των ελεύθερων ριζών για το σχηματισμό στερεών PMMA. Η δομή της μονάδας πολυμερούς επανάληψη είναι:



Σχήμα 1.1 :Χημικός πολυμερισμός του Plexiglass

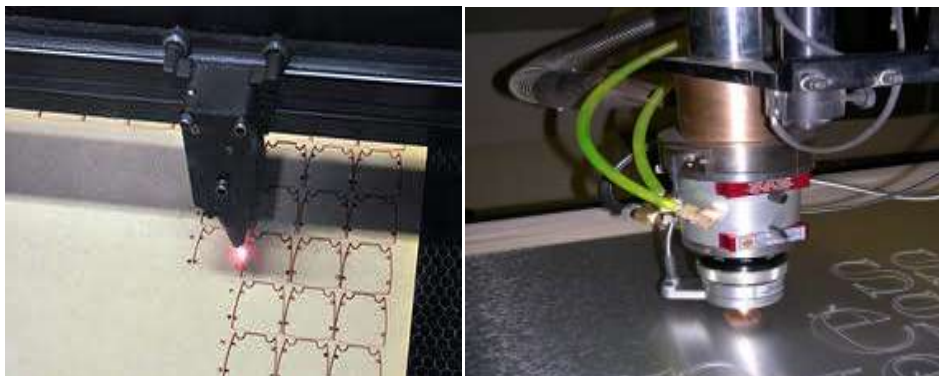
Η παρουσία του μεθακρυλικού μεθυλίου (CH<sub>3</sub>) σε ομάδες αποτρέπει τις αλυσίδες πολυμερούς από τη συσκευασία σε κρυσταλλική και από περιστροφή γύρω από τους ελεύθερους δεσμούς σε άνθρακα. Ως αποτέλεσμα, το PMMA είναι ένα σκληρό και άκαμπτο πλαστικό. Επιπλέον, έχει σχεδόν τέλεια μετάδοση του ορατού φωτός, και, επειδή διατηρεί αυτές τις ιδιότητες έναντι του χρόνου της έκθεσης σε υπεριώδη ακτινοβολία και τις καιρικές συνθήκες, είναι ένα ιδανικό υποκατάστατο για το γυαλί.

### 1.3 Κατεργασία του Plexiglass

Η κατεργασία του plexiglass είναι σχετικά εύκολη. Κόβεται χρησιμοποιώντας μια πλειάδα από τρόπους:

- 1) Με ειδικά κοπτικά τα οποία με επαναλαμβανόμενα περάσματα αφαιρούν μια μικρή ποσότητα υλικού και στη συνέχεια ασκώντας πίεση το υλικό σπάει κατά μήκος της κοπής. Ο τρόπος αυτός είναι πανομοιότυπος με την κοπή του γυαλιού όπου όμως χρησιμοποιείται εργαλείο με κεφαλή από διαμάντι. Μεγάλη προσοχή απαιτείται όμως γιατί η σπασμένη ακμή είναι εξίσου κοφτερή με μια ακμή από σπασμένο γυαλί.
- 2) Με ηλεκτρικά εργαλεία κοπής : σέγα, δισκοκόπρινο, σοκοροκόφτη, φαλτσοκόφτη, παντογράφο. Προσοχή απαιτείται στην επιλογή του κοπτικού εργαλείου. Ειδικά όταν χρησιμοποιείται δίσκος χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην γεωμετρία των δοντιών του ώστε να υπάρχει σωστό φινίρισμα κατά την κοπή και να μην δημιουργούνται σπασίματα στο κάτω μέρος της κοπής.

- 3) Με laser : Με την ευρεία διάδοση των κοπτικών laser κατέστη δυνατή η εύκολη και σε οποιοδήποτε σχήμα κοπή των πλαστικών υλικών χωρίς να υπάρχουν ρινίσματα, τα οποία είναι συχνά υπαίτιοι για γρατζουνιές, αλλά και με φινίρισμα γυαλισμένο που δεν απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία. Κατά την κοπή με laser το σημείο του υλικού που δέχεται την ισχύ της ακτίνας laser εξαχνώνεται χωρίς να αφήνει υπολείμματα.



Εικ. Κατεργασία plexiglass με laser

Το plexiglass όταν κόβεται με μηχανική κατεργασία ασπρίζει κατά μήκος της ακμής κοπής και πιθανόν να είναι απαραίτητο το γυάλισμά της. Αυτό μπορεί να γίνει με τρίψιμο με γυαλόχαρτα μικρής κόκκομετρίας και κατόπιν με ύφασμα, με θέρμανση ή με γυάλισμα με διαμάντι.

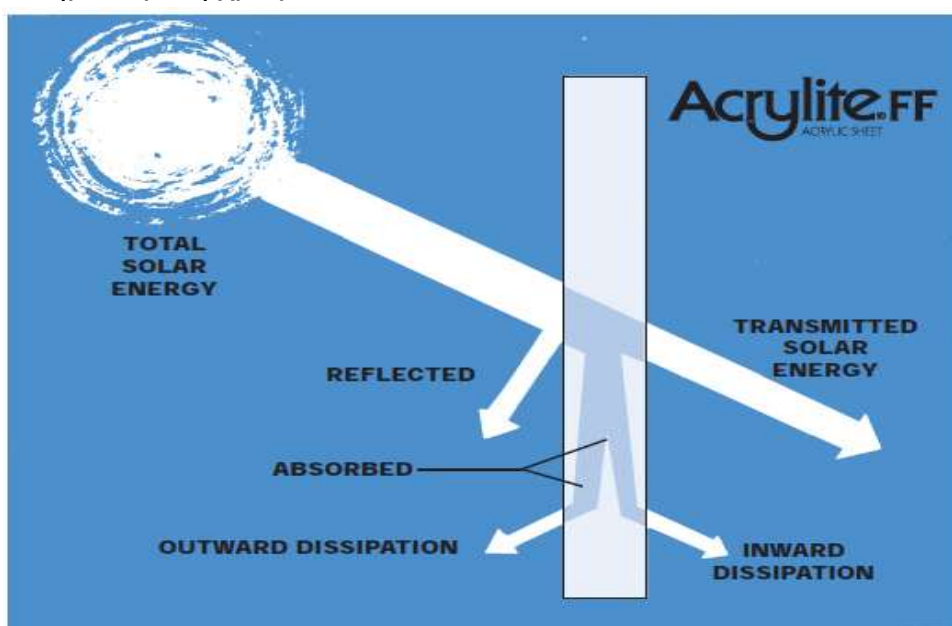
- 4) Το plexiglass μπορεί να κολληθεί χρησιμοποιώντας κυανοακρυλική κόλλα (τη γνωστή κόλλα στιγμής), με ζέσταμα σε θερμοκρασία γύρω στους 160°C, κατά το οποίο η προς κόλληση επιφάνειες λιώνουν και ενώνονται μεταξύ τους ή χρησιμοποιώντας διαλύτες για να διαλυθούν τα πλαστικά κατά μήκος της ακμής επαφής, να ενωθούν και μετά να στερεοποιηθεί η ένωση δημιουργώντας μια σχεδόν αόρατη κόλληση. Οι γρατζουνιές (κάτι από το οποίο πάσχει το plexiglass) διορθώνονται με γυάλισμα ή με ζέσταμα της επιφάνειας του υλικού.

## 1.4 Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του Plexiglass

Το ακρυλικό φύλλο είναι ένα υλικό με μοναδικές φυσικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά απόδοσης. Ζυγίζει το μισό όσο και το λεπτότερο οπτικό γυαλί, είναι όμως ίσο με αυτό στη διαύγεια και είναι έως και 17 φορές πιο ανθεκτικό στις κρούσεις. Το ακρυλικό φύλλο είναι κατασκευασμένο σε πάνω από 250 χρώματα, σε πάχη από 0.30'' μέχρι και σε 4,25" και μπορεί να μεταδώσει το υπεριώδες φως ή να φιλτράρεται έξω, όπως απαιτείται.

- 1) Αντοχή στις καιρικές συνθήκες: Το ακρυλικό φύλλο έχει εξαιρετικά καιρικά χαρακτηριστικά. Το καθαρό φύλλο δεν θα κιτρινίσει ακόμη και μετά από πολλά χρόνια από την έκθεση στο φως του ήλιου και τα χρώματα δεν θα ξεθωριάσουν.
- 2) Διαστολή και συστολή: Όπως τα περισσότερα πλαστικά, Το ακρυλικό φύλλο ανταποκρίνεται στις αλλαγές της θερμοκρασίας με την επέκταση ή ανάθεση σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό από ό, τι το γυαλί. Όταν χρησιμοποιείτε το ακρυλικό φύλλο για υπαίθρια τζάμια, κόψτε το φύλλο περίπου στο 1/16 ανά τρέχον πόδι μικρότερο από το μέγεθος του πλαισίου.
- 3) Ελαστικότητα: Το ακρυλικό φύλλο είναι πολύ πιο ευέλικτο από πολλά γυαλιά ή άλλα οικοδομικά υλικά. Όταν χρησιμοποιείται σε μεγάλα φύλλα για παράθυρα, είναι σημαντικό οι αρμοί ή τα κανάλια να είναι αρκετά βαθιά ώστε να παρέχουν στήριξη ενάντια στους δυνατούς ανέμους.
- 4) Χημική αντοχή: Το ακρυλικό φύλλο έχει εξαιρετική αντοχή σε επιθέσεις από πολλά χημικά προϊόντα. Επηρεάζεται σε διάφορους βαθμούς από βενζόλιο, τολουόλιο, τετραχλωράνθρακα, αιθυλική και μεθυλική αλκοόλη, αραιωτικά βερνικιού, αιθέρες, κετόνες και εστέρες.

- 5) Ηλεκτρική ικανότητα : Το ακρυλικό φύλλο είναι ένα εξαιρετικό μονωτικό υλικό. Η επιφανειακή αντίστασή του είναι υψηλότερη από εκείνη των περισσότερων πλαστικών. Η συνεχής εξωτερική έκθεση έχει μικρή επίδραση στις ηλεκτρικές του ιδιότητες.
- 6) Μετάδοση του φωτός: Το άχρωμο ακρυλικό φύλλο έχει μια ελαφριά μετάδοση του 92%. Είναι πιο καθαρό από το γυαλί παραθύρου και δεν κιτρινίζει. Το διαφανές λευκό ακρυλικό φύλλο διασκορπίζει το φως ομοιόμορφα και ομαλά, έτσι ώστε να είναι ιδανικό για όλους τους τύπους των φωτιστικών σωμάτων και σημείων. Το ακρυλικό φύλλο είναι επίσης διαθέσιμο σε μια μεγάλη ποικιλία από διαφανή και ημιδιαφανή χρώματα.



Εικ. Απεικόνιση μετάδοσης του φωτός

- 7) Προφυλάξεις κατά της πυρκαγιάς: Όλα τα ακρυλικά φύλλα είναι εύφλεκτα. Το εύρος αυτανάφλεξης της θερμοκρασίας είναι 830-860 °F. Να προστατεύεται από τις φλόγες και την υψηλή θερμότητα.

Property	Units	Results	Test method:ASTM
<b>Specific Gravity</b>		1.19	D 792-60 T
<b>Optical</b>			
Refractive Index		1.49	D 542-50
Light Transmittance			D 1003-61
• Parallel	%	92	
• Total	%	93	
• Haze	%	1	
<b>Mechanical</b>			
Tensile Strength			D 638-61 T
• Rupture	kg/cm <sup>2</sup>	760	
• Modulus of Elasticity	kg/cm <sup>2</sup>	30000	
• Elongation	%	4.5	
Flexural Strength			D 790-63
• Rupture	kg/cm <sup>2</sup>	1050	
• Modulus of Elasticity	kg/cm <sup>2</sup>	30000	
Compressive Strength			D 695-63 T
• Yield	kg/cm <sup>2</sup>	1260	
• Modulus of Elasticity	kg/cm <sup>2</sup>	30000	
Shear Strength	kg/cm <sup>2</sup>	630	D 732-46
Impact Strength			D 256-56
• Izod Milled Notch (200 gr.steel ball)	m	0.4	
Rock Well Hardness		M 100	D 785-62
<b>Thermal</b>			
Hot Forming Temperature	°C	140-180	
Heat Distortion Temperature 2°C/min-264 p.s.i.	°C	85	D 648-56
Maximum Recommended Continuous Srve Temperature	°C	85	
Coefficient of Thermal Conductivity	Cal/cmsec.°C	0.0006	D 696-44
Coefficient of Thermal Linear Expansion	cm/cm.°C	0.00007	
Specific Heat	Cal/gr°C	0.35	
<b>Electrical</b>			
Surface Resistivity 28°C,75% RH	ohm	>10 <sup>11</sup>	
Volume Resistivity	ohmh.cm	>10 <sup>11</sup>	D 257-61
Dielectric Strength Short Time Test (0.125 sec.)	kv/cm	160	D 149-64
Arc Resistance		No Track	D 495-61
<b>Miscellaneous</b>			
Flammability	mm/min	33	D 635-63
Water Absorption			
• Wt.Gain on Immersion for 24hrs	%	0.3	D 570-63
Odor		None	
Taste		None	

Σχήμα 1.2 : Αναλυτικός πίνακας ιδιοτήτων του Plexiglass

## 1.5 Μορφοποίηση του Plexiglass

Εκτός από άχρωμο φύλλο, οι διάφορες ποιότητες μπορούν να έρθουν σε μια ποικιλία από διαφανή, ημιδιαφανή και αδιαφανή χρώματα, καθώς και σε πολλά διαφορετικά σχέδια επιφανείας.

1) Λευκό διαφανές φύλλο : Μια σειρά από πρότυπα λευκά ημιδιαφανή χρώματα σε ένα ευρύ φάσμα πυκνότητας παρέχουν μια ευρεία επιλογή του φύλλου με διάφορα ποσοστά μετάδοσης του φωτός, διάχυση, και ισχύ απόκρυψης. Η μετάδοση του φωτός ποικίλλει επίσης με το πάχος του φύλλου. Αυτό το προϊόν λειτουργεί καλά στον τομέα του φωτισμού και σε εφαρμογές επιγραφών.

2) Διαφανής χρώματα : Μια επιλογή από βασικά χρώματα που παρέχουν διαφανή, χρώμα φιλτραρίσματος, η ηλιακή θερμότητα και ο έλεγχος της λάμψης είναι διαθέσιμα. Η μετάδοση του φωτός διαφέρει από χρώμα σε χρώμα, αλλά για το ίδιο χρώμα παραμένει περίπου στην ίδια τιμή, ανεξάρτητα από το πάχος του φύλλου. Τυπικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τζάμια, βιτρίνες, φωτιστικά.

3) Αδιαφανή χρώματα : Καθορισμένης ποιότητας αδιαφανές χαμηλού χρώματος για μη φωτιζόμενα διακοσμητικά πάνελ είναι διαθέσιμα.

4) Χρώματα ηλιακού ελέγχου : Αυτά τα φύλλα λύνουν την ηλιακή θερμότητα και τα προβλήματα ελέγχου της λάμψης. Διατίθεται σε μπρούντζινες και γκρι αποχρώσεις, που παρέχουν ένα υψηλό επίπεδο προστασίας για την αρχιτεκτονική και τη μεταφορά υαλοπινάκων, καταλυμάτων και τα αντηλιακά προϊόντα. Όπως και με άλλα διαφανή έγχρωμα φύλλα, η μετάδοση του φωτός ποικίλλει από χρώμα σε χρώμα, αλλά φύλλο του ίδιου χρώματος εκπέμπει φως περίπου της ίδιας έντασης ανεξάρτητα από το πάχος του.

5) Τα τυποποιημένα φύλλα : Η υφή της επιφάνειας του τυποποιημένου φύλλου διαθλά ή λυγίζει το μεταδιδόμενο φως. Προσθέτοντας ειδικές υφές παρέχει διακοσμητικά εφέ, διασκορπίζει ενοχλητικές αντανάκλασεις και επιτρέπει προστασία της ιδιωτικής ζωής. Ορισμένα πρότυπα επιφανειακής υφής έρχονται στη μία ή και στις δύο πλευρές του φύλλου και στα διαφανή, ημιδιαφανή και αδιαφανή χρώματα.



Εικ. Μεγάλη γκάμα χρωμάτων του Plexiglass

6) Υπέρυθρη μετάδοση : Το άχρωμο φύλλο Plexiglass μεταδίδει τα περισσότερα από την αόρατη ενέργεια του εγγύς υπερύθρου. Ωστόσο, το Plexiglass G φύλλο χρώματος 3143 μπλοκάρει το ορατό φως και επιλεκτικά μεταδίδει υπέρυθρο φως. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν συσκευές τηλεχειρισμού, φακούς λέιζερ και αισθητήρες θερμότητας.

7) Υπεριώδες φιλτράρισμα φωτός : Οι διαμορφώσεις των Plexiglas G UF-3 και UF-4 φύλλων και το Plexiglas MC UF-5 μπλοκάρουν το υπεριώδες φως, μαζί με το UF-5, παρέχοντας μέγιστη απορρόφηση της υπεριώδους. Οι διαβαθμίσεις του τυποποιημένου φύλλου του Plexiglas απορροφούν μόνο το σύντομο μήκος κύματος ενέργειας υπεριώδους. Ωστόσο, οι διαμορφώσεις UF έχουν τις ίδιες φυσικές ιδιότητες όπως τους αντίστοιχους βαθμούς του φύλλου και συχνά χρησιμοποιούνται για την προβολή εγγράφων και τεχνουργημάτων για την ελαχιστοποίηση των επιβλαβών συνεπειών της υπεριώδους ακτινοβολίας.

## 1.6 Οπτικές ιδιότητες και διαπερατότητα στη ορατή ακτινοβολία

### 1.6.1 Οπτικές ιδιότητες

Το Plexiglass ακρυλικό πλαστικό φύλλο στον άχρωμο βαθμό του είναι τόσο καθαρό όσο το λεπτότερο οπτικό γυαλί, αλλά είναι ελαφρύτερο σε βάρος, έχει υψηλότερη αντοχή θραύσης και μπορεί εύκολα να κατασκευαστεί σε σχήματα που περιορίζεται μόνο από τη φαντασία του σχεδιαστή.

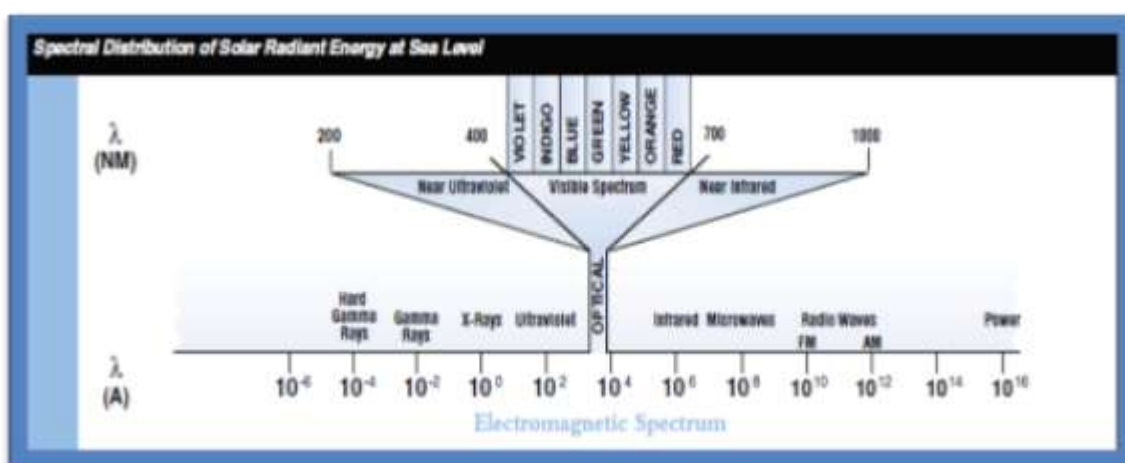
Η ανυπέρβλητη ευελιξία του φύλλου, η οπτική καθαρότητα του, η ευκολία της κατασκευής του και η διακόσμηση του, το μικρό βάρος του και η αντοχή θραύσεως του σε σύγκριση με το γυαλί. Η ποικιλία των μεγεθών, διάφορα πάχη, σχήματα και χρώματα είναι διαθέσιμα, επιτρέπουν ουσιαστικά απεριόριστη χρήση για διακριτική προστασία και την απεικόνιση των πολύτιμων έργων τέχνης. Επιπλέον, όταν χρησιμοποιείται για την εμφάνιση, η οπτική και αισθητική του μπορεί να βοηθήσει και να κάνουν ωραία εμπορεύματα όπως τα είδη ένδυσης να φανούν καλύτερα.

Μπορεί επίσης να δημιουργήσει περίπλοκες κατασκευές ενός αρχιτεκτονικού μοντέλου για εσωτερικούς χώρους ή μιας εκπαιδευτικής διάταξης. Αυτές οι ίδιες ιδιότητες επιτρέπουν στο Plexiglass φύλλο να χρησιμοποιηθεί ως οπτικό μέσο σε εφαρμογές όπως είναι οι φακοί φωτισμού ή σε μεγάλους πίνακες σχεδίασης.



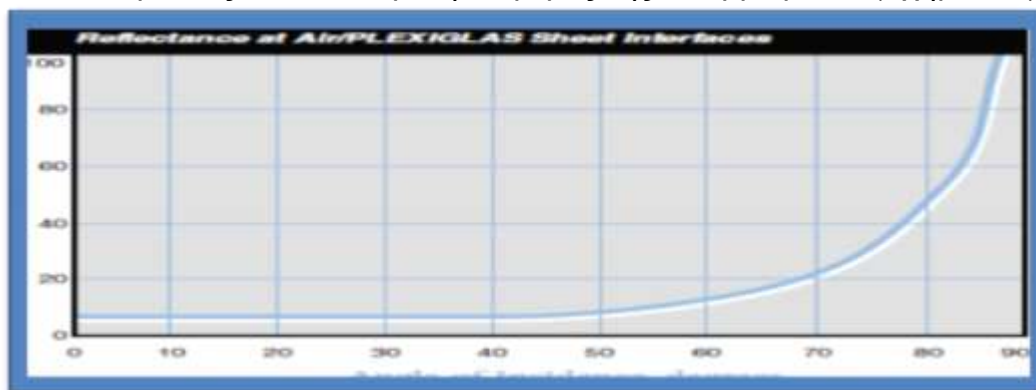
## 1.6.2 Διαπερατότητα στη ορατή ακτινοβολία

Σε άχρωμη μορφή, όσο πιο διαφανές είναι το φύλλο Plexiglass είναι το καλύτερο οπτικό γυαλί. Η συνολική μετάδοση φωτός είναι 92%, και οι μετρούμενοι μέσοι όροι του είναι μόνο 1%. Τα μήκη κύματος του ορατού φωτός του εμπίπτουν εντός πεδίου από περίπου 400 έως 700 νανόμετρα στο ηλεκτρομαγνητικό του φάσμα. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια από τον ήλιο είναι πλούσια σε αυτά τα μήκη κύματος, σταδιακή μείωση σε υπεριώδεις και υπέρυθρες περιοχές, όπως φαίνεται από το σχετικό διάγραμμα διανομής ενέργειας στο (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3 : Φασματική κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας ενέργειας στο επίπεδο της θάλασσας

Όταν μια ακτίνα φωτός, χτυπά σε άχρωμο φύλλο Plexiglass κάθετα προς την επιφάνειά του (90 ° γωνία προσπτώσεως), το μεγαλύτερο μέρος της, που διαδίδεται ανακλάται το ίδιο, τόσο στις επάνω όσο και στις κάτω επιφάνειες, και ένα αμελητέο μέρος της απορροφάται. (Σχήμα 1.4)

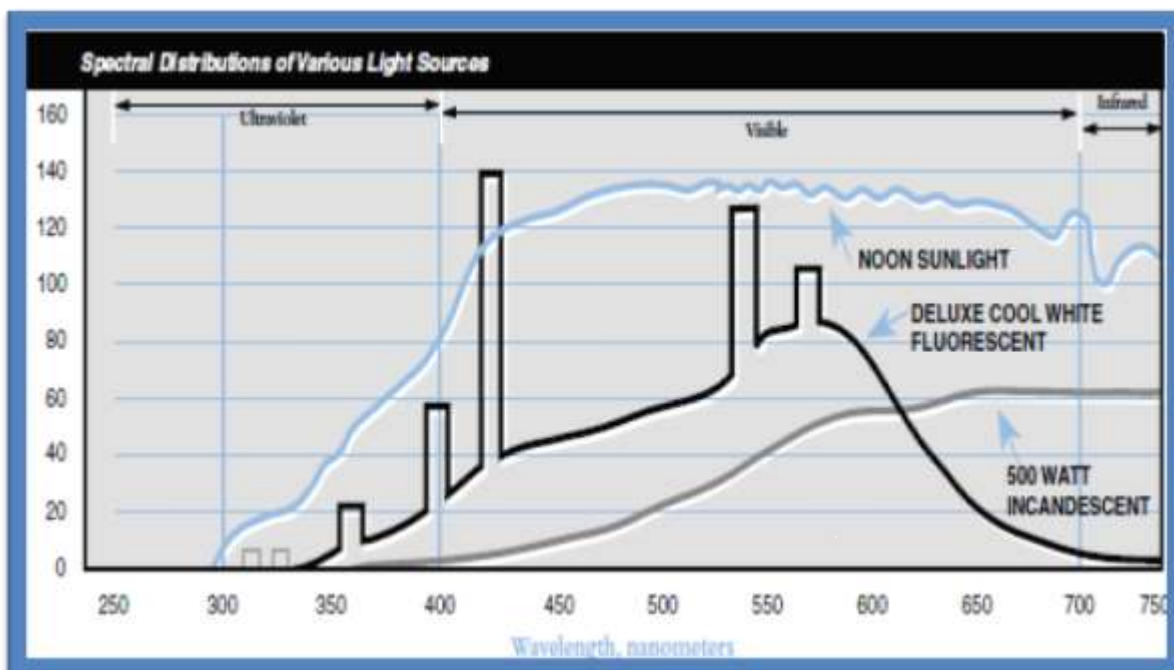


Σχήμα 1.4 : Ανάκλαση φωτός στην επιφάνεια Plexiglass

Η θεωρητική μέγιστη διαπερατότητα ενός μη απορροφούμενου οπτικού μέσου εξαρτάται από τον διαθλαστικό του δείκτη. Το φύλλο Plexiglass έχει ένα δείκτη διάθλασης από 1,49 ως προς τη γραμμή D του νατρίου: η υπολογισθείσα θεωρητική μέγιστη μετάδοση του φωτός για ένα τέτοιο μέσο είναι 92,5%. Η πραγματική μέτρηση δείχνει ότι σε άχρωμο φύλλο Plexiglass με πάχος έως 6 mm (0,236 ") διαδίδεται το 92% του φωτός που χτυπά κάθετα στην επιφάνεια: αυτό το μέρος αντιπροσωπεύει σχεδόν το συνολικό φως που μπορεί να εκπέμπεται από ένα τέλει οπτικό μέσο σε αυτό το δείκτη διάθλασης.

Περίπου το 4% των ακτινών που προσπίπτουν κάθετα είναι ανακλάσιμες σε κάθε επιφάνεια αέρος του άχρωμο φύλλο Plexiglass, δίνοντας μια συνολική απώλεια ανάκλασης του περίπου 8%. Καθώς η προσπίπτουσα δέσμη αποκλίνει από την κάθετο, η ανάκλαση της επιφάνειας αυξάνεται.

Σε όλα τα συνήθη πάχη (από 0,060" σε 0.236"), η απορρόφηση του φωτός από το άχρωμο φύλλο Plexiglass δεν είναι σημαντική. Ακόμη και σε πάχος 1", η απορρόφηση είναι λιγότερο από 0,5%.



Σχήμα 1.5 : Φασματική διανομή διαφόρων πηγών φωτός

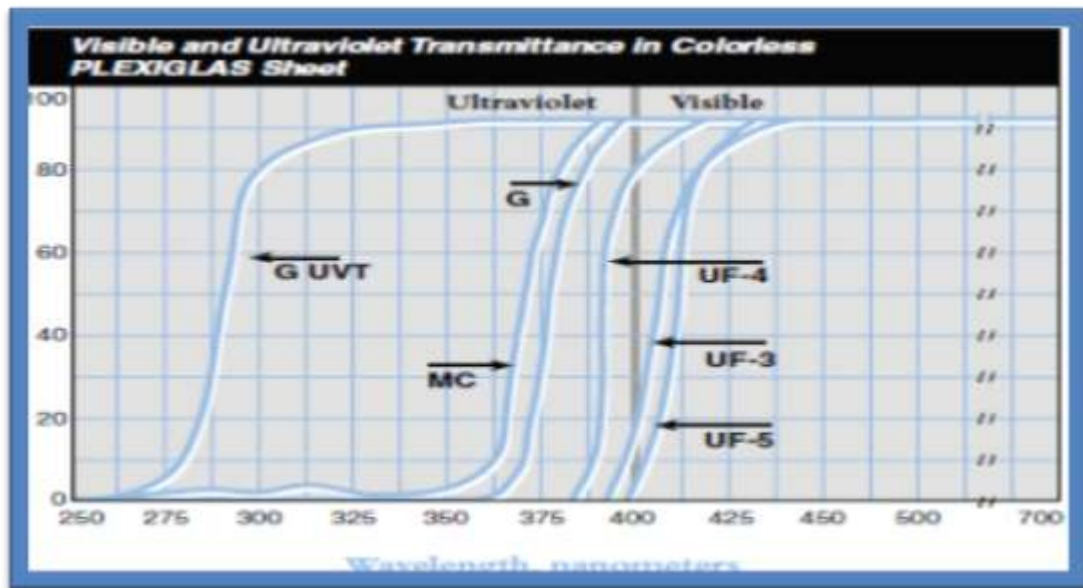
## 1.7 Διαπερατότητα στην υπεριώδη UV ακτινοβολία

Το φύλλο Plexiglass απορροφά τα μικρότερα μήκη κύματος της υπεριώδους (UV) ενέργειας αλλά μεταδίδει τα περισσότερα από τα μεγαλύτερα μήκη κύματος (εκείνα κοντά στην ορατή περιοχή). Η UV διαπερατότητα, σε αντίθεση με την ορατή και υπέρυθρη διαπερατότητα, άχρωμου φύλλου Plexiglass διαφέρει από τη μια στην άλλη διαμόρφωση. Συνεπώς, στο φύλλο Plexiglass MC διαδίδεται λίγη περισσότερη ακτινοβολία από τη περιοχή μεγαλων μηκών κύματος UV από ό, τι συμβαίνει στο φύλλο Plexiglass G.

Ακόμη και μετά από παρατεταμένη εξωτερική έκθεση ή σε τεχνητό φως, τα φασματοφωτομετρικά χαρακτηριστικά του φύλλου Plexiglass στις υπεριώδους και ορατές περιοχές του φάσματος δεν αλλάζουν σημαντικά. Τα περισσότερα από τη μείωση της υπεριώδους διαπερατότητας φύλλα Plexiglass λαμβάνουν χώρα κατά τα δύο πρώτα χρόνια μετά την έκθεση στο ηλιακό φως. Καμία μετρήσιμη μεταβολή δεν συνέβη στις φασματοφωτομετρικές καμπύλες αυτών των εκτεθειμένων δειγμάτων μεταξύ 5 και 10 ετών σε εξωτερικούς χώρους.

Ένα άχρωμο φύλλο Plexiglass επιδεικνύει την ίδια εξαιρετική αντοχή στον αποχρωματισμό όταν εκτίθεται για 20 χρόνια ή περισσότερο σε διαρκώς αναμμένη λάμπα φθορισμού, ακόμη και όταν το φύλλο από Plexiglass είναι μόνο δύο ίντσες από τον λαμπτήρα.

Αυτή η αξεπέραστη σταθερότητα υπεριώδους δίνει στο Plexiglass εξαιρετική αντοχή στις καιρικές συνθήκες και το καθιστά την λογική επιλογή ανάμεσα σε πλαστικά υλικά για εξωτερική και εφαρμογές του τεχνητού φωτισμού. Άλλα διαφανή πλαστικά υλικά έχουν την τάση να κιτρινίζουν ή αναπτύσσουν αξιοσημείωτα επίπεδα θολότητας όταν εκτίθενται σε υπεριώδη ενέργεια.



Σχήμα 1.6 : μετάδοση φωτός των άχρωμων φύλλων Plexiglass στις UV ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

Ορισμένες ειδικές συνθέσεις του Plexiglass έχουν φασματοφωτομετρικά χαρακτηριστικά που τους επιτρέπουν να φιλτράρουν το σύνολο σχεδόν της ενέργειας UV. Τα σκευάσματα αυτά είναι διαθέσιμα και σε φύλλο και σε ρητίνες χυτεύσεως. Τα Plexiglass υπεριώδους-φιλτραρίσματος υλικά προσφέρουν προστασία από δομικές βλάβες που προκαλούνται από έκθεση σε υπεριώδη μήκη κύματος μικρότερα από 400 nm. Ωστόσο, επειδή αυτά τα υλικά δεν φιλτράρουν αισθητά το ορατό φως στην κρίσιμη κατώτατη περιοχή του ιώδους από 400 έως 500 nm, δεν θα το παρεμποδίσει πλήρως.

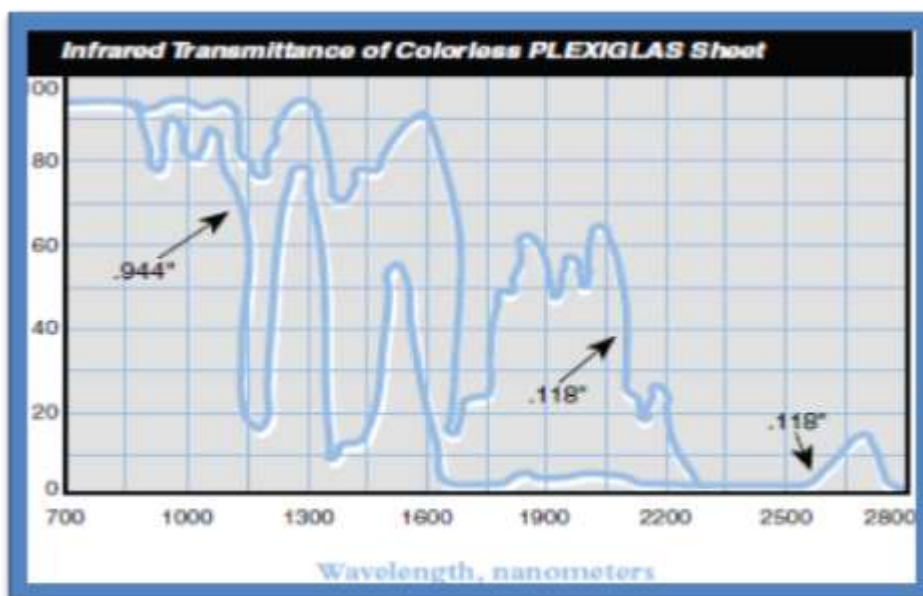
## 1.8 Διαπερατότητα στην υπέρυθη ακτινοβολία

Το άχρωμο φύλλο plexiglass μεταδίδει το μεγαλύτερο μέρος της αόρατης εγγύς υπέρυθρης ενέργειας στην περιοχή 700 - 2800 nm του μήκος κύματος, αλλά έχει απορροφήσει ορισμένες ζώνες. Οι καμπύλες για 0,118 "- και 0.944 " δείχνουν ότι η εγγύς υπέρυθη διαπερατότητα εξαρτάται από το πάχος, μειώνεται λογαριθμικά καθώς αυξάνεται το πάχος.

Το άχρωμο φύλλο plexiglass είναι εντελώς αδιαφανές σε υπέρυθρα μήκη κύματος από 2800 nm έως και 2500nm .

Το φύλλο plexiglass έχει τις ίδιες οργανικές μεθόδους που επιβεβαιώνουν ότι οι καιρικές συνθήκες δεν μεταβάλλουν καθόλου τα χαρακτηριστικά της υπέρυθρης μετάδοσης του plexiglass.

Ορισμένες συσκευές, όπως τα τηλεχειριστήρια ή αισθητήρες θερμότητας, απαιτούν φίλτρα που είναι αδιαφανή σε όλο το ορατό φως, αλλά είναι διαπερατά σε επιλεγμένα μήκη κύματος στην περιοχή του υπέρυθρου. Το προσαρμοσμένο τεχνητό στο χρώμα plexiglass G 3142 αναπτύχθηκε για το σκοπό αυτό.



Σχήμα 1.7 : Υπέρυθη διαπερατότητα του άχρωμου φύλλου Plexiglass

## 1.9 Διαπερατότητα στην πυρηνική ακτινοβολία

Το άχρωμο Plexiglass έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά πυρηνικής διαπερατότητας :

- 1) Ακτίνες Άλφα : ουσιαστικά αδιαφανές, εμφανίζουν σχεδόν 100% απορρόφηση σε κάθε πάχους.
- 2) Ακτίνες Βήτα : ουσιαστικά αδιαφανές σε πάχη του 0,334" ή περισσότερο.
- 3) Ακτίνες γάμμα : διαφανές σε ακτίνες γάμμα σε όλα τα συνήθη πάχη. Το άχρωμο Plexiglass έχει περίπου τον ίδιο συντελεστή απορρόφησης της ακτίνας γάμμα όπως το νερό. Ωστόσο, η έκθεση σε υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας γάμμα υψηλής έντασης, όπως είναι σύνηθες στη αποστείρωση συσκευών, μπορεί να προκαλέσει αποχρωματισμό ή ακόμα και την απώλεια ορισμένων φυσικών ιδιοτήτων.
- 4) Νετρόνια: αδιαφανές σε νετρόνια. Το plexiglass χρησιμεύει ως ασπίδα νετρονίων με διακοπή ενέργειας που μεταβάλλεται άμεσα με την περιεκτικότητα σε υδρογόνο.

## 1.10 Διαπερατότητα σε διάφορες ακτινοβολίες και συχνότητες

- 1) Ακτίνες-Χ : Όλα τα συνηθισμένα πάχη του άχρωμου plexiglass αμέσως διαδίδουν ακτίνες-Χ. Επειδή το φύλλο plexiglass έχει ουσιαστικά τον ίδιο συντελεστή απορρόφησης ακτινών-Χ όπως το νερό, οι ακτινογραφίες μπορούν να λαμβάνονται για να συνδέσουν το πλέγμα στα κατάγματα των οστών χωρίς απομάκρυνση των ακρυλικών ναρθήκων.
  
- 2) Ραδιοφωνικών συχνοτήτων : Οι περισσότεροι σχηματισμοί άχρωμων Plexiglass διαδίδουν άμεσα τυποποιημένα κύματα εκπομπών, τηλεόρασης και τα περισσότερα ραντάρ του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
  
- 3) Υψηλής ενεργειακής ακτινοβολίας : Αν και το Plexiglass κατέχει μία ασυνήθιστη αντίσταση στον αποχρωματισμό από την έκθεση σε όλες τις συνήθεις πηγές φωτός, ειδικά τις πηγές που εκπέμπουν έντονη υψηλή ενεργειακή ακτινοβολία και επιπλέον στο ορατό φως μπορεί σε χρόνο να αποχρωματιστεί ακόμα και να κάνει ζημιά στο Plexiglass.

## 1.11 Συντήρηση του Plexiglass

Η διαδικασία της δέουσας επιμέλειας για τον καθαρισμό φύλλου του Plexiglass θα ελαχιστοποιήσει το γρατσούνισμα. Πλύνετε το φύλλο του Plexiglass με ένα ήπιο σαπούνι ή απορρυπαντικό και με χλιαρό διάλυμα νερού. Χρησιμοποιείται ένα καθαρό, μαλακό πανί ή σφουγγάρι με όσο το δυνατόν περισσότερη ποσότητα διαλύματος . Ξεπλένεται καλά. Στεγνώνεται καλά με ένα υγρό πανί ή δέρμα .

Προσοχή: Τα λειαντικά θα χαράξουν την επιφάνεια του μη επικαλυμμένου φύλλου του Plexiglass. Μην χρησιμοποιείτε συρμάτινες ενώσεις, χαλικώδη πανιά, υγρά καθαρισμού υαλοπινάκων, μόλυβδο ή αιθυλική βενζίνη ή διαλυτικά όπως οινόπνευμα, ακετόνη και τετραχλωράνθρακα.

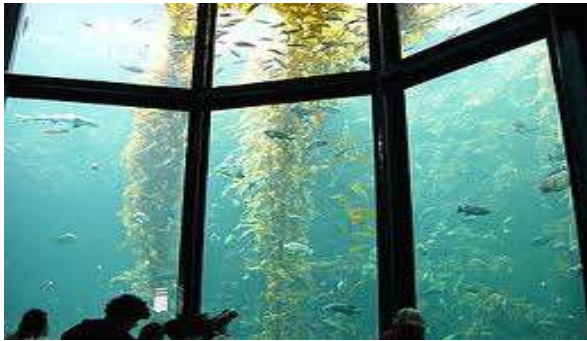
Για να γυαλίσει, εφαρμόστε ένα λεπτό, ομοιόμορφο στρώμα ενός καλού ποιοτικού κεριού από πάστα αυτοκινητοβιομηχανίας με ένα μαλακό, καθαρό πανί για να προστατεύσει την επιφάνεια του φύλλου του Plexiglass και να διατηρήσει τη λάμψη του. Μετά το γυάλισμα, σκουπίστε με ένα καθαρό, υγρό πανί για να γειώσετε οποιαδήποτε ηλεκτροστατικά φορτία που μπορεί να προσελκύσουν τα σωματίδια σκόνης.



## 1.12 Εφαρμογές του Plexiglass

Οι εφαρμογές του Plexiglass είναι πάρα πολλές :

- > Αρχιτεκτονική και Διακόσμηση
- > Ναυπηγική
- > Βιοτεχνία
- > Μεταφορικά Μέσα
- > Ειδικές κατασκευές
- > Κατασκευές Ασφαλείας
- > Διακόσμηση Βιτρινών
- > Βιομηχανία
- > Ελικόπτερα-Αεροπλάνα
- > Παραπετάσματα
- > Διακοσμητικές Κατασκευές
- > Προβολή Αντικειμένων
- > Επιγραφές
- > Σκάφη Αναψυχής
- > Εκθέσεις-Επιδείξεις
- > Αναμνηστικά Δώρα
- > Ανάδειξη Αντικειμένων
- > Οχήματα Auto-Moto
- > Διαφημίσεις



ΕΙΚ. Εικόνες από εφαρμογές του Plexiglass

## 1.13 Ανακύκλωση του Plexiglass

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να ανακυκλωθεί το PMMA. Συχνά αυτή η επεξεργασία ανακύκλωσης περιλαμβάνει τη διαδικασία της πυρολύσεως. Το μονομερές μπορεί συχνά να ανακτηθεί από θραύσματα PMMA δια αποπολυμερισμού. Για πολλά χρόνια, το PMMA έχει επιτυχώς αποπολυμεριστεί με επαφή με τετηγμένο μόλυβδο στους περίπου 500 ° C. Το μονομερές MMA μπορεί να επιτευχθεί σε καθαρότητα μεγαλύτερη από 98%. Αν και αυτή η διαδικασία δίνει στο PMMA υψηλή καθαρότητα, η χρήση του μολύβδου είναι ανεπιθύμητη, από περιβαλλοντική σκοπιά. Περαιτέρω, μικρές ποσότητες μολύβδου σαν ένα μολυσματικό είναι εξαιρετικά δύσκολο να απομακρυνθούν από το μονομερές, μειώνοντας το εύρος των εμπορικών προϊόντων για τα οποία το ανακτημένο μονομερές είναι αποδεκτό. Υψηλότερη καθαρότητα θα ήταν επιθυμητή και σε ιδιαίτερα ουσιαστική ελευθερία από παραπροϊόντα, όπως το ισοβουτυρικό μεθύλιο που είναι μη πολυμερές, δύσσομο και είναι δύσκολο να διαχωριστεί από το PMMA.



Εικ. Εικόνες ανακύκλωσης Plexiglass

Συνεπώς, τώρα οι νέες διαδικασίες ανακύκλωσης δοκιμάζονται (και χρησιμοποιούνται εμπορικώς στην πράξη) για να μπορούν να ανακυκλώνουν το PMMA πολύ καλύτερα. Το PMMA είναι ένα πλαστικό που χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο, έτσι τόσο περισσότερες είναι οι πρόσφατες εφευρεθείσες μεθόδους ανακύκλωσης αυτού του πλαστικού υλικού.

# ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## Κεφάλαιο 2

### 2.1 Υλικά – Συσκευές

Στην εργασία αυτή μελετήθηκε η επίδραση της θερμικής γήρανσης στη μηχανική συμπεριφορά του Plexiglass. Η προμήθεια του υλικού έγινε από βιοτεχνία διάθεσης και τοποθέτησης Plexiglass η οποία έχει έδρα το Ηράκλειο. Στοιχεία για την ακριβή σύσταση του υλικού δεν μας δόθηκαν. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε με τη επωνυμία “Plexiglass” είναι σύνηθες υλικό που διατίθεται για τη κατασκευή υαλοπινάκων, τοποθετείται σε παράθυρα, πόρτες, σε διαχωριστικά και άλλες κοινές εφαρμογές.

Τα δοκίμια κόπηκαν σε διαστάσεις τέτοιες ώστε η διαθέσιμη συσκευή εφελκυσμού στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Υλικών να δίνει από απαλή αντοχής του εφελκυσζόμενου υλικού τα καλύτερα αποτελέσματα. Οι διαστάσεις των δοκιμίων ήταν 30mm x 3.91mm x 111mm. Η ταχύτητα επιβολής του φορτίου ήταν 28mm/min. Για τα υλικά αυτά το προτεινόμενο πρότυπο για τον έλεγχο σε δοκιμασία εφελκυσμού είναι D638/ASTM. Οι συνθήκες γήρανσης επιλέχθηκαν έτσι ώστε να προσομοιωθούν με ακραίες συνθήκες χρήσης του υλικού ως εξής: θέρμανση στους 50 °C για 5 ημέρες, θέρμανση στους 50 °C για 10 ημέρες, στους -20 °C για 10 ημέρες. Συμπληρωματικά εφαρμόστηκαν και πιο ακραίες συνθήκες όπως ψύξη σε υγρό (-194 °C).

Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζεται η περιγραφή των διαδικασιών που έγιναν ως εξής :

ΔΟΚΙΜΑΣΙΑ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΚΑΝ
Εφελκυσμός σε 5 δοκίμια χωρίς θερμική κατεργασία	Pg <sub>xth</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αντοχή εφελκυσμού (Αντοχή θραύσης)</li> <li>• Μέτρο ελαστικότητας (E)</li> </ul>
Εφελκυσμός σε 5 δοκίμια μετά από θέρμανση στους 50 °C για 5 ημέρες	Pg <sub>th5</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αντοχή εφελκυσμού (Αντοχή θραύσης)</li> <li>• Μέτρο ελαστικότητας (E)</li> </ul>
Εφελκυσμός σε 5 δοκίμια μετά από θέρμανση στους 50 °C για 10 ημέρες	Pg <sub>th10</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αντοχή εφελκυσμού (Αντοχή θραύσης)</li> <li>• Μέτρο ελαστικότητας (E)</li> </ul>
Εφελκυσμός σε 5 δοκίμια μετά από ψύξη στους -20°C για 10 ημέρες	Pg <sub>k</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αντοχή εφελκυσμού (Αντοχή θραύσης)</li> <li>• Μέτρο ελαστικότητας (E)</li> </ul>
Εφελκυσμός σε 5 δοκίμια μετά από ψύξη στους -194°C για μισή ώρα	Pg <sub>N05</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αντοχή εφελκυσμού (Αντοχή θραύσης)</li> <li>• Μέτρο ελαστικότητας (E)</li> </ul>
Εφελκυσμός σε 5 δοκίμια μετά από ψύξη στους -194°C για 1 ώρα	Pg <sub>N1</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αντοχή εφελκυσμού (Αντοχή θραύσης)</li> <li>• Μέτρο ελαστικότητας (E)</li> </ul>
Εφελκυσμός σε 5 δοκίμια μετά από ψύξη στους -194°C για 3 ώρες	Pg <sub>N3</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Αντοχή εφελκυσμού (Αντοχή θραύσης)</li> <li>• Μέτρο ελαστικότητας (E)</li> </ul>

Οι δοκιμασίες εφελκυσμού έγιναν για όλα τα δοκίμια στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.



Σχήμα 2.1 : Φωτογραφίες υδραυλικής πρέσας εφελκυσμού του εργαστηρίου Τεχνολογίας Υλικών



Σχήμα 2.2 : Φωτογραφίες των δοκιμίων μετά τη θραύση τους



Σχήμα 2.3 : Φωτογραφίες από τη διαδικασία εμφάττισης των δοκιμών σε υγρό (άζωτο) στους  $-194\text{ }^{\circ}\text{C}$

## 2.2 Αποτελέσματα

Η συσκευή εφελκυσμού ήταν συνδεδεμένη με PC (ηλεκτρονικό υπολογιστή). Για τη καταγραφή των φορτίων και της επιμήκυνσης του δοκιμίου χρησιμοποιήθηκε κάρτα μεταφοράς δεδομένων και το πρόγραμμα Labview. Η καταγραφή γινόταν σε αρχείο text.

Το φορτίο καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 1\text{Kr}(10\text{N})$  και η επιμήκυνση με ακρίβεια  $\pm 0.01\text{ mm}$ .

Τα text αρχεία στη συνέχεια τα επεξεργαστήκαμε με το πρόγραμμα origin 7.0 για τη κατασκευή των διαγραμμάτων φορτίου επιμήκυνσης, αλλά και για την εφαρμογή της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων για να υπολογίσουμε τη κλίση από την οποία στη συνέχεια υπολογίζουμε το μέτρο ελαστικότητας.

Ο υπολογισμός της τάσης έγινε από τη σχέση  $\sigma = \frac{F}{A}$  όπου το φορτίο σε Newton και η διατομή  $30\text{mm} \times 3.91\text{mm} = 1.173 \times 10^{-4}\text{ m}^2$ .

Επειδή η τάση θραύσης υπολογίστηκε σε  $\sigma_{\text{θραύσης}}$  (MPa).

Ο υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας έγινε από τη σχέση  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$  όπου η παραμόρφωση και το μέτρο ελαστικότητας. Η σχέση αυτή δίνει :

όπου:

- $L_0$  = μήκος δοκιμίου
- $\Delta L$  = επιμήκυνση
- $\Delta L / L_0$  = κλίση από το διάγραμμα φορτίου – επιμήκυνσης

Το μέτρο ελαστικότητας υπολογίστηκε ως εξής :

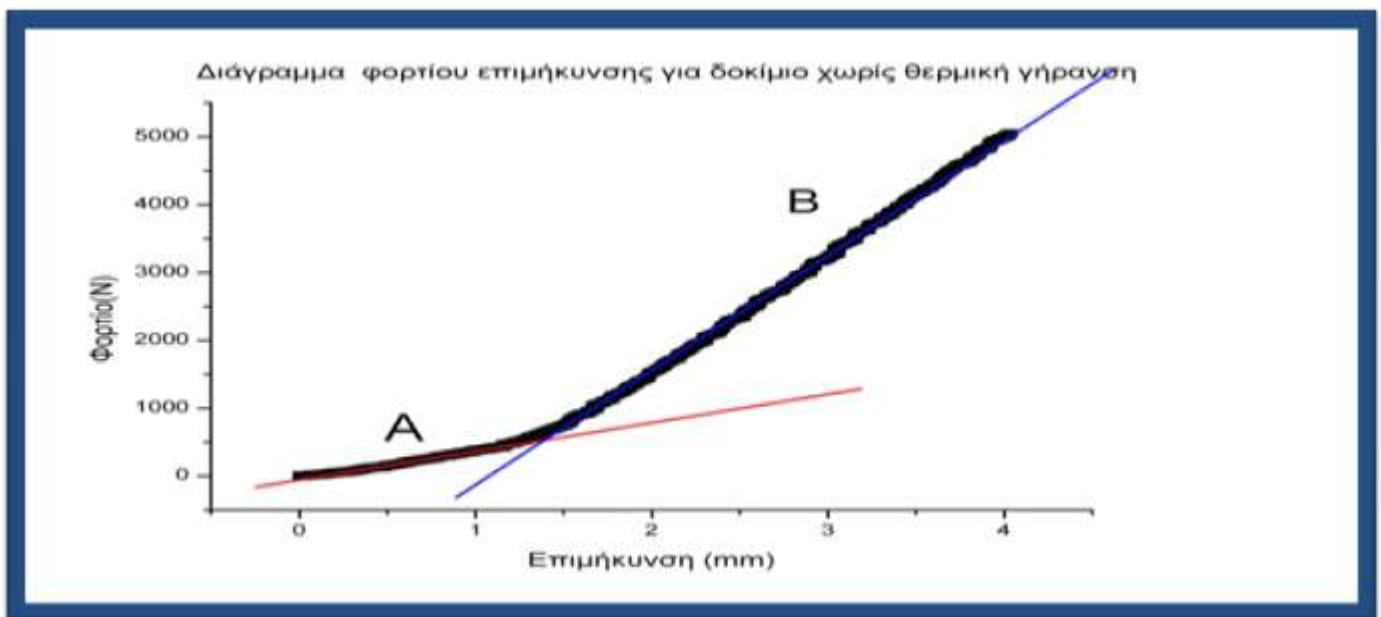


Στον πίνακα που ακολουθεί απεικονίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ								
αριθμός δοκιμίου	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΠΑΧΟΣ (mm)	Διατομή (m <sup>2</sup> )	Αντοχή (N)	Αντοχή(MPa)	Κλίση (N/mm)	Μέτρο Ελαστικότητας (Gpa)	Διάρκεια θερμικής γήρανσης
pgxth-1	30	3,91	0,0001173	5045	4,301E+01	1717	1,62E+00	Χωρίς
pgxth-2	30	3,91	0,0001173	3729	3,179E+01	1708	1,62E+00	Θερμική
pgxth-3	30	3,91	0,0001173	4328	3,690E+01	1730	1,64E+00	καταργασία
pgxth-4	30	3,91	0,0001173	4514	3,848E+01	1915	1,81E+00	
pgxth-5	30	3,91	0,0001173	4922	4,196E+01	1790	1,69E+00	
					3,843E+01		1,677E+00	
pgth5-1	30	3,91	1,173E-04	3881	3,309E+01	1628	1,54E+00	Θέρμανση 5 ημέρες
pgth5-2	30	3,91	1,173E-04	5170	4,408E+01	1981	1,87E+00	στους 50°C
pgth5-3	30	3,91	1,173E-04	4922	4,196E+01	1910	1,807E+00	
pgth5-4	30	3,91	1,173E-04	3977	3,390E+01	1737	1,644E+00	
pgth5-5	30	3,91	1,173E-04	4510	3,845E+01	1715	1,62E+00	
					3,829E+01		1,698E+00	
pgth10-1	30	3,91	1,173E-04	4741	4,042E+01	1762	1,67E+00	Θέρμανση 10ημερες
pgth10-2	30	3,91	1,173E-04	4634	3,951E+01	1730	1,64E+00	στους 50°C
pgth10-3	30	3,91	1,173E-04	4620	3,939E+01	1777	1,68E+00	
pgth10-4	30	3,91	1,173E-04	4615	3,934E+01	1872	1,77E+00	
pgth10-5	30	3,91	1,173E-04	4755	4,054E+01	1815	1,72E+00	
					3,984E+01		1,695E+00	
pgk-1	30	3,91	1,173E-04	4576	3,901E+01	1743	1,65E+00	Ψύξη
pgk-2	30	3,91	1,173E-04	4908	4,184E+01	1870	1,77E+00	στους -20 °C
pgk-3	30	3,91	1,173E-04	4806	4,097E+01	1810	1,71E+00	10 ημέρες
pgk-4	30	3,91	1,173E-04	3838	3,272E+01	1715	1,62E+00	
pgk-5	30	3,91	1,173E-04	4334	3,695E+01	1840	1,74E+00	
					3,830E+01		1,699E+00	
pgN05-1	30	3,91	1,173E-04	4192	3,574E+01	1615	1,53E+00	ψύξη σε
pgN05-2	30	3,91	1,173E-04	3560	3,035E+01	1568	1,48E+00	υγρό N <sub>2</sub>
pgN05-3	30	3,91	1,173E-04	5320	4,535E+01	1638	1,55E+00	0.5 ώρες
pgN05-4	30	3,91	1,173E-04	4678	3,988E+01	1660	1,57E+00	
pgN05-5	30	3,91	1,173E-04	3616	3,083E+01	1665	1,58E+00	
					3,643E+01		1,542E+00	

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ (ΣΥΝΕΧΕΙΑ)								
pgN1-1	30	3,91	1,173E-04	2616	2,230E+01	1587	1,50E+00	ψύξη σε
pgN1-2	30	3,91	1,173E-04	2831	2,413E+01	1492	1,41E+00	υγρό N <sub>2</sub>
pgN1-3	30	3,91	1,173E-04	2508	2,138E+01	1537	1,45E+00	1 ώρες
pgN1-4	30	3,91	1,173E-04	3015	2,570E+01	1545	1,46E+00	
pgN1-5	30	3,91	1,173E-04	2720	2,319E+01	1550	1,47E+00	
					2,334E+01		1,459E+00	
pgN3-1	30	3,91	1,173E-04	2550	2,174E+01	1420	1,34E+00	ψύξη σε υγρό N <sub>2</sub>
pgN3-2	30	3,91	1,173E-04	2490	2,123E+01	1455	1,38E+00	3 ώρες
pgN3-3	30	3,91	1,173E-04	2380	2,029E+01	1501	1,42E+00	
pgN3-4	30	3,91	1,173E-04					
pgN3-5	30	3,91	1,173E-04					
					2,109E+01		1,380E+00	

Παρακάτω παρουσιάζονται αντιπροσωπευτικά διαγράμματα φορτίου-επιμήκυνσης από τις δοκιμασίες εφελκυσμού που έγιναν :



Διάγραμμα φορτίου επιμήκυνσης για δοκίμιο χωρίς θερμική γήρανση

Σχήμα 2.4 : (α) Διάγραμμα εφελκυσμού φορτίου-παραμόρφωσης



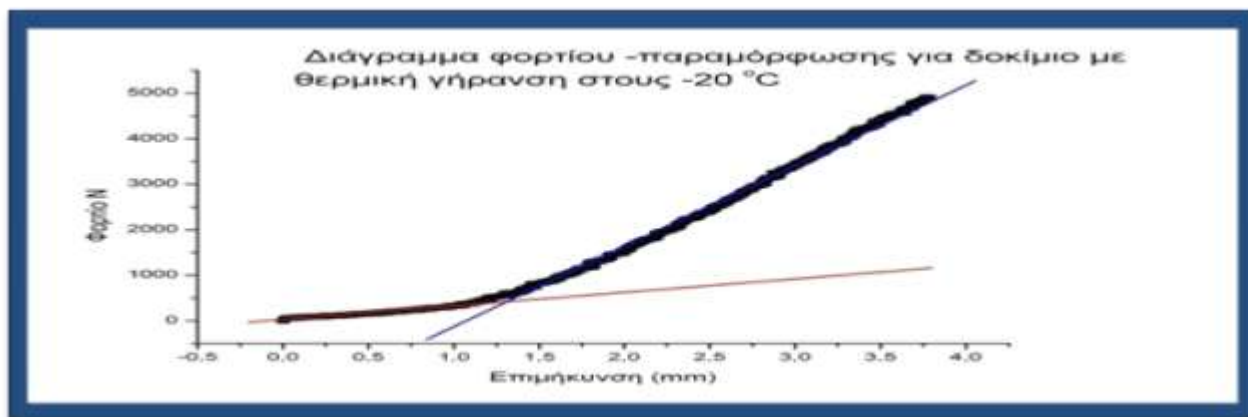
Διάγραμμα για τον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας για δοκίμιο χωρίς θερμική γήρανση από την περιοχή B του διαγράμματος

Σχήμα 2.5 :(β) Υπολογισμός κλίσης από την περιοχή B του διαγράμματος (α)

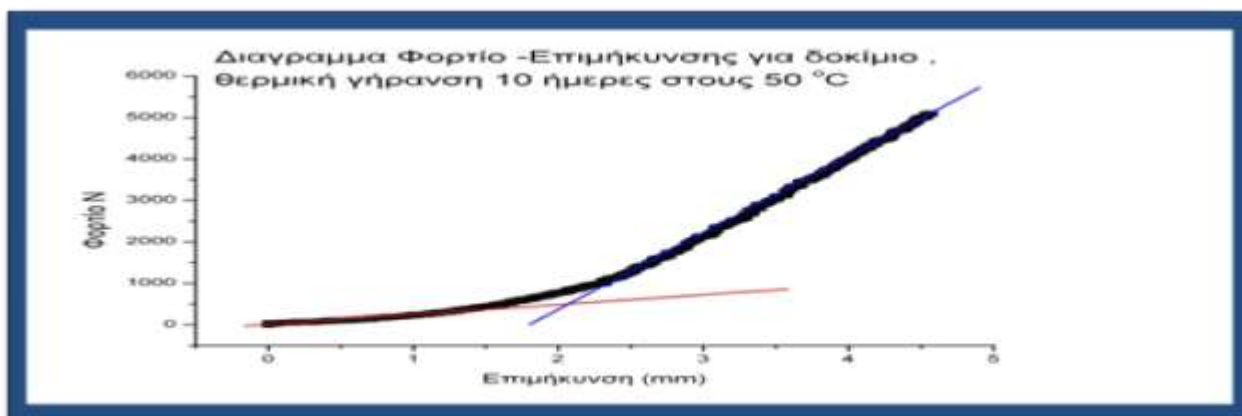


Διάγραμμα για τον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας για δοκίμιο χωρίς θερμική γήρανση από την περιοχή A του διαγράμματος

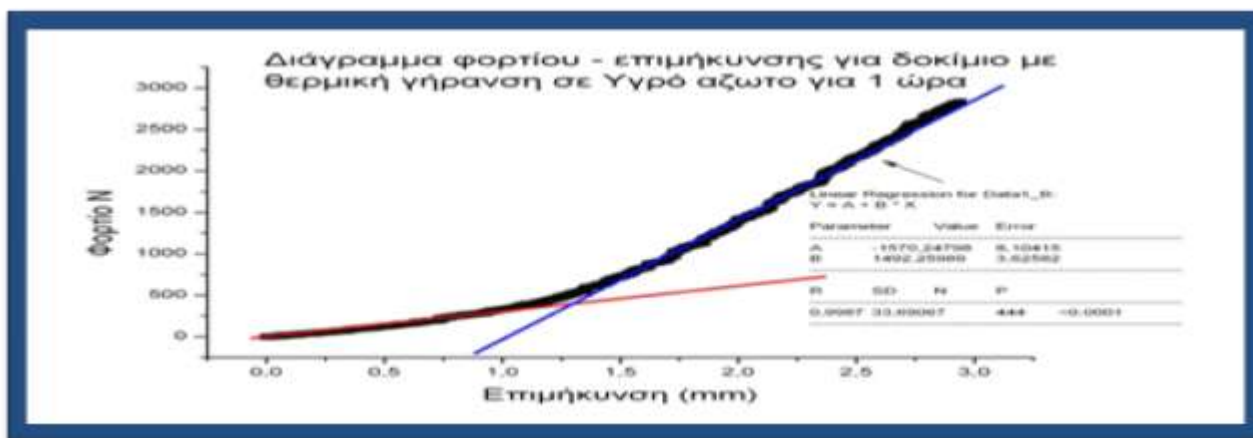
Σχήμα 2.6 :(γ) Υπολογισμός κλίσης από την περιοχή A του διαγράμματος (α)



Διάγραμμα φορτίου-παραμόρφωσης για δοκίμιο με θερμική γήρανση στους -20°C



Διάγραμμα φορτίου-επιμήκυνσης για δοκίμιο με θερμική γήρανση για 10 ημέρες στους 50 °C



Διάγραμμα φορτίου-επιμήκυνσης για δοκίμιο με θερμική γήρανση σε υγρό άζωτο για 1 ώρα

Σχήμα 2.7 : Διαγράμματα εφελκυσμού για διάφορες συνθήκες θερμικής γήρανσης

## 2.3 Συζήτηση των αποτελεσμάτων

Τα διαγράμματα εφελκυσμού φορτίου- επιμήκυνσης που καταγράψαμε παρουσιάζουν μια ιδιομορφία, όπως φαίνεται από τα σχήματα 2.4, 2.7 της προηγούμενης παραγράφου.

Η ιδιομορφία αυτή συνίσταται στο ότι στα διαγράμματα αυτά δείχνουν δύο διακριτές περιοχές Α και Β. Η μετάβαση από την περιοχή Α στη περιοχή Β γίνεται σε φορτίο περίπου 400-500N.

Με τη συνδρομή του επιβλέποντος καθηγητή εξηγήσαμε την ιδιομορφία αυτή η οποία όπως προκύπτει και από τη βιβλιογραφική εργασία είναι ενδεικτική ότι το υλικό μας δεν είναι καθαρό plexiglass (PMMA) αλλά μείγμα PMMA και ενός αγνώστου σε εμάς πλαστικού.

Όπως προαναφέραμε στην περιγραφή του υλικού που χρησιμοποιήσαμε, είναι ένα εμπορικό προϊόν για το οποίο δεν είχαμε ακριβή στοιχεία.

Η αντοχή εφελκυσμού θραύσης του υλικού μας είναι περίπου η μισή από αυτή του καθαρού plexiglass. Το ίδιο συμβαίνει και με το μέτρο ελαστικότητας.

Για τον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας και για τη σύγκριση των δοκιμασιών γήρανσης που κάναμε χρησιμοποιήσαμε τον κλάδο Β της γραμμής των διαγραμμάτων φορτίου-επιμήκυνσης.

Η βιβλιογραφία μας δίνει για το plexiglass τιμές αντοχής εφελκυσμού (στο σημείο θραύσης) 35-65 MPa (23°C) ανάλογα με την καθαρότητα του υλικού μας.

Η δοκιμασία που κάναμε έδωσε τιμή 38.5 MPa.

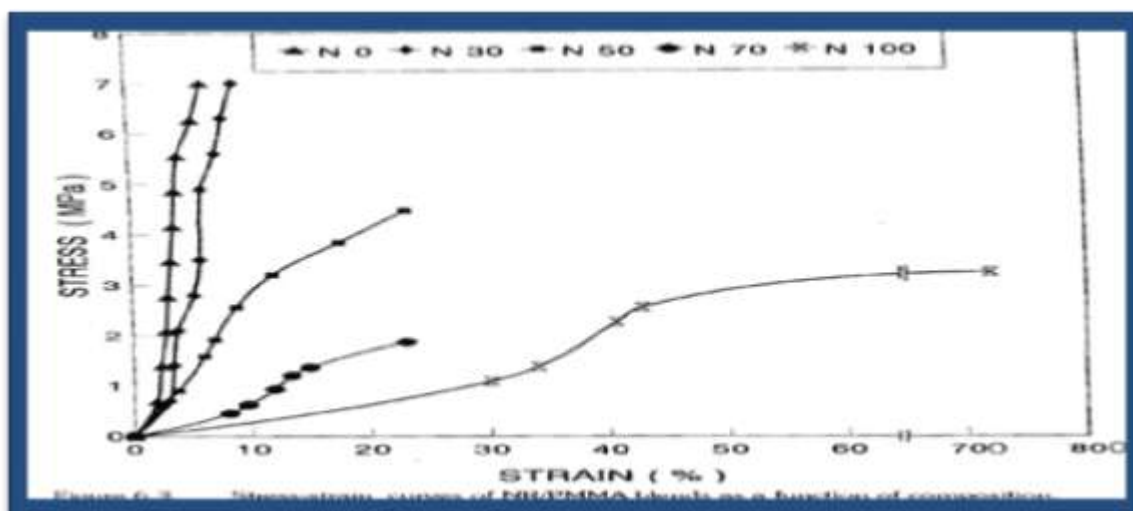
Για το μέτρο ελαστικότητας η βιβλιογραφία μας δίνει 1380-3450 MPa, οι μετρήσεις μας έδωσαν 1677 MPa.

Συνεπώς οι μετρήσεις μας για το υλικό που δεν έχει υποστεί γήρανση είναι συμβατές με αυτές που αναφέρονται στη βιβλιογραφία.

Mechanical Properties		Conditions		
		State 1	State 2	ASTM
Elastic Modulus (MPa)	1656 - 2553	compressive		D638
	1380 - 3450	tensile		D638
Flexural Modulus (MPa)	1380 - 2967	23 °C		D790
Tensile Strength (MPa)	35 - 62	at break		D638
	38 - 58	at yield		D638
Compressive Strength (MPa) at yield or break	28 - 97			D695
Flexural Strength (MPa) at yield or break	48 - 97			D790
Elongation at break (%)	5 - 70			D638
Hardness	35 - 78	Rockwell M		D638
Izod Impact (J/cm of notch) 1/8" thick specimen unless noted	0.2 - 1.3			D256A

Σύμφωνα με εργασία που έχει δημοσιευθεί στο περιοδικό Journal of Applied Polymer Science η ανάμειξη PMMA με NR (Natural Rubber) επηρεάζει σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες του PMMA, καθώς και την τοπογραφία της θραύσης του υλικού.

Το παρακάτω σχήμα από την εργασία αυτή μας δείχνει τη διαμόρφωση της μορφής του διαγράμματος τάσης-παραμόρφωσης (stress-strain) του PMMA (Plexiglass) για διάφορες περιεκτικότητες NR.



Σχήμα 2.8 : Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης του Plexiglass για διάφορες περιεκτικότητες NR

Στον παρακάτω πίνακα επίσης φαίνεται η διαμόρφωση των τιμών της αντοχής εφελκυσμού και του μέτρου ελαστικότητας του PMMA συναρτήσει της αναλογίας ανάμειξης με NR.

Blend composition	Tear strength, (N/mm)	Elongation at break (%)	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Young's modulus (N/mm <sup>2</sup> )
N <sub>100</sub>	3.62	712	1.55	14.9
N <sub>70</sub>	6.12	23	3.35	10.2
N <sub>50</sub>	9.5	22	5.5	17.5
N <sub>30</sub>	16.5	6	6.5	167
N <sub>0</sub>	33.5	5	13.85	178

Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν την άποψη μας ότι το υλικό plexiglass που χρησιμοποιήσαμε είναι μείγμα με θερμοπλαστικό το οποίο δεν γνωρίζαμε. Επίσης επιβεβαιώνουν τη συμβατότητα των αποτελεσμάτων της εργασίας.

Η επίδραση των κατεργασιών θερμικής γήρανσης στις μηχανικές ιδιότητες στην οποία υποβλήθηκε το υλικό μας αποτυπώνονται στα διαγράμματα των σχημάτων (2.9 , 2.10) .



### Επίδραση στην αντοχή εφελκυσμού των κατεργασιών γήρανσης

Σχήμα 2.9 : Αποτύπωση της επίδρασης της γήρανσης στην αντοχή εφελκυσμού (θραύσης του υλικού)

Παρατηρούμε ότι η θερμική γήρανση με θέρμανση στους 50°C και με ψύξη στους -20°C επέφεραν μηδενική μεταβολή στην αντοχή του υλικού. Δηλαδή το υλικό παραμένει πρακτικά ανεπηρέαστο. Η ψύξη όμως σε υγρό άζωτο προκαλεί προοδευτική μείωση της αντοχής με το χρόνο ψύξης. Σε μισή ώρα προκαλείται μείωση αντοχής 5%, σε μία ώρα 39% και σε τρεις ώρες 45%. Η δραστική αυτή μεταβολή αποδίδεται σε ρηγμάτωση της δομής αφενός λόγω διάγνωση της.

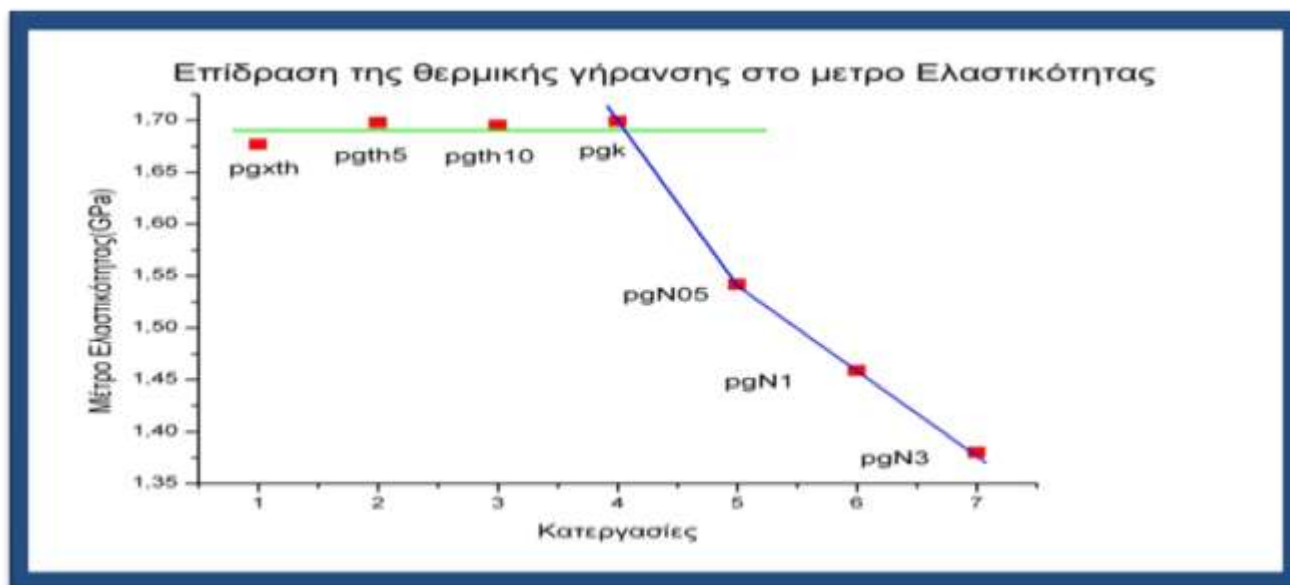


Προσροφημένης υγρασίας αλλά και των τάσεων που αναπτύσσονται λόγω της μικροσκοπικής ανομοιομορφίας της δομής η οποία πιθανότατα οφείλεται στα δύο διαφορετικά πολυμερή συστατικά (PMMA + Άγνωστο) από τα οποία αποτελείται το υλικό.

Η μείωση του μέτρου ελαστικότητας ακολουθεί την ίδια τάση. Σε μισή ώρα ψύξης στο υγρό άζωτο (-194°C) η μείωση είναι 8%, σε μία ώρα η μείωση είναι 13% και σε τρεις ώρες η μείωση είναι 18%.

Η μείωση του μέτρου ελαστικότητας σημαίνει ότι το υλικό γίνεται πιο ελαστικό και αυτό μπορεί να οφείλεται στις δραστικές αλλαγές που δημιουργούνται στη δομή (π.χ. συστολές, ρηγματώσεις κ.τ.λ.).

Το μέτρο ελαστικότητας του υλικού για γήρανση στους 50°C και ψύξη στους -20°C παραμένει πρακτικά αμετάβλητο. Στο σχήμα 2.10 απεικονίζεται η επίδραση της θερμικής γήρανσης στο μέτρο ελαστικότητας.



Επίδραση της θερμικής γήρανσης στο μέτρο Ελαστικότητας

Σχήμα 2.10 : Επίδραση της θερμικής γήρανσης στο μέτρο ελαστικότητας

## 2.4 Συμπεράσματα

- 1) Η θερμική γήρανση με θέρμανση στους 50°C μέχρι 10 ημέρες και η ψύξη στους -20°C μέχρι 10 ημέρες δεν επηρεάζει πρακτικά την αντοχή εφελκυσμού του υλικού και το μέτρο ελαστικότητας.
- 2) Η θερμική γήρανση με ψύξη σε υγρό άζωτο (-194°C) μειώνει προοδευτικά την αντοχή εφελκυσμού μέχρι 45% για τρεις ώρες ψύξης.
- 3) Η θερμική γήρανση με ψύξη σε υγρό άζωτο (-194°C) μειώνει προοδευτικά το μέτρο ελαστικότητας μέχρι 18% για τρεις ώρες ψύξης.
- 4) Η μορφή του διαγράμματος φορτίου-επιμήκυνσης ή (τάσης-παραμόρφωσης) δείχνει ότι το υλικό μας είναι μείγμα PMMA με θερμοπλαστικό πολυμερές.
- 5) Τα αποτελέσματα μας είναι συμβατά με αναφερόμενα στη βιβλιογραφία.

## Πηγές Πληροφοριών

### Βιβλιογραφία

1. Cozan, AY and Patef, R.P Rubber Chem. Tech. 1980,53,141
2. Idem, Ibid 1981,54,91
3. Idem, Ibid 1981,54,893
4. Journal of Applied Polymer Science  
(chapter 6) mechanical properties

### Sites

1. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
2. [www.eplastics.com](http://www.eplastics.com)
3. [www.altuglas.com](http://www.altuglas.com)
4. [www.professionalplastics.com](http://www.professionalplastics.com)
5. [www.plexiglas.de](http://www.plexiglas.de)
6. [www.heathland.nl/pmma-recycling.html](http://www.heathland.nl/pmma-recycling.html)
7. [www.sdplastics.com](http://www.sdplastics.com)