



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.):
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ»

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (UV) ΣΕ ΠΟΛΥΜΕΡΗ
ΥΛΙΚΑ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΤΡΟΥΛΑΣ ΜΠΟΥΣΜΠΟΥΡΕΛΗ
Διπλωματούχου Αρχιτέκτων Μηχανικού Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΨΗ:
Ι. Χρ. ΣΙΜΙΤΖΗΣ,
Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2011



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.):
«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΛΙΚΩΝ»

ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ
ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ (UV) ΣΕ ΠΟΛΥΜΕΡΗ
ΥΛΙΚΑ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΤΡΟΥΛΑΣ ΜΠΟΥΣΜΠΟΥΡΕΛΗ
Διπλωματούχου Αρχιτέκτων Μηχανικού Ε.Μ.Π.

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Ι. Χρ. ΣΙΜΙΤΖΗΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Γ. ΠΟΥΛΑΚΟΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Λ. ΖΟΥΜΠΟΥΛΑΚΗΣ, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Ιούλιος 2011

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία αυτή πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Επιστήμης και τεχνικής των Υλικών του τομέα ΙΙΙ Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών. Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν στην πραγματοποίηση της εργασίας αυτής με οποιονδήποτε τρόπο.

- ❖ Στον καθηγητή κ. Ι. Χρ. Σιμιτζή, της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ, για την καθοδήγησή του, τις χρήσιμες υποδείξεις του και το ενδιαφέρον που έδειξε για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.
- ❖ Στον καθηγητή Κ. Παπασπυρίδη, της Σχολής Χημικών Μηχανικών Τομ. Σύνθ. & Ανάπτ. Βιομηχ. Διαδικασιών, και στο προσωπικό του εργαστηρίου Τεχνολογίας Πολυμερών για την βοήθειά τους στις μετρήσεις εφελκυσμού.
- ❖ Τον επίκουρο καθηγητή κ. Α. Ζουμπουλάκη, για το ενδιαφέρον που έδειξε, την συμμετοχή του στις μετρήσεις των μηχανικών ιδιοτήτων των δοκιμίων, την παροχή χρήσιμων πληροφοριών και για τις συμβουλές του.
- ❖ Την κ. Σοφία Καραμάνου, Υπ. Διδάκτορα, για την σημαντική βοήθεια της καθ' όλη την διάρκεια της μεταπτυχιακής εργασίας και ιδιαίτερα κατά την εκπόνηση των πειραμάτων παρασκευής πολυμεθακρυλικού μεθυλίου.
- ❖ Τον κ. Γεώργιο Μήτση, Υπ. Διδάκτορα, για το ενδιαφέρον του και συγκεκριμένα για τις μετρήσεις FTIR που πραγματοποίησε.
- ❖ Το προσωπικό του εργαστηρίου Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων για την παραχώρηση και την υπόδειξη χειρισμού του χρωματόμετρου Minolta CR-200.
- ❖ Την κ. Δέσποινα Τριάντου, Δρ. Χημικό Μηχανικό ΕΜΠ, για τις υποδείξεις χειρισμού και επεξεργασίας, του χρωματόμετρου Minolta CR-200 και των αποτελεσμάτων του.
- ❖ Τον ΙΔΑΧ κ. Σπύρο Σούλη, Δρ. Χημικό Μηχανικό ΕΜΠ για την παροχή χρήσιμων πληροφοριών.
- ❖ Τον σύζυγο μου Κωνσταντίνο Τζάθα, Υπ. Διδάκτορα για την σημαντική βοήθεια που μου προσέφερε αλλά κυρίως για την ηθική υποστήριξη και κατανόηση που έδειξε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας.

Και τέλος όλο το προσωπικό του εργαστηρίου για το ευχάριστο κλίμα συνεργασίας που δημιούργησαν.

.....αφιερώνω την μεταπτυχιακή μου εργασία με πολύ αγάπη
στον σύζυγό μου Κώστα, στον γιο μου Θάνο και στην κόρη μου Χριστίνα!

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ακτινοβολία UV αποτελεί τον σημαντικότερο περιοριστικό παράγοντα του χρόνου ζωής ενός πολυμερούς, ιδιαίτερα όταν αυτό εφαρμόζεται σε εκτεθειμένες στον ήλιο επιφάνειες (όπως συμβαίνει πχ. σε διαφανή πάνελ που χρησιμοποιούνται στην οικοδομική). Με την επίδραση της UV ακτινοβολίας, λαμβάνουν χώρα φυσικές και χημικές μεταβολές στην δομή του πολυμερούς, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των ιδιοτήτων του, όπως μηχανικών κλπ. Τα εμπορικά πλαστικά υλικά, πέραν των άλλων προσθέτων, συχνά περιέχουν και σταθεροποιητές έναντι της UV ακτινοβολίας. Ο προσδιορισμός του χρόνου ζωής ενός πλαστικού υλικού που εκτίθεται σε πραγματικές συνθήκες έχει ιδιαίτερη σημασία, ώστε να ικανοποιούνται τα απαιτούμενα λειτουργικά χαρακτηριστικά του στην πράξη. Από την άλλη μεριά, κυρίως για υλικά που η προοπτική εφαρμογής τους γίνεται με ορίζοντα δεκαετίας, προκειμένου να έχει κανείς έγκαιρα αντίστοιχες πληροφορίες, απαιτούνται κατάλληλοι έλεγχοι επιταχυνόμενης «γήρανσης», προσομοιάζοντας την μακρόχρονη επίδραση του περιβάλλοντος και ειδικότερα της ηλιακής ακτινοβολίας. Προκειμένου να εκτιμηθεί η επίδραση της ακτινοβολίας σε τέτοιες περιπτώσεις, έχουν προταθεί διάφορες προτυποποιημένες μέθοδοι, κατά τις οποίες μικρά δοκίμια από το υλικό δέχονται μεγάλες δόσεις ακτινοβολίας για μικρά χρονικά διαστήματα.

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στα διαφανή πολυμερή υλικά που εφαρμόζονται σαν δομικά στοιχεία πλήρωσης εξωτερικών χώρων. Ως τέτοια υλικά επιλέγοντας εμπορικά πλαστικά και συγκεκριμένα το πλέξιγκλας, το πολυκαρβονικό, ο πολυεστέρας και το cogian. Δεδομένου ότι η ακριβής σύνθεση των εμπορικών πλαστικών προϊόντων σχετικά με τα πρόσθετα που περιέχουν (όπως UV σταθεροποιητή κλπ.) δεν είναι γνωστή, θα εξεταστεί και αντίστοιχο πολυμερές εργαστηριακής σύνθεσης στο οποίο θα προστεθεί UV σταθεροποιητή σε συγκεκριμένη συγκέντρωση. Για τον λόγο αυτό, θα πραγματοποιηθεί πολυμερισμός του μεθακρυλικού μεθυλίου με ταυτόχρονη χύτευση και ενσωμάτωση UV σταθεροποιητών γνωστής συστάσεως, σε μία συγκέντρωση.

Για την προσομοίωση της έκθεσης των υλικών σε UV ακτινοβολία, τα εμπορικά καθώς και τα μορφοποιημένα εργαστηριακά δοκίμια, ακτινοβολήθηκαν σε ειδικό πρότυπο θάλαμο, ιδιοκατασκευή του Εργαστηρίου Επιστήμης Και Τεχνικής Των Υλικών. Τα υλικά ακτινοβολήθηκαν στην παραπάνω διάταξη με επαναλαμβανόμενη διαδικασία, όπου κάθε φορά ο χρόνος έκθεσης κυμαίνονταν από 2 έως τέσσερις ώρες και υπολογίστηκε αθροιστικά. Χαρακτηριστικοί σταθμοί μετρήσεων ήταν οι 18, οι 36 και οι 48 ώρες. Στις παραπάνω ώρες ακτινοβόλησης UV προσδιορίστηκαν για τα δοκίμια, οι χαρακτηρισμοί FTIR και χρωματόμετρου καθώς και οι μηχανικές ιδιότητες αντοχής σε κάμψη, διάτμηση και εφελκυσμό.

Με βάση τους χαρακτηρισμούς FTIR διαμορφώθηκαν δείκτες $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}}$ και η μεταβολή τους ερμηνεύτηκε με βάση τις αντιδράσεις αποικοδόμησης λόγω της ακτινοβόλησης UV του υλικού. Από τους χαρακτηρισμούς του χρωματόμετρου παρατηρείται γενικά σε όλα τα υλικά αύξηση της φωτεινότητας μετά από τις 48h ακτινοβόλησης UV καθώς και μεταβολή στο χρώμα των υλικών προς το κίτρινο. Οι μηχανικές ιδιότητες των δοκιμίων επηρεάζονται σημαντικά μετά από 48h UV ακτινοβόληση

ABSTRACT

Polymeric materials offer a lot of advantages in the construction field than conventional materials, as brightness, resistance in the erosion and facility of treatment. They can be strengthened with fibers and form complex materials that have improved properties and can be used as structural part but also as independent construction units. Approximately the 30% of total of polymeric materials that are produced each year are used in the building industry. These materials are usually transparent for utilitarian reasons eg. shelters, greenhouses etc. and even if they are considered to be stable, yet they suffer alterations when exposed to environment.

The present work is focused in the transparent polymeric materials that are applied as structural elements of fulfillment of exterior spaces. In such applications these materials are influenced by meteorological and particularly by the UV radiation. As it is also described in the theoretical part, the UV radiation spectrum of the sun is the main environmental factor that affects the structure of polymeric materials and its thoroughly examined.

The materials that will be studied in the present work are commercial plastic materials that are applied in construction as exterior elements of fulfillment with the form of panels. Plexiglas, polycarbonate, polyester with glass fibers as well as a complex acrylic material named Corian. Despite the fact that Corian is not transparent, it is examined for reasons of comparison. Since the precise composition of commercial plastic products with regard to the additives that they contain (as UV of stabilizer etc) is not known, a similar polymeric material synthesized in the laboratory with added UV stabilizer in known concentration. This material is produced by polymerization of methyl-methacrylate with simultaneous addition of UV stabilizer.

The exposure of the commercial and the fabricated polymeric materials to solar UV radiation was simulated in a device, designed and assembled in the Materials Science and Engineering Laboratory of the National Technical University of Athens. The various materials were exposed to UV radiation and their properties were examined after 18, 36 and 48 hours of exposure. The analytical methods used were FTIR, colorimetry and measurement of mechanical properties such as resistance in bending, stretching and shearing.

According to the FTIR spectrums the indicator $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}}$ was calculated as a function of the exposure time to UV radiation. The indicator's variations are considered to be a result of the degradation reactions. An increase of brightness after the 48h exposure is observed by colorimetry analysis as well as a change in the colour of materials towards yellow. The mechanical properties of the materials are noticeably influenced after 48h of exposure to UV radiation.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1	ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	11
1.1	Πέτρα.....	11
1.2	Ξύλο.....	11
1.3	Τούβλο.....	12
1.4	Γυαλί.....	12
1.5	Τσιμέντο	14
1.6	Χάλυβας.....	15
1.7	Αλουμίνιο.....	18
1.8	Πλαστικό.....	20
2	ΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΗ.....	20
2.1	Γενικά	22
2.2	Πολυμερισμός.....	23
2.3	Κατηγορίες πολυμερών	24
2.4	Εφαρμογές	24
3	ΕΠΙΔΡΑΣΗ UV ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ	25
3.1	Φωτοαποικοδόμηση πολυμερών.....	25
3.1.1	Υπεριώδης (UV) Ακτινοβολία.....	25
3.1.2	Αλληλεπίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας με την ύλη.....	27
3.1.3	Φωτοαποικοδόμηση πολυμερών.....	28
3.2	Σταθεροποίηση έναντι της φωτοαποικοδόμησης.....	34
4	ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ.....	36
4.1	Πολυεστέρες	36
4.1.1	Θερμοπλαστικοί πολυεστέρες.....	36
4.1.2	Θερμοσκληρυνόμενοι πολυεστέρες	37
4.2	Ακόρεστοι πολυεστέρες (UP)	37
4.2.1	Παραγωγή ακόρεστων πολυεστέρων	37
4.2.2	Κατάταξη των ακόρεστων πολυεστέρων.	39
4.2.3	Σκλήρυνση ακόρεστων πολυεστέρων	40
4.2.4	Πρώτες ύλες.....	40
4.2.5	Χρόνος ζελαρίσματος.....	41
4.2.6	Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα των ακόρεστων πολυεστέρων.....	41
4.2.7	Διαδικασία Παρασκευής Ακόρεστων Πολυεστέρων	43
4.2.8	Εφαρμογές των ακόρεστων πολυεστέρων.....	43

4.3	Σύνθετα υλικά	44
4.3.1	Πολυεστέρας με ίνες γυαλιού (UP-FG)	45
4.3.2	Οικοδομικές εφαρμογές σύνθετων υλικών.....	46
4.4	Πολυ(μεθακρυλικό μεθύλιο) (PMMA)	46
4.4.1	Εφαρμογές	48
4.4.2	Φαινόμενο αυτοεπιτάχυνσης ή πήγματος tromsdorf.....	49
4.5	Corian	49
4.5.1	Δομή	49
4.5.2	Ιδιότητες	50
4.5.3	Εφαρμογές	52
4.6	Πολυκαρβονικό (PC).....	54
4.6.1	Δομή	54
4.6.2	Παραγωγή.....	55
4.6.3	Ιδιότητες και επεξεργασία	56
4.6.4	Εφαρμογές	56
5	ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	58

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6	ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	61
6.1	Εμπορικά πολυμερή υλικά.....	61
6.1.1	Εμπορικό πλέξιγκλας	61
6.1.2	Πολυκαρβονικό.....	63
6.1.3	Πολυεστέρας με ίνες γυαλιού	67
6.1.4	Ακρυλικό CORIAN.....	68
6.2	Εργαστηριακής σύνθεσης πολυμερή υλικά (PMMA-L)	69
6.2.1	Πολυμερισμός μεθακρυλικού μεθυλίου	69
6.2.2	Παρασκευή υμενίων πολυμεθακρυλικού μεθυλίου με ή χωρίς προσθήκη UV σταθεροποιητή.....	69
6.3	Κωδικοποίηση εμπορικών και εργαστηριακής σύνθεσης πολυμερών υλικών.....	69
7	UV ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	70
7.1	Πρότυπος θάλαμος έκθεσης υλικών σε ακτινοβολία UV	70
7.2	Πειραματική διαδικασία ακτινοβολήσης.....	70
8	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ (FTIR)	72
8.1	Αρχή της μεθόδου FTIR.....	72
8.2	Οργανολογία της συσκευής FTIR.....	73
8.3	Πειραματική διαδικασία	75
8.3.1	Παρασκευή δισκίων FTIR	76

8.3.2	Αποτελέσματα FTIR	76
8.3.3	Δείκτες κορυφών με βάση τα φάσματα FTIR	91
8.4	Συζήτηση αποτελεσμάτων	92
9	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ	95
9.1	Αρχή τις μεθόδου	95
9.2	Πειραματική διαδικασία χρωματομέτρου	95
9.3	Αποτελέσματα χρωματομετρίας	96
9.4	Συζήτηση αποτελεσμάτων	107
10	ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	112
10.1	Δοκιμή σε Κάμψη και Διάτμηση	112
10.1.1	Δοκιμή σε κάμψη	112
10.1.2	Δοκιμή σε διάτμηση	113
10.1.3	Αποτελέσματα μετρήσεων κάμψης και διάτμησης.....	113
10.2	Δοκιμή εφελκυσμού.....	118
10.2.1	Γενικά	118
10.2.2	Περιγραφή της διάταξης.....	121
10.2.3	Αποτελέσματα μετρήσεων εφελκυσμού.....	121
10.3	Συζήτηση αποτελεσμάτων	138
11	ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	141
11.1	Γενικά συμπεράσματα	141
11.2	Προτάσεις.....	144
12	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	145

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Σύντομο βιογραφικό σημείωμα

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1 ΔΟΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Οικοδομικά υλικά ονομάζονται τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην ανέγερση κτισμάτων. Τέτοια υλικά είναι τα παραδοσιακά, αυτά που χρησιμοποιούσε ο άνθρωπος μέχρι τον 19ο αιώνα όπως πέτρα, ξύλο, τούβλα, γυαλί αλλά και μια μεγάλη ποικιλία νεότερων υλικών όπως τσιμέντο, χάλυβας, μονωτικά υλικά, αλουμίνιο και πλαστικό.

1.1 Πέτρα

Γενικά ως πετρώματα χαρακτηρίζονται τα υλικά από τα οποία αποτελείται ο στερεός φλοιός της Γης, το ανώτερο δηλ. στρώμα της λιθόσφαιρας. Μερικά εξ αυτών εμφανίζονται κατά συμπαγείς μάζες όπως ο γρανίτης ή ο ασβεστόλιθος. Άλλα είναι δυνατόν να αποτελούνται από μαλακότερα ή ασύνδετα υλικά όπως η άμμος, η άργιλος κλπ, ενώ κάποια άλλα είναι ρευστά, όπως το νερό και το πετρέλαιο. Τα πετρώματα σχηματίζονται από ένα ή περισσότερα ορυκτολογικά συστατικά.[1]

1.2 Ξύλο

Το ξύλο ή Ξύλωμα όπως είναι γνωστό στη βοτανική ορολογία, είναι ο φυτικός ιστός, η συμπαγής, σκληρή και ινώδης κυτταρική ουσία που αποτελεί κατά κύριο λόγο τον κορμό, τα κλαδιά και τις ρίζες των δένδρων, των θάμνων και γενικότερα, των λεγόμενων ξυλωδών φυτών. Το ξύλωμα αποτελεί εκείνο το σύστημα με το οποίο μεταφέρεται και κυκλοφορεί ο ακατέργαστος χυμός, δηλαδή το νερό και οι ανόργανες ουσίες που απορροφούν οι ρίζες από το έδαφος, ενώ ταυτόχρονα, αποτελεί τον κύριο στηρικτικό ιστό των βλαστών και των ριζών.[2]

Το ξύλο εφαρμόζεται από την αρχαιότητα σε πολλών ειδών κατασκευές και ιδιαίτερα στην οικοδομική. Η ξύλινη κατασκευή (φέρουσα και μη φέρουσα) κατέχει σήμερα ένα όλο και αυξανόμενο διεθνώς πεδίο δομικών εφαρμογών. Καλύπτει τρεις περιοχές δραστηριότητας από την άποψη της κλίμακας της κατασκευής [3]:

1. *Μικρής κλίμακας* ξύλινες κατασκευές (έπιπλο, κουφώματα, επενδύσεις, πατώματα, οροφές κ.λ.π.).
2. *Μεσαίας κλίμακας* ξύλινες κατασκευές (κατοικία και εν γένει κτίσματα έως και 3 ορόφους, μικρές γέφυρες κ.λ.π.).
3. *Μεγάλης κλίμακας* ξύλινες κατασκευές (χώροι μεγάλων ανοιγμάτων 20 έως 150μ., γέφυρες μεγάλου ανοίγματος κ.λ.π.).

Στη Νότια Ευρώπη, και ιδιαίτερα στην Ελλάδα, οι κατηγορίες 1 και 3 βρίσκουν ευρύτερη εφαρμογή. Η μεγάλη αντοχή σε σχέση με το μικρό ίδιο βάρος, η ταχύτητα της εφαρμογής, η εναλλαξιμότητα της κατασκευής, η εξαιρετική συμπεριφορά σε δυναμικές καταπονήσεις, η δυνατότητα υπολογισμού σε αντοχή σε πυρκαγιά, η εξασφάλιση της ασηψίας του ξύλου και έτσι διασφάλιση πολύ μεγάλης ανθεκτικότητας χωρίς ανάγκη συντήρησης, είναι μερικοί από τους λόγους διάδοσης της ξύλινης κατασκευής στα μεγάλα ανοίγματα. Στη χώρα μας, η έλλειψη πρόσφατων προτύπων και σχετικής εμπειρίας (σε αντίθεση με τη μακρότατη και πλουσιότατη εμπειρία του παρελθόντος) δημιουργεί είτε δισταγμό στο σχεδιασμό τέτοιων κατασκευών είτε, ακόμα χειρότερο, λάθος προσέγγιση. Η χρήση φυσικού ξύλου ή κάποιας βιομηχανοποιημένης μορφής ξύλου (π.χ. συγκολλητό ξύλο, αντεπικολητή ξυλεία κ.λ.π.) ελάχιστα επηρεάζει την μεθοδολογία σχεδιασμού, κατασκευής, προστασίας, συντήρησης κ.λ.π. μιας ξύλινης κατασκευής. Επομένως, η σωστή ενημέρωση ενός/μιας τεχνικού και η εξοικείωσή του/της με το ξύλο σαν υλικό και την ξύλινη κατασκευή γενικότερα, τον/την καθιστά ικανό/-ή να προσεγγίσει και επιλύσει

προβλήματα σχεδιασμού, κατασκευής και συντήρησης τόσο μιας παλαιότερης όσο και της σύγχρονης ξύλινης κατασκευής. Η υψηλή σεισμικότητα της περιοχής μας ευνοεί πολύ τη χρήση της ξύλινης κατασκευής, γεγονός εξάλλου γνωστό και εφαρμοζόμενο από τη Μινωική ακόμα εποχή.

1.3 Τούβλο

Το τούβλο ή ο πλίνθος είναι ένας τεχνητός λίθος με διάφορες διαστάσεις και σχήματα που χρησιμοποιείται, από τους αρχαίους χρόνους αλλά και σήμερα, στην οικοδομική. Τα τούβλα κατασκευάζονται από άργιλο κυρίως και άλλα υλικά. Για την κατασκευή τους ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία: Η πρώτη ύλη καθαρίζεται, ζυμώνεται με το νερό από ειδικούς κυλίνδρους, μπαίνει σε καλούπια ή πρέσες και παίρνει διάφορα σχήματα, ψήνεται στον ήλιο ή σε καμίνια ή σε θαλάμους ηλεκτρικούς. Ανάλογα με τα υλικά, τον τρόπο κατασκευής και χρήσης τους διακρίνονται σε [4]:

- 1) ωμόπλινθους (όταν στεγνώνουν στον ήλιο),
- 2) οπτόπλινθους (όταν ψήνονται σε θαλάμους ή καμίνια),
- 3) πλίνθους οδοστρωσίας,
- 4) πυρίμαχους, που χρησιμοποιούνται για επενδύσεις λεβήτων,
- 5) πλίνθους από ασβεστοκονίαμα,
- 6) ασβεστοπυριτικούς,
- 7) ασβεστοσκωριακούς,
- 8) ασβεστοκισσηριακούς,
- 9) πλίνθους πορσελάνης,
- 10) πλίνθους τσιμέντου.

Στην κατηγορία των τούβλων ανήκουν τα κεραμίδια (καμπύλα και επίπεδα) που χρησιμοποιούνται για κάλυψη οικοδομών, καθώς και διάφοροι σωλήνες, καπνοδόχοι και διακοσμητικά αργιλώδη πλακάκια. Τα τούβλα ως οικοδομικό υλικό χρησιμοποιούνται συνήθως σε σχήμα παραλληλεπίπεδου. Επίσης κατασκευάζονται πλίνθοι διάφορων σχημάτων για ειδικές κατασκευές. Στις οικοδομές χρησιμοποιούνται διάτρητα τούβλα παραλληλεπίπεδα, που είναι εύχρηστα, ελαφρά στη μεταφορά τους, ανθεκτικά, προσφέρουν ικανοποιητική αντίσταση στις καταπονήσεις και απομονώνουν τη θερμότητα και τον ήχο λόγω των στρωμάτων αέρα που περικλείουν.

1.4 Γυαλί

Το γυαλί είναι υλικό στερεό και άμορφο, δηλαδή δεν παρουσιάζει κρυσταλλική δομή. Είναι ημιδιάφανο ή διάφανο, εύθραυστο, άκαμπτο και σκληρό. Λόγω της μη κρυσταλλικότητάς του, ο όρος «ύαλος» (γυαλί) ή «υαλώδης» έχει επεκταθεί σημαίνοντας όλα τα άμορφα στερεά. Η διαφάνειά του αφορά στο ορατό φως, γιατί το κοινό γυαλί είναι αδιάφανο για την υπεριώδη ακτινοβολία. Ως υλικό είναι χημικά και βιολογικά αδρανές, πλήρως ανακυκλώσιμο και, κατά συνέπεια, ιδιαίτερα κατάλληλο για χρήση σε κατασκευή συσκευασιών τροφίμων και ποτών. Το γυαλί παρασκευάζεται με σύντηξη χαλαζιακής άμμου, η οποία αποτελεί το βασικό συστατικό του (διαμορφωτή), ενός ή περισσότερων συλλιπασμάτων και ενός (ή περισσότερων σταθεροποιητών. Αν δεν χρησιμοποιηθεί σταθεροποιητής, τότε το γυαλί γίνεται εύθρυπτο και αποσαθρώνεται από το νερό. Το κοινό γυαλί παρασκευάζεται με σύντηξη χαλαζιακής άμμου (SiO_2) (73,7%), ανθρακικού νατρίου (κοιν. Σόδα, Na_2CO_3) (16%), οξειδίου του καλίου (K_2O) (0,5%) (συλλιπάσματα) και ανθρακικού ασβεστίου (κοιν. ασβεστόλιθου (CaCO_3)) (5,2%) ανθρακικού μαγνησίου

(MgCO₃) (3,6%) και οξειδίου του αργιλίου (Al₂O₃) (1%) (σταθεροποιητές). Ανάλογα με τον τύπο και το ποσοστό των συλλιπασμάτων και των σταθεροποιητών λαμβάνονται και οι διάφοροι τύποι γυαλιού. Το γυαλί, αφού παρασκευαστεί ως πρώτη ύλη, μπορεί να πάρει το επιθυμητό σχήμα με τρεις τρόπους: Είτε με εμφύσηση (φουσητό γυαλί) είτε με τη βοήθεια καλουπιών είτε με συσκευές που δημιουργούν φύλλα («ελάσματα») γυαλιού [5].

Φυσικές ιδιότητες του γυαλιού

- Στερεό υψηλής σκληρότητας (7 στην κλίμακα Mohs).
- Μη κρυσταλλικής δομής άμορφο υλικό.
- Εύθραυστο. Τα θραύσματά του είναι οξύληκτα.
- Διαφανές για το φάσμα του ορατού φωτός.
- Δυσθερμαγωγό και μονωτικό υλικό.
- Αδρανές χημικά και βιολογικά.

Οι βασικοί τύποι γυαλιού είναι:

- **Κοινό γυαλί:** Παρασκευάζεται με συλλίπασμα οξειδίου του νατρίου (12-18%) και σταθεροποιητή οξειδίου του ασβεστίου (5-12%). Ορισμένα άλλα οξείδια μπορεί να συμμετέχουν για λόγους απόδοσης χρωματισμών.

Το κοινό γυαλί είναι φθινό στην κατασκευή του και παρουσιάζει οπτικές και φυσικές ιδιότητες κατάλληλες για την κατασκευή κοινών αντικειμένων, όπως υαλοπίνακες και οικιακά σκεύη (ποτήρια, φιάλες, δοχεία τροφίμων). Επειδή δεν είναι πορώδες, δεν συγκρατεί κανένα συστατικό και καθαρίζεται εύκολα. Δεν αντιδρά με υδατικά διαλύματα ή έλαια και λίπη, κι έτσι δεν αλλοιώνει τη σύσταση των τροφίμων και τη γεύση ή την οσμή τους. Είναι, επίσης, βιολογικά αδρανές και δεν επηρεάζεται από την ύπαρξη βακτηρίων ή μυκήτων.

Το κοινό γυαλί είναι, επίσης, αδιαφανές στην φωτεινή ακτινοβολία με μήκη κύματος μικρότερα των 400 nm. Αυτό το κάνει κατάλληλο για χρήση σε υαλοπίνακες παραθύρων. Έχει, όμως, το μειονέκτημα να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο σε απότομες μεταβολές θερμοκρασίας και να σπάει όταν αυτό συμβεί.

- **Γυαλί μολύβδου:** Παρασκευάζεται με αντικατάσταση του οξειδίου του νατρίου από οξείδιο του καλίου και του οξειδίου του ασβεστίου από οξείδιο του μολύβδου (PbO). Η περιεκτικότητα του PbO μπορεί να φθάνει και το 30%, αλλά το γυαλί με περιεκτικότητα μέχρι 24% σε PbO χαρακτηρίζεται ως κρύσταλλο. Έχει υψηλή ανθεκτικότητα, τα αντικείμενα που δίνει είναι εξαιρετικά στιλπνά και παρουσιάζει υψηλό δείκτη διάθλασης. Οι δύο τελευταίες ιδιότητες το κάνουν υλικό ιδιαίτερα κατάλληλο για την κατασκευή διακοσμητικών αντικειμένων αλλά και (ακριβών) ειδών οικιακής χρήσεως, όπως ποτήρια, ανθοδοχεία κτλ. Ο μολύβδος είναι δηλητηριώδες υλικό, αλλά επειδή τα άτομά του είναι ολοσχερώς αγκλωβισμένα στη μοριακή δομή του γυαλιού, δεν επιφέρει καμία απολύτως βλάβη στην ανθρώπινη υγεία. Ωστόσο, εξακολουθεί να είναι ευαίσθητο στις μεταβολές θερμοκρασίας και να θραύεται εύκολα από αυτές. Λόγω της υψηλής του διαθλαστικότητας χρησιμοποιείται στην κατασκευή οπτικών οργάνων (π.χ. φακών). Μια ειδική μορφή αυτού του τύπου γυαλιού, με περιεκτικότητα σε PbO περίπου στο 65% χρησιμοποιείται για την κατασκευή ειδικών προστατευτικών

υαλοπινάκων, επειδή ο μόλυβδος απορροφά τις επικίνδυνες ακτινοβολίες που περιέχονται στο ηλιακό φως.

- **Γυαλί βορίου:** Είναι γνωστότερο με την εμπορική ονομασία «Pyrex». Η σύστασή του είναι οξείδιο του πυριτίου (70-80%), οξείδιο του βορίου B_2O_3 (7-13%) μικρά ποσοστά οξειδίων των αλκαλίων (4-8% Na_2O και K_2O , και 2-7% οξείδιο του αργιλίου (Al_2O_3)). Η παρουσία βορίου και το μικρό ποσοστό αλκαλίων κάνουν το γυαλί αυτό ανθεκτικό στις απότομες μεταβολές θερμοκρασίας και περισσότερο δύστηκτο. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή εργαστηριακών οργάνων και συσκευών, συσκευασίες φαρμακευτικών προϊόντων, σε λαμπτήρες υψηλών αποδόσεων (π.χ. προβολέων) αλλά και για οικιακές εφαρμογές (σκεύη Pyrex, τα οποία δεν θραύονται κατά το μαγείρεμα). Παρουσιάζει, επίσης, χαμηλό συντελεστή διαστολής, πράγμα που δίνει μεγαλύτερη ακρίβεια μετρήσεων στα πειράματα.
- **Οπτικές ίνες - Υαλόνημα:** Κατασκευάζεται από ποικίλους τύπους γυαλιού σε μορφή νήματος με πολλαπλές χρήσεις. Το κοινό γυαλί παρέχει νήματα κατάλληλα για κατασκευή μονώσεων (υαλόμαλλο), ενώ το γυαλί βορίου δίνει υαλόνημα από το οποίο κατασκευάζονται υφαντικές δομές που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση κατασκευών από πλαστικό, όπως κράνη, μικρά σκάφη, σασί αυτοκινήτων, σωληνώσεις κτλ. και είναι γνωστό με το εμπορικό όνομα Fiberglass[®]. Μια πιο πρόσφατη εφαρμογή του υαλόνηματος είναι η κατασκευή οπτικών ινών, που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση φωτεινών σημάτων, παρακάμπτοντας το ευθύγραμμο της διάδοσης του φωτός. Χρησιμοποιούνται για ενδοσκοπήσεις οργάνων σε ζωντανούς οργανισμούς, στη διαχείριση σημάτων οδικής και σιδηροδρομικής κυκλοφορίας και στην κατασκευή ειδικών οργάνων, όπως Σόναρ, υδροφώνων κτλ. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται, επίσης, στην τεχνολογία των τηλεπικοινωνιών. Χάρη στη χρήση τους αναπτύχθηκαν πολύ η τηλεφωνία, τα δίκτυα υπολογιστών και το Διαδίκτυο (ευρυζωνικές συνδέσεις).

1.5 Τσιμέντο

Το τσιμέντο, ή επίσημα σκυροκονίαμα, είναι ένα υδραυλικό συνδετικό κονίαμα. Δηλαδή είναι ένα λεπτά διαμερισμένο ανόργανο υλικό (σκόνη) που σε ανάμιξη με νερό σχηματίζει μια πάστα η οποία πήζει και σκληραίνει μέσω αντιδράσεων και διεργασιών ενυδάτωσης και μετά την σκλήρυνση επανακτά την αντοχή και την σταθερότητα ακόμα και μέσα στο νερό. Ο όρος τσιμέντο ή τσιμεντοκονία αναφέρεται στη συνδετική σκόνη, συνήθως προ της ανάμιξης με νερό, χωρίς άλλα αδρανή πρόσθετα όπως άμμος και χαλίκι. Ενώ το σκυρόδεμα αναφέρεται είτε στο μείγμα τσιμέντου με ποσότητα από άλλα αδρανή υλικά, είτε συνήθως στο στερεό κατασκευαστικό υλικό που προκύπτει μετά την ανάμιξη αυτού του μίγματος με νερό, πήξη και σκλήρυνση. Το σιδηροπαγές ή οπλισμένο σκυρόδεμα ονομάζεται, εκ του γαλλικού όρου, μπετόν αρμέ (béton armé).

Η χημική αντίδραση του τσιμέντου με το νερό (ενυδάτωση τσιμέντου) παράγει προϊόντα που έχουν χαρακτηριστικά πήξης και σκλήρυνσης. Ουσιαστικά η χημειοτεχνολογία του σκυροδέματος είναι η χημεία της αντίδρασης μεταξύ του τσιμέντου και του νερού. Έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι όσο περισσότερο τσιμέντο (μέχρις ενός ορισμένου ορίου βέβαια) περιέχεται στην μονάδα όγκου του σκυροδέματος, εφόσον και οι λοιποί παράγοντες (ποιότητα και κοκκομετρική σύνθεση των αδρανών, ποσότητα νερού, μέθοδος διάστρωσης και συμπίκνωσης, κλπ.) παραμένουν σταθεροί, τόσο μεγαλύτερη αντοχή εμφανίζει το σκυρόδεμα. Φυσικά η αύξηση αυτής της αντοχής δεν είναι

απεριόριστη, αλλά σταματά στην αντοχή του λιγότερο ανθεκτικού υλικού του σκυροδέματος. Πάντως πρέπει να σημειωθεί ότι η τσιμεντόπαστα είναι η πηγή ανεπιθύμητων φαινομένων (πχ. ερπυσμός, συστολή ξήρανσης, μικρορηγμάτωση, χημική επίδραση διαβρωτικών παραγόντων) που δρουν αρνητικά στην ανθεκτικότητα του σκυροδέματος. Γι'αυτό είναι προτιμότερο η ποσότητα του τσιμέντου να κρατιέται σε χαμηλές τιμές (καλή κοκκομετρία αδρανών). Η αντοχή του σκυροδέματος εξαρτάται και από την κατηγορία αντοχής του τσιμέντου. Το κριτήριο της οικονομικότητας είναι εκείνο, που καθορίζει ποιος συνδυασμός ποιότητας τσιμέντου και λόγου νερού προς τσιμέντο θα επιλεγεί για την παρασκευή του σκυροδέματος.[29] Ανάλογα με τη σύνθεση τους, το βαθμό άλεσης και τα πρόσθετα υλικά, τα τσιμέντα κατατάσσονται σε διάφορους τύπους και κατηγορίες αντοχών. Σύμφωνα με τον ελληνικό κανονισμό τσιμέντων (EN 196-1) τα τσιμέντα χωρίζονται στους εξής τύπους [6]:

Από άποψη σύνθεσης σε:

- Τύπος I (Τσιμέντο Portland) Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που προέρχονται από την άλεση του κλίνκερ με προσθήκη γύψου 2-3% και filler<3% κ.β.
- Τύπος II (Τσιμέντο Portland με ποζολάνες) Χαρακτηρίζονται τα τσιμέντα που περιέχουν ποζολάνες. Το αδιάλυτο υπόλειμμα ανέρχεται σε ποσοστό 20% κ.β.
- Τύπος III (Ποζολανικά τσιμέντα Portland) Περιέχουν ποζολάνη σε ποσοστό μεγαλύτερο από εκείνα του τύπου II. Το αδιάλυτο υπόλειμμα ανέρχεται σε ποσοστό 20-40%. Παρουσιάζουν χαμηλότερη θερμότητα ενυδάτωσης, και ενδείκνυνται σε ογκώδη έργα(πχ. υπερχειλιστές ΔΕΗ κλπ)
- Τύπος IV(Τσιμέντο Portland ανθεκτικό στα θειικά άλατα) Δεν περιέχουν ποζολάνες αλλά το αργιλικό τριασβέστιο πρέπει να είναι μικρότερο του 3,5% και η περιεκτικότητα σε να μην υπερβαίνει το 2,5%.

Από άποψη αντοχής στις εξής κατηγορίες:

- Κατηγορία 35 (με αντοχή σε θλίψη 28ημερών από 25-45 MPa)
- Κατηγορία 45 (με αντοχή σε θλίψη 28ημερών από 35-55 MPa)
- Κατηγορία 55 (με αντοχή σε θλίψη 28ημερών άνω των 45 MPa)

Θεωρητικά οι τύποι των τσιμέντων θα ήταν 27. Οι παραγόμενοι όμως τύποι στην Ελλάδα είναι λιγότεροι γιατί είτε δεν είναι όλοι οι συνδυασμοί πρακτικά εφικτοί, είτε δεν είναι απαραίτητοι στην πράξη. Έτσι π.χ. ένα ποζολανικό τσιμέντο (τύπος III), για να επιτύχει αντοχή 55 ή και 45 MPa θα χρειαζόταν υπερβολική λεπτότητα.

1.6 Χάλυβας

Ο χάλυβας (κοινώς ατσάλι) είναι κράμα σιδήρου-άνθρακα που περιέχει λιγότερο από 2,06% κ.β. άνθρακα, λιγότερο από 1,0% μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Οι κραματούμενοι χάλυβες, όπως π.χ. οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες, κ.λπ., αποτελούν ειδική κατηγορία χαλύβων που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά άλλων μετάλλων. Είναι το πιο διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό μετά το σκυρόδεμα και το ξύλο. Χρησιμοποιείται παντού: από την αρχιτεκτονική και τη ναυπηγική μέχρι την κατασκευή χειρουργικών εργαλείων. Το ατσάλι είναι ένα από τα σημαντικότερα βιομηχανικά υλικά και οι χαλυβουργίες (εργοστάσια παραγωγής χάλυβα) ανήκουν στις «βαριές βιομηχανίες». Σε παλαιότερες εποχές, η βιομηχανική παραγωγή μιας

χώρας αξιολογούνταν από την παραγωγή της σε χάλυβα. Μια από τις τρεις Ευρωπαϊκές Κοινότητες που ιδρύθηκαν το 1957 ήταν και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα.

Παραγωγή του χάλυβα

Ο χάλυβας παράγεται με τρεις βασικές μεθόδους:

1. με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσιδήρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου·
2. με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδήρου (αγγλ., *Direct reduced iron* ή DRI), και την μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου· και
3. με την ανάτηξη παλαιοσιδήρου (σκραπ) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace - EAF).

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του 2005, το 65,4% της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα προέρχεται από τις δύο πρώτες καθετοποιημένες μεθόδους και το 31,7% από την ανάτηξη παλαιοσιδήρων και σπογγώδους σιδήρου σε κλίβανους ηλεκτρικού τόξου. Ένα μικρό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα (2,9% για το 2005) προέρχεται από την μετατροπή χυτοσιδήρου σε κάμινους ανοικτής εστίας ή άλλες μεθόδους.

Στην Ελλάδα, όλη η παραγωγή χάλυβα (περίπου 2,5 εκατ. τόνοι ετησίως) προέρχεται από την ανάτηξη παλαιοσιδήρου και προορίζεται κυρίως για την παραγωγή μπετόβεργας.

Ποιότητες του χάλυβα

Σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 3.500 διαφορετικά είδη χαλύβων με πολύ διαφορετικές φυσικές, χημικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες. Περίπου τα τρία τέταρτα των ειδών των χαλύβων δημιουργήθηκαν μόλις τα τελευταία είκοσι χρόνια. Οι σύγχρονοι χάλυβες είναι πολύ πιο ανθεκτικοί σε σύγκριση με παλιότερες ποιότητες χαλύβων. Αν χτιζόταν σήμερα ο Πύργος του Άιφελ στο Παρίσι, θα χρειαζόταν το ένα τρίτο της ποσότητας χάλυβα. Ένα σύγχρονο αυτοκίνητο χρειάζεται 25% λιγότερο χάλυβα από ό,τι χρειαζόταν ένα αυτοκίνητο πριν από δυο με τρεις δεκαετίες.

Οι χάλυβες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες (αγγλ. *grades*), ανάλογα με την χημική τους σύσταση, την περαιτέρω κατεργασία τους, την κρυσταλλική τους δομή ή και την τελική τους χρήση.

Ως προς την χημική τους σύσταση, οι χάλυβες ταξινομούνται ως εξής:

- Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες (αγγλ. *carbon steels*). Περιέχουν άνθρακα (έως 2,06%) και μικρό ποσοστό μαγγανίου (έως 1,65%), πυριτίου (έως 0,6%) και χαλκού (έως 0,6%). Χρησιμοποιούνται πολύ και συγκολλούνται εύκολα. Με βάση τον περιεχόμενο άνθρακα, οι κοινοί χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:
 - χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες (αγγλ. *mild steels*: C < 0,30%),

- ο χάλυβες μέτριου άνθρακα (αγγλ. medium carbon steels· $0,30\% < C < 0,60\%$),
 - ο χάλυβες υψηλού άνθρακα (αγγλ. high carbon steels· $0,60\% < C < 1,00\%$), και
 - ο χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα (αγγλ. ultra-high carbon steels· $1,00\% < C < 2,00\%$)^[3].
- Κραματωμένοι χάλυβες (αγγλ. alloy steels), δηλ. κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τέτοιοι είναι οι
 - ο ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης, που περιέχουν συνήθως χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.λπ. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το 10 % κ.β., όπως π.χ. οι εργαλειοχάλυβες ($0,7\% < C < 1,4\%$, $Mn < 0,3\%$), και οι
 - ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες υψηλής κραμάτωσης, όπως οι ανοξειδωτοι χάλυβες ($Cr > 10,5\%$), οι ταχυχάλυβες ($C \sim 0,7\%$, $Cr \sim 4,0\%$, $5,0\% < Mo < 10\%$, $1,5\% < W < 18,0\%$, $0\% < Co < 8,0\%$), κ.λπ.

Ανάλογα με την περαιτέρω κατεργασία τους, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

- ο χάλυβες διαμόρφωσης, που υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση, κ.λπ.), και
- ο χυτοχάλυβες, που παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή πλινθωμάτων («χελωνών») και επαναχυτεύονται για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων.

Τέλος, συχνά γίνεται λόγος για φερριτικούς, περλιτικούς, μαρτενσιτικούς, μπαινιτικούς κ.λπ. χάλυβες ανάλογα με την κύρια κρυσταλλική φάση τους. Η ονοματολογία των χαλύβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης όπως DIN, ASTM, ΕΛΟΤ κ.λπ. Συχνά υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στο όνομα μιας κατηγορίας χάλυβα και την αντοχή της συγκεκριμένης κατηγορίας χάλυβα σε εφελκυσμό. Για παράδειγμα, το πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3 ορίζει ότι ο χάλυβας B500C πρέπει να έχει όριο διαρροής μεγαλύτερο από 500 MPa (500 N/mm^2). Τα χαλυβουργεία παράγουν ημιτελή και τελικά προϊόντα χάλυβα. Τα ημιτελή προϊόντα χάλυβα είναι συνήθως δοκοί τετραγωνικής διατομής («μπιγιέτες») με ακμή περίπου 10 εκ. ή κυκλικής διατομής με διάμετρο περίπου 25 εκ. (κυλινδρικές «μπιγιέτες» ή «κορμοί») και μήκος μερικά μέτρα, ή ακόμα πλατιά πρίσματα (πλάκες ή «σλαμπ») διατομής 10 εκ. x 100 εκ. και με μήκος μερικών μέτρων. Η παραγωγή των ημιτελών προϊόντων γίνεται με συνεχή χύτευση σε μήτρες από χαλκό, που ψύχονται με νερό και με έλαση σε ειδικά ελαστρά. Τα ημιτελή προϊόντα αναθερμαίνονται και υποβάλλονται σε έλαση, διέλαση, ολκή κ.λπ. για την παραγωγή των τελικών προϊόντων, που μπορεί να είναι πλατέα ή επιμήκη^[4]. Τόσο τα πλατέα προϊόντα όσο και τα επιμήκη παράγονται με θερμή ή ψυχρή έλαση. Η θερμή έλαση γίνεται σε θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 925 °C, οπότε οι παραμορφωμένοι κόκκοι του μετάλλου ανακρυσταλλώνονται. Η ψυχρή έλαση ωστόσο επιτρέπει την παραγωγή προϊόντων με διαστάσεις πολύ πλησιέστερες στις τελικές διαστάσεις που θέλει ο καταναλωτής. Τα πλατέα προϊόντα διακρίνονται σε πλάκες ή χονδρές κατασκευαστικές λαμαρίνες (αγγλ., plates), με πάχος 1 έως 20 εκ. για χρήση στην ναυπηγική, την οικοδομή, κ.ά., και σε λεπτές λαμαρίνες σε ρολά ή επίπεδα φύλλα (αγγλ. strips), με πάχος 0,1 έως 1 εκ. για την αυτοκινητοβιομηχανία, την βιομηχανία οικιακών συσκευών, την οικοδομή, κ.ά. Τα επιμήκη προϊόντα μπορεί να είναι ράβδοι ή χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος (μπετόβεργα· αγγλ., reinforcing bars), ελάσματα ή λάμες (τσέρκι· αγγλ. narrow strips), μορφοσίδηρος (χάλυβας διαμορφωμένης διατομής, όπως γωνίες, ταυ, κ.λπ.· αγγλ. profiles), κοίλες δοκοί (αγγλ. hollow sections), σωλήνες με ή χωρίς ραφή (αγγλ. welded or

seamless tubes), κ.ά. Στα επιμήκη προϊόντα συμπεριλαμβάνεται και το σύρμα (αγγλ. wire). Εκτός από τα πλατέα και τα επιμήκη προϊόντα, ο χάλυβας διατίθεται ακόμα στην μορφή χυτής χελώνας (χυτοχάλυβας). Πολλές χαλυβουργίες διαθέτουν φύλλα ή ρολούς επιψευδαργυρωμένου (γαλβανισμένου), επικασσιτερωμένου και επιχρωματισμένου χάλυβα.

1.7 Αλουμίνιο

Το αργίλιο ή αλουμίνιο είναι το χημικό στοιχείο με σύμβολο Al και ατομικό αριθμό 13. Είναι ένα αργυρόλευκο μέταλλο στοιχείο που ανήκει στην ομάδα III_A (13) του περιοδικού συστήματος μαζί με το βόριο. Είναι το πιο άφθονο μέταλλο στο φλοιό της Γης και συνολικά το τρίτο (3^ο) πιο άφθονο χημικό στοιχείο συνολικά στον πλανήτη μας, μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο. Κατά βάρος αποτελεί περίπου το 8% του στερεού φλοιού. Ωστόσο είναι πολύ δραστικό χημικά ώστε να βρίσκεται στη φύση ως ελεύθερο μέταλλο. Αντίθετα, βρίσκεται ενωμένο σε πάνω από 270 διαφορετικά ορυκτά. Η κύρια πηγή για τη βιομηχανική παραγωγή του μετάλλου είναι ο βωξίτης.

Το μεταλλικό αλουμίνιο έχει (φαινομενικά) μεγάλη ικανότητα στο να αντιστέκεται στη διάβρωση. Αυτό στην ουσία συμβαίνει γιατί με την έκθεση του μετάλλου στην ατμόσφαιρα σχηματίζει στιγμιαία ένα λεπτό επιφανειακό, μη ορατό, στρώμα οξειδίου του, που εμποδίζει τη βαθύτερη διάβρωσή του (φαινόμενο της παθητικοποίησης). Επίσης, εξαιτίας της σχετικά χαμηλής του πυκνότητας και της μεγάλης του ικανότητας να δημιουργεί μεγάλη ποικιλία κραμάτων, έγινε στρατηγικό μέταλλο για την αεροδιαστημική (και όχι μόνο) βιομηχανία. Είναι, επίσης, εξαιρετικά χρήσιμο στη χημική βιομηχανία, τόσο αυτούσιο ως καταλύτης, όσο και με τη μορφή διαφόρων ενώσεων του [8].

Ιδιότητες αλουμινίου

Οι ιδιότητες που κάνουν το αλουμίνιο τόσο σημαντικό για την βιομηχανία είναι το χαμηλό του ειδικό βάρος, η υψηλή αντοχή του σε μηχανικές καταπονήσεις και η εξαιρετική αντοχή του στη διάβρωση, η οποία οφείλεται στο φαινόμενο της παθητικοποίησης. Το καθαρό αλουμίνιο είναι αρκετά μαλακό και όλκιμο. Με την προσθήκη σιδήρου, χαλκού και άλλων κραματικών στοιχείων βελτιώνονται κατά πολύ οι μηχανικές του ιδιότητες. Το αλουμίνιο υφίσταται εύκολα κατεργασία με χύτευση και με αφαίρεση υλικού. Παρουσιάζει, επίσης, πολύ καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Χρήσεις αλουμινίου

Τα κράματα αλουμινίου με 2,5-6,3% κ.β. χαλκό ονομάζονται ντουραλουμίνια. Περιέχουν συνήθως ως πρόσθετα κραματικά στοιχεία μαγνήσιο και σπανιότερα, μαγγάνιο και πυρίτιο. Παρουσιάζουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, οι οποίες οφείλονται στη σκλήρυνσή τους με δημιουργία κατακρημνισμάτων και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην αεροναυπηγική, λόγω του χαμηλού τους βάρους και της εξαιρετικής τους αντοχής. Τα τελευταία χρόνια, χρησιμοποιούνται στην αεροναυπηγική και σε άλλες εφαρμογές όπου το χαμηλό βάρος και οι καλές μηχανικές ιδιότητες σε χαμηλές θερμοκρασίες είναι ζητούμενα κράματα αλουμινίου-λιθίου. Άλλα κράματα αλουμινίου χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία, τη βιομηχανία αθλητικών ειδών και τη ναυπηγική. Χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή των κουτιών για ποτά, του αλουμινόχαρτου και άλλων υλικών και εργαλείων της κουζίνας. Το οξείδιο του αργιλίου, η αλουμίνα, βρίσκεται στη φύση με τη μορφή του ρουμπινιού, του ζαφειριού και του κορούνδιου. Το κορούνδιο έχει σκληρότητα στην κλίμακα Mohs ίση με 9, πράγμα που το κάνει ένα από τα

σκληρότερα υλικά στη φύση. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ως λειαντικό η συνθετική αλουμίνα. Τα οξειδία του αργιλίου χρησιμοποιούνται επίσης στην υαλουργία και την κατασκευή λείζερ. Κρύσταλλοι ρουμπινιού χρησιμοποιούνται επίσης ως αισθητήρες πίεσης για υψηλές πιέσεις. Γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας κατασκευάζονται επίσης συχνά από αλουμίνιο, καθώς έχει μικρότερο βάρος και κόστος από το χαλκό (αν και όχι τόσο καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα). Οι στυπτηρίες, κρυσταλλικές ενώσεις (άλατα) του αργιλίου με το γενικό χημικό τύπο $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ χρησιμοποιούνται ως στυπτικά καθώς και στη βαφική.

Παραγωγή αλουμινίου

Σήμερα, η παραγωγή αλουμινίου ακολουθεί σε γενικές γραμμές την ακόλουθη διαδικασία:

Πρώτα ο βωξίτης εξορύσσεται από το κοίτασμα (συνήθως επιφανειακό). Στη συνέχεια εκπλύνεται, θρυμματίζεται και διαλύεται σε πυκνό διάλυμα καυστικού νατρίου σε υψηλή θερμοκρασία και πίεση. Με αυτό τον τρόπο, οι προσμίξεις του βωξίτη (κυρίως οξειδία του σιδήρου και του πυριτίου) απομακρύνονται και παραμένει στο διάλυμα το καυστικό νάτριο με το οξύδιο του αργιλίου. Στη συνέχεια απομακρύνεται και το καυστικό νάτριο και παραμένει μόνο το ένυδρο οξύδιο του αργιλίου, το οποίο πυρώνεται στους $1100^\circ C$ έτσι, ώστε να απομακρυνθεί το νερό.

Ακολουθεί η ηλεκτρόλυση. Το οξύδιο του αργιλίου διαλύεται σε τήγμα κρυσθίου, το οποίο βρίσκεται σε ηλεκτρολυτική λεκάνη με άνοδο ηλεκτρόδιο άνθρακα και κάθοδο την επένδυση της λεκάνης από ανθεκτικό μέταλλο. Στη συνέχεια διαβιβάζεται μέσα από αυτό συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλής τάσης αλλά εξαιρετικά υψηλής έντασης (περίπου 150000 Αμπέρ). Το τηγμένο αλουμίνιο συλλέγεται από το βυθό της λεκάνης. Το παραγόμενο κατά την ηλεκτρόλυση οξυγόνο κατευθύνεται προς την άνοδο από άνθρακα, τον οποίο καίει, (γι' αυτό και τα ηλεκτρόδια της ανόδου αντικαθίστανται τακτικά) διατηρώντας έτσι την θερμοκρασία του τήγματος σε υψηλά επίπεδα. Παράλληλα, όμως, παράγεται και φθόριο (προερχόμενο από τον κρυσθίο), το οποίο συλλέγεται με ειδικό κάλυμμα της λεκάνης και, κατευθυνόμενο σε ειδική μονάδα ανακυκλώνεται, ώστε να μην καταλήξει στην ατμόσφαιρα.

Η ηλεκτρόλυση είναι μια διεργασία η οποία είναι εξαιρετικά ηλεκτροβόρα. Ένα τυπικό εργοστάσιο παραγωγής αλουμινίου καταναλώνει ρεύμα όσο μια μικρή πόλη. Ενδεχόμενη διακοπή ρεύματος για παραπάνω από 4 ώρες σημαίνει στερεοποίηση των τηγμάτων στις λεκάνες και, συνεπώς, καταστροφή τους. Γι' αυτό το λόγο, τα περισσότερα εργοστάσια είτε παράγουν επιτόπου την ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνουν είτε συνδέονται με παραπάνω από μία πηγές ενέργειας (έχουν δηλαδή απευθείας διεθνείς συνδέσεις).

Εκτός από το βωξίτη, το αργίλιο βρίσκεται στη φύση στα ορυκτά της αργίλου και στους κρυστάλλους του ρουμπινιού, του ζαφειριού και του κορουνδίου αλλά και σε πολύ μεγάλο αριθμό πυριτικών, κυρίως, ορυκτών. Μεγάλος αριθμός βιομηχανικών ορυκτών περιέχει αργίλιο.

1.8 Πλαστικό

Ο όρος πλαστικό είναι κοινή ονομασία που χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια ευρεία ποικιλία συνθετικών ή ημισυνθετικών οργανικών στερεών υλικών. Τα πλαστικά είναι σχεδόν αποκλειστικά πολυμερή μεγάλου μοριακού βάρους, εξ ου και η ονομασία πολλών εξ αυτών φέρει το πρόθεμα πολυ-, και που μπορεί να περιέχουν πρόσθετα, οργανικά ή μη, για βελτίωση των ιδιοτήτων τους (μηχανική αντοχή, εμφάνιση, χρώμα κλπ). Κύριο συστατικό παρασκευής τους είναι οι συνθετικές ρητίνες που διακρίνονται σε "εποξειδικές" και "ακρυλικές".

Υπάρχει ιδιαίτερα μεγάλο πλήθος εντελώς διαφορετικών μεταξύ τους πλαστικών, ωστόσο μπορούμε να τα κατατάξουμε σε δύο κατηγορίες. Τα θερμοπλαστικά είναι πολυμερή που αποκτούν μεγαλύτερη πλαστικότητα, δηλαδή ευκολία στο να παραμορφωθούν και να αποκτήσουν το σχήμα που επιθυμούμε, κάθε φορά που θερμαίνονται. Στα θερμοσκληρυνόμενα κατά την πρώτη θέρμανση και ανάμιξη των συστατικών τους προκαλείται πολυμερισμός και σκλήρυνση κατά τρόπο μη αντιστρεπτό. Δηλαδή τα θερμοσκληρυνόμενα μετά την πήξη τους δεν δύνανται να μορφοποιηθούν περαιτέρω.

2 ΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ ΣΤΗΝ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΗ

Περίπου το 30% του συνόλου των πολυμερών που παράγονται κάθε χρόνο χρησιμοποιούνται στην κτιριακή βιομηχανία. Τα πολυμερή προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα στις οικοδομικές κατασκευές σε σχέση με τα συμβατικά υλικά, όπως φωτεινότητα, αντοχή στη διάβρωση και ευκολία επεξεργασίας. Μπορούν να ενισχυθούν με ίνες και να σχηματίσουν σύνθετα υλικά που έχουν βελτιωμένες ιδιότητες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά μέλη αλλά και ανεξάρτητες μονάδες. Τα πολυμερή σύνθετα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς διαφορετικούς κατασκευαστικούς τομείς όπως η αεροδιαστημική, η αεροναυπηγική αλλά και η βιομηχανία δορυφόρων.

Σύνθετα πολυμερή υλικά αναπτύχθηκαν για πρώτη φορά κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1940, για στρατιωτικές και αεροδιαστημικές εφαρμογές. Σημαντικές πρόοδοι έχουν γίνει από τότε όσον αφορά την εφαρμογή του υλικού αυτού στον τομέα των κατασκευών. Φέροντα κατασκευαστικά στοιχεία αλλά και στοιχεία πλήρωσης με την μορφή πάνελ κατασκευάζονται από σύνθετα πολυμερή υλικά. Τα σύνθετα πολυμερή ενισχύονται στην οικοδομική συνήθως με ίνες γυαλιού προσφέροντας κατασκευαστικά υλικά υψηλής ακαμψίας. Τα ενισχυμένα πολυμερή τα συναντάμε σε πολλές εφαρμογές, όπως αγωγούς, χιτώνια, δεξαμενές και στέγαστρα κλπ. Κατά την τελευταία δεκαετία, τα σύνθετα πολυμερή έχουν βρει εφαρμογή στον τομέα των κατασκευών σε περιοχές όπως η επισκευή γεφυρών, καλώδια πρόσδεσης, δομική ενίσχυση αλλά και αυτόνομα στοιχεία.

Παρακάτω αναφέρονται δύο περιπτώσεις ενίσχυσης κατασκευαστικών δομικών στοιχείων με σύνθετα πολυμερή υλικά:

Συστήματα ενίσχυσης κατασκευών με ανθρακονήματα [9]

Η αποκατάσταση και ενίσχυση στοιχείων σκυροδέματος η οποία απαιτείται συχνά για διάφορους λόγους (ανεπάρκεια υπάρχουσας κατασκευής λόγω παλαιότητας, αλλαγή χρήσης του κτιρίου, βελτίωση σεισμικής συμπεριφοράς, βλάβες από σεισμό ή ενανθράκωση του σκυροδέματος) αποτελούσε ένα σοβαρό πρόβλημα στην οικοδομή διότι απαιτούσε σημαντικό χρόνο, χώρο και κόστος. Η ανάπτυξη των νέων τεχνικών ενίσχυσης με χρήση σύνθετων υλικών όπως τα ινοπλισμένα πολυμερή – Fiber Reinforced Polymers (FRP) τα οποία επικολλούνται εξωτερικά με εποξειδικές ρητίνες στα προς ενίσχυση στοιχεία σκυροδέματος έδωσε λύση στο παραπάνω πρόβλημα.

Τα Ινοπλισμένα Πολυμερή έχουν τα εξής πλεονεκτήματα [10]:

- Εξαιρετικά μεγάλη εφελκυστική αντοχή
- Μικρό βάρος και ευκαμψία
- Αύξηση της αντοχής χωρίς σημαντική μεταβολή των διαστάσεων των στοιχείων της οικοδομής
- Ανθεκτικότητα σε διαβρωτικό περιβάλλον
- Χαμηλό κόστος
- Τα ινοπλισμένα πολυμερή εφαρμόζονται σε στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος όπως δοκοί, πλακοδοκοί, πλάκες, υποστηλώματα, τοιχία, κόμβοι και φέρουσα τοιχοποιία. Τα ινοπλισμένα πολυμερή αποτελούνται από πολύ υψηλής αντοχής ίνες άνθρακα, υάλου ή αραμιδίου, τοποθετημένες είτε επάλληλα σε πολυμερική μήτρα σχηματίζοντας δύσκαμπτα ελάσματα, είτε πλεγμένες σε ύφασμα δημιουργώντας εύκαμπτο ύφασμα μίας η δύο διευθύνσεων. Και οι δύο ανωτέρω τύποι υλικών τοποθετούνται από την εξωτερική πλευρά του στοιχείου του σκυροδέματος ως οπλισμός, επικολλούμενα με εποξειδικές ρητίνες, και κατά τρόπο ώστε να παραλαμβάνουν τις εφελκυστικές δυνάμεις κατά μήκος των ινών τους.

Πολυμερείς μεμβράνες:

Πολυμερείς μεμβράνες από διάφορα υλικά με αξιόλογες ιδιότητες αναπτύχθηκαν και εμφανίστηκαν από την βιομηχανία πολυμερών τις τελευταίες δεκαετίες, που εξυπηρετούν ευρύτατο φάσμα εφαρμογών. Υλικά όπως το Polycarbonate είναι εξαιρετικά ανθεκτικά σε μηχανική καταπόνηση ενώ άλλα όπως το Plexiglass και το Polycarbonate σε μορφή φύλλων έχουν γίνει γνωστά εξαιτίας των εξαιρετικών οπτικών τους χαρακτηριστικών σαν υλικά υποκατάστατα του γυαλιού με εφαρμογές στην αρχιτεκτονική και οικοδομική όπως και στην κατασκευή συσκευών εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας. Πολυμερή φύλλα από Polyethylene χρησιμοποιούνται στην οικοδομική, σε κατασκευές θερμοκηπίων ενώ άλλα όπως το Tedlar χρησιμοποιείται στην οικοδομική και την κατασκευή ηλιακών συλλεκτών. Το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την χρησιμοποίηση μεμβρανών διαφόρων υλικών σε συστήματα και συσκευές που απαιτούν υπολογισμούς θερμικών ισοζυγίων, προϋποθέτει τον ακριβή υπολογισμό του συνολικού συντελεστή διάβασης των υλικών για ένα σημαντικό τμήμα του υπέρυθρου φάσματος.

Πίνακας 1.1: Τιμές δείκτη διάθλασης n_f και συντελεστή ανάκλασης $r(0)$ για κάθετη πρόσπτωση διαφόρων υλικών πολυμερών μεμβρανών [10]

Υλικό	Δείκτης διάθλασης	Τιμή/	$r(0)$
Plexiglas	1.49	1.49	0.0387
Fiberglas	1.54	1.54	0.0451
Polycarbonate	1.586	1.586, 1.6	0.0513
Polyethylene	1.5	1.5, 1.51- 1.54	0.0400
Polypropylene	1.5	1.5	0.0400
Tedlar	1.46	1.46, 1.45	0.0349
Mylar	1.64	1.64, 1.62	0.0587
Kapton	1.816	1.816	0.0839
Vinyl	1.5	1.5	0.0400

2.1 Γενικά

Τα πολυμερή, σαν υλικά με πολλές εφαρμογές, απολαμβάνουν μια μεγάλη ανάπτυξη από το 1960. Ιδιαίτερα, στην αυτοκινητοβιομηχανία, τα πολυμερή χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πολλών μερών όπως το ταμπλό, ο πίνακας των οργάνων, τα καθίσματα, οι προφυλακτήρες κ.α. . Τα πολυμερή συνδυασμένα με τα όποια πρόσθετα ονομάζονται πλαστικά. Ανάλογα με τον τρόπο που παράγονται και συμπεριφέρονται, τα πολυμερή κατηγοριοποιούνται σε : [11]

- **Θερμοπλαστικά:** Είναι συνήθως γραμμικά ή ελαφρώς διακλαδισμένα, γεγονός που τους επιτρέπει να ρέουν υπό πίεση όταν θερμαίνονται πάνω από το σημείο τήξης τους. Η διαδικασία τήξης και μορφοποίησης τους μπορεί να επαναληφθεί πολλές φορές για αυτό και τα θερμοπλαστικά εύκολα ανακυκλώνονται.

- **Θερμοσκληρυνόμενα:** Είναι υλικά, τα οποία υφίστανται χημική μεταβολή κατά τη θέρμανσή τους, δημιουργώντας έτσι δομή τρισδιάστατου δικτύου. Μετά τη θέρμανση και μορφοποίησή τους, τα πολυμερή αυτά δεν μπορούν να υποστούν την ίδια διαδικασία και να επαναμορφοποιηθούν.

- **Ελαστομερή:** Είναι τα πολυμερή που έχουν ανεπτυγμένη την ιδιότητα της ελαστικότητας ελαστομερούς και που εφελκυσμένα παρουσιάζουν μεγάλη επιμήκυνση, με ταχεία και πλήρη επαναφορά (όταν παύσει να ασκείται η εφελκυστική δύναμη).

Η δομή και ο βαθμός πολυμερισμού καθορίζουν σημαντικά τις ιδιότητες ενός πολυμερούς. Ανάλογα με τη δομή των μακρομοριακών αλυσίδων, τα πολυμερή διαχωρίζονται σε γραμμικά (linear polymers), διακλαδισμένα (branched polymers) και διασταυρωμένα (cross-linked polymers). Στις δυο πρώτες κατηγορίες ανήκουν τα θερμοπλαστικά, ενώ τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή χαρακτηρίζονται ως διασταυρωμένα.

Το 80% των πλαστικών που παράγονται αποτελούνται από θερμοπλαστικά πολυμερή [The World Resource Foundation]. Τέτοια είναι τα ακόλουθα:

- Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, HDPE, (σωλήνες, μπουκάλια, παιχνίδια).
- Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας, LDPE, (πλαστικές σακούλες, συσκευασίες).
- Πολυτερεφθαλικός αιθυλεστέρας, PET, (μπουκάλια, συσκευασίες τροφίμων).
- Πολυπροπυλένιο, PP, (συσκευασίες τροφίμων, πλαίσια μπαταριών, μέρη αυτοκινήτου, ίνες) .
- Πολυστυρένιο, PS, (συσκευασίες γαλακτοκομικών προϊόντων, ταινίες ηχογράφησης, είδη οικιακού εξοπλισμού).
- Πολυβινυλοχλωρίδιο, PVC, (πλαίσια κουφωμάτων, ταινίες συσκευασίας, πιστωτικές κάρτες και ιατρικά προϊόντα).

Το εναπομένον 20% των παραγόμενων πλαστικών περιλαμβάνει τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή όπως [The World Resource Foundation]: .

- Πολυουρεθάνες, PU (επιστρώσεις, καθίσματα αυτοκινήτων), .
- Εποξικές ρητίνες (πρόσθετα πολυμερών, αθλητικός εξοπλισμός),
- Φαινοπλάστες (μέρη αυτοκινήτου, φούρνοι).

Τα πολυμερή σπάνια χρησιμοποιούνται στην καθαρή τους μορφή. Συνήθως, τροποποιούνται ή συνδυάζονται με χημικά πρόσθετα προκειμένου να περιέλθουν σε αξιοποιήσιμη μορφή. Τα πολυμερή συνδυασμένα με τα πρόσθετα ονομάζονται πλαστικά. Τα πρόσθετα αυτά μπορεί να αποτελούν:

- διογκωτικές ουσίες (foaming agents),

- ρευστοποιητές για την εξώθηση (extrusion aids),
- αντιοξειδωτικά,
- σταθεροποιητές UV ακτινοβολίας (UV stabilizers),
- επιβραδυντές ανάφλεξης (flame retardants) και
- παράγοντες σύζευξης (coupling agent) (Πίνακας 1.1).

Πίνακας 2.1: Κατηγορίες προσθέτων σε πολυμερή [13]

Πρόσθετο	Λειτουργία
Παράγοντες Σύζευξης	Βοηθούν την πρόσφυση
Λιπαντικά	Βελτιώνουν τη ροή και εμποδίζουν την καταστροφή των άκρων των αλυσίδων
Σταθεροποιητές θερμότητας	Αποτρέπουν την υποβάθμιση κατά την επεξεργασία λόγω υψηλών θερμοκρασιών
Σταθεροποιητές UV ακτινοβολίας	Αποτρέπουν την υποβάθμιση από την έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία
Αφρώδεις παράγοντες	Μειώνουν την πυκνότητα

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία θα ασχοληθούμε με τους ακόρεστους πολυεστέρες, τα πολυκαρβονικά και τα ακρυλικά (PMMA)

2.2 Πολυμερισμός

Η επαναλαμβανόμενη χημική αντίδραση, με την οποία τα μόρια ενός ή και περισσοτέρων μονομερών ενώνονται προς σχηματισμό του μορίου του πολυμερούς, ονομάζεται πολυμερισμός (polymerization). Βάσει του μηχανισμού και της κινητικής της αντιδράσεως, οι αντιδράσεις πολυμερισμού διακρίνονται σε [2]:

- Αντιδράσεις σταδιακού πολυμερισμού (step-reaction polymerization), οι οποίες με τη σειρά τους διακρίνονται σε αντιδράσεις πολυσυμπυκνώσεως (polycondensation) και αντιδράσεις πολυπροσθήκης (polyaddition).
- Αντιδράσεις αλυσωτού πολυμερισμού (radical chain polymerization). Πολυμερή μπορούν να παρασκευασθούν και με χημική τροποποίηση άλλων πολυμερών, φυσικών (π.χ. κυτταρίνη) ή συνθετικών, με συνήθεις αντιδράσεις της Οργανικής Χημείας [2].

Οι βασικότερες διαφορές ανάμεσα στις αντιδράσεις σταδιακού και αλυσωτού πολυμερισμού είναι[3]:

- Στον σταδιακό, η αντίδραση οδεύει μεταξύ οποιονδήποτε μοριακών ειδών που είναι παρόντα στο μίγμα αντιδράσεως, και ανεξάρτητα από το μέγεθος τους, ενώ στον αλυσωτό τα μόρια του μονομερούς αντιδρούν μόνο με πολυμερή αυξανόμενης αλυσίδας.

- Η συγκέντρωση του μονομερούς ελαττώνεται ταχύτατα στις αντιδράσεις σταδιακού πολυμερισμού, σε αντίθεση με τις αντιδράσεις αλυσωτού πολυμερισμού.
- Όσον αφορά το σταδιακό πολυμερισμό, στο αντιδρών μίγμα βρίσκονται παρόντα, σε υπολογίσιμη συγκέντρωση, όλα τα μοριακά είδη από το μονομερές μέχρι και το πολυμερές. Στον αλυσωτό πολυμερισμό, όμως, βρίσκονται παρόντα μόνο το μονομερές, το πολυμερές και περίπου 10^{18} μέρη αυξανόμενων αλυσίδων πολυμερούς[19].
- Τέλος, σημαντική διαφορά είναι ότι στο σταδιακό πολυμερισμό το μοριακό βάρος του πολυμερούς αυξάνεται συνεχώς, συναρτήσει της έκτασης της αντιδράσεως, και δεν υπάρχει όριο στο μέγεθος τους. Επιπλέον, και το μοριακό βάρος του πολυμερούς και η έκταση της αντιδράσεως εξαρτώνται άμεσα από το χρόνο. Μεγάλοι χρόνοι είναι απαραίτητοι για την παραγωγή πολυμερούς μεγάλου μοριακού βάρους. Αντιθέτως, στον αλυσωτό πολυμερισμό, ο χρόνος επηρεάζει μόνο την έκταση της αντιδράσεως. Η τελευταία δεν επηρεάζει το μοριακό βάρος του παραγόμενου πολυμερούς. Αμέσως μετά την έναρξη της αντιδράσεως λαμβάνονται μόρια πολυμερούς μεγάλου μοριακού βάρους.

2.3 Κατηγορίες πολυμερών

Υπάρχουν πολλές κατηγορίες στις οποίες μπορούν να χωρισθούν τα πολυμερή ανάλογα με το κριτήριο που χρησιμοποιούμε. Μπορούμε να διακρίνουμε παρακάτω κατηγορίες [11]:

- Με βάση την χημική σύσταση του κορμού της αλυσίδας τους υπάρχουν τα οργανικά και τα ανόργανα πολυμερή.
- Λαμβάνοντας ως κριτήριο την ύπαρξη ενός πολυμερούς στη φύση ή όχι διακρίνουμε τα φυσικά και τα συνθετικά πολυμερή.
- Συνδυάζοντας τις δύο προηγούμενες κατατάξεις έχουμε τα οργανικά πολυμερή: βιολογικά και συνθετικά, και τα ανόργανα πολυμερή: ορυκτά και συνθετικά.
- Η συμπεριφορά τους κατά τη μεταβολή της θερμοκρασίας, επιβάλλει μία συσχέτιση με τη μοριακή δομή τους, με αποτέλεσμα την κατάταξη των πολυμερών σε θερμοπλαστικά (thermoplastics), θερμοσκληρυνόμενα (thermosettings) και ελαστομερή (elastomers).
- Όσον αφορά το είδος των ατόμων που συνδέονται προς σχηματισμό της αλυσίδας μπορεί να είναι όμοια μεταξύ τους ή ανόμοια. Έτσι, μιλάμε για ομοαλυσωτά και ετεροαλυσωτά πολυμερή, αντιστοίχως.
- Όταν το μακρομόριο του πολυμερούς αποτελείται από ένα είδος δομικών μονάδων, ονομάζεται ομοπολυμερές (homopolymer), ενώ όταν αποτελείται από δύο ή περισσότερα είδη δομικών μονάδων ονομάζεται συμπολυμερές (copolymer). Τα τελευταία διακρίνονται σε:

2.4 Εφαρμογές

Οι ασυνήθιστες ιδιότητες διαφόρων πολυμερών υλικών σε σύγκριση με τα παραδοσιακά υλικά (μέταλλα, κεραμικά κλπ.), ικανοποιώντας τις τεχνολογικές απαιτήσεις της εποχής μας, οδήγησαν σε μία πλατιά χρήση των υλικών αυτών. Έτσι σήμερα τα πολυμερή υλικά βρίσκουν σημαντικότερη εφαρμογή στους τομείς της συσκευασίας, της οικοδομής, της ηλεκτροτεχνίας, των μεταφορικών μέσων, των συσκευών κλπ. Τα πολυμερή χρησιμοποιούνται κυρίως λόγω των ποικίλων, αξιόλογων ιδιοτήτων τους και των δυνατοτήτων επεξεργασίας τους. Επί πλέον οι ιδιότητες τους μπορούν σκόπιμα να μεταβληθούν. Ιδιαίτερα πρέπει να αναφερθούν η χαμηλή πυκνότητα τους και η σταθερότητα τους έναντι της διαβρώσεως. Η σύγχρονη όμως τεχνολογία θέτει συνεχώς

μεγαλύτερες απαιτήσεις στο φάσμα των ιδιοτήτων αυτών των υλικών. Παρ' όλα αυτά αναμένεται ότι τα πολυμερή θα ανταποκριθούν στις προσδοκίες μας για τη κατάλληλη επίλυση νέων προβλημάτων και εφαρμογών. Μερικές περιοχές ιδιοτήτων, όπου έχει ήδη γίνει αλλά και αναμένεται αυξανόμενη βελτίωση των πολυμερών υλικών είναι [13]:

- Η ακαμψία και η ελαστικότητα (διεύρυνση και αντικατάσταση μετάλλων από πολυμερή, π.χ. στον τομέα των μεταφορικών μέσων).
- Η θερμική σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες (έτσι ώστε π.χ. πολυμερή υλικά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα θερμά τμήματα του κινητήρα του αυτοκινήτου).
- Η διαχωριστική ικανότητα ουσιών μικρού μοριακού βάρους (διεύρυνση στη χρησιμοποίηση πολυμερών με τη μορφή μεμβρανών και ιοντοεναλλακτικών ρητινών, π.χ. υδρομεταλλουργία, βιοχημεία κλπ.).
- Η ηλεκτρική και οπτική αγωγιμότητα (με χρησιμοποίηση πολυμερών υλικών, π.χ. στην κατασκευή ελαφρών πλαστικών μπαταριών αυτοκινήτου, φακών επαφής οράσεως κλπ).
- Οι φαρμακολογικές ιδιότητες (που θα ανοίξουν νέους δρόμους στην καταπολέμηση ασθενειών, π.χ με την αποθήκευση πληροφοριών σε διάφορα τμήματα του μακρομορίου που να προσαρμόζουν τον μεταβολισμό της ύλης).

3 ΕΠΙΔΡΑΣΗ UV ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ

3.1 Φωτοαποικοδόμηση πολυμερών

3.1.1 Υπεριώδης (UV) Ακτινοβολία

Η υπεριώδης ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία έχει μήκη κύματος που εκτείνονται από τα 4 ως τα 400 nm. Ξεκινά από το μικρότερο μήκος κύματος της ορατής ακτινοβολίας (ιώδες) και φτάνει μέχρι το μήκος κύματος των ακτίνων X. Σημαντικά φαινόμενα που σχετίζονται με την υπεριώδη ακτινοβολία είναι βιολογικές διεργασίες και εφαρμογές, χημικές αναλύσεις μέσω χαρακτηριστικής απορρόφησης και το φαινόμενο του φθορισμού.

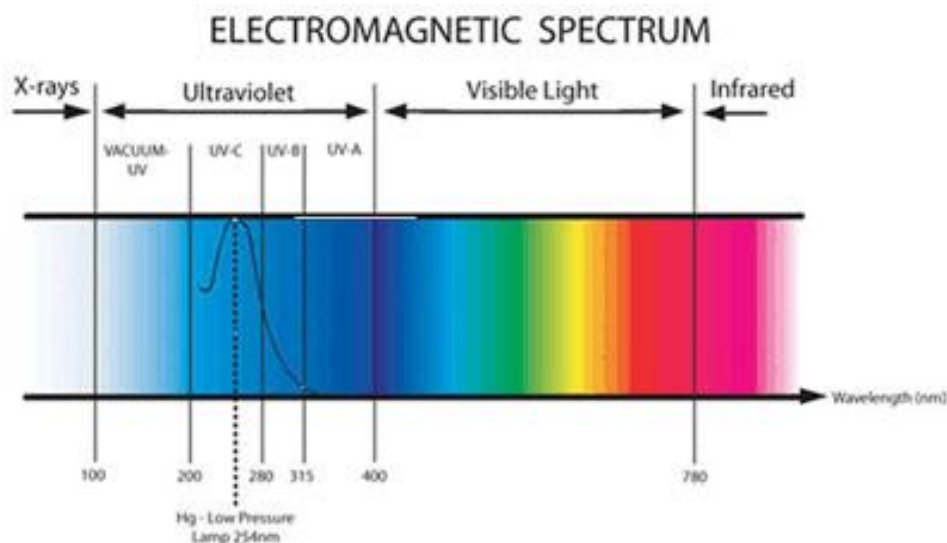
Η UV ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης έχει μήκη κύματος στην περιοχή των 290-400 nm και αποτελεί μόνο το 5% της συνολικής ηλιακής ενέργειας που δέχεται η γη. Παρόλα αυτά, η αντίστοιχη ενέργεια φωτονίων που είναι 418-293 kJ/mol είναι αρκετά ισχυρή ώστε να προκαλέσει διάσπαση δεσμών στα πολυμερή. Η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας είναι αντίστροφα ανάλογη του μήκους κύματος, σύμφωνα με την εξίσωση $E = hc/\lambda$, όπου h: η σταθερά του Plank, c: η ταχύτητα του φωτός (300000km/sec) και λ: το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) που έχει μικρό μήκος κύματος, έχει πολύ περισσότερη ενέργεια, τόσο από την ορατή ακτινοβολία (VIS) όσο και από την υπέρυθη (IR)[14].

Η υπεριώδης ακτινοβολία διαιρείται σε τρεις περιοχές :

- Την «εγγύς» περιοχή UV_A: Αυτή περιλαμβάνει τα μεγάλα μήκη κύματος (320-400 nm) και συνεπώς είναι σχετικά χαμηλής ενέργειας. Διεσδύει βαθιά μέσα στον οργανισμό. Προκαλεί άμεσο μαύρισμα του, λόγω της οξειδωσης της ήδη υπάρχουσας μελανίνης στην επιφάνεια του δέρματος. Δεν προκαλεί φλεγμονή δηλ. σημαντικό ερύθημα και ηλιακό έγκαυμα.
- Την «μέσω» περιοχή UV_B: Αυτή κυμαίνεται σε σχετικά μικρά μήκη (290-320) και για τον λόγο αυτό είναι υψηλής ενέργειας. Έχει μικρό βάθος διείσδυσης, που σταματά στην επιδερμίδα, χωρίς να εισέρχεται καθόλου στο χόριο. Ευθύνεται για την παραγωγή της μελανίνης και του μαυρίσματος, αφού προηγουμένως έχει

προκληθεί ερύθημα. Η παρατεταμένη έκθεση σε αυτή, προκαλεί ηλιακό έγκαυμα.

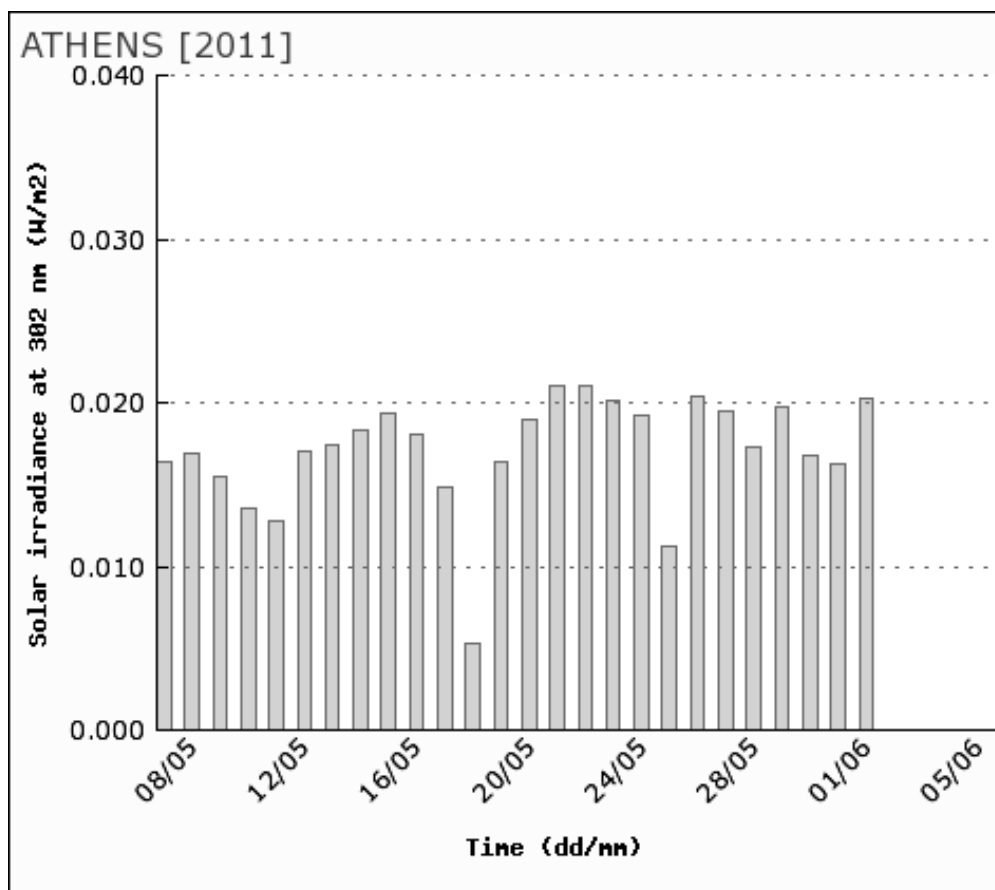
- Την «άπω» περιοχή UV_C: Χαρακτηρίζεται από τα μικρά μήκη κύματος (185-290nm) και την υψηλή ενέργεια που περιέχει. Μπορεί να προκαλέσει χημικές και γενετικές μεταβολές στον ανθρώπινο οργανισμό, αλλά δεν μπορεί να διαπεράσει την στοιβάδα κεράτινης της επιδερμίδας. Συνεπώς δεν προκαλεί μαύρισμα, αλλά είναι ικανή να προκαλέσει σοβαρά εγκαύματα. Δεν φτάνει στην επιφάνεια της γης, διότι συγκρατείται από το στρώμα του όζοντος της στρατόσφαιρας, μπορεί όμως να εκπέμπεται από υπεριώδεις τεχνητές πηγές.



Σχήμα 3.1: Φάσμα ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Στις πηγές της υπεριώδους ακτινοβολίας περιλαμβάνονται ο ήλιος (αν και μεγάλο μέρος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας απορροφάται από την ατμόσφαιρα), στοιχεία όπως ο άνθρακας, το υδρογόνο και ο υδράργυρος και επίσης ακτινοβολούντα σώματα. Τεχνητές πηγές υπεριώδους ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται συχνά για να προσομοιάζουν τις επιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας στη φθορά των υλικών. Φθορισμός ονομάζεται η φωτοβολία που προκαλεί η απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ο πιο έντονος φθορισμός προκαλείται από την υπεριώδη ακτινοβολία, και βρίσκει πολλές εφαρμογές.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι μετρήσεις της ακτινοβολίας UV_B στην Αθήνα από 08.05.2011 έως 06.06.2011 [15].



Σχήμα 3.2: Μετρήσεις της ακτινοβολίας UV_B στην Αθήνα από 08.05.2011 έως 06.06.2011

3.1.2 Αλληλεπίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας με την ύλη

Σε ένα δείγμα μορίων, η συνολική ενέργεια που διαθέτει ένα μοναδικό μόριο είναι διαμοιρασμένη σε διάφορες μορφές. Μερικές από αυτές είναι: κινητική (Translation), περιστροφής (Rotation), δόνησης (Vibration), και ηλεκτρονιακή (Electronic). Η ενέργεια E , την οποία προσλαμβάνει το μόριο κατά την απορρόφηση φωτός, μπορεί συνεπώς να περιλαμβάνει τρία συστατικά: $E = E_{\text{ηλ}} + E_{\text{εταλ}} + E_{\text{επερ}}$, όπου: $E_{\text{ηλ}}$: Ενέργεια διέγερσης του ηλεκτρονίου $E_{\text{εταλ}}$: Ενέργεια ταλάντωσης του ατόμου $E_{\text{επερ}}$: Ενέργεια περιστροφής του μορίου [14].

Δύο ακόμα σηματικά στοιχεία για τις ενέργειες των μορίων:

1. Είναι όλες κβαντισμένες
2. Καθεμία σχετίζεται με συγκεκριμένο τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτή που σχετίζεται με την υπεριώδη ακτινοβολία είναι η ηλεκτρονιακή [14].

Οι περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που σχετίζονται με τους τύπους ενέργειας δίνονται στον Πίνακα 3.2 [14].

Πίνακας 3.1: Οι περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και οι τύποι ενέργειας με τους οποίους σχετίζονται.[14]

Τύπος ενέργειας	Σχετική περιοχή ηλεκτρομαγνητικού φάσματος
Περιστροφής	Μικροκύματα
Δόνησης	Υπέρυθρη ακτινοβολία
Ηλεκτρονιακή	Ορατή και υπεριώδης ακτινοβολία

Όταν ένα μόριο απορροφήσει ενέργεια, ανάλογα με τη συχνότητα της μπορεί να συμβεί ένα από τα τρία παρακάτω φαινόμενα που περιγράφονται στον πίνακα 3.3 [21].

Πίνακας 3.2: Αποτελέσματα της απορρόφησης ενέργειας από μόριο

Ιονισμός	Φωτόλυση (Photodissociation)	Διέγερση
Η απορρόφηση ενός φωτονίου με πολύ υψηλή ενέργεια μπορεί να προκαλέσει την απώλεια ενός ηλεκτρονίου από το μόριο.	Η ενέργεια που απορροφάται είναι τόσο μεγάλη ώστε τα δεσμευμένα ηλεκτρόνια δεν συγκρατούν τα άτομα μεταξύ τους, και ο δεσμός σπάει. Έτσι σχηματίζονται ελεύθερες ρίζες.	Τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν υψηλότερες ενεργειακά θέσεις αλλά γρήγορα μεταπίπτουν στις χαμηλότερες.

3.1.3 Φωτοαποικοδόμηση πολυμερών

Ως φωτοαποικοδόμηση χαρακτηρίζεται η αποικοδόμηση των πολυμερών με την επίδραση του ηλιακού φωτός, και κυρίως της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία του φωτός που προσπίπτει σε ένα πολυμερές μπορεί [16,18]:

- να ανακλάται μερικώς στην επιφάνεια του
- να σκεδάζεται μερικώς μέσα στη μάζα του
- να διέρχεται μερικώς μέσα από το πολυμερές
- ή να απορροφάται από το πολυμερές.

Μόνο το αναρροφούμενο μέρος της ακτινοβολίας του φωτός οδηγεί σε φωτοχημικές μεταβολές. Εάν και σε ποιά έκταση συμβαίνει απορρόφηση του φωτός από το πολυμερές, εξαρτάται από τη σύσταση του φάσματος του προσπίπτοντος φωτός και από τη χημική σύσταση της ουσίας που δέχεται την ακτινοβολία. Για κάθε ουσία, ανάλογα με τη σύσταση της, υπάρχει μια περιοχή μηκών κύματος του φωτός, για την οποία γίνονται φωτοχημικές αντιδράσεις. Οι τιμές του ενεργού μήκους κύματος για τα επιμέρους πολυμερή πρέπει να θεωρηθούν ως προσεγγιστικές, διότι μπορούν αυτές να μεταβάλλονται εξαιτίας διαφόρων λόγων, όπως π.χ. παρουσία ακαθαρσιών, μεταβολές κατά την επεξεργασία (μορφοποίηση) του πολυμερούς, σύσταση των προσθέτων.

Με την απορρόφηση της ακτινοβολίας του φωτός ανεβαίνει το ενεργειακό περιεχόμενο του μακρομορίου, το οποίο με αυτόν τον τρόπο φθάνει σε μια νέα, υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση. Το μεγαλύτερο μέρος της προσλαμβανόμενης ενέργειας καταναλώνεται για να μεταβεί το ηλεκτρονιακό σύστημα σε μία υψηλότερη κβαντική κατάσταση. Το διηγημένο ηλεκτρόνιο, από τη στοιβάδα που είναι στη βασική κατάσταση του μορίου, μεταβαίνει σε μια υψηλότερη, μη κατειλημμένη στοιβάδα [19].

Ένα ηλεκτρονιακά διεγερμένο άτομο μπορεί να απενεργοποιηθεί με φυσικές διεργασίες (φθορισμό, χαλαρώσεις ταλαντώσεων κλπ) και χημικά με διαμοριακές και μονομοριακές φωτοχημικές αντιδράσεις (φωτοϊσομερισμός, σχάση δεσμών κλπ). Για την αποικοδόμηση των πολυμερών είναι σημαντικό η ενεργειακή διαφορά μεταξύ των διεγερμένων καταστάσεων και της βασικής κατάστασης να είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια διασπάσεως του χημικού δεσμού. Σε αυτήν την περίπτωση μπορεί να γίνει θραύση δεσμών C-C ή C-H και με αυτόν τον τρόπο γίνεται αποικοδόμηση του πολυμερούς.

Με βάση τα προηγούμενα, για κάθε ουσία, ανάλογα με την σύσταση της, υπάρχει μία περιοχή μηκών κύματος του φωτός, για την οποία γίνονται φωτοχημικές αντιδράσεις, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 9β. Οι τιμές του ενεργού μήκους κύματος για τα επί μέρους πολυμερή πρέπει να θεωρηθούν ως προσεγγιστικές διότι μπορούν αυτές να μεταβάλλονται εξ αιτίας διαφόρων λόγων, όπως π.χ παρουσία ακαθαρσιών, μεταβολές κατά την επεξεργασία (μορφοποίηση) του πολυμερούς, σύσταση των προσθέτων. Σε αυτές τις περιοχές του μήκους κύματος συμβαίνει επίσης μία μέγιστη απορρόφηση ή φθορισμός για τα αντίστοιχα πολυμερή.

Πίνακας 3.3: Μήκη κύματος φωτός που οδηγούν σε μεγίστη αποικοδόμηση διαφόρων πολυμερών [16]

Πολυμερές	Ενεργό μήκος κύματος φωτός, (nm)
Πολυεστέρας	315
Πολυστυρένιο	318 και 340
Πολυαιθυλένιο	300
Πολυπροπυλένιο, μη σταθεροποιημένο έναντι θερμικής αποικοδομήσεως	370 (280)
Πολυ(χλωριούχο βινύλιο)	310 και 370
Πολυ(οξείκο βινύλιο)	<280
Πολυανθρακικό	280 έως 305 και 330 έως 360
Νιτρική κυτταρίνη	310
Πολυαμίδιο	250 έως 310
Πολυκαρβονικό	293 έως 345

Με την απορρόφηση της ακτινοβολίας του φωτός ανεβαίνει το ενεργειακό περιεχόμενο του μακρομορίου, το οποίον με αυτόν τον τρόπο φθάνει σε μία νέα, υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση. Το μεγαλύτερο μέρος της προσλαμβανόμενης ενέργειας καταναλώνεται για να μεταβεί το ηλεκτρονιακό σύστημα σε μία υψηλότερη κβαντική κατάσταση. Το διηγεμένο ηλεκτρόνιο, από την στοιβάδα που είναι στη βασική κατάσταση του μορίου, μεταβαίνει σε μία υψηλότερη, μη κατειλημμένη στοιβάδα. Κυρίως για τις φωτοχημικές διεργασίες σε πολυμερή, πολύ σημαντική είναι η δυνατότητα της μεταφοράς της ενεργειακά διηγεμένης καταστάσεως από ένα μόριο σε ένα άλλο, το οποίον κατόπιν ή το ίδιο λαμβάνει μέρος σε μία φωτοχημική αντίδραση ή η διέγερση οδηγείται πάρα πέρα κατά μήκος του μακρομορίου.

Κατά την απορρόφηση φωτός στο μόριο, πέρα από την κίνηση των ηλεκτρονίων γίνεται επίσης ακόμη μία κίνηση του μορίου γύρω από το κέντρο βάρους του, καθώς επίσης και τα άτομα του μορίου ταλαντώνονται γύρω από μία θέση, έτσι ώστε άλλοτε να πλησιάζουν μεταξύ τους και άλλοτε να απομακρύνονται. Παρόμοια, όπως κατά την ηλεκτρονιακή μετάβαση από ένα ενεργειακό επίπεδο σε ένα άλλο, πρόκειται επίσης για κβαντωμένα φαινόμενα κατά την περιστροφή του μορίου και την ταλάντωση των ατόμων του. Για αυτόν τον λόγο είναι δυνατές μόνο ειδικές καταστάσεις περιστροφής και ταλαντώσεως. Σε κάθε ηλεκτρονιακή κατάσταση με ορισμένη ενέργεια ανήκει ένας ορισμένος αριθμός καταστάσεων ταλάντωσης με σχετικά μικρές ενεργειακές διαφορές και σε κάθε κατάσταση ταλάντωσης ανήκουν ορισμένες καταστάσεις περιστροφής με ακόμη μικρότερες ενεργειακές διαφορές.

Η ενέργεια E , την οποία προσλαμβάνει το μόριο κατά την απορρόφηση φωτός μπορεί συνεπώς να περιλαμβάνει τρία συστατικά:

$$E = E_{\eta\lambda} + E_{\tau\alpha\lambda} + E_{\pi\epsilon\rho}$$

όπου: $E_{\eta\lambda}$: ενέργεια διεγέρσεως του ηλεκτρονίου

$E_{\tau\alpha\lambda}$: ενέργεια ταλαντώσεως του ατόμου

$E_{\pi\epsilon\rho}$: ενέργεια περιστροφής του μορίου

Η περισσότερη από την προσλαμβανόμενη ενέργεια καταναλώνεται για την ανύψωση του ηλεκτρονιακού συστήματος σε μία υψηλότερη κβαντωμένη κατάσταση, ενώ το υπόλοιπο μέρος προκαλεί τις αλλαγές των καταστάσεων των ταλαντώσεων και της περιστροφής. Ανεξάρτητα από εάν ένα μόριο ευρίσκεται στην βασική κατάσταση ή σε κάποια των διεγερμένων ηλεκτρονιακών καταστάσεων, χωρίζεται το μόριο σε άτομα ή σε άτομα και ελεύθερες ρίζες ή σε δύο ελεύθερες ρίζες, ευθύς ως η προσλαμβανόμενη ενέργεια ταλαντώσεων γίνει μεγαλύτερη από την ενέργεια διαστάσεως.

Κατά συνέπεια, η φωτοχημική αντίδραση σε πολυμερή καταναλώνει μόνον ένα μικρό μέρος της προσλαμβανόμενης ενέργειας της ακτινοβολίας. Η χημική επίδραση του φωτός μπορεί να αποσαφηνισθεί με την βοήθεια της παραδοχής ότι το φως αποτελείται από φωτόνια. Ένα απορροφημένο φωτόνιο ενεργοποιεί κάθε φορά μόνον ένα μόριο, δηλαδή ο αριθμός των ενεργοποιημένων μορίων είναι ίσος με τον αριθμό των φωτονίων (νόμος της φωτοχημικής ισοδυναμίας κατά τον Einstein). Το φως προσλαμβάνεται από την ουσία με την μορφή πλήρων φωτονίων. Ο αριθμός N των ενεργοποιημένων μορίων, τα οποία δημιουργούνται με απορρόφηση ακτινοβολίας της ενέργειας E , δίνεται από την σχέση:

$$N = E/h \cdot \nu$$

όπου: N : αριθμός των ενεργοποιημένων μορίων

E : ενέργεια

h : σταθερά του Plank ($6,624 \cdot 10^{-34}$ J. s)

ν : συχνότητα

Εάν ο αριθμός των ενεργοποιημένων μορίων είναι ίσος με τον αριθμό του Avogadro ($N = 6,023 \cdot 10^{23}$ /mol), τότε ορίζεται η προσλαμβανόμενη ενέργεια ως «1 Einstein». Η απορρόφηση 1 Einstein δηλαδή ενός "mol" κβαντωμένου φωτός οδηγεί κατά συνέπεια σε ενεργοποίηση $6,023 \cdot 10^{23}$ μορίων. Μεταξύ αυτής της μονάδας και του γραμμομορίου (mol) υφίσταται η ίδια σχέση όπως μεταξύ του φωτονίου και του μορίου. Η ενέργεια 1 Einstein είναι ανεξάρτητη από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και δίνεται από την σχέση:

$$E = 10^{-7} N(h \cdot c) / \lambda \quad \text{J/mol}$$

όπου: N : αριθμός Avogadro

h : σταθερά Plank

c : ταχύτητα φωτός ($3 \cdot 10^{10}$ αη/8)

λ : μήκος κύματος του φωτός σε Å (Angstrom)

ή

$$E = 1,197 \cdot 10^{-6} / \lambda \quad \text{kJ/mol}$$

Η ενέργεια 1 Einstein για διάφορα μήκη κύματος του φωτός φαίνεται στον Πίνακα 3.4. Διαπιστώνεται ότι η ενέργεια ενός συστήματος κατά την απορρόφηση ενέργειας ακτινοβολίας 1 Einstein αυξάνει το μήκος κύματος π.χ. 290 nm κατά 413 kJ. Αυτή η ενέργεια επαρκεί, εκτός των άλλων, για να διασπασθεί ο δεσμός C-C σε αλειφατικούς

υδρογονάνθρακες ο δεσμός μεταξύ άνθρακα και χλωρίου κλπ. Εάν συγκριθεί η ενέργεια του φωτός με την αντοχή χημικών δεσμών (Πίνακας 9δ), τότε προκύπτει ότι η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας και ειδικά αυτή της υπεριώδους περιοχής, επαρκεί για φωτολυτική διάσπαση χημικών δεσμών στο πολυμερές. Πολυμερή με αμιδομάδα (-CONH-, π.χ. πολυαμίδια, μαλλί, μετάξι) εμφανίζουν, εκτός των άλλων, μία ταινία απορροφήσεως στη περιοχή 250 έως 310 nm. Η ομάδα καρβονυλίου (>C=O) απορροφά ακτινοβολία μήκους κύματος 310 nm, την οποία επίσης περιλαμβάνει η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στη γη και η ενέργεια της ουσίας ανεβαίνει στα 385 kJ/mol. Αυτή η ενέργεια δεν φθάνει για την διάσπαση του δεσμού C=O (ενέργεια διασπάσεως 730 kJ/mol), επαρκεί όμως για την διάσπαση του δεσμού C-N (ενέργεια διασπάσεως 222 kJ/mol) ή του δεσμού C-C (ενέργεια διασπάσεως περίπου 300 kJ/mol). Η προσλαμβανόμενη ενέργεια δεν χρειάζεται να προκαλέσει μία αντίδραση τέτοιας δραστικής ομάδας (ομάδα καρβονυλίου), από την οποία απορροφάται, αλλά μπορεί να οδηγείται κατά μήκος του μακρομορίου και να το διασπά σε μία ασθενή θέση του.

Πίνακας 3.4. Ενέργεια κατά την απορρόφηση 1 Einstein για ακτινοβολία διαφόρων μηκών κύματος [16]

Μήκος κύματος nm	Ενέργεια	
	kJ/mol	kcal / mol
800	149,8	35,74
700	171,0	40,84
600	200,0	47,65
500	239,5	57,18
400	299,3	71,48
350	341,8	81,65
320	373,9	89,31
310	386,0	92,19
300	398,8 *	95,26
295	405,6	96,88
290	412,5	98,50
254	471,5	112,60
200	598,5	142,95
185	646,9	154,50
100	1196,6	285,80

Πίνακας 3.5. Ενέργεια δεσμού μερικών χημικών δεσμών [16]

Δεσμός	Ενέργεια δεσμού	
	kJ/mol	kcal/mol
CsN (νιτρίλιο)	875,0	209
C=C	837,4	200
C=O	728,5	174
C=C	607,1	145
C=S	540,1	129
C-C (αρωματικό)	519,2	124
C-H (ακετυλένιο)	506,3	121
O-H	460,5	110
C-H (αιθυλένιο)	443,8	106
C-H (μεθάνιο)	410,3	98

Si-O	372,6	89
C-O	364,3	87
S-H	364,3	87
N-H	351,7	84
C-C (αλειφατικό)	335,0	80
C-O (αιθέρας)	330,8	79
C-Cl	326,6	78
Si-H	314,0	75
Si-C	293,1	70
C-N (νιτρομεθάνιο)	284,7	68
O-O (υπεροξειδίο)	268,0	64
C-N (αμίδιο)	222,0	53

Γραμμικός πολυεστέρας, π.χ. πολυ(τερεφθαλικό αιθυλένιο), απορροφά στη περιοχή 290 έως 330 nm. Η απορρόφηση στη περίπτωση του πολυ(τερεφθαλικού αιθυλενίου) είναι ιδιαίτερα έντονη στα 315 nm (απορρόφηση με την ομάδα C=O). Η ενέργεια της ακτινοβολίας του αναφερόμενου μήκους κύματος δεν επαρκεί για την διάσπαση του δεσμού C=C, αλλά μπορεί να διασπάσει τον δεσμό C-C. Επειδή όμως το πολυ(τερεφθαλικό αιθυλένιο) δεν περιέχει κανένα δεσμό με χαμηλή ενέργεια διαστάσεως (όπως πχ. ο δεσμός C-N στη περίπτωση των πολυαμιδίων) γίνεται η φωτοχημική αποικοδόμηση πιο αργά από ότι στο πολυαμίδιο.

Καθαρό πολυ(χλωριούχο βινύλιο) δεν εμφανίζει καμία απορρόφηση στη περιοχή των μικρών κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης και για αυτό θα έπρεπε να είναι σταθερό έναντι της ηλιακής ακτινοβολίας. Όμως από την πράξη είναι γνωστό, ότι το PVC διασπάται σχετικά εύκολα με την ηλιακή ακτινοβολία. Αιτία για αυτή την αποικοδόμηση είναι οι συζυγείς διπλοί δεσμοί και οι ομάδες καρβονυλίου που σχηματίζονται κατά την επεξεργασία (μορφοποίηση) του PVC σε υψηλές θερμοκρασίες και οι οποίες μεταθέτουν το απορροφούμενο φως σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. Κατά συνέπεια, σε τέτοια πολυμερή γίνεται μία χαρακτηριστική απορρόφηση σε περιοχή μήκους κύματος πάνω από 290 nm, δηλαδή σε μήκη κύματος, τα οποία παρέχουν μία επαρκή ενέργεια για να ξεκινήσει μία φωτοχημική αντίδραση.

Επίσης ανάλογα, το καθαρό πολυαιθυλένιο δεν απορροφά καμία ακτινοβολία με μήκος κύματος πάνω από 290 nm. Όμως κατά την μορφοποίηση με θέρμανση του πολυαιθυλενίου δημιουργούνται ομάδες καρβονυλίου με απορρόφηση στα 310 nm και η απορρόφηση της ακτινοβολίας αυτής της περιοχής παρέχει στο σύστημα επαρκή ενέργεια για να ξεκινήσουν φωτοχημικές αντιδράσεις.

Ως φωτοαποικοδόμηση χαρακτηρίζεται η αποικοδόμηση των πολυμερών με την επίδραση του ηλιακού φωτός. Η αποικοδόμηση αυτή αποτελεί μία βασική περίπτωση «γήρανσως», καθόσον το ηλιακό φως αποτελεί βασικό στοιχείο των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Όπως και η θερμική αποικοδόμηση έτσι και η φωτοαποικοδόμηση προσβάλλει τις ασθενείς θέσεις του πολυμερούς και η έκταση της προσβολής αυξάνει, όσο αυξάνει η ενέργεια δηλαδή όσο μειούται το μήκος κύματος του φωτός.

Η απορρόφηση φωτός οδηγεί σε μεταβολή της ηλεκτρονιακής απεικόνισως (configuration) αντίστοιχα σε μετάβαση σε μία διηγευμένη μοριακή κατάσταση. Ένα ηλεκτρονακά διηγευμένο μόριο μπορεί να απενεργοποιηθεί με φυσικές διεργασίες (φθορισμό, χαλαρώσεις ταλαντώσεων κλπ) και χημικά με διαμοριακές και μονομοριακές φωτοχημικές αντιδράσεις (φωτοϊσομερισμός, φωτοδιάσπαση κλπ). Η επίδραση της φυσικής απενεργοποίησης στην αποικοδόμηση (ή γήρανση) των πολυμερών μπορεί να παραληφθεί. Για την αποικοδόμηση (ή γήρανση) των πολυμερών είναι σημαντικό, ότι η

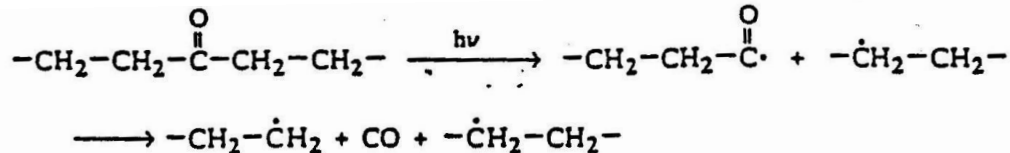
ενεργειακή διαφορά μεταξύ των διηγεμένων καταστάσεων και της βασικής καταστάσεως είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια διασπάσεως του χημικού δεσμού (Σχήμα 32). Σε αυτή την περίπτωση μπορεί να γίνει θραύση δεσμών C-C ή C-H και με αυτό τον τρόπο γίνεται αποικοδόμηση του πολυμερούς.

Τα οργανικά πολυμερή περιλαμβάνουν κυρίως δεσμούς C-C, C-H, -OH και C-Cl. Κατά συνέπεια θα αναμένετο ότι αυτά θα απορροφούσαν το φως με μήκος κύματος $\lambda < 200$ nm. Διαπιστώνεται όμως, ότι μετά από ακτινοβολία του πολυμερούς με UV-ακτινοβολία και μάλιστα με ένα μήκος κύματος με $\lambda > 300$ nm, δημιουργούνται μακρορίζες. Αυτό σημαίνει ότι τα πολυμερή περιέχουν πράγματι ένα είδος χρωμοφόρων ομάδων. Γω την απορρόφηση φωτός στα πολυμερή ευθύνονται κατά κύριο λόγο ακόρεστες ομάδες, κετονικές ομάδες, οι οποίες δημιουργούνται κατά την σύνθεση και την επεξεργασία των πολυμερών, καθώς και μερικές ακαθαρσίες (π.χ. μεταλλιόντα).

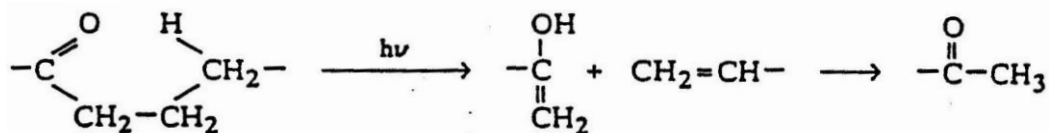
Ο μέσος όρος του ηλιακού φωτός με μήκος κύματος $\lambda < 450$ nm στο συνολικό ηλιακό φάσμα που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης είναι περίπου 5%. Όπως φαίνεται από τα δύο προηγούμενα Σχήματα 32 και 33 το μικρού μήκους κύματος μέρος ($\lambda < 400$ nm) του φάσματος του ηλιακού φωτός είναι επαρκώς μεγάλο, για να προκαλέσει φωτοχημικές μεταβολές στα πολυμερή μετά την απορρόφηση του από αυτά.

Κετονικές ομάδες (C=O) που περιέχονται στα πολυμερή μπορούν να απορροφήσουν το φως με ένα μήκος κύματος από 270 έως 330 nm και συνεπώς μεταβαίνουν σε μία διηγεμένη κατάσταση. Οι κετονικές ομάδες, οι οποίες ευρίσκονται σε μία τέτοια διηγεμένη κατάσταση, μπορούν να αντιδράσουν πάρα-πέρα με διαφορετικούς τρόπους [16]:

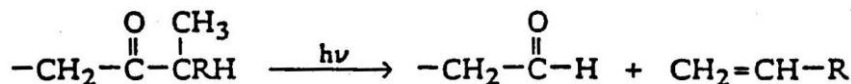
- θραύση των C-C δεσμών, οι οποίες γειτονεύουν με τις κετονικές ομάδες:



- αφαίρεση υδρογόνου από την γ-θέση



- αφαίρεση υδρογόνου από την' β-θέση και θραύση



Και οι τρεις προηγούμενες αντιδράσεις παίζουν ένα σημαντικό ρόλο κατά την φωτοχημική αποικοδόμηση των πολυμερών. Ο τύπος θραύσεως κατά την ακτινοβολία ενός πολυμερούς, το οποίο περιέχει κετονικές ομάδες, εξαρτάται κυρίως από την δομή του, την σταθερότητα των σχηματιζόμενων ριζών και την ενέργεια διεγέρσεώς του.

Ελεύθερες ρίζες, οι οποίες δημιουργούνται με φωτοχημικές αντιδράσεις μπορούν με την παρουσία οξυγόνου του ατμοσφαιρικού αέρα στο σκοτάδι να σχηματίσουν ρίζες υπεροξειδίων, οι οποίες μπορούν να αντιδράσουν πάρα-πέρα, όπως έχει περιγραφεί και προηγουμένως (κεφ.2.14). Σε τέτοιες περιπτώσεις ομιλεί κανείς για φωτοοξειδωτική αποικοδόμηση των πολυμερών. Επί πλέον, μετά την απορρόφηση φωτός ακολουθεί

φυσική απενεργοποίηση, η οποία αυξάνει την θερμική ενέργεια των μακρομορίων, με την οποία μπορεί να ευνοούνται αντιδράσεις θερμικής αποικοδόμησης.

Προκειμένου να αυξηθεί η σταθεροποίηση των πολυμερών έναντι της UV ακτινοβολίας (φωτοαποικοδόμηση) στη καθημερινή εφαρμογή των πολυμερών ενσωματώνονται σε αυτά σταθεροποιητές έναντι UV ακτινοβολίας που απορροφούν έντονα τα επικίνδυνα μήκη κύματος του φωτός (βλ κεφ. 2).

3.2 Σταθεροποίηση έναντι της φωτοαποικοδόμησης

Έναντι των ανεπιθύμητων αιτιών που συντελούν στην αποικοδόμηση του πολυμερούς, λαμβάνονται κατάλληλα «αμυντικά» μέτρα, που θα επιτρέψουν την αξιόπιστη ανταπόκριση του πολυμερούς στις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής. Τέτοια μέτρα, ανάλογα με το συγκεκριμένο πρόβλημα που παρουσιάζεται, μπορούν να εκτείνονται από μία απλή προσθήκη κάποιας ουσίας (π.χ. σταθεροποιητή) σε μία φάση της παραγωγικής διαδικασίας του τελικού πολυμερούς έως τη σημαντική μεταβολή της παραγωγικής διαδικασίας ή ακόμη και το διαφορετικό σχεδιασμό του πολυμερούς προϊόντος [15]. Μερικά παραδείγματα ουσιών που αποτρέπουν την οξειδωτική αποικοδόμηση αλλά και τη φωτοαποικοδόμηση του πολυμερούς και οι μηχανισμοί δράσης τους δίνονται στον Πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.4. Μηχανισμοί UV σταθεροποιητών και αντιοξειδωτικών [16].

Μηχανισμός	Χημικό μέσο
Ανταγωνιστική απορρόφηση UV	2-Υδροξυβενζοφαινόλες
	2-Υδροξυφαινυλοβενζοτριαζόλες
	2-Υδροξυφαινυλο-8-τριαζίνες
	Άλλες χημικές κλάσεις
Απενεργοποίηση διηγημένης κατάστασης	Φαινοξείδιο του νικελίου
Εξάλειψη ελεύθερων ριζών	Φαινοξείδιο του νικελίου
	Παρεμποδισμένες αμίνες
	Παρεμποδισμένοι βενζοεστέρες
Αποσύνθεση HDP	Φαινοξείδιο του νικελίου
	Παρεμποδισμένες αμίνες
Απενεργοποίηση υπολειμμάτων καταλυτών	Φωσφίτες
	Δέκτες οξέων
	Παρεμποδιστές μετάλλων

Προκειμένου να αυξηθεί η σταθεροποίηση των πολυμερών έναντι της UV ακτινοβολίας (φωτοαποικοδόμηση) στην καθημερινή εφαρμογή των πολυμερών ενσωματώνονται σε αυτά σταθεροποιητές έναντι UV-ακτινοβολίας που απορροφούν έντονα τα επικίνδυνα μήκη κύματος.

Οι σταθεροποιητές μπορεί να είναι UV απορροφητές οι οποίοι απορροφούν το φωτοχημικά ενεργό φως, ουσίες που μπορούν να μεταφέρουν ενέργεια από διηγημένες καταστάσεις απενεργοποιώντας αυτές, και τέλος ουσίες που καταστρέφουν τις σχηματιζόμενες ενώσεις υπεροξειδίων και εμποδίζουν τις αντιδράσεις των εμφανιζόμενων ριζών.

Μία προστασία έναντι της απορρόφησης φωτός γίνεται με επικαλυπτικά ή με ενσωμάτωση πιγμένων ή ορισμένων προσθέτων (π.χ. αιθάλη, ZnO και Cr_2O_3 ενεργούν

σταθεροποιητικά). UV-απορροφητές, οι οποίοι χρησιμεύουν ως μέσο προστασίας έναντι του φωτός, πρέπει να απορροφούν υν-φοος και να απενεργοποιούνται μόνοι τους, χωρίς έτσι να σχηματίζονται ρίζες. Οι απλούστερες ενώσεις αυτού του τύπου είναι το σαλικυλικό οξύ, η 2-υδροξυβενζοφαινόνη και η υδροξυφαινυλοβενζοτριάζολη. Οι αναφερόμενες ενώσεις είναι ικανές για φωτοταυτομέρεια, δηλαδή κατά την απορρόφηση του φωτός γίνεται ένα φωτοταυτομερές, το οποίο σε μια θερμική αντίδραση παρέχει πάλι την αρχική ουσία. Η προσλαμβανόμενη ενέργεια ακτινοβολίας εκτενώς καταναλώνεται με αυτόν τον τρόπο και δεν μπορεί πλέον να επιδράσει βλαβερά στο πολυμερές. Η ορθο-υδροξυβενζοφαινόνη μεταβαίνει με ακτινοβολία σε μια διηγημένη κατάσταση, προσλαμβάνει τη την προσπίπτουσα ενέργεια δια μέσου της γέφυρας υδρογόνου και ακτινοβολεί αυτή ως υπέρυθη ακτινοβολία (δηλαδή ως θέρμανση) [16].

Οι τέσσερις κυριότεροι τύποι UV σταθεροποιητών είναι:

- Φίλτρα UV (screener)
- απορροφητές UV
- Απενεργοποιητές διεγερμένης κατάστασης
- Ουσίες εξάλειψης ελευθέρων ριζών ή/και αποσύνθεσης HDP:

Πιστεύεται ότι οι δύο τελευταίες μέθοδοι είναι οι πιο αποτελεσματικές. Είναι πλέον εξακριβωμένο ότι ένας UV σταθεροποιητής μπορεί να λειτουργεί με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, αν και αυτό δε σημαίνει ότι με αυτόν τον τρόπο είναι πιο αποτελεσματικός.

Ορισμένα παραδείγματα UV σταθεροποιητών είναι [16]:

- Πιγμέντα:
Αυτά αντανακλούν τη βλαβερή ακτινοβολία από την επιφάνεια του πολυμερούς με επικάλυψη της επιφάνειας ή με ενσωμάτωση ενός πιγμέντου με υψηλή ικανότητα αντανάκλασης UV. Ορισμένα ανόργανα πιγμέντα περιλαμβάνουν το διοξείδιο του τιτανίου, το οξείδιο του Zn, BaSO₄ (barium sulphate), Fe₂O₃ (iron oxide), CrO₂ (chromium oxide), PbO (lead oxide) κ.ά. Οργανικά πιγμέντα περιλαμβάνουν το κυανούν και το πράσινο της φθαλοκυανίνης (phthalocyanine blues and greens), τα ερυθρά της κινακρινόνης (quinacridone reds), τα ιώδη της καρβαζόλης (carbazole violet), και το κυανούν του ουλτραμαριν (ultramarine blue).
- Ορθοδροξυαρωματικές ενώσεις:
Γενικά λειτουργούν απορροφώντας την UV ακτινοβολία, αλλά υπάρχουν και είδη που απενεργοποιούν διεγερμένες καταστάσεις και εξαλείφουν τις ελεύθερες ρίζες. Ενδεικτικά αναφέρουμε τις 2-υδροξυβενζοφαινόνες, 2-υδροξυφαινυλοβενζοτριάζόλες, 2-υδροξυφαινυλο-8-τριάζίνες.
- Παρα-υδροξυβενζοεστέρες (para-hydroxybenzoates):
Τα p-hydroxybenzoates με φαινολικούς υποκατάστατες ενεργοποιούνται μέσω μιας φωτοχημικής αντίδρασης προς ένα πιο αποτελεσματικό προϊόν, τις 2-υδροξυβενζοφαινόνες.
- Σύμπλοκα μετάλλων: Αν και είναι σχετικά ξεπερασμένα, τα μεταλλικά σύμπλοκα συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται.
- Ενώσεις παραμποδισμένης πιπεριδίνης:
- Αποτελούν την πιο πρόσφατη εξέλιξη στους UV σταθεροποιητές και λειτουργούν με πάρα πολλούς τρόπους προς προστασία του πολυμερούς έναντι της UV ακτινοβολίας.

Πολλοί UV σταθεροποιητές δρουν συνεργατικά με ορισμένα αντιοξειδωτικά, ως εξής: Οι UV απορροφητές αποτρέπουν το αντιοξειδωτικά από τη φωτόλυση, και τα αντιοξειδωτικά καταστρέφουν τα HDP που θα μπορούσαν να επιτεθούν στο UV απορροφητή [16].

4 ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΥΛΙΚΑ

4.1 Πολυεστέρες

Με τον όρο πολυεστέρες εννοούμε τις πολυμερείς ενώσεις, οι οποίες περιέχουν στη δομή της βασικής αλυσίδας τους την εστερική ομάδα (-COO-). Διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τους θερμοπλαστικούς πολυεστέρες (thermoplastic polyesters) και τους θερμοσκληρυνόμενους πολυεστέρες (thermosetting polyesters), οι οποίοι παρόλο που ανήκουν στην ίδια ομάδα πολυμερών, διαφέρουν μεταξύ τους τόσο στις φυσικές όσο και στις χημικές τους ιδιότητες, και κατ' επέκταση στις εφαρμογές τους [17].

4.1.1 Θερμοπλαστικοί πολυεστέρες

Η κατηγορία αυτή των πολυεστέρων περιλαμβάνει πολυμερή, τα οποία είναι γραμμικά, κορεσμένα, και ευδιάλυτα. Ανάλογα με το βαθμό πολυμερισμού και τα μονομερή από τα οποία παράγονται μπορεί να είναι από ιξώδη υγρά έως και στερεά, τα οποία με τη σειρά τους μπορεί να είναι άμορφα ή ημικρυσταλλικά. Οι θερμοπλαστικοί πολυεστέρες βρίσκουν εφαρμογές στην παραγωγή πολυεστερικών ινών, επικαλυπτικών, βαφών κ.ά. [17].

Η πιο εμπορική μέθοδος παραγωγής θερμοπλαστικών πολυεστέρων είναι αυτή της απλής αντίδρασης διοξέως ή του αντίστοιχου διεστέρα και διόλης [17].

Οι θερμοπλαστικοί πολυεστέρες κατηγοριοποιούνται ως εξής [17]:

- Αλειφατικοί πολυεστέρες (aliphatic polyesters). Οι πολυεστέρες αυτοί παράγονται από αλειφατικά μονομερή (διβασικά οξέα και γλυκόλες).
- Τα κυριότερα χαρακτηριστικά των αλειφατικών πολυεστέρων είναι η ευκαμψία και το χαμηλό σημείο τήξεως. ΓΥ αυτό και δεν χρησιμοποιούνται στον τομέα των κατασκευαστικών υλικών, αλλά ως πλαστικοποιητές ή ως επικαλυπτικά. Γενικά, όμως, δεν θεωρούνται σημαντικοί θερμοπλαστικοί πολυεστέρες και η εμπορικότητά τους είναι περιορισμένη [17].
- Μερικώς αρωματικοί πολυεστέρες (partly aromatic polyesters). Οι πολυεστέρες αυτοί παράγονται από αλειφατικές γλυκόλες και αρωματικά διβασικά οξέα ή αρωματικούς εστέρες. Οι κυριότερες διαφορές αυτών από τους αλειφατικούς πολυεστέρες είναι η αυξημένη ακαμψία τους, και οι αυξημένες θερμοκρασίες τήξης και υαλώδους μετάπτωσης. Σε αυτή την κατηγορία πολυεστέρων ανήκουν τα πολυτερεφθαλικά αλκυλένια, κύριοι εκπρόσωποι των οποίων είναι το πολυτερεφθαλικό αιθυλένιο (PET) και το πολυτερεφθαλικό βουτυλένιο (PBT). Στην κατηγορία των μερικώς αρωματικών πολυεστέρων ανήκουν και τα προϊόντα πολυσυμπύκνωσης αλειφατικών διβασικών οξέων και αρωματικών διβασικών αλκοολών, τα οποία όμως δεν είναι εμπορευματοποιήσιμα λόγω των ακριβών πρώτων υλών για την παρασκευή τους, της πολυπλοκότητας της διαδικασίας πολυσυμπύκνωσης, και των μέτριων ιδιοτήτων των τελικών προϊόντων.
- Αρωματικοί πολυεστέρες (aromatic polyesters). Οι πολυεστέρες αυτοί έχουν όλους τους εστερικούς δεσμούς ενωμένους με αρωματικούς δακτυλίους. Οι περισσότεροι αρωματικοί πολυεστέρες έχουν μειωμένη επεξεργασιμότητα. Αντίθετα, οι αρωματικοί πολυεστέρες που παράγονται από μίγμα τερεφθαλικού και ισοφθαλικού οξέος και διφαινόλης-Α, παρουσιάζουν πολύ καλές ιδιότητες όπως υψηλά σημεία τήξης, καλή επεξεργασιμότητα και καλή ανθεκτικότητα κατά της γήρανσης.

4.1.2 **Θερμοσκληρυνόμενοι πολυεστέρες**

Οι θερμοσκληρυνόμενοι πολυεστέρες χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Αλκυδικές ρητίνες (alkyds). Είναι προϊόντα συμπύκνωσης της γλυκερίνης (τριδραστική αλκοόλη) και διδραστικών οξέων (ή και παραγώγων τους). Συνήθως στην παραγωγή τους συμμετέχουν και λιπαρά οξέα (προερχόμενα από ξηραίνόμενα ή μη έλαια), με σκοπό να μειωθεί η μέση δραστικότητα του συστήματος αντιδρώντων και κατά συνέπεια να μην παραχθεί πολυμερές πλέγματος που είναι άκαμπτο και άτηκτο. Αν δεν συμμετέχουν λιπαρά οξέα, οι αλκυδικές ρητίνες χαρακτηρίζονται ως «ελεύθερες λιπαρών οξέων» (oil free alkyds) [17].
- Η σκλήρυνση (ξήρανση ή στέγνωμα) των αλκυδικών ρητινών γίνεται σε συνήθη θερμοκρασία παρουσία οξυγόνου. Χαρακτηριστικές ιδιότητες των αλκυδικών ρητινών είναι η ανθεκτικότητα, η ευκαμψία, η διατήρηση επιφανειακής λάμψης, η καλή θερμική αντοχή, οι καλές ηλεκτρικές ιδιότητες, ο εύκολος χρωματισμός και η σταθερότητα όσον αφορά τις διαστάσεις τους. Αυτές οι ιδιότητες σε συνδυασμό με το όχι υψηλό κόστος τους, τις καθιστούν πολύ ελκυστικές για διάφορες εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην βιομηχανία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών, όπως και στη βιομηχανία επικαλυπτικών και πιο συγκεκριμένα στην παραγωγή βερνικιών, γυαλιστικών, βαφών κ.ά.
.Οι περισσότερο εμπορικές αλκυδικές ρητίνες (glyptals) παράγονται από φθαλικό ανυδρίτη, γλυκερίνη και μονοβασικά.
- Ακόρεστοι πολυεστέρες (unsaturated polyesters). Χαρακτηριστικό αυτών των πολυεστέρων είναι η ύπαρξη ακόρεστων δεσμών (διπλών δεσμών) στη δομή της βασικής τους αλυσίδας, γεγονός από το οποίο προήλθε και η ονομασία τους. Λόγω της ύπαρξης αυτών των ακόρεστων δεσμών έχουν την ικανότητα να πραγματοποιούν αντιδράσεις σκλήρυνσης με άλλα μονομερή και έτσι να σχηματίζουν διασταυρώσεις πλέγματος. Η κυριότερη τους εφαρμογή είναι σαν μήτρα για την παραγωγή σύνθετων υλικών με ίνες ύαλου ή άλλων μέσων ενίσχυσης[24].

4.2 **Ακόρεστοι πολυεστέρες (UP)**

4.2.1 **Παραγωγή ακόρεστων πολυεστέρων**

4.2.1.1 **Πολυεστεροποίηση**

Η πολυεστεροποίηση είναι μία αντίδραση πολυσυμπύκνωσης στοιχειομετρικών ποσοτήτων κορεσμένων και ακόρεστων οξέων ή ανυδριτών τους με γλυκόλες, χωρίς ή με παρουσία ισχυρά όξινου καταλύτη (π.χ. ρ-τολουολιοσουλφονικό οξύ) σε θερμοκρασίες 200 °C ή και ακόμη υψηλότερες, με ανάδευση και παρουσία αδρανούς ατμόσφαιρας (π.χ. αζώτου). Το παραγόμενο νερό απομακρύνεται με κατάλληλη κυκλοφοριακή απόσταξη, ενώ στο τέλος της αντιδράσεως εφαρμόζεται κενό προς πλήρη απομάκρυνση του [19].

Είναι μία εξώθερμη αντίδραση, η οποία αποτελείται από δύο επιμέρους αντιδράσεις [15]:

- Σχηματισμός μονοεστέρα, που συμβαίνει στο θερμοκρασιακό διάστημα 100 - 150 °C, και συνοδεύεται από έκλυση θερμότητας.
- Αντίδραση πολυσυμπύκνωσης, που συμβαίνει πάνω από τους 160 °C. Επειδή το μοριακό βάρος του παραγόμενου πολυεστέρα εξαρτάται από την έκταση αυτής της αντίδρασης, αυξάνεται αρκετά η θερμοκρασία (έως περίπου 200 °C), με ιδιαίτερη προσοχή όμως γιατί σε υψηλές θερμοκρασίες υπάρχει ο κίνδυνος ζελαρίσματος, δηλαδή η

δημιουργία πρόωρων διασταυρώσεων πλέγματος και η ανεπιθύμητη αύξηση του ιξώδους του προϊόντος.

4.2.1.2 *Πρώτες ύλες*

Οι πρώτες ύλες για την αντίδραση πολυεστεροποίησης χωρίζονται στις εξής δύο κατηγορίες [19]:

- Στα μονομερή (οργανικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους) και
- Στις πρώτες ύλες που είναι απαραίτητες για την όδευση της αντίδρασης.

Ως μονομερή μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

- Ακόρεστα δικαρβοξολικά οξέα. Στην κατηγορία αυτή των δικαρβοξυλικών οξέων ανήκουν εκείνα που εμφανίζουν διπλό δεσμό μεταξύ των ατόμων άνθρακα που περιλαμβάνονται στην αλειφατική μοριακή δομή, η οποία περιέχει δύο ρίζες καρβοξυλίου. Η παρουσία των ακόρεστων διπλών δεσμών ευθύνεται για την υψηλή δραστηριότητα και ακαμψία του ακόρεστου πολυεστέρα. Όσο περισσότερους ακόρεστους δεσμούς περιέχουν και όσο μεγαλύτερη ποσότητα αυτών χρησιμοποιούμε για την παραγωγή των πολυεστέρων, τόσο πιο σκληρή και άκαμπτη γίνεται η τελική πολυεστερική ρητίνη, λόγω των πυκνών διασταυρώσεων πλέγματος που δημιουργούνται μετά τη σκλήρυνση με το βινυλικό μονομερές [19].
- Κορεσμένα αρωματικά δικαρβοξολικά οξέα. Πρόκειται για κορεσμένα διοξέα που στη μοριακή τους δομή περιέχουν έναν αρωματικό δακτύλιο (βενζολικό). Όπως συμβαίνει και με το στυρένιο οι διπλοί δεσμοί που βρίσκονται μέσα στον βενζολικό δακτύλιο δεν συμμετέχουν στους πολυμερισμούς. Έξω από τον δακτύλιο δεν υπάρχει ακορεστότητα καθώς οι δύο ομάδες καρβοξυλίου συγκρατούνται με απλούς δεσμούς. Τα εν λόγω οξέα συμπεριφέρονται ως κορεσμένα οξέα, αλλά δεν παρέχουν υψηλή ευλυγισία στα τελικά προϊόντα εξαιτίας της ύπαρξης του αρωματικού δακτυλίου στην μοριακή τους δομή. Ο φθαλικός ανυδρίτης είναι ο κυριότερος εκπρόσωπος αυτής της κατηγορίας [19].
- ο Κορεσμένα δικαρβοξολικά αλειφατικά οξέα Στην κατηγορία αυτή των οξέων οι ομάδες καρβοξυλίου συμμετέχουν σε μία αλειφατική δομή χωρίς παρουσία διπλών δεσμών, χρησιμοποιούνται δε για να ρυθμίσουν τη δραστηριότητα της ρητίνης εισάγοντας μεγαλύτερου μήκους αλυσίδες ανάμεσα στα σημεία διασταυρώσεως, μειώνοντας έτσι την πυκνότητα πλέγματος που σχηματίζεται κατά την σκλήρυνση. Οι ρητίνες που παράγονται με βάση αυτά τα οξέα έχουν μεγαλύτερο μοριακό βάρος και είναι πιο ευλύγιστες. Το αδιπικό οξύ είναι ο κυριότερος εκπρόσωπος αυτής της κατηγορίας των οξέων.
- Λιδραστικές αλκοόλες (γλνκόλες). Οι διδραστικές αλκοόλες αποτελούνται από αλειφατικές αλυσίδες γλυκόλης που περιέχουν δύο ομάδες υδροξυλίου (-OH) και αντιδρούν με τα δύο καρβοξύλια των διοξέων και σχηματίζουν τις εστερικές ομάδες. Αξίζει να σημειωθεί ότι η 1,2 προπυλενογλυκόλη και η αιθυλενογλυκόλη είναι οι κυριότεροι εκπρόσωποι αυτής της κατηγορίας [19].

Σήμερα προτιμούνται οι ρητίνες που παράγονται με βάση την προπυλενογλυκόλη καθώς παρουσιάζουν καλύτερες ιδιότητες και είναι περισσότερο διαλυτές στο στυρένιο (βινυλικό μονομερές) [18]. Σε περίπτωση που θέλουμε να μειώσουμε την αναφλεξιμότητα του προϊόντος χρησιμοποιείται η αιθυλενογλυκόλη, η οποία όμως μειώνει τη διαλυτότητα του στο στυρένιο. Αν στόχος είναι η αυξημένη ευκαμψία της παραγόμενης ρητίνης, χρησιμοποιείται η διαιθυλενογλυκόλη. Τέλος, για την αύξηση της ακαμψίας της ρητίνης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ακόρεστες αλκοόλες, όπως η αλλυλική αλκοόλη.

Οι πρώτες ύλες που είναι απαραίτητες για την κατεύθυνση και τον έλεγχο της αντίδρασης είναι [19]:

- Μέσο αζεοτροπικής απόσταξης. Χρησιμοποιείται για το σχηματισμό αζεότροπου μίγματος με το παραγόμενο νερό, με σκοπό την απομάκρυνση του τελευταίου. Έτσι, ελαχιστοποιείται η διάβρωση του πολυεστέρα από τα ίχνη του νερού που μπορεί να περιέχονται μέσα στο μίγμα, αλλά και επιτυγχάνεται μεγαλύτερος βαθμός πολυμερισμού του προϊόντος. Επιπλέον, η χρησιμοποίηση του μαλεϊκού οξέος ή του ανυδρίτη του, έχει το πλεονέκτημα της διάλυσης των παραγόμενων διαβρωτικών όξινων ατμών. Συνήθως για αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται κυκλικό υδρογονάνθρακες όπως το τολουένο και το ξυλένιο .
- Αέριο για τη δημιουργία αδρανούς ατμόσφαιρας. Αυτό χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του οξυγόνου από το αντιδρών μίγμα, έτσι ώστε να εμποδιστεί η οξείδωση και ο αποχρωματισμός του πολυεστέρα. Συνήθως χρησιμοποιείται άζωτο ή διοξείδιο του άνθρακα .
- Καταλύτης. Χρησιμοποιείται για να ωθήσει την αντίδραση πολυμερισμού προς την ολοκλήρωση της, εμποδίζοντας την αντίστροφη αντίδραση. Όμως, η απομάκρυνση του στο τέλος της πολυεστεροποίησης παρουσιάζει δυσκολίες, γι' αυτό σπάνια χρησιμοποιείται. Ο πιο δημοφιλής καταλύτης για αυτές τις αντιδράσεις είναι το ρ-τολουολιοσουλφονικό οξύ.
- Αναστολέας αλυσωτού πολυμερισμού. Αυτή η ένωση προστίθεται προληπτικά, σε πολύ μικρές ποσότητες για να εμποδίσει πιθανές πρόωρες διασταυρώσεις πλέγματος και κατά συνέπεια αύξηση του ιξώδους, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η ολοκλήρωση του πολυμερισμού. Πολύ γνωστοί αντιπρόσωποι αυτής της κατηγορίας είναι η υδροκινόνη και τα παράγωγα της, όπως και τα παράγωγα της πυροκατεχίνης].
- Στη φάση της παραγωγής μπορούν να προστεθούν στο σύστημα της ρητίνης και διάφορα άλλα πρόσθετα για ειδικούς λόγους. Έτσι για την μείωση του ιξώδους προσθέτονται πλαστικοποιητές, όπως ο φθαλικός διβουτυλεστέρας (DBP). Επίσης για την αύξηση του όγκου και την μείωση του κόστους προσθέτονται πληρωτικά υλικά. Επιπλέον μπορούν να προστεθούν αντιοξειδωτικά μέσα, όπως ο φωσφορικός τριφαινυλεστέρας, μέσα ρυθμίσεως του συντελεστή επιφανειακής τάσης της ρητίνης, καθώς επίσης και UV- σταθεροποιητές που είναι ιδιαίτερα σημαντικοί για εξωτερικές εφαρμογές, όπως είναι οι βενζοτριάζολες .

4.2.2 Κατάταξη των ακόρεστων πολυεστέρων.

Οι ακόρεστοι πολυεστέρες, συνήθως, είναι γραμμικά ολιγομερή με μικρό βαθμό πολυμερισμού, με χρώμα που ποικίλει συνήθως από διάφανο μέχρι ημιδιάφανο διαφόρων αποχρώσεων. Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση και το μοριακό τους βάρος, μπορεί να είναι ιξώδη υγρά ή εύθραυστα στερεά. Επίσης, με βάση τη χημική σύσταση κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες [11]:

- Ορθοφθαλικοί πολυεστέρες. Είναι οι πιο διαδεδομένοι και χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλό κόστος και μεγάλη ακαμψία του σκληρυμένου προϊόντος λόγω του φθαλικού ανυδρίτη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή τους. Ακόμα δεν έχουν καλή χημική σταθερότητα και αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες.
- Ισοφθαλικοί πολυεστέρες. Είναι ακριβότεροι από τους ορθοφθαλικούς, αλλά παρόλο που είναι περισσότερο ιξώδεις, παρουσιάζουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες, και θερμική και χημική αντοχή.
- Χλωρενδικοί πολυεστέρες. Για την παραγωγή τους χρησιμοποιούνται ανυδρίτες που περιέχουν στο μόριο τους άτομα χλωρίου ή βρωμίου, με αποτέλεσμα να μειώνεται η αναφλεξιμότητά τους.

- Πολυεστέρες διφαινόλης-Α. Η εισαγωγή της διφαινόλης-Α στην αλυσίδα του μορίου προσδίδει σκληρότητα, ακαμψία και καλύτερη συμπεριφορά σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Βινυλικοί πολυεστέρες. Έχουν αυξημένο ιξώδες. Όμως, παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως μειωμένη εκπομπή στυρενίου, αντοχή σε εφελκυσμό και στη διάβρωση, και γενικά το κόστος τους είναι ανάλογο της ποιότητας τους.

4.2.3 Σκλήρυνση ακόρεστων πολυεστέρων

Η σκλήρυνση των ακόρεστων πολυεστέρων είναι μία αντίδραση πολυμερισμού κατά την οποία δημιουργούνται διασταυρώσεις πλέγματος μεταξύ των διπλών δεσμών του μακρομορίου, που προέρχονται από το ακόρεστο οξύ ή και τον ανυδρίτη του, και των διπλών δεσμών του μονομερούς (συνήθως στυρενίου) στο οποίο έχει διαλυθεί ο ακόρεστος πολυεστέρας μετά την παραγωγή του, όπως περιγράφηκε πιο πριν. Κατά την σκλήρυνση του, ο γραμμικός ακόρεστος πολυεστέρας αποκτά μία τρισδιάστατη δομή πλέγματος που έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή των χημικών, φυσικών και κυρίως μηχανικών ιδιοτήτων του (σκληρότητα, ακαμψία ή αντοχή σε εφελκυσμό κ.α.) [20].

Η αντίδραση της σκλήρυνσης, είναι μια αντίδραση αλυσωτού πολυμερισμού με μηχανισμό ελευθέρων ριζών. Επειδή τα μονομερή της αντίδρασης είναι ανόμοια, μπορεί να θεωρηθεί σαν αντίδραση συμπολυμερισμού.

Το φαινόμενο της σκλήρυνσης συνοδεύεται από έκλυση ενός σημαντικού ποσού θερμότητας (εξώθερμο φαινόμενο), που μπορεί να οδηγήσει σε επίτευξη θερμοκρασιών της τάξεως των 250 °C, πράγμα που δημιουργεί προβλήματα σε εφαρμογές που απαιτούν χαμηλές θερμοκρασίες. Άλλο ένα μειονέκτημα είναι η συστολή (8% κατ' όγκο) της πολυεστερικής ρητίνης, πράγμα που μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα σε κάποιες εφαρμογές. Το βασικό της πλεονέκτημα, όμως, είναι ότι δεν εκλύονται πτητικές ουσίες, σε αντίθεση με τη σκλήρυνση άλλων ρητινών, όπως της φορμαλδεύδης [23].

Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να πραγματοποιηθεί η αντίδραση σκληρύνσεως ποικίλουν ανάλογα με την εφαρμογή. Η μορφοποίηση του ακόρεστου πολυεστέρα σε πρέσα γίνεται σε θερμοκρασία 100 °C περίπου, ενώ όταν πρόκειται για την επίστρωση ή επικάλυψη κάποιου αντικειμένου μεγάλης επιφάνειας η σκλήρυνση γίνεται σε συνθήκες περιβάλλοντος [23].

Τρεις είναι οι σημαντικοί παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη σκλήρυνση πολυεστερικών ρητινών [20]:

- Ο χρόνος διάρκειας της διαδικασίας.
- Η απαραίτητη θερμοκρασία για να σκληρυνθεί η ρητίνη.
- Η συστολή του όγκου που πραγματοποιείται κατά τη σκλήρυνση.

Αφού αυτοί οι παράγοντες είναι ανεξάρτητοι, ο κατασκευαστής μπορεί να πετύχει τον τύπο της σκλήρυνσης που είναι καταλληλότερος για την εφαρμογή του, επιλέγοντας τον κατάλληλο πολυεστέρα

(ποιοτική και ποσοτική επιλογή του προϊόντος πολυεστεροποίησης και του διαλύτη), τον καταλύτη και τις συνθήκες σκλήρυνσης.

4.2.4 Πρώτες ύλες

Πριν να αναφερθούν οι πρώτες ύλες της αντίδρασης σκλήρυνσης του ακόρεστου πολυεστέρα, θα πρέπει να αναφερθεί ότι σε μερικές περιπτώσεις πρέπει να απομακρυνθεί ο αναστολέας, που έχει χρησιμοποιηθεί κατά το στάδιο της ανάμιξης. Αυτό είναι

απαραίτητο μόνο στην περίπτωση που έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη ποσότητα (π.χ. για μακροχρόνια αποθήκευση της ρητίνης).

- Οι πρώτες ύλες, τα απαραίτητα συστατικά για να πραγματοποιηθεί η σκλήρυνση του ακόρεστου πολυεστέρα είναι οι εξής:
- Ο διαλυμένος πολυεστέρας, προϊόν ανάμιξης του ακόρεστου οργανικού διαλύτη και του παραγόμενου πολυμερούς από το στάδιο της πολυεστεροποίησης.
- Το σύστημα διεγερσης, το οποίο αποτελείται από τις εξής δύο ουσίες:
- Τον διεγέρτη. Είναι η οργανική ένωση, η οποία διασπώμενη δίνει τις ελεύθερες ρίζες για την αντίδραση αλυσωτού πολυμερισμού. Ευρέως χρησιμοποιούμενοι διεγέρτες είναι το βενζουλοπεροξειδίο, το υπεροξειδίο της μέθυλο-αίθυλο-κετόνης, το υπεροξειδίο της κυκλοπεντανόνης και άλλα υπεροξειδία.
- Τον επιταχυντή. Είναι συνήθως μέταλλα μετάπτωσης που (μέσω οξειδοαναγωγικής δράσης) επιταχύνουν τη διάσπαση του διεγέρτη. Συνήθως χρησιμοποιούνται ενώσεις του κοβαλτίου, όπως το ναφθενικό κοβάλτιο.
- Ειδικές πρώτες ύλες - πρόσθετα. Είναι αδρανή υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται είτε για τη μείωση του κόστους της ρητίνης, είτε για τη βελτίωση συγκεκριμένων ιδιοτήτων της, όπως μείωση συστολής του όγκου, αύξηση της ακαμψίας, βελτίωση της εμφάνισης, ρύθμιση του χρώματος, μείωση του εξώθερμου, αυξημένη αντοχή σε διαβρωτικά περιβάλλοντα, μείωση αναφλεξιμότητας κ.ά. [20].

4.2.5 Χρόνος ζελαρίσματος

Κατά την κατασκευή πολυεστερικών ρητινών και συνθέτων υλικών, μια σημαντική παράμετρος είναι ο χρόνος ζελαρίσματος (pot life), κατά τον οποίον ο πολυεστέρας παραμένει στην υγρή φάση, αφού προστεθεί σε αυτόν ο διεγέρτης και ο επιταχυντής. Ο χρόνος ζελαρίσματος πρέπει να είναι μεγάλος, έτσι ώστε ο κατασκευαστής να προλάβει να κάνει όλες τις απαραίτητες διαδικασίες όταν η ρητίνη μπει στο καλούπι. Ο χρόνος αυτός είναι άμεσα συνδεδεμένος με το εξώθερμο φαινόμενο. Παράγοντες που προκαλούν μείωση αυτού είναι [24]:

- Αυξημένη ποσότητα διεγέρτη ή επιταχυντή
- Αυξημένη ακορεστότητα της ρητίνης.
- Αύξηση της θερμοκρασίας (περιβάλλοντος) στην οποία γίνεται η σκλήρυνση.
- Μεταλλικές ακαθαρσίες μέσα στη ρητίνη.
- Η υπεριώδης ακτινοβολία.
- Η μεγάλη «ηλικία» (χρόνος ζωής) της ρητίνης. Ο αναστολέας σταδιακά έχει καταναλωθεί, με αποτέλεσμα την ταχεία σκλήρυνση του πολυεστέρα μόλις προστεθεί το σύστημα διεγερσης.

4.2.6 Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα των ακόρεστων πολυεστέρων

Στη βιομηχανία ακόρεστος πολυεστέρας ονομάζεται το διάλυμα του προϊόντος πολυεστεροποίησης με κατάλληλο ακόρεστο οργανικό διαλύτη (π.χ. στυρένιο). Το τελευταίο εκτός από το ρόλο του διαλύτη, είναι και το μονομερές εκείνο που θα αντιδράσει με τον πολυεστέρα προς παραγωγή σκληρού και άκαμπτου προϊόντος με διασταυρώσεις πλέγματος στην αλυσίδα του μορίου του. Το τελικό αυτό προϊόν είναι γνωστό ως πολυεστερική ρητίνη [21].

Τα πλεονεκτήματα των πολυεστερικών ρητινών είναι η χαμηλή τους πυκνότητα, η καλή αντοχή στη διάβρωση, η ευκολία χειρισμού τους, η ταχεία σκλήρυνση χωρίς πτητικά

παραπροϊόντα, το ανοιχτό χρώμα, και γενικά οι καλές φυσικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Το κυριότερο τους, όμως, πλεονέκτημα είναι το πολύ χαμηλό κόστος σε σχέση με τις άλλες ανταγωνιστικές τους ρητίνες (φαινολικές, εποξειδικές). Βέβαια, υπάρχουν και μειονεκτήματα, τα οποία εμποδίζουν τη χρησιμοποίησή τους σε ορισμένους τομείς, όπως η μικρή αντοχή τους σε υψηλές θερμοκρασίες, η σημαντική συστολή τους κατά τη σκλήρυνση και η πρόκληση προβλημάτων υγείας. Γίνεται μεγάλη προσπάθεια να μειωθούν στο ελάχιστο αυτά τα μειονεκτήματα με χρησιμοποίηση κατάλληλων μονομερών παραγωγής του πολυεστέρα και ακόρεστου δυγλύτη, καθώς και των αντίστοιχων αναλογιών αυτών, όπως και η χρησιμοποίηση διαφόρων προσθέτων [20,23].

Σήμερα ένα μεγάλο κομμάτι της παραγωγής ακόρεστων πολυεστέρων απορροφάται στον τομέα των ενισχυμένων πολυμερών. Στη Γερμανία για παράδειγμα, το 70% της συνολικής παραγωγής ακόρεστων πολυεστέρων χρησιμοποιείται στον τομέα αυτό. Η ενίσχυση των πολυεστέρων γίνεται ως επί το πλείστον με ίνες γυαλιού (fiber glass). Οι ενισχυμένοι πολυεστέρες παρουσιάζουν τα παρακάτω γενικά πλεονεκτήματα [24]:

- Αυξημένος λόγος αντοχής / βάρους σε βαθμό που μπορεί να εξοικονομηθεί πάνω από 50% σε βάρος, όταν ο ενισχυμένος πολυεστέρας υποκαθιστά το χάλυβα και πάνω από 30% στην υποκατάσταση του αλουμινίου.
- Καλή ελαστικότητα. Χαρακτηριστικά, η αντοχή σε κρούση συγκρίνεται με επιτυχία με την αντίστοιχη του χάλυβα και του αλουμινίου.
- Γενικά καλή αντοχή σε προσβολή από νερό, άλατα, ασθενή οξέα, αλκάλια και οργανικούς διαλύτες.
- Η ευκολία στη χύτευση παρέχει τη δυνατότητα κατασκευής κάθε σχήματος και με σταθερότητα διαστάσεων.
- Καλές φυσικές ιδιότητες (χαμηλή μετάδοση θερμότητας, διαφάνεια) και ηλεκτρικές ιδιότητες (διηλεκτρικά υλικά).
- Αξίζει να σημειωθεί ότι με προσθήκη μικρών ποσοτήτων κατάλληλων υλικών (πρόσθετα), οι ακόρεστοι πολυεστέρες μπορούν να ικανοποιήσουν εξειδικευμένες απαιτήσεις, όπως μειωμένη αναφλεξιμότητα, αντοχή στη διάβρωση και σταθερότητα στην επίδραση του φωτός και των καιρικών συνθηκών.
- Επιπλέον, το πολύ καλό αποτέλεσμα της ενίσχυσης των ακόρεστων πολυεστέρων με ίνες γυαλιού, οφείλεται στους εξής παράγοντες [6]:
- Οι πολυεστερικές ρητίνες είναι ρευστές και έτσι διαβρέχουν πλήρως τις ίνες γυαλιού σε χαμηλή ή και καθόλου πίεση.
- Οι ίνες γυαλιού είναι από τα καλύτερα μέσα ενίσχυσης με σημαντικά πλεονεκτήματα όπως π.χ. αντοχή σε διάβρωση και διατήρηση σταθερών μηχανικών ιδιοτήτων, που δεν επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες και το πέρασμα του χρόνου.
- Ενώ οι ίνες γυαλιού θραύονται εύκολα με αποτέλεσμα να καθίστανται ακατάλληλες για τεχνικές χύτευσης υψηλής πίεσης, στην περίπτωση των πολυεστερικών ρητινών αυτό το πρόβλημα δεν υφίσταται αφού μπορούν να σκληρυνθούν με λίγο ή και καθόλου πίεση, οπότε οι ίνες γυαλιού αποτελούν το ιδανικό μέσο ενίσχυσης για αυτές.
- Ωστόσο μερικές μειονεκτήματα των ενισχυμένων πολυεστέρων δημιουργούν προβλήματα σε πολλές εφαρμογές. Τέτοια μειονεκτήματα είναι [24]:
- Γρήγορη απώλεια της αντοχής με την αύξηση της θερμοκρασίας, καθώς οι συνήθως χρησιμοποιούμενες ρητίνες αρχίζουν να χάνουν την αντοχή τους για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 80 °C. Βέβαια σε εξειδικευμένες εφαρμογές χρησιμοποιούνται ειδικές ρητίνες με ανθεκτικότητα σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

- Χαμηλή αντοχή στην τριβή, καθόσον επιφανειακή σκληρότητα συγκρίσιμη με αυτή του χάλυβα ή του αλουμινίου δεν έχει επιτευχθεί.
- Δυσκολία στη λήψη εντελώς λείας φινιρισμένης επιφάνειας.
- Χαμηλή αντοχή στην κόπωση μετά από επαναλαμβανόμενες επιβαρύνσεις.
- Χαμηλός συντελεστής ελαστικότητας. Σε αυτό τον τομέα γίνονται αρκετές έρευνες και δυστυχώς δεν υπάρχει κάποιο αποτέλεσμα. Η μόνη λύση είναι η χρησιμοποίηση κατασκευών που είναι γνωστές ως 'sandwiches' (εξωτερικά στρώματα ρητινών που περικλείουν παχύ και ελαφρύ πυρήνα).

4.2.7 Διαδικασία Παρασκευής Ακόρεστων Πολυεστέρων

Συνήθως οι ακόρεστοι πολυεστέρες παρασκευάζονται από την αντίδραση συμπύκνωσης μεταξύ ακόρεστων ανυδρίτων και γλυκόλων. Το στυρένιο προστίθεται στην διαδικασία παραγωγής των ακόρεστων πολυεστέρων με σκοπό την αύξηση της πυκνότητας των διασυνδέσεων, τη μείωση του ιξώδους καθώς και τη μείωση του κόστους παραγωγής. Επιπλέον όσο αφορά τα σύνθετα υλικά στα οποία χρησιμοποιούνται οι ακόρεστοι πολυεστέρες ως μήτρα το στυρένιο χρησιμοποιείται γιατί τα υλικά που παρασκευάζονται με αυτόν τον τρόπο παρουσιάζουν θερμική “θεραπεία” σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 100° C. Το στυρένιο που προστίθεται σε αυτά τα υλικά αντιδρά με τις ακόρεστες αλυσίδες και καθιστά αυτά τα υλικά θερμοσκληρυνόμενα. Στη βιομηχανία παραγωγής αυτών των σύνθετων υλικών χρησιμοποιείται ευρέως το στυρένιο γιατί αναμιγνύεται με τον πολυεστέρα, έχει χαμηλό βαθμό ομοπολυμερισμού και είναι φτηνός. Ακολουθεί η σκλήρυνση του μίγματος πολυεστέρα – στυρενίου με ταυτόχρονη μορφοποίηση σε κατάλληλη μεταλλική μήτρα με χρήση θερμοπρέσσας στους 60° C για 30 λεπτά. Το σύστημα σκλήρυνσης αποτελείται από ναφθενικό κοβάλτιο ως επιταχυντή και το υπεροξείδιο της μεθυλοαιθυλοκετόνης ως διεγέρτη [23].

Οι ακόρεστοι πολυεστέρες όπως και τα περισσότερα πολυμερή είναι ευπαθείς στη φωτοαποικοδόμηση η οποία προσβάλλει τις ασθενείς θέσεις των μακρομορίων τους. Όπως γίνεται κατανοητό από την επόμενη αναφορά στις εφαρμογές των ακόρεστων πολυεστέρων πραγματοποιείται μεγάλη σε διάρκεια έκθεση αυτών σε ηλιακή ακτινοβολία και έτσι κρίνεται απαραίτητη η ενσωμάτωση κατάλληλων σταθεροποιητών που απορροφούν τα επικίνδυνα μήκη κύματος του φωτός. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται σταθεροποιητές για τις ακτινοβολίες της UV περιοχής. Επιπλέον οι σταθεροποιητές αυτοί επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών καθώς και επιφέρουν χρωματικές μεταβολές στα υλικά [23].

4.2.8 Εφαρμογές των ακόρεστων πολυεστέρων

Οι ακόρεστοι πολυεστέρες χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο ως μήτρα για την κατασκευή ενισχυμένων σύνθετων υλικών κατά κύριο λόγο από γυαλί. Σε αυτήν την μορφή χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην ναυπηγική για την κατασκευή σκαφών, στην κατασκευή κτηρίων και δεξαμενών καθώς και στην συσκευασία χημικών ουσιών. Επιπλέον τα ανοξείδωτα σύνθετα υλικά με μήτρα τις πολυεστερικές ρητίνες (ακόρεστοι πολυεστέρες) και με ενίσχυση τις ίνες γυαλιού βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στην αεροδιαστημική και τις βιομηχανικές μεταφορές εξαιτίας του ελαφρού βάρους τους, της ιδιότητας τους ως ηλεκτρικοί μονωτές και των πολύ καλών μηχανικών ιδιοτήτων τους. Μία άλλη μορφή με την οποία βρίσκουν εφαρμογή τα σύνθετα αυτά υλικά είναι αυτή των επικαλυπτικών. Στον τομέα αυτό πλεονεκτούν έναντι των ανταγωνιστικών επικαλυπτικών

γιατί κατά την τοποθέτηση τους δεν απαιτείται η χρησιμοποίηση διαλύτη καθώς επίσης και λόγω της πολύ καλής αντοχής τους έναντι των καιρικών συνθηκών αλλά και της πολύ καλής αισθητικά επιφάνειας που δημιουργούν. Τέλος βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή σαν τελική επικάλυψη σε ξύλινες κατασκευές με τη μορφή πληρωτικών μέσων ή σαν τελικό στάδιο βαφής των κατασκευών αυτών.

Παρακάτω γίνεται αναφορά στους τομείς στους οποίους βρίσκουν εφαρμογή οι πολυεστερικές ρητίνες:

- Στη βιομηχανία των μέσων μεταφοράς. Κατασκευάζονται βάρκες και σκάφη αναψυχής, όπως και αυτοκίνητα. Αξίζει να σημειωθεί ότι στην αεροπορία, εκτός από την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων και κομματιών των αεροπλάνων, μία εφαρμογή είναι η κατασκευή των επικαλυμμάτων των ραντάρ των αεροπλάνων (radomes), λόγω των πολύ καλών διηλεκτρικών ιδιοτήτων τους [21].
- Στη βιομηχανία των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών. Λόγω της πολύ καλής ηλεκτρικής αντίστασης τους χρησιμοποιούνται ως μονωτικά σε κεραίες τηλεοράσεων, σε καλώδια, σε ολοκληρωμένα κυκλώματα κ.ά. [21].
- Στη βιομηχανία γενικότερα. Ανάμεσα στις σημαντικότερες εφαρμογές τους είναι και η κατασκευή σωληνώσεων, δεξαμενών, εξαρτήματα ανάρτησης, καλούπια, κλπ.
- Στην κατασκευή κτιρίων. Οι διαφανείς πολυεστερικές ρητίνες (plexiglass) έχουν αντικαταστήσει τα γυαλί στα παράθυρα ουρανοξυστών, θερμοκηπίων ακόμα και εργοστασίων. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως διαχωριστικά τοιχώματα μέσα στα σπίτια, στην κατασκευή τεντών και πατωμάτων.
- Ακόμα βρίσκουν εφαρμογή στη βιομηχανία προϊόντων συσκευασίας και σε καθημερινά καταναλωτικά προϊόντα όπως έπιπλα, καρέκλες, καλάμια ψαρέματος, σκάλες πισινών και πολλά άλλα.
- Τέλος, έχουν ευρεία κατανάλωση στην προστασία των υλικών όχι σαν σύνθετα υλικά, αλλά σαν απλές ρητίνες. Έτσι χρησιμοποιούνται ως επικαλυπτικά έχοντας σαν πλεονέκτημα τη μη χρησιμοποίηση διαλύτη και την μη παραγωγή παραπροϊόντων. Η χρήση τους σε αυτόν τον τομέα είναι αποτέλεσμα της καλής αντοχής στη διάβρωση από το περιβάλλον, αλλά και της πολύ καλής εξωτερικής εμφάνισής τους. Ακόμα χρησιμοποιούνται ως πλαστικοποιητές, κόλλες και λιπαντικά [21].

4.3 Σύνθετα υλικά

Γενικά ως σύνθετο υλικό χαρακτηρίζεται το υλικό που προκύπτει από τον συνδυασμό δύο ή περισσότερων άλλων υλικών, τα οποία διαφέρουν ως προς την σύνθεση, την μορφή και τις ιδιότητες τους και που ευρίσκονται ως διασπορά μικροσκοπικής κλίμακας. Όπως συνήθως συμβαίνει με τους ορισμούς «φυσικών» εννοιών υπάρχει δυσκολία σαφούς οριοθέτησής τους. Έτσι π.χ. ένα μείγμα πολυμερών δεν χαρακτηρίζεται ως σύνθετο υλικό, αλλά ως πολυμείγμα (polyblend). Τα κράματα μετάλλων δεν χαρακτηρίζονται ως σύνθετα υλικά, αν και αποτελούνται από δύο ή περισσότερα υλικά, όμως αυτά είναι καταμερισμένα σε μικροσκοπική κλίμακα (κάτω του 0.1 mm). Μείγμα ενός πολυμερούς με ένα αέριο χαρακτηρίζεται ως αφρώδες υλικό, ενώ μείγμα πολυμερούς με πλαστικοποιητή χαρακτηρίζεται ως πλαστικοποιημένο πολυμερές. Όταν το πολυμερές περιέχει πρόσθετο μορφής πληρωτικού μέσου (π.χ. άσβεστο, τάλκη, καολίνη, ξυλάλευρο, αιθάλη) χαρακτηρίζεται ως πολυμερές με πληρωτικό μέσο (. Από την άλλη μεριά, μείγμα πολυμερούς με ινώδες υλικό χαρακτηρίζεται ως ενισχυμένο πολυμερές, μείγμα πολυμερούς με ύφασμα χαρακτηρίζεται ως πολύστρωμα (Γερμ.: Laminate), ενώ μπορεί

επίσης το πρόσθετο υλικό να έχει μακροσκοπικά τρισδιάστατη μορφή, π.χ. μορφή. Πάντως και οι τρεις τελευταίες περιπτώσεις εντάσσονται στα σύνθετα υλικά [22].

Ενα τυπικό σύνθετο υλικό αποτελείται από μία συνεχή μήτρα (ή φέρον υλικό) (matrix) του ενός συστατικού, μέσα στην οποία είναι διεσπαρμένο το δεύτερο συστατικό με την μορφή σωματιδίων ή ινών. Ανάλογα με την φύση της μήτρας τα σύνθετα υλικά διακρίνονται σε σύνθετα υλικά με μήτρα μέταλλο, κεραμικό ή πολυμερές. Η τελευταία περίπτωση είναι και η συνηθέστερη. Συνήθως και το ενισχυτικό μέσο είναι επίσης πολυμερές, όπως π.χ. αραμιδικές ίνες, ίνες άνθρακα.

Οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις της σύγχρονης τεχνολογίας, σε πολλές περιπτώσεις δεν μπορούν να ικανοποιούνται από τα γνωστά ισότροπα υλικά, πράγμα που οδήγησε στην ανάπτυξη νέων κατηγοριών υλικών, όπως είναι τα σύνθετα υλικά. Με συνδυασμό και ειδική διάταξη διαφόρων συστατικών επιτυγχάνεται η δημιουργία νέων υλικών, τα οποία εμφανίζουν βελτιωμένες ιδιότητες ή ένα συνδυασμό ιδιοτήτων ως προς τα αρχικά συστατικά τους. Ιδιαίτερα πλεονεκτικές ιδιότητες παρουσιάζουν τα σύνθετα υλικά που ενισχύονται με ίνες οπλισμού. Τα υλικά αυτά δημιουργούνται με συνδυασμό υλικού από ίνες υψηλών αντοχών που χρησιμεύει ως φορέας της αντοχής και ενός φέροντος υλικού ή μήτρας. Το τελευταίο μπορεί εύκολα να μορφοποιηθεί και χρησιμεύει για την προστασία και συγκράτηση των ινών, ενώ μπορεί να μεταδίδει τις εμφανιζόμενες καταπονήσεις των ινών προς τις ίνες οπλισμού [22].

Το φέρον υλικό, το οποίον αρχικά ήταν θερμοπλαστικό παρουσιάζει ομοίως περιορισμούς κατά την χρησιμοποίηση του στη πράξη, κυρίως σε υψηλές θερμοκρασίες. Συνήθεις πολυεστερικές ρητίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα μόνον μέχρι 100°C, ενώ εποξειδικές ρητίνες "υψηλών θερμοκρασιών" μόνον μέχρι περίπου 200°C. Μεταγενέστερα αναπτυχθείσες ρητίνες είναι κατάλληλες μέχρι 400°C για μικρό χρονικό διάστημα και μέχρι 300°C για μακροχρόνια χρησιμοποίηση. Για υψηλότερες θερμοκρασίες χρησιμοποιούνται ως φέροντα υλικ', τόσο ελαφρά μέταλλα, όπως αλουμίνιο, καθώς επίσης κράματα ανθεκτικά σε υψηλές θερμοκρασίες και κεραμικά υλικά, όπως καρβίδιο του πυριτίου, άνθρακας κλπ. Κυρίως τα σύνθετα υλικά που έχουν ως ίνες οπλισμού ίνες άνθρακα και αραμιδικές χρησιμοποιούνται από ετών σε μεγάλη τεχνική κλίμακα [22].

4.3.1 Πολυεστέρας με ίνες γυαλιού (UP-FG)

Οι πολυεστέρες ενισχυμένοι με ίνες υάλου χρησιμοποιούνται σε πολλές κατασκευές που απαιτούν ένα υλικό κυρίως με υψηλή αντοχή και συγχρόνως με χαμηλό ειδικό βάρος και μία καλή ανθεκτικότητα σε μία περιοχή μετρίων θερμοκρασιών, χωρίς να είναι αναγκαίο ένα υψηλό μέτρον ελαστικότητας (π.χ. κατασκευή δεξαμενών, κατασκευή μικρών πλοίων κλπ). Στις κατασκευές αεροπλάνων και διαστημοπλοίων, όπου ενδιαφέρουν όχι μόνον μία ελάττωση του βάρους, αλλά επίσης και μία μεγάλη ακαμψία της κατασκευής χρησιμοποιούνται σήμερα εποξειδικές ρητίνες ενισχυμένες με ίνες βορίου. Επίσης ίνες άνθρακα με θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή ευρίσκουν ήδη τεχνολογική εφαρμογή (κατασκευή αεροπλάνων, ελικοπτέρων, συσκευές σπορ, όπως σκι, ρακέτες τένις κλπ) [26].

Όσον αφορά τις οικονομικές προοπτικές των συνθέτων υλικών με ίνες, οι φθηνότερες όλων των ινών είναι οι ίνες υάλου. Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ιδιαίτερος μία υψηλή ακαμψία ή ανθεκτικότητα σε υψηλές θερμοκρασίες, θα χρησιμοποιούνται και στο μέλλον αντί των ινών υάλου, οι ίνες άνθρακα και οι αραμιδικές ίνες. Οι ίνες άνθρακα εμφανίζουν τις αυτές περίπου μηχανικές ιδιότητες (αντοχή σε εφελκυσμό και μέτρον ελαστικότητας) με τις ίνες βορίου, όπου όμως οι τελευταίες είναι σαφώς ακριβότερες [26].

Τα πλεονεκτήματα των προηγμένων συνθέτων υλικών με ίνες σε σχέση με μεταλλικά υλικά είναι:

- υψηλή αντοχή και ακαμψία με ταυτόχρονα χαμηλή πυκνότητα
- πολύ καλή σταθερότητα έναντι διαβρώσεως
- καλή συμπεριφορά αποσβέσεως
- υψηλή σταθερότητα μορφής

4.3.2 Οικοδομικές εφαρμογές σύνθετων υλικών

Τα σύνθετα υλικά αποτελούνται από ίνες υάλου ή άνθρακα υψηλής αντοχής «συρραμμένες ή πλεγμένες» σε μορφή «υφάσματος». Τα «υφάσματα» ινών, αφού εμποτιστούν με ειδικές εποξειδικές ρητίνες, σχηματίζουν ένα σύνθετο υλικό υψηλής αντοχής το οποίο επικολλάται στις κατάλληλα προετοιμασμένες επιφάνειες του δομικού στοιχείου αποτελώντας μόνιμη επένδυση και ενίσχυσή του. Η χρήση των σύνθετων υλικών μπορεί να θεωρηθεί ως εξέλιξη των ενισχύσεων με μεταλλικά ελάσματα.

Επισκευή με σύνθετα υλικά εφαρμόζεται σε:

Υποστυλώματα – Τοιχεία: Για την αποκατάσταση των βλαβών και την ενίσχυση υποστυλωμάτων και τοιχείων (αύξηση διατμητικής και καμπτικής αντοχής, αύξηση φέρουσας ικανότητας αξονικού φορτίου, αύξηση πλαστιμότητας) συνιστάται χρήση σύνθετων υλικών από ίνες υάλου.

Πλάκες – Δοκοί: Για την αποκατάσταση των βλαβών και την ενίσχυση πλακών και δοκών (αύξηση καμπτικής αντοχής) γίνεται χρήση σύνθετων υλικών από ίνες υάλου ή άνθρακα.

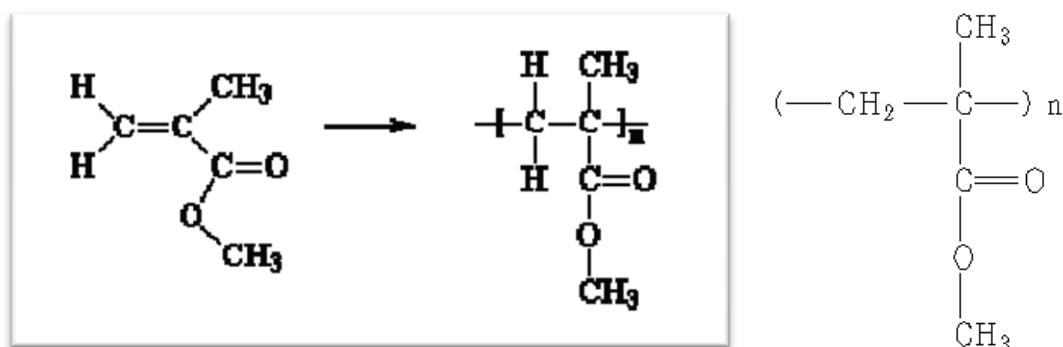
Κόμβοι: Για την αποκατάσταση των βλαβών και την ενίσχυση κόμβων δοκών – υποστυλωμάτων (αύξηση διατμητικής αντοχής) γίνεται χρήση σύνθετων υλικών από ίνες υάλου ή άνθρακα.

Φέρουσες Τοιχοποιίες: Για την αποκατάσταση των βλαβών και την ενίσχυση φέρουσων τοιχοποιιών από πλινθοδομή ή λιθοδομή (αύξηση διατμητικής και καμπτικής αντοχής) γίνεται χρήση σύνθετων υλικών από ίνες υάλου ή άνθρακα.

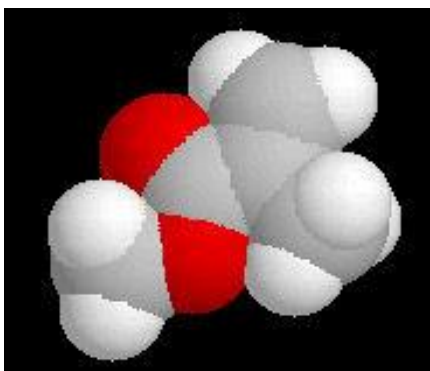
Τοιχοποιίες Πλήρωσης: Για την αποκατάσταση των βλαβών τοιχοποιιών πλήρωσης (αύξηση διατμητικής και καμπτικής αντοχής) γίνεται χρήση σύνθετων υλικών από ίνες υάλου ή άνθρακα.

4.4 Πολυ(μεθακρυλικό μεθύλιο) (PMMA)

Το PMMA ανήκει στην κατηγορία των ακρυλικών πολυμερών και πιο συγκεκριμένα στα θερμοπλαστικά. Είναι το πολυμερές του μεθακρυλικού μεθυλεστέρα και είναι ευρύτερα γνωστό με την ονομασία Plexiglas, που προέρχεται από εμπορική χρήση του υλικού. Αναπτύχθηκε το 1928, ενώ στην αγορά κυκλοφόρησε το 1933 από την εταιρεία Rohm and Haas [27].



Σχήμα 4.1: Το PMMA είναι το πολυμερές του μεθακρυλικού μεθυλεστέρα [27,28].

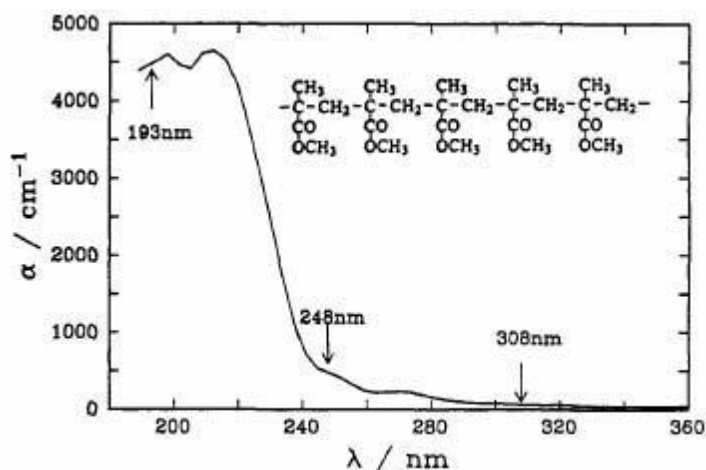


Σχήμα 2: Τρισδιάστατη δομή του PMMA.

Πίνακας 4.1: Σύνοψη των προσεγγιστικών τιμών που δίνονται στη βιβλιογραφία για τις ιδιότητες του PMMA [27,28].

Πυκνότητα	1.16-1.19 g/cm ³
Water absorption rate	0.3%
Σημείο τήξης	130-140°C (403-413°K)
Διηλεκτρική σταθερά	2.8-4
Αντοχή σε εφελκυσμό	55-80 MN/m ² ή 40-65 Pa
Μέτρο ελαστικότητας	2-3 GN/m ²
Ειδική θερμότητα	1.42-1.47 J/g/K
Θερμική αγωγιμότητα	0.195-0.240 W/m/K
Θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης	100°C (373°K)

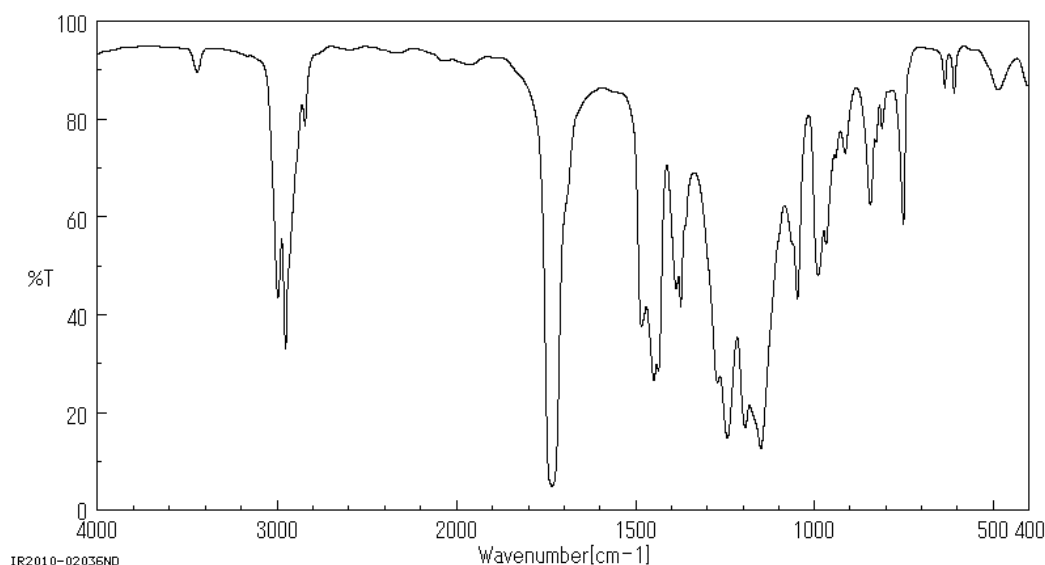
Το ενεργειακό χάσμα του PMMA είναι στην περιοχή του υπεριώδους, όπου ο συντελεστής απορρόφησης είναι μεγάλος. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το υπεριώδες φάσμα του PMMA. Παρατηρούμε ότι παρουσιάζει έντονες κορυφές απορρόφησης στα 193nm και στα 213 nm. [1][2][3][4]



Σχήμα 4.2: Συντελεστής απορρόφησης του PMMA στο υπεριώδες. Τα βέλη δείχνουν

μήκη κύματος στα οποία υπάρχουν γραμμές εκπομπής των excimer laser.[27]

Στην περιοχή του ορατού το PMMA, όπως φαίνεται και από το φάσμα διαπερατότητας που παρουσιάζεται στη συνέχεια, είναι σχεδόν διαπερατό από τα 400 έως τα 1100 nm:



Σχήμα 4.3: Φάσμα διαπερατότητας PMMA [28].

Στη βιβλιογραφία υπάρχουν φασματοσκοπικές μετρήσεις υπερύθρου κι από μετρήσεις φασματοσκοπίας Raman που αναφέρονται στο PMMA και παρατηρούνται τα εξής:

- Μία ζώνη απορρόφησης εύρους $1500-700\text{ cm}^{-1}$ που οφείλεται στη συμμετρική ταλάντωση του απλού δεσμού C-O με διακριτές κορυφές στα $1270-990\text{ cm}^{-1}$.
- Ταλάντωση λυγισμού του δεσμού C-H με κορυφές απορρόφησης στα $1450-1350\text{ cm}^{-1}$ αντισυμμετρική (rocking) ταλάντωση των CH_2 στα $810-750\text{ cm}^{-1}$ και των CH_3 στα 816 cm^{-1} .
- Μία περιοχή απορρόφησης εύρους $3100-2800\text{ cm}^{-1}$ που προέρχεται από τις συμμετρικές (stretching) ταλαντώσεις του δεσμού C-H των CH_2 και CH_3 .
- Μία κορυφή απορρόφησης στα 1720 cm^{-1} που οφείλεται στις συμμετρικές ταλαντώσεις του διπλού δεσμού C=O της ομάδας (-COOCH₃) του PMMA.

4.4.1 Εφαρμογές

Όπως θα έχετε διαπιστώσει τα προϊόντα από ακρυλικό (γνωστότερο με την εμπορική ονομασία Plexiglass) μπαίνουν σε όλο και περισσότερους τομείς της ζωής μας (κοινωνικής και επαγγελματικής) αυτό συμβαίνει γιατί είναι πολυάριθμες οι δυνατότητες του ακρυλικού, στην επεξεργασία και μορφοποίηση του, καθώς και οι ιδιότητες του, οι οποίες σε γενικές γραμμές είναι οι ακόλουθες [27]:

- Η διαφάνεια του έχει μεγαλύτερη καθαρότητα από το γυαλί, ενώ τα έγχρωμα φύλλα έχουν υπέροχους χρωματισμούς.
- Μεγάλη αντοχή κατά τη χρήση, καθώς είναι πρακτικά άθραυστο, ενώ στα πάχη άνω των 20mm είναι αλεξίσφαιρο.
- Είναι θερμομονωτικά και ηχομονωτικά.

- Αντοχή στην ηλιακή ακτινοβολία και σε όλα τα φυσικά φαινόμενα. (Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται στα πλοία και στα σκάφη).
- Ποικιλία στις μορφές του: φύλλα, σωλήνες, ράβδοι στρογγυλές και τετράγωνες, καθρέπτες.
- Χαμηλό βάρος (το μισό του γυαλιού στο ίδιο πάχος).

Το PMMA χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις ως αντικαταστάτης του γυαλιού, δεδομένου ότι έχει το ήμισυ του βάρους του, διαμορφώνεται ευκολότερα, δε σκεδάζει το φως, και έχει μεγαλύτερη μηχανική αντοχή. Επίσης χρησιμεύει σα μονωτικό μέσο στις κτηριακές εγκαταστάσεις. Εφαρμογές έχει επίσης στη μικροηλεκτρονική, στην ολογραφία, στην υπεριώδη και στην ηλεκτρονική λιθογραφία, καθώς και στη λιθογραφία ακτίνων-X. Ακόμη βρίσκει πληθώρα εφαρμογών σε τζάμια αεροπλάνων, σε αντλίες, στην κατασκευή δίσκων CD και DVD και φωτιστικών, καθώς και στην παρασκευή χρωμάτων. Τέλος στην οφθαλμολογία βρίσκει εφαρμογή την κατασκευή φακών κι ενδοφακών.

4.4.2 Φαινόμενο αυτοεπιτάχυνσης ή πήγματος *trommsdorff*

Το φαινόμενο Trommsdorff εμφανίζεται κυρίως σε αντιδράσεις αλυσωτού πολυμερισμού. Συνεπώς, ως προϋπόθεση εμφάνισης του είναι η ύπαρξη ριζών στο σύστημα. Κατά τον πολυμερισμό μερικών μονομερών σε υψηλές μετατροπές παρουσιάζεται μια αύξηση της ταχύτητας πολυμερισμού, ενώ η συγκέντρωση του μονομερούς ελαττώνεται. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται ιδιαίτερα σε πολυμερισμούς χωρίς διαλύτη (τεχνική μάζας). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το μεθακρυλικό μεθύλιο που σε μικρές συγκεντρώσεις μονομερούς η πορεία της αντίδρασης ακολουθεί κανονική κινητική, ενώ σε υψηλότερες όχι [11].

Το φαινόμενο πήγματος (gel effect) βασίζεται στην αύξηση ιξώδους της μάζας του πολυμερούς αυξανόμενης της μετατροπής. Η κίνηση (διάχυση) των αναπτυσσομένων αλυσίδων παρεμποδίζεται λόγω των μακρομορίων που έχουν σχηματιστεί, ενώ η κίνηση των μορίων του μονομερούς είναι ανεμπόδιστη. Έτσι, οι αλυσίδες εξακολουθούν να μεγαλώνουν ενώ γίνονται σπανιότερες οι αντιδράσεις τερματισμού. Έχουμε δηλαδή αύξηση του χρόνου ζωής των ριζών και κατά συνέπεια αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης και του μοριακού βάρους του πολυμερούς που σχηματίζεται. Σε ακόμα μεγαλύτερες μετατροπές υπόκειται σε έλεγχο διάχυσης η κίνηση του μονομερούς προς τις μακρόριζες με συνέπεια την ελάττωση της ταχύτητας πολυμερισμού. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται υαλώδες φαινόμενο (glass effect).

Μονομερή με μεγάλη τιμή σταθεράς μεταφοράς δεν δείχνουν χαρακτηριστική αυτοεπιτάχυνση, σε αντίθεση με το μεθακρυλικό μεθύλιο και το στυρένιο. Αυτό γίνεται γιατί οι αντιδράσεις μεταφοράς μειώνουν το μοριακό βάρος και ελαττώνουν το ιξώδες. Άλλοι τρόποι αποφυγής του φαινομένου είναι η προσθήκη διαλύτη και η αύξηση της θερμοκρασίας [25].

4.5 Corian

4.5.1 Δομή

Το corian είναι ένα συμπαγές, μη πορώδες υλικό επιφανειών με ομογενή σύσταση: 1/3 ακρυλική ρητίνη (πολυμεθακρυλικό μεθύλιο ή PMMA) και 2/3 φυσικά μεταλλεύματα. Το κύριο συστατικό του είναι ο υδρίτης του αργιλίου (ATH) που προέρχεται από τον βωξίτη, ένα ορυκτό από το οποίο παρασκευάζεται και το αλουμίνιο.

Τα τυπικά προϊόντα του είναι [29]:

Φύλλα: Διατίθενται σε τρία μεγέθη, με διαφορετικό πάχος, που εύκολα κατεργάζονται στο επιθυμητό μέγεθος από επαγγελματίες κατασκευαστές. Όλοι οι χρωματισμοί είναι διαθέσιμοι σε φύλλα διαστάσεων 3680x760x13mm. Η χρήση του φύλλου, με πάχος 6 mm, πρέπει εν γένει να αποφεύγεται σε κάθετες εφαρμογές.

• 6 mm:	2490 x 760 mm 2490 x 930 mm
• 13 mm:	3680 x 760 mm 3680 x 930 mm
• 19 mm:	3680 x 760 mm

Μορφοποιημένα προϊόντα [29]: Υπάρχουν έτοιμοι πάγκοι με γούρνα, σε μεγάλο εύρος μεγεθών καθώς και πολλοί τύποι ειδών υγιεινής, με φινιρισμένα άκρα. Γίνεται με εγγύηση 10 χρόνων έναντι θερμικής καταπόνησης. Για άλλες υγρές περιοχές, υπάρχει μια ικανοποιητική ποικιλία νεροχυτών, μονής και διπλής λεκάνης, που είναι κατάλληλες για νοσοκομεία ή εργαστήρια, κουζίνες, μπαρ και άλλες περιοχές πλυσίματος. Η συναρμολόγηση γίνεται είτε με αρμούς είτε με φαλτσογωνιές χωρίς πρόβλημα παγίδευσης σκόνης και υγρασίας, στις ενώσεις, σχεδόν μηδενίζοντας με τον τρόπο αυτόν το κόστος καθαρισμού και συντήρησης. Υπάρχουν κατάλληλα βοηθητικά προϊόντα, που περιλαμβάνουν και τα εργαλεία τοποθέτησης και συνιστάται η χρησιμοποίησή τους.

Το ελάχιστο προτεινόμενο διάκενο διαστολής, σε μη καλαφατισμένες ενώσεις, είναι $3.5 \cdot 10^{-6}$ πολλαπλασιασμένο με το μέγεθος του υλικού και τη μέγιστη αναμενόμενη θερμοκρασία, εκφρασμένη σε °C. Οι καλαφατισμένες ενώσεις πρέπει να διαθέτουν περίπου 3mm πλάτος.

Οι χρωματισμοί στους οποίους προσφέρεται το corian επιτρέπουν τη χρήση μιας σχεδόν απεριόριστης παλέτας εργασίας. Μπορεί να διαλέξει κάποιος ένα απλό χρώμα, μια ουδέτερη βάση για σχεδιασμό ή να πειραματιστεί με πολλούς σύνθετους συνδυασμούς. Το corian μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί σαν διακοσμητικό, είτε σαν στοιχείο που δίνει έμφαση, είτε σαν ευπροσάρμοστο συμπλήρωμα σε άλλα υλικά όπως: ξύλο, μέταλλο, πέτρα κτλ.

Για την καλή συντήρησή του και την αποφυγή ζημιών θα πρέπει να αποφεύγεται η παρατεταμένη έκθεση σε ισχυρά χημικά όπως οξέα, βάσεις και οργανικούς διαλύτες. Τα χυμένα υγρά πρέπει να καθαρίζονται κατάλληλα. Αν και το CORIAN® δεν επηρεάζεται από κτυπήματα, μπορεί να υποστεί κάποιες φθορές αν τα κτυπήματα είναι ισχυρά και μάλιστα με αιχμηρά αντικείμενα. Σημαντική βλάβη μπορεί να προκληθεί στο υλικό αυτό από υπερβολική θερμότητα.

4.5.2 Ιδιότητες

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην αποφυγή εγκαταστάσεων όπου είναι δυνατή η παγίδευση υγρασίας πίσω από το corian. Υπάρχουν ειδικές προϋποθέσεις για την εγκατάσταση σε αρχιτεκτονικές κατασκευές. Αν και το corian μπορεί να αντέξει σε υψηλές θερμοκρασίες, πρέπει να προστατεύεται με ασπίδες έναντι πολύ υψηλής θερμότητας.

Για την αξιολόγηση της χημικής αντοχής του χρησιμοποιείται η διαδικασία δοκιμής, ANSI Z124.3. Δυο δείγματα από το ίδιο χημικό σε υγρή μορφή, τοποθετούνται στην επιφάνεια του. Το πρώτο δείγμα καλύπτεται με ύαλο ωρολογίου, ώστε η επιφάνεια να διατηρηθεί υγρή σε όλη τη χρονική διάρκεια της δοκιμής, ενώ το δεύτερο δείγμα βρίσκεται εκτεθειμένο στον αέρα. Μετά από περίοδο έκθεσης 16 ωρών, το χημικό υπόλειμμα τρίβεται με ένα υγρό σφουγγάρι και ένα συνηθισμένο οικιακό καθαριστικό. Τα

ακόλουθα χημικά και βιολογικά υπολείμματα μπορούν να απομακρυνθούν με τον τρόπο που περιγράφηκε πιο πάνω [29]:

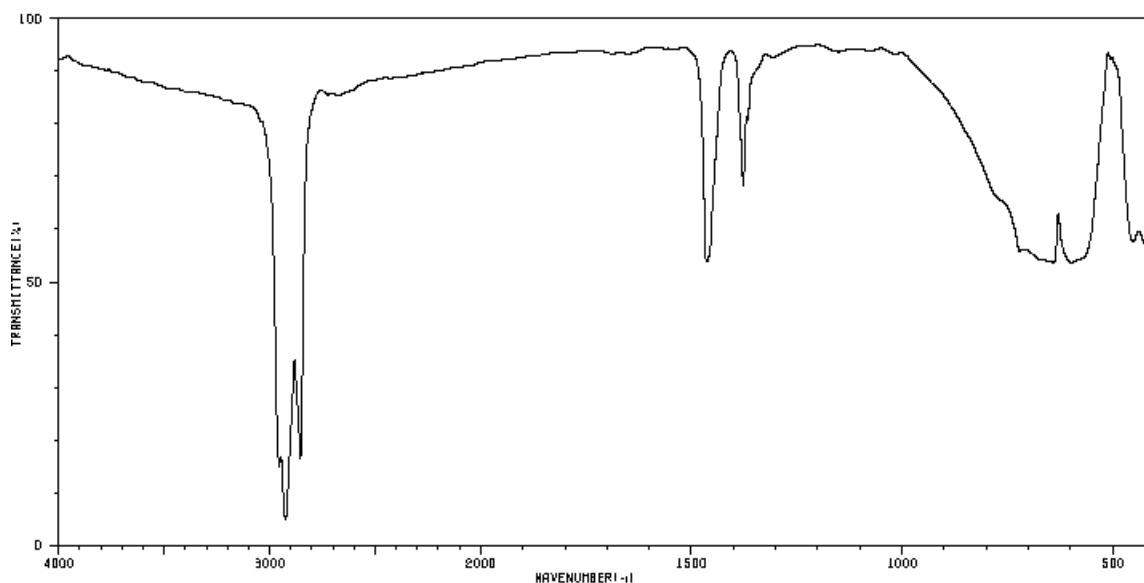
- Ακετόνη
- Αμμωνία (10%)
- Αρωματική αμμωνία
- Μελάνι
- Βενζόλιο
- Αίμα
- Νικοτίνη
- Καφές
- Μαγειρικό λάδι
- Βερνίκι
- Υλικά καθαρισμού πιάτων
- Οδοντιατρική κόλλα

Επειδή η ζημιά της επιφάνειας διαφέρει ανάλογα με τη χημική δραστικότητα και το χρόνο έκθεσης και επειδή το τρίψιμο της επιφάνειας με κοινά καθαριστικά μπορεί να μην είναι πάντα το καταλληλότερο (π.χ. σκοτεινοί θάλαμοι), προτείνεται η χρησιμοποίηση δοκιμαστικά ενός κομματιού για την επιβεβαίωση της καταλληλότητας του σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή.

Για την ελαχιστοποίηση του απαιτούμενου υλικού και για τη διευκόλυνση της διαδικασίας εγκατάστασης, τα τμήματα που θα συγκολληθούν πρέπει να είναι τετράγωνα. Οι συγκολλήσεις πρέπει να υποστηρίζονται. Οι άκρες που θα ενωθούν πρέπει να είναι ευθείες, ομαλές και καθαρές. Οι τομές πρέπει να γίνονται με εργαλείο που διαθέτει κοφτερή άκρη από καρβίδιο, με ελάχιστη διάμετρο 9.5 mm. Οι γωνίες τομής πρέπει να στρογγυλοποιούνται σε ακτίνα 5 mm, και οι επάνω και κάτω άκρες που περιβάλλουν την τομή να λειαίνονται. Οι γωνίες σχήματος L και U χρειάζονται λείες εσωτερικές γωνίες ακτίνας 13 mm. Για χαμηλές τομές οι γωνίες πρέπει να ενισχύονται με γωνιακό σύνδεσμο από το ίδιο υλικό [31].

Το corian είναι συμβατό με ένα μεγάλο αριθμό συγκολλητικών, που διατίθενται στο εμπόριο. Όμως, ένα ειδικά σχεδιασμένο παρέμβυσμα σιλικόνης, σύμφωνα με τα πρότυπα FDA, που διατίθεται από τους προμηθευτές πρέπει να χρησιμοποιείται για την επίτευξη της βέλτιστης συμπεριφοράς και χρωματικής ομοιομορφίας. Τα κάθετα πάνελ από corian μπορούν να τοποθετηθούν πάνω σε κατάλληλα υποστρώματα που περιλαμβάνουν υδατοστεγή γύψο, κόντρα-πλακέ θαλάσσης ή κεραμικά πλακίδια. Πρέπει να χρησιμοποιούνται: ανοιχτόχρωμη κόλλα που βασίζεται στο νεοπρένιο, όπως η Panel Adhesive for DuPont CORIAN ή ανοιχτόχρωμη κόλλα πολυουρεθάνης ή λιθόκολλες τύπου I (ANSI A136.1-1967), που βασίζονται σε διαλύτες, σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται υδατοδιαλυτές κόλλες. Η τοποθέτηση των πάγκων πάνω σε πλαισιωτούς φορείς (χωρίς την προσθήκη υποστρωμάτων) πραγματοποιείται με χρήση μικρής ποσότητας στεγανωτικού σιλικόνης. Για την πραγματοποίηση ενώσεων και επισκευών σε πάγκους, απαιτείται η κόλλα Joint Adhesive for DuPont CORIAN. Όταν χρησιμοποιείται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, παράγει μια λεία και δυσδιάκριτη ένωση. Οι επισκευές, αν και πλήρως λειτουργικές, αναμένεται να είναι ελαφρώς ορατές.

Το corian έχει μεγάλη αξία επειδή έχει την ιδιότητα να επιδέχεται επισκευές που δύσκολα διακρίνονται. Μικρά κοψίματα, γδαρσίματα και κηλίδες μπορούν να απομακρυνθούν από τους χρήστες χρησιμοποιώντας λεπτό γυαλόχαρτο ή υγρό πανί. Βαθιές κοιλότητες ή ζημιές πρόσκρουσης, όπως ραγίσματα, μπορεί να απαιτούν ένα εξουσιοδοτημένο συνεργείο επισκευών (πάντως αποκαθίστανται).

Σχήμα 4.1: Φάσμα διαπερατότητας FTIR Al_2O_3 [28]

4.5.3 Εφαρμογές

Το corian είναι ένα ευρέως αποδεκτό υλικό για χρήση σε πάγκους εργασίας, απαγωγούς, ντουλάπες και άλλα έπιπλα εργαστηρίων, για πάγκους και νεροχύτες κουζίνας, για τοιχώματα μπάνιων, για εφαρμογές υγιεινής, για εστιατόρια, τράπεζες, αεροδρόμια και για αρκετές ακόμα εμπορικές εφαρμογές. Άλλες τυπικές εφαρμογές περιλαμβάνουν επιφάνειες τραπεζιών, δίσκους σερβιρίσματος, τμήματα αποχωρητηρίων, περβάζια παραθύρων, εξωτερικές επικαλύψεις κτιρίων, κτλ. Το corian προσφέρει καλαίσθητη εμφάνιση και συμπεριφορά με χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα: είναι συμπαγές, δεν είναι κατασκευασμένο ούτε με επίστρωση, ούτε με συμπίεση φύλλων. Η σκληρή, μη πορώδης επιφάνεια είναι ανθεκτική και μπορεί να διατηρείται καθαρή με τη χρήση απλών οικιακών καθαριστικών. Εξ' αιτίας της συμπαγούς σύστασής του ο χρωματισμός και το μοτίβο διατηρούνται σε όλο το πάχος του υλικού. Κοψίματα, γδαρσίματα, καψίματα από τσιγάρο και άλλες μικροφθορές, μπορούν εύκολα να απομακρυνθούν, επαναφέροντας την αρχική ποιότητά του. Στις βασικές του ιδιότητες συμπεριλαμβάνεται ο καθαρισμός ραδιενεργών συστατικών και του HIV (ιός του AIDS) από εγκαταστάσεις υγιεινής [30].

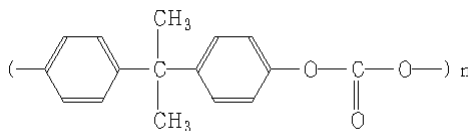
Πίνακας 4.2: Τυπικές χαρακτηριστικές ιδιότητες του corian [29].

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ	ΜΟΝΑ-ΔΕΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ	*
Πυκνότητα	1.78±0.03	Gms/cc	DIN 53 479, ISO R1183	(2)
Δύναμη εφελκυσμού	34.9-39.5	N/mm ²	DIN 53 455 ISO/DIS 527-78	(2)
Βάρος ανά επιφάνεια	6 mm 11.5 13 mm 23.0 19 mm 34.0	Kg/m ²		(5)
Εκατοστιαία επιμήκυνση στη θραύση	0.36-0.49	%	DIN 53 455 ISO/DIS 527-78	(2) (5)
Ελαστικότητα	6 mm 57 13 mm 60 19 mm 66	N/mm ²	DIN 53 452 ISO 178-75	
Συντελεστής ελαστικότητας	10000 ± 400	N/mm ²	DIN 53 457-Z-B-3 ISO/DIS 527-78	(2)
Σκληρότητα σφαιρικής αυλάκωσης	337.3 ± 8.4	N/mm ⁴	DIN 53 456 ISO/DIS 2039	(2)
Αντίσταση πρόσκρουσης 2J χωρίς εγκοπή	6 mm 3.5 13 mm 4.7 19 mm 7.7	KJ/m ²	DIN 53 453 ISO/R 179/61	(2)
Αντίσταση πρόσκρουσης 2J με εγκοπή	6 mm 1.7 13 mm 1.9 19 mm 2.3	KJ/m ²	DIN 53 453 ISO/R 179/61	(2)
Αντίσταση πρόσκρουσης	13	J/m	ASTM-U-256 A	
Αντίσταση πρόσκρουσης με δοκιμή πίπτουσας μπίλιας	Δεν εμφανίζεται ρωγμή για ύψος 90 cm: 6 mm 250 g μπίλια 13 mm 450 g " 19 mm 900 g "	(2)	NEMA-LDI-2.15	(2)
Δοκιμή σε πρόσκρουση. Βάρος 500 g. Ύψος ζημιάς W 50	6 mm 10.3 13 mm 87.5 19 mm >200.0	cm	DIN 53 443 BL1	(2)
Αντίσταση σε βραστό νερό	Όχι ορατές αλλαγές. Αλλαγή σε βάρος και πάχος +0.09	%	ISO 4586/2 (1981) §7. Ομοιο με DIN 53 799 (1975) §4.10	(1)
Αντίσταση σε ξηρή θερμότητα	Πολύ μικρή αλλαγή στη στυλνότητα. Καμία άλλη ορατή αλλαγή		ISO 4586/2 (1981) §8. Ομοιο με DIN 53 799 (1975) §4.9	(1)
Αντίσταση σε κάημο τσιγάρου	Η κίτρινη κηλίδα απομακρύνεται εύκολα		ISO 4586/2 (1981) §18. Ομοιο με DIN 53 799 (1975) §4.8	(1)
Μόλυνση από μύκητες	0 2-3 χωρίς αλλαγές		ISO 486 A ISO 486 B	(4)
Απορρόφηση νερού	24 h 60 d 6 mm 0.04 0.30 13 mm 0.03 0.21 19 mm 0.03 0.17	%	DIN 53 495 ISO/R 62-80 3L	(2)
Τριβή/φθορά	W _m = 110 ± 12	mg	DIN 53 754	(2)
Δείκτης τριβής, (με πανομοιότυπες ατσάλινες μπίλιες)	f STAT = 0.43 f DYN = 0.39		3 Μπίλιες 1/8", 100 CR 6 Φορτίο F ^N = 5.5 N Ταχύτητα V=0.5mm/s	(2) (5)
Ευφλεκτότητα Αντίδραση στη φωτιά	6 mm 13 mm Class B1 19 mm		DIN 4102/1 5.1 BAM PA III 2 1969	(2)
Τοξικότητα αερίων	Class FO		NF F16 101 (Γαλλία)	
Αδιαφάνεια αερίων	Δείκτης IF=1.7		NF F16 101 (Γαλλία)	
Εγκριση επαφής με τροφές	Κατάλληλο	-	LMBG παρ. 30-31 ab.1 (Γερμανία)	
Δείκτης οξυγόνου	39.1 (πάχος δείγματος 4 mm)	%	ISO 4589 Μέθοδος A	(1)
Δεδομένα ασφαλείας, κατά DIN	Καμία επικίνδυνη προετοιμασία		DIN 52 900	
Αντίσταση στις καιρικές συνθήκες	Καμία αλλαγή μετά από 1000 ώρες		ASTM-D-1499	(5)
Σταθερότητα χρώματος	Καμία αλλαγή		NEMA LDI-2.06	

4.6 Πολυκαρβονικό (PC)

4.6.1 Δομή

Τα πολυκαρβονικά είναι πολυμερή που περιέχουν ανθρακικές ομάδες (-O-(C=O)-O-). Παρακάτω στο (σχ. 4.6-1) βλέπουμε τον μοριακό τύπο του καθαρού πολυκαρβονικού ή πολυανθρακικού υλικού [32].



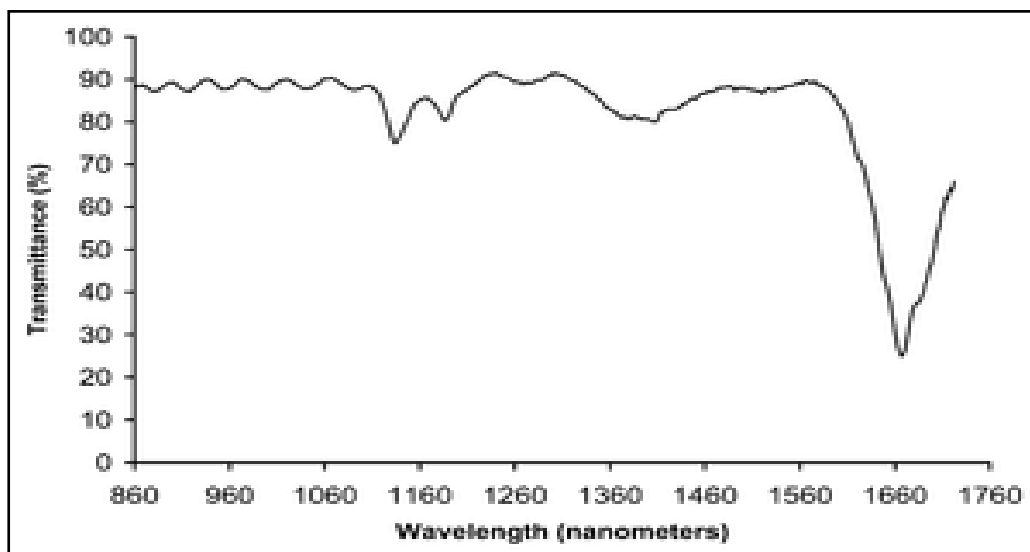
Σχήμα 4.6-1: Μοριακός τύπος του πολυκαρβονικού [32]

Τα περισσότερα πολυκαρβονικά εμπορικού ενδιαφέροντος προέρχονται από άκαμπτα μονομερή. Μια ισορροπία χρήσιμων λειτουργιών όπως η αντίσταση στην θερμοκρασία, η αντοχή σε κρούσεις και οι οπτικές ιδιότητες έχουν εντάξει τα πολυκαρβονικά ανάμεσα στα συνήθη πλαστικά εμπόρευμα και βιομηχανικά πλαστικά.

Πίνακας 4.3-4.4: Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες για το πολυκαρβονικό

Φυσικές Ιδιότητες	
Πυκνότητα	1.20–1.22 g/cm ³
Αριθμός Abbe (V)	34.0
Δείκτης διάθλασης (n)	1.584–1.586
Αναφλεξιμότητα	V0-V2
Περιορισμός δείκτη οξυγόνου	25–27%
Απορρόφηση νερού- ισορροπία (ASTM)	0.16–0.35%
Απορρόφηση του νερού - πάνω από 24 ώρες	0.1%
Αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία	fair

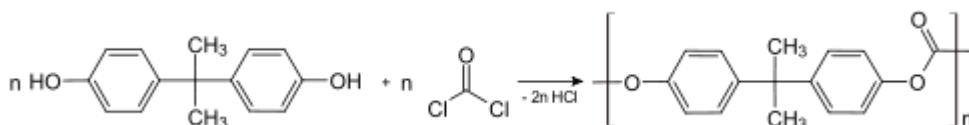
Μηχανικές Ιδιότητες	
Μέτρο ελαστικότητας Young (E)	2.0–2.4 GPa
Αντοχή σε εφελκυσμό (σ _i)	55–75 MPa
Αντοχή σε θλίψη (σ _c)	>80 MPa
Επιμήκυνση (ε)	80–150%
Λόγος Poisson (ν)	0.37
Σκληρότητα Rockwell	M70
Δύναμη Izod	600–850 J/m
Δοκιμή Notch	20–35 kJ/m ²
Τριβή - ASTM D1044	10–15 mg/1000 cycles
Συντελεστής τριβής (μ)	0.31
Ταχύτητα του ήχου	2270 m/s



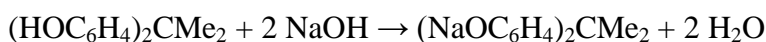
Σχήμα 4.6-2:Υπέρυθρο φάσμα Διαπερατότητας(FTIR) καθαρού πολυκαρβονικού [32]

4.6.2 Παραγωγή

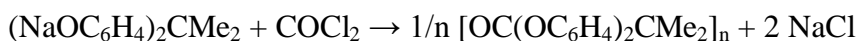
Το κύριο πολυανθρακικό υλικό παράγεται από την αντίδραση της διφαινόλης Α και του φωσγένιου (CoCl₂). Η συνολική αντίδραση μπορεί να γραφτεί ως εξής [32]:



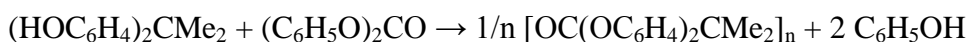
Το πρώτο βήμα της σύνθεσης περιλαμβάνει την επεξεργασία της διφαινόλης Α με υδροξείδιο του νατρίου, το οποίο υποκαθιστά το υδρογόνο των δύο υδροξυλομάδων με νάτριο. [3]



Το οξείδιο της διφαινόλης (NaOC₆H₄)₂CMe₂ αντιδρά με φωσγένιο για να δώσει χλωρομυρμηκικό, το οποίο στη συνέχεια δέχεται επίθεση από ένα άλλο φαινολικό οξείδιο. Η καθαρή αντίδραση είναι:



Με τον τρόπο αυτό, παράγονται ετησίως περίπου ένα δισεκατομμύριο κιλά πολυανθρακικό υλικό. Στη θέση της διφαινόλης Α έχουν δοκιμαστεί πολλές άλλες διόλες, π.χ. 1,1-δισ(4-υδροξυφαινυλο)κυκλοεξάνιο και dihydroxybenzophenone συμπεριλαμβανομένων και ορισμένων, π.χ. tetramethylcyclobutanediol. Μια εναλλακτική διαδρομή για πολυανθρακικά συνεπάγεται μετεστεροποίηση από την BPA και το ανθρακικό διφαινύλιο:



Η διφαινυλαιθέρες ανθρακικού προήλθε εν μέρει από το μονοξειδίο του άνθρακα, αυτή η διαδρομή είναι πιο φιλική στο περιβάλλον από εκείνη με το φωσγένιο [3].

4.6.3 *Ιδιότητες και επεξεργασία*

Το πολυκαρβονικό είναι ένα πολύ ανθεκτικό υλικό. Αν και έχει υψηλή αντοχή στα χτυπήματα, έχει χαμηλή αντοχή στις γρατσουνιές για το λόγο αυτό συνήθως εφαρμόζεται μια σκληρή επίστρωση στην επιφάνεια του κυρίως σε φακούς γυαλιών οράσεως και στο εξωτερικό περίβλημα των εξαρτημάτων αυτοκινήτων. Τα χαρακτηριστικά του πολυανθρακικού είναι παρόμοια με αυτά του πολυ(μεθακρυλικού μεθυλίου) (PMMA), αλλά όμως είναι ισχυρότερο σαν υλικό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύτερο φάσμα θερμοκρασιών, αλλά είναι και πιο ακριβό. Αυτό το πολυμερές είναι ιδιαίτερα διαφανές στο ορατό φως και έχει την καλύτερη μετάδοση του φωτός από πολλά άλλα είδη γυαλιού [33].

Το πολυκαρβονικό έχει μια θερμοκρασία μετάβασης γυαλιού περίπου στους 150 °C (302 °F), έτσι ώστε να μαλακώνει βαθμιαία πάνω από αυτό το σημείο και να ρέει πάνω από τους 300 °C (572 °F). Τα εργαλεία πρέπει να διατηρούνται σε υψηλές θερμοκρασίες, συνήθως πάνω από 80 °C (176 °F) για να αποκτήσουν αντοχή σε τάσεις παραμόρφωσης, κυρίως στον εφελκυσμό. Ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους είναι πιο εύκολο να λιώσει και να τοποθετηθεί σε καλούπι σε σύγκριση με μάζα υψηλότερου μοριακού βάρους, αλλά η δύναμή του ως αποτέλεσμα είναι χαμηλότερη. Η πιο απαιτητική περίπτωση είναι οι κατηγορίες που έχουν το υψηλότερο μοριακό βάρος, οπότε η διαδικασία είναι πολύ πιο δύσκολη.

Αντίθετα με τα περισσότερα θερμοπλαστικά, το πολυανθρακικό μπορεί να υποστεί μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις, χωρίς ρωγμές ή θραύση. Ως αποτέλεσμα, μπορεί να επεξεργαστεί και να σχηματιστεί σε θερμοκρασία δωματίου με τη χρήση τεχνικών λαμαρίνας. Ακόμη για το λυγισμό σε οξείες γωνίες ή γενικά γωνίες με μια μικρή ακτίνα η διαδικασία γίνεται απαραίτητα χωρίς θέρμανση. Αυτό το καθιστά πολύτιμο σε εφαρμογές πρωτοτύπων όπου απαιτούνται διαφανή ή μη ηλεκτρικά αγωγικά μέρη, όπου δεν μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνική λαμαρίνας. Αξίζει να σημειωθεί ότι το PMMA/Plexiglas, το οποίο είναι παρόμοιο σε εμφάνιση με το πολυανθρακικό, είναι εύθραυστο και δεν μπορεί να καμφθεί σε θερμοκρασία δωματίου.

Κύριες τεχνικές μετασχηματισμού για πολυκαρβονικά [34]:

- εξώθηση σε σωλήνες, ράβδοι και άλλα προφίλ διέλασης
- με κυλίνδρους σε φύλλα (0,5 - 15 mm (0,020 έως 0,59 in)) και ταινίες (κάτω από 1 mm (0,039 in)), τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα ή κατασκευάζονται σε άλλα σχήματα που χρησιμοποιούν θερμοδιαμόρφωση ή δευτεροβάθμια τεχνική κατασκευής, όπως η κάμψη, γεώτρηση, δρομολόγηση, κοπή με λέιζερ κλπ.
- έγχυση σε έτοιμα αντικείμενα

4.6.4 *Εφαρμογές*

- Ηλεκτρονικά εξαρτήματα: χρησιμοποιείται κυρίως για τις ηλεκτρονικές εφαρμογές καθώς είναι ένα ιδιαίτερα ασφαλές υλικό. Όντας ένα καλό ηλεκτρικό μονωτικό υλικό και έχοντας αντοχή στη θερμότητα (ιδιότητα επιβραδυντικού φλόγας), τα πολυκαρβονικά χρησιμοποιούνται σε διάφορα ηλεκτρικά και τηλεπικοινωνιακά προϊόντα. Χρησιμεύει επίσης ως διηλεκτρικό πυκνωτών υψηλής σταθερότητας [35].

- Υλικά κατασκευών: ο δεύτερος μεγαλύτερος τομέας εφαρμογής του πολυανθρακικού είναι η κατασκευαστική βιομηχανία, π.χ. για domelights, επίπεδα ή καμπύλα τζάμια, ηχομονωτικά πανέλα κ.α.
- Αποθήκευση δεδομένων: μια σημαντική εφαρμογή του πολυάνθρακα είναι η παραγωγή ψηφιακών δίσκων, DVD και Blu-ray Discs. Οι δίσκοι πολυκαρβονικού παράγονται από έγχυση σε μια κοιλότητα καλουπιού που έχει από τη μία πλευρά ένα Stamper μετάλλων που περιέχει μια αρνητική εικόνα των δεδομένων του δίσκου, ενώ η άλλη πλευρά του καλουπιού είναι μια επιφάνεια καθρέφτη. Τυπικά προϊόντα της παραγωγής φύλλο/φιλμ περιλαμβάνουν εφαρμογές στον τομέα της διαφήμισης (πινακίδες, οθόνες, κ.λ.π) [36].
- Αυτοκίνητα, αεροπλάνα: το πολυανθρακικό μπορεί να παράγει πολύ λείες επιφάνειες που το καθιστούν κατάλληλο για απευθείας (χωρίς την ανάγκη για μια στρώση βάσης) εφαρμογή σε μεταλλικά μέρη, όπως διακοσμητικά πλαίσια και οπτικούς ανακλαστήρες. Επίσης μπορεί να αποδώσει ομοιόμορφα αποτελέσματα σε σημεία που απαιτούν μέγιστη ακρίβεια από ό,τι μπορεί να δώσει το πολυπροπυλένιο. Ωστόσο, λόγω της ευαισθησίας του σε τάσεις από περιβαλλοντικά αίτια που οδηγούν σε ρωγμές, η χρήση του περιορίζεται σε εφαρμογές χαμηλής πίεσης. Εφαρμόζεται σαν πλαστικοποιημένο αλεξίσφαιρο "γυαλί" σε χώρους και πιο αποτελεσματικά σε αυτοκίνητα λόγω του μεγαλύτερου πάχους που μπορεί να έχει και τέλος χρησιμοποιείται σαν θόλος στο πιλοτήριο του μαχητικού αεροσκάφους F-22 Raptor.
- Ιατρικές εφαρμογές: ορισμένες ποιότητες πολυκαρβονικού χρησιμοποιούνται σε ιατρικές εφαρμογές (ISO 10993-1 και USP Class πρότυπα VI μερικές φορές αναφέρεται ως PC-ISO). Αυτοί οι βαθμοί μπορούν να αποστειρωθούν με ατμό στους 120 ° C, ακτινοβολία γάμμα, ή από το οξείδιο του αιθυλενίου (ETO) μέθοδο. Ωστόσο, η επιστημονική έρευνα υποδεικνύει πιθανά προβλήματα με την βιοσυμβατότητα.
- Εξειδικευμένες εφαρμογές: το πολυκαρβονικό, είναι ένα ευπροσάρμοστο υλικό που έχει προσελκύσει χιλιάδες μικρότερες εφαρμογές όπως σε molded μπουκάλια αλκοόλ και δοχεία τροφίμων, πολλά είδη φακών κατασκευάζονται από πολυανθρακικό, συμπεριλαμβανομένης της αυτοκινητοβιομηχανίας με τους φακούς προβολέα, φακοί φωτισμού, γυαλιών ηλίου και προστατευτικά γυαλιά, MP3/Digital audio player περιπτώσεις, περιπτώσεις υπολογιστή, ασπίδες ηχοπροστασίας, γείσα, πίνακες οργάνων, μπλέντερ, βάζα, πολλά παιχνίδια και είδη χόμπυ, πτερύγια, αναρτήσεις, και κλειδαριές flybar για χρήση με τηλεκατευθυνόμενα ελικόπτερα. [36]

Για χρήση σε εφαρμογές που εκτίθενται σε γήρανση ή υπεριώδη ακτινοβολία, μια ειδική επιφανειακή επεξεργασία είναι απαραίτητη. Αυτό είτε μπορεί να είναι μια επένδυση (π.χ. για βελτιωμένη αντοχή στην τριβή), ή μια coextrusion για βελτιωμένη αντοχή στις καιρικές συνθήκες. Για τις περιπτώσεις όπου χρειάζεται ένα ελαφρύ δομικό στοιχείο που να επιτρέπει τη διείσδυση του φωτός (αίθρια, στέγαστρα), διατίθενται τα πολυκαρβονικά φύλλα, που συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα του γυαλιού (φωτοδιαπερατότητα) και του πλαστικού (μικρό ίδιο βάρος, ευκαμψία, ευκολία στην εφαρμογή).

Τα πολυκαρβονικά είναι από τα πιο προηγμένα είδη πολυμερών πλαστικών, με ειδική προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία και τις καιρικές συνθήκες, καθώς και με μεγάλες μηχανικές αντοχές.

5 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Όπως διαπιστώθηκε και από το θεωρητικό μέρος της εργασίας τα πολυμερή προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα στις οικοδομικές κατασκευές σε σχέση με τα συμβατικά υλικά, όπως φωτεινότητα, αντοχή στη διάβρωση και ευκολία επεξεργασίας. Μπορούν να ενισχυθούν με ίνες και να σχηματίσουν σύνθετα υλικά που έχουν βελτιωμένες ιδιότητες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά μέλη αλλά και ανεξάρτητες μονάδες. Περίπου το 30% του συνόλου των πολυμερών που παράγονται κάθε χρόνο χρησιμοποιούνται στην κτιριακή βιομηχανία. Συχνά τα πολυμερή αυτά υλικά είναι διαφανή για χρηστικούς λόγους π.χ. στέγαστρα, θερμοκήπια κλπ. Τα πολυμερή υλικά παρόλο που είναι σταθερά υλικά υφίστανται αλλοιώσεις λόγω του περιβάλλοντος εφαρμογής τους.

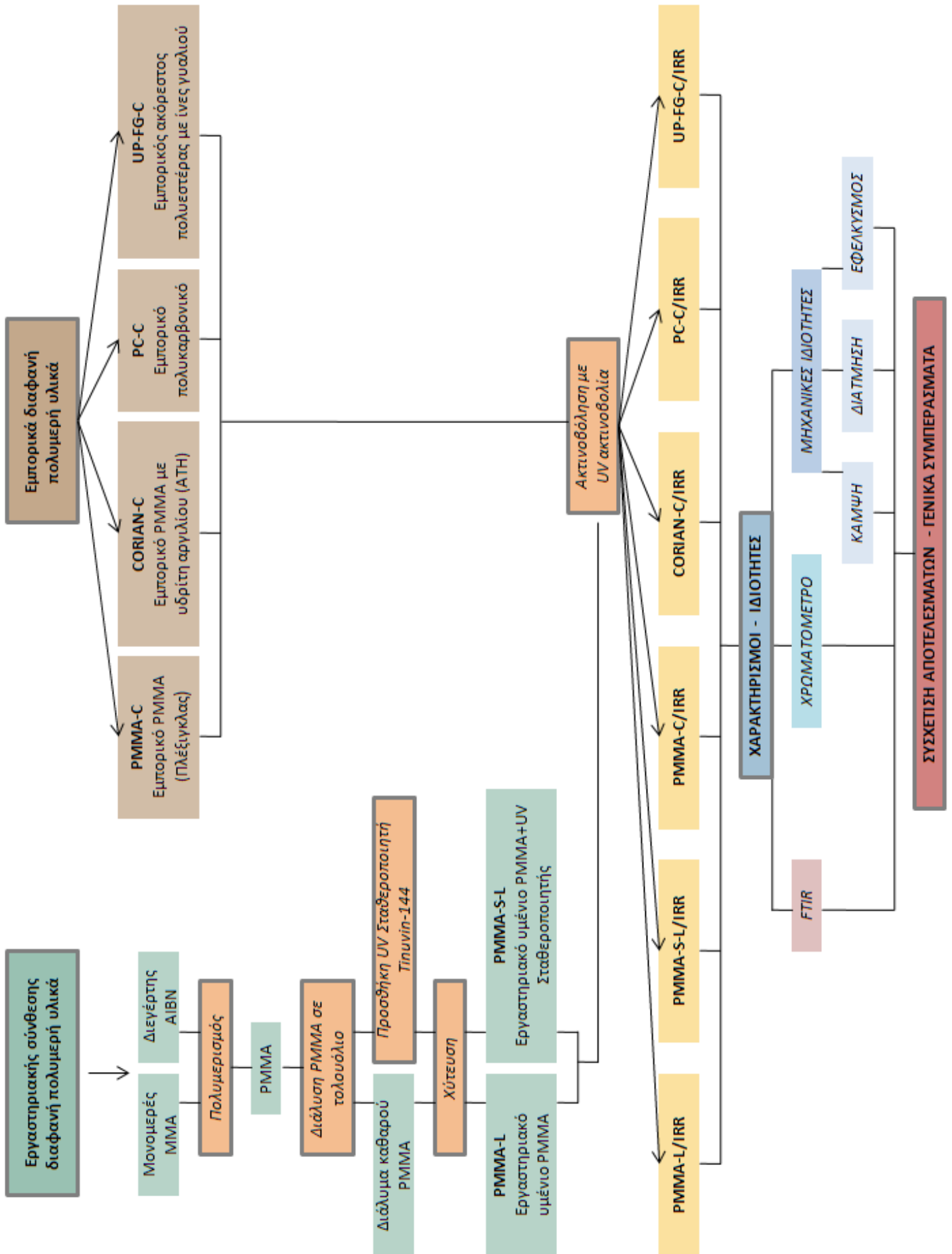
Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στα διαφανή πολυμερή υλικά που εφαρμόζονται ως δομικά στοιχεία πλήρωσης εξωτερικών χώρων. Σε τέτοιες εφαρμογές τα πολυμερή επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες και ιδιαίτερα από την UV ακτινοβολία. Όπως περιγράφεται και στο κεφάλαιο αποικοδόμησης στο θεωρητικό μέρος το φάσμα της UV ακτινοβολίας του ηλιακού φωτός είναι ο σημαντικότερος παράγων που επηρεάζει την σταθερότητα των πολυμερών υλικών.

Κατά συνέπεια η επίδραση της UV ακτινοβολίας σε πλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε δομικές εφαρμογές αποκτά ιδιαίτερη σημασία. Τα υλικά που θα μελετηθούν στην παρούσα εργασία είναι εμπορικά πλαστικά που εφαρμόζονται στις κατασκευές ως εξωτερικά στοιχεία πλήρωσης με τη μορφή πάνελ, όπως το πλέξιγκλας (plexiglass), το πολυκαρβονικό (polycarbonate), ο πολυεστέρας με ίνες γυαλιού καθώς και ένα σύνθετο ακρυλικό υλικό το corian. Το corian παρόλο που δεν είναι διαφανές το εξετάζουμε για λόγους σύγκρισης. Κατά συνέπεια εξετάζονται: α) θερμοπλαστικά πολυμερή το πλέξιγκλας, το πολυκαρβονικό και το ακρυλικό υλικό corian, β) θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή: ακόρεστος πολυεστέρας με ίνες γυαλιού.

Δεδομένου ότι η ακριβής σύνθεση των εμπορικών πλαστικών προϊόντων σχετικά με τα πρόσθετα που περιέχουν (όπως UV σταθεροποιητή κλπ.) δεν είναι γνωστή, θα εξεταστεί και αντίστοιχο πολυμερές εργαστηριακής σύνθεσης στο οποίο θα προστεθεί UV σταθεροποιητής σε συγκεκριμένη συγκέντρωση. Για τον λόγο αυτό, θα πραγματοποιηθεί πολυμερισμός του μεθακρυλικού μεθυλίου με ταυτόχρονη χύτευση και ενσωμάτωση UV σταθεροποιητή γνωστής συστάσεως, σε μία συγκέντρωση.

Η επιστημονική προσέγγιση της επίδρασης της UV ακτινοβολίας καθώς και η προσομοίωση και επιστημονική μελέτη θα γίνει μέσω κατάλληλης εργαστηριακής διάταξης. Τα δοκίμια από τα υλικά θα υποστούν ακτινοβολία στην ειδική διάταξη και θα μελετηθεί η επίδραση της δόσης της ακτινοβολίας στα χαρακτηριστικά (όπως διαφάνεια, ξεθώριασμα, κλπ.), την δομή και τις μηχανικές ιδιότητές τους. Η μελέτη των υλικών θα πραγματοποιηθεί μέσω χαρακτηρισμών FTIR, χρωματομετρίας και μηχανικών ιδιοτήτων, αντοχή σε κάμψη, διάτμηση και εφελκυσμό, πριν και μετά την UV ακτινοβολία.

Η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί παρουσιάζεται διαγραμματικά στο σχήμα 5.1 όπως φαίνεται παρακάτω.



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6 ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

6.1 Εμπορικά πολυμερή υλικά

Τα εμπορικά πολυμερή υλικά που μελετήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι το πλέξιγκλας, το πολυκαρβονικό, το ακρυλικό cogian και ο πολυεστέρας με ίνες γυαλιού.

6.1.1 Εμπορικό πλέξιγκλας

Γενικά

Τα φύλλα ακρυλικού επιλέγονται εδώ και πολύ καιρό σε οικοδομικές εφαρμογές καθώς προσφέρουν εξαιρετική σταθερότητα χρώματος, χαμηλό βάρος, υψηλή φωτοδιαπερατότητα και εξαιρετική αντοχή στη φθορά λόγω καιρικών συνθηκών. Προσφέρουν πέντε φορές μεγαλύτερη αντοχή σε κρούση από το κανονικό γυαλί και όντας το μισό βάρος ενός ισοδύναμου πάχους γυαλιού, τα φύλλα ακρυλικού δεν απαιτούν αντιστήριξη. Τα ακρυλικά φύλλα μπορούν να υποστούν εύκολα θερμική επεξεργασία και κατά συνέπεια ευκολότερη μορφοποίηση. Τα ακρυλικά φύλλα προτιμούνται από αρχιτέκτονες και διακοσμητές διότι δίνουν την δυνατότητα εφαρμογής μεγάλων καθαρών ανοιγμάτων χωρίς ενδιάμεση υποστήριξη, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν την διείσδυση του φωτός και δίνουν καλή αισθητική και κομμητή εμφάνιση. Το ακρυλικό Plazit είναι κατασκευασμένο από πολυ(μεθακρυλικό μεθύλιο) και φέρει την επωνυμία «Plazcyl».

Η αντοχή των συγκεκριμένων διαστάσεων και το πάχος του είναι σύμφωνα με το "ISO στάνταρ". Όλα τα φύλλα καλύπτονται με προστατευτική μεμβράνη από πολυαιθυλένιο και από τις δύο πλευρές ενώ τα ανάγλυφα φύλλα προστατεύονται μόνο στη μία πλευρά. Συνιστώμενη θερμοκρασία χύτευσης: 150 - 170 ° C [35].

Πλαστικά τζάμια

Τα πλαστικά τζάμια αποτελούν μια σύγχρονη λύση με μεγάλο πεδίο εφαρμογών. Έχουν περίπου το μισό βάρος ισόπαχου γυαλιού ενώ είναι 3 ως 5 φορές ανθεκτικότερα. Συγχρόνως επιτρέπουν την είσοδο στο 92% του φωτός. Παράλληλα όμως προφυλάσσουν τους ανθρώπους και τα αντικείμενα από την έκθεση τους στην υπεριώδη ακτινοβολία. Καμπυλώνονται με θερμότητα, αλλά και εν ψυχρώ. Η επεξεργασία τους είναι εύκολη και ακίνδυνη με συνηθισμένα εργαλεία.

Στάνταρ διαστάσεις [36]:

- 205 x 305 cm
- 152.5 x 205 cm
- 122 x 205 cm

Τα φύλλα πάχους 3, 4, 5 mm διαφανή και οπάλ διατίθενται ετοιμοπαράδοτα και στις τρεις διαστάσεις. Όλα τα πλαστικά φύλλα δεν είναι ίδια, δηλαδή δεν έχουν την ίδια αντοχή στον ήλιο.

Εφαρμογές:

Υάλωση ασφαλείας, διαχωριστικά εσωτερικών χώρων και μπαλκονιών, ψευδοροφές και οροφές ασανσέρ, καμπίνες ντους, θερμοκήπια και αίθρια, διαφημιστικά stand, απλές και φωτεινές επιγραφές και οπουδήποτε θέλουμε να συνδυάσουμε την ασφάλεια με το φυσικό φωτισμό.



Σχήμα 6.1: Φωτογραφίες από κατασκευές με πλέξιγκλας

Ιδιότητες [37]

Ειδικό βάρος	1.19 Gr/Cm ³
Δείκτης διάθλασης	1.49 ND
Μετάδοση του φωτός	92%
Αντοχή σε κρούση	0.4 - /11 Ft-Lb/In - KJ/Sqm
Αντοχή σε εφελκυσμό	10500 PSI / 72 -PMA
Αντοχή σε κάμψη	16000 PSI / 100-PMA
Σκληρότητα Rockwell	95 M-scale
Αναφλεξιμότητα	0.7 Inc/min
Ρυθμός καύσης	94 HB
Θερμοκρασία εκτροπής θερμότητας	90°C - 208°F
Απορρόφηση νερού	0.3% weight gain

6.1.2 Πολυκαρβονικό

Γενικά

Τα πολυκαρβονικά φύλλα αποτελούν την πιο εξελιγμένη λύση υάλωσης και στέγασης, καθώς συνδυάζουν μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων συγκρινόμενα με οποιοδήποτε άλλο υλικό. Χάρη στην ειδική προστασία τους από την υπέρυθρη ακτινοβολία που επιτυγχάνεται κατά την παραγωγή τους με τη μέθοδο της συνεξόθησης, τα πολυκαρβονικά φύλλα είναι η καταλληλότερη λύση για όλες τις κατασκευές σε εξωτερικούς και εκτεθειμένους στις καιρικές συνθήκες χώρους. Το φίλτρο απορρόφησης των ακτίνων U.V. προσφέρει μακροχρόνια προστασία των φύλλων αλλά συγχρόνως και των ανθρώπων και αντικειμένων που τα φύλλα προστατεύουν. Η επιλογή του αριθμού των τοιχωμάτων (1 ως 5) και του χρώματος μας δίνουν την δυνατότητα ρύθμισης του βαθμού μόνωσης και της φωτοδιαπερατότητας [36,37].

Τα πολυκαρβονικά εφαρμόζονται κυρίως σε:

- Εξωτερικούς χώρους: στέγαστρα όλων των τύπων, σκεπαστοί διάδρομοι, πέργκολες, στάσεις λεωφορείων, επικαλύψεις κερκίδων, διαφώτιστες πυραμίδες και θόλοι, ηχοπετάσματα, θερμο-ηχομονωτική υάλωση, επικαλύψεις κολυμβητηρίων, φωταγωγών, θερμοκήπια, επιγραφές, τηλεφωνικές καμπίνες, παράθυρα βιομηχανικών κατασκευών, αίθρια, ανοιχτές αγορές.
- Εσωτερικές εφαρμογές: Διαχωριστικά, ντουζιέρες, ψευδοροφές, επιγραφές, διαφημιστικές κατασκευές.

Τα πολυκαρβονικά φύλλα είναι υλικό εξαιρετικής περατότητας στην ορατή ακτινοβολία, μηχανικής αντοχής και διάρκειας ζωής. Επιτρέπει την απρόσκοπτη διάχυση του φωτός, εμποδίζει την είσοδο της βλαβερής υπεριώδους ακτινοβολίας ενώ είναι περατό στην υπέρυθρη. Οι ιδιότητες του αυτές συμβάλλουν στη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων για θέρμανση. Το φύλλο αυτό έχει εξαιρετική περατότητα στα ορατά μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι απαραίτητα στην φωτοσύνθεση και γι' αυτό συντελεί στην άριστη ανάπτυξη των φυτών. Τα πολυκαρβονικά φύλλα είναι ανθεκτικά στα οξέα, στα απορρυπαντικά, στο αλάτι αλλά και στους ρύπους του αέρα. Δεν είναι εύφλεκτα και αντέχουν στην κρούση με χαλάζι διαμέτρου 20mm με ταχύτητα 80km/h [36].

Φυσικές ιδιότητες [37]:

Πάχος	6 mm
Περατότητα στη ηλιακή ακτινοβολία	>80 %
Ανώτατη θερμοκρασία αντοχής	+120 °C
Κατώτατη θερμοκρασία αντοχής	-30 °C
Επιμήκυνση	500 %

Προδιαγραφές [37]:

Συντελεστής Φωτοδιαπερατότητας(%)							
Πάχος mm	4,5mm	6mm	8mm	10mm	16mm	20mm	25mm
ΔΙΑΦΑΝΕΣ	86	84	77	75	70	66	63
ΜΠΡΟΝΖΕ	70	65	63	53	43	32	30
ΟΠΑΛ	79	74	66	59	45	35	33

- **Θερμικές ιδιότητες [37]:**

Θερμική αγωγιμότητα των πολυκαρβονικών I = 0,20 (W/m² °C)

Θερμομόνωση - Τιμή K							
Πάχος mm	4,5mm	6mm	8mm	10mm	16mm	20mm	25mm
Kcal/m ² h°C	3,4	3,1	2,5	2,3	1,9	1,8	1,6

απλό γυαλί 4mm = 6,4 W/m²°C

διπλά τζάμια (μέσος όρος): 3 W/m²°C

Θερμική διαστολή 0,065mm/m²°C

Κατά την τοποθέτηση πρέπει να προϋπολογίζουμε διαστολή 4mm για κάθε τρέχον μέτρο προς κάθε κατεύθυνση

- **Ακουστικές ιδιότητες [37]**

Δείκτης ακουστικής διακράτησης κατά NFS 31051 dB(A)					
Πάχος mm	6mm	8mm	10mm	16mm	25mm
ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ	16	16	17	21	22

- **Καμπύλωση εν ψυχρώ [37]**

Τα πολυκαρβονικά μπορούν να καμπυλωθούν εν ψυχρώ, πάντοτε κατά μήκος των νευρώσεων.

Πάχος mm	4,5mm	6mm	8mm	10mm	16mm	20mm	25mm
ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΚΤΙΝΑ (mm)	750	1000	1500	1700	3000	4000	5000

Συμπεριφορά στη φωτιά [37]

Τα πολυκαρβονικά είναι από τη φύση τους μη εύφλεκτα, αυτοσβαινόμενα και υπάγονται στην κατηγορία 1

Γενικές Μηχανικές Ιδιότητες [37]

Χαρακτηριστικά	Κανονισμός	Τιμή/Μονάδες
Πυκνότητα (ειδικό βάρος)	ISO 1183,ASTM D 792,DIN 53479	1,2 g / cm ³
Αντοχή σε πίεση	ISO 527,ASTM D 638,DIN 53455	>60MPa
Ονομαστική αντοχή σε εφελκυσμό μέχρι θραύσεως	ISO 527,ASTM D 638,DIN 53455	>50%
Tensile modulus	ISO 527,ASTM D 638,DIN 53457	2300MPa
Συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής	VDE 0304/1	6,7 x 10 ⁻⁶ /°C
Vicat softening temperature VST/B50	ISO 306,DIN 53460	145°C

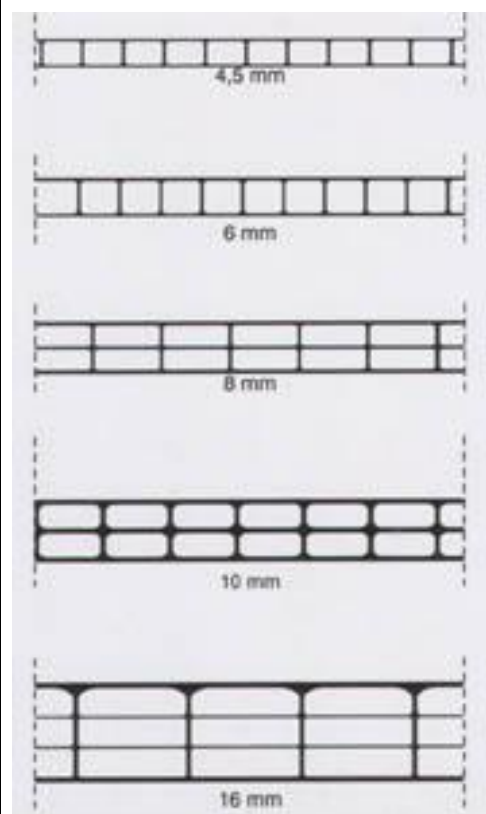
IZOD σε χάραξη από κρούση(23°C)	ISO 180 4A,ASTM D 256B	>70KJ/m ²
Αντοχή σε κρούση Charpy στους 23°C	ISO 179-1eU,ASTM D 256B,DIN 53453	no break
Υδατοαπορροφητικότητα	ISO 62,ASTM D 570,DIN 53495-1L(24h - 32°C)	0,36%
Διαπερατότητα από ατμούς	DIN 53122-1	approx. 15 g/(m ² .24H.bar)

Διαστάσεις[37]

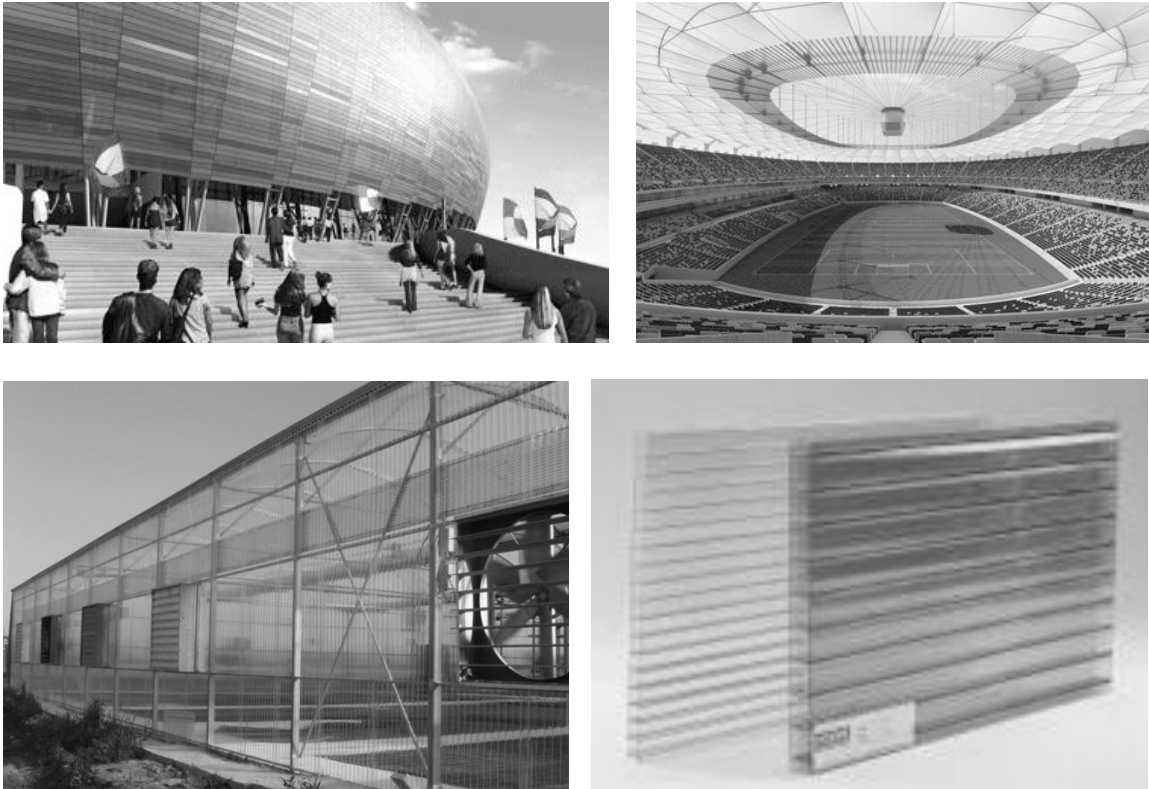
Πάχος mm	4,5mm	6mm	8mm	10mm	16mm	20mm	25mm
Βάρος g/m ²	1000	1300	1500	1700	2700	3000	3200
Πλάτος φύλλου	2100 (1250)	2100 (1250)	2100 (1250)	2100 (1250)	2100 (1250)	2100 (1250)	2100 (1250)
Μήκος φύλλου	3000	3000 4000 6000	3000 6000	3000 4000 6000	3000 6000	3000 6000	3000 6000
Ανοχές πάχους	± 0,5mm	± 0,5mm	± 0,5mm	± 0,5mm	± 0,5mm	± 0,5mm	± 0,5mm

Πίνακας αντοχών σε φορτία [37] (φύλλο στερεωμένο σε 4 πλευρές)

Πάχος φύλλου mm	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΤΕΓΓΙΔΩΝ		ΑΠΟΣΤΑΣΗ "ΨΑΛΙΔΙΩΝ" πλάτος φύλλου		
	μήκος φύλλου	φορτίο χιονιού 128 92 daN/m ² daN/m ²	φορτίο αέρα 60 daN/m ²		
4,5	1	0,55	0,60	0,80	
	1,5	0,40	0,50	0,65	
	2	0,30	0,40	0,60	
6	1	0,75	0,80	1,00	
	1,5	0,70	0,75	0,85	
	2	0,60	0,65	0,75	
8	1	0,95	1,10	1,15	
	1,5	0,85	0,95	1,00	
	2	0,75	0,85	0,90	
10	1	1,10	1,20	1,35	
	1,5	1,00	1,10	1,20	
	2	0,80	1,00	1,10	
16	1	1,40	1,50	1,60	
	1,5	1,20	1,30	1,40	
	2	1,10	1,20	1,30	
20	1	0,90	1,00	1,10	
	1,5	0,85	0,90	1,05	
	2	0,80	0,85	0,95	
25	1	1,00	1,05	1,15	
	1,5	0,90	0,95	1,10	
	2	0,80	0,90	1,00	



Σχήμα 6.2: Διατομές πολυκαρβονικών φύλλων



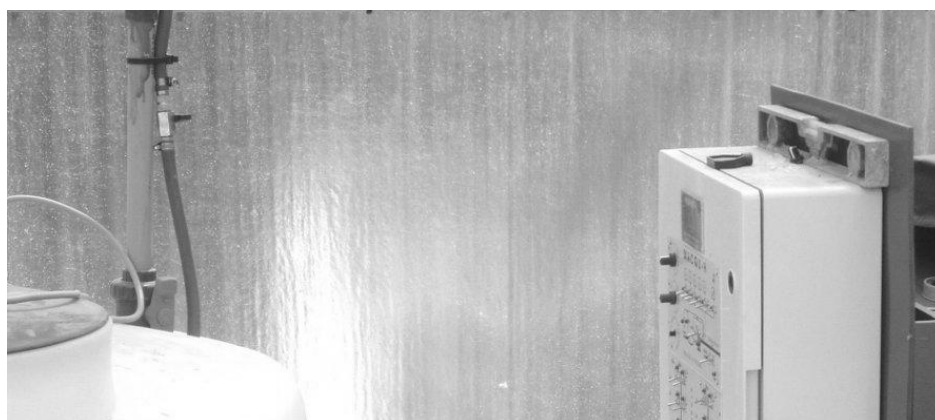
Σχήμα 6.3: Φωτογραφίες από κατασκευές με πολυκαρβονικό

6.1.3 Πολυεστέρας με ίνες γυαλιού

Το σκληρό πλαστικό υλικό, πολυεστέρας Acret, κατασκευάζεται από ακόρεστο πολυεστέρα στον οποίο έχουν προστεθεί 20-34% ίνες ύαλου και ίνες πολυαμιδίου. Είναι υλικό εξαιρετικής μηχανικής αντοχής και με μεγάλη διάρκεια ζωής. Μια ειδική επικάλυψη διατηρεί τις ίνες του ύαλου και του πολυαμιδίου στη σωστή θέση και ελαχιστοποιεί τις παραμορφώσεις. Το υλικό αυτό διαχέει το φως, δεν δημιουργεί σκιές και επιτρέπει την είσοδο του ορατού φάσματος της ακτινοβολίας ενώ εμποδίζει την είσοδο της βλαπτικής υπεριώδους ακτινοβολίας. Διατίθεται και με προστασία UV κατόπιν παραγγελίας. Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για αυτή την μελέτη δεν περιέχουν σταθεροποιητή UV [38, 39].

Φυσικές ιδιότητες [38]:

Ειδικό βάρος	1,4 gr/cm ³
Πάχος	1,0 m
Περατότητα στη ηλιακή ακτινοβολία	90 %
Ανώτατη θερμοκρασία αντοχής	120 °C
Κατώτατη θερμοκρασία αντοχής	-30 °C



Σχήμα 6.4: Εφαρμογές πολυεστερικών φύλλων με ίνες γυαλιού.

6.1.4 Ακρυλικό CORIAN

Το Corian είναι αδρανές, μη τοξικό, υποαλλεργικό υλικό, το πλέον ιδανικό για χρήση σε δημοσίους χώρους ή χώρους υγείας. Το Corian αποτελείται από 75% φυσικά ορυκτά υλικά με κύρια παρουσία τον υδρίτη του αλουμινίου, που προέρχεται από τον βοξίτη και 25% ακρυλικές ρητίνες. Σε αντίθεση με άλλα υλικά τα οποία έχουν πολυεστερική σύσταση το Corian περιέχει ακρυλικές ρητίνες με αποτέλεσμα τις υψηλόν προδιαγραφών ιδιότητες του [40].

Το Corian είναι εξαιρετικά φιλικό στο περιβάλλον, αφενός μεν γιατί δεν περιέχει τοξικές ουσίες, αφετέρου γιατί ανακυκλώνεται. Η εφαρμογή του Corian περιορίζει την χρήση άλλων υλικών όπως του ξύλου και των μαρμάρων διαφυλάσσοντας τους φυσικούς πόρους του πλανήτη μας

Το Corian δεν είναι πιο ακριβό σε σχέση με το μάρμαρο ή τον γρανίτη. Εάν συγκριθούν δύο προσφορές επί ομοίων διαστάσεων σχεδιαστικών προτάσεων, διαπιστώνεται πως οι διαφορές οι οποίες προκύπτουν είναι μηδενικές ή ελάχιστες. Με γνώμονα δε τα πλεονεκτήματα τα οποία προσφέρει η επιφάνεια Corian και η ελάχιστη διαφορά τιμής το καθιστά ικανό να παραμείνει η πρώτη επιλογή του κοινού[41].

Το ακρυλικό αυτό υλικό παρουσιάζει αντοχή σε χτυπήματα, καψίματα και χρήση χημικών. Σε περίπτωση κακής χρήσης επιδιορθώνεται εύκολα ανακτώντας την αρχική του εμφάνιση. Το Corian συντηρείται με την καθημερινή καθαριότητα και με τα συνήθη καθαριστικά οικιακής χρήσης [42].

Το corian είναι ένα πολύπλευρο διακοσμητικό υλικό, που έχει πολλαπλές εφαρμογές και χρήσεις μέσα και έξω από το σπίτι. Οι προδιαγραφές του υλικού και οι επιμέρους ιδιότητές του παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 4.5.



Σχήμα 6.5: Εφαρμογές του υλικού corian σε οικοδομικές κατασκευές.

6.2 Εργαστηριακής σύνθεσης πολυμερή υλικά (PMMA-L)

6.2.1 Πολυμερισμός μεθακρυλικού μεθυλίου

Για την παρασκευή των δοκιμίων PMMA πραγματοποιήθηκε πολυμερισμός του μεθακρυλικού μεθυλίου (MMA) με ταυτόχρονη χύτευση και ενσωμάτωση UV σταθεροποιητή γνωστής συστάσεως. Αρχικά έγιναν δύο διαλύματα ένα με 10ml MMA και 0,1 gr διεγέρτη AIBN (Azobutyronitrile) και ένα με 10ml MMA, 0,02 gr διεγέρτη AIBN και 0,01gr TINUVIN-144/Ciba Geigy, αφού πραγματοποιήθηκε ανάδευση του διαλύματος σε δοκιμαστικό σωλήνα τοποθετήθηκε στο υδατόλουτρο για 30min στους 60°C, τελικά όλη η ποσότητα του διαλύματος εξατμίστηκε. Στη συνέχεια παρασκευάστηκαν δύο ίδια διαλύματα με 10ml MMA και 0,02 gr διεγέρτη AIBN (Azobutyronitrile) και τοποθετήθηκαν στο υδατόλουτρο για 30 min το ένα στους 70°C και το άλλο στους 50°C στην πρώτη περίπτωση παρατηρήθηκε φαινόμενο Trommsdorff ενώ στη δεύτερη το διάλυμα εξατμίστηκε. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάδευση 10 ml MMA και 0,04gr AIBN (Azobutyronitrile) σε δοκιμαστικό σωλήνα και τοποθέτηση μέσα σε υδατόλουτρο για 35 min στους 70 °C.

6.2.2 Παρασκευή υμενίων πολυμεθακρυλικού μεθυλίου με ή χωρίς προσθήκη UV σταθεροποιητή

Καθόλη την διάρκεια του πολυμερισμού πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του δείκτη διάθλασης κάθε 10 min, μόλις ο δείκτης διάθλασης έγινε 1,4358 το διάλυμα βγήκε από το υδατόλουτρο και χυτεύθηκε σε καλούπι από Teflon. Λόγω ύπαρξης θυλάκων αέρα μέσα στο πολυμερές μετά από την πλήρη ξήρανσή του έγινε αναδιάλυση του σε τολουόλιο σε αναλογία 20% κ.β. υπό ανάδευση και θέρμανση στους 45°C, προσθήκη UV σταθεροποιητή σε αναλογία 0,30% κ.β. και επαναχύτευση στο καλούπι από Teflon. Τελικά παρασκευάστηκαν οκτώ φιλμ PMMA, τέσσερα εκ των οποίων έχουν προσθήκη UV σταθεροποιητή.

6.3 Κωδικοποίηση εμπορικών και εργαστηριακής σύνθεσης πολυμερών υλικών

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η κωδικοποίηση των υλικών που μελετήθηκαν στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία:

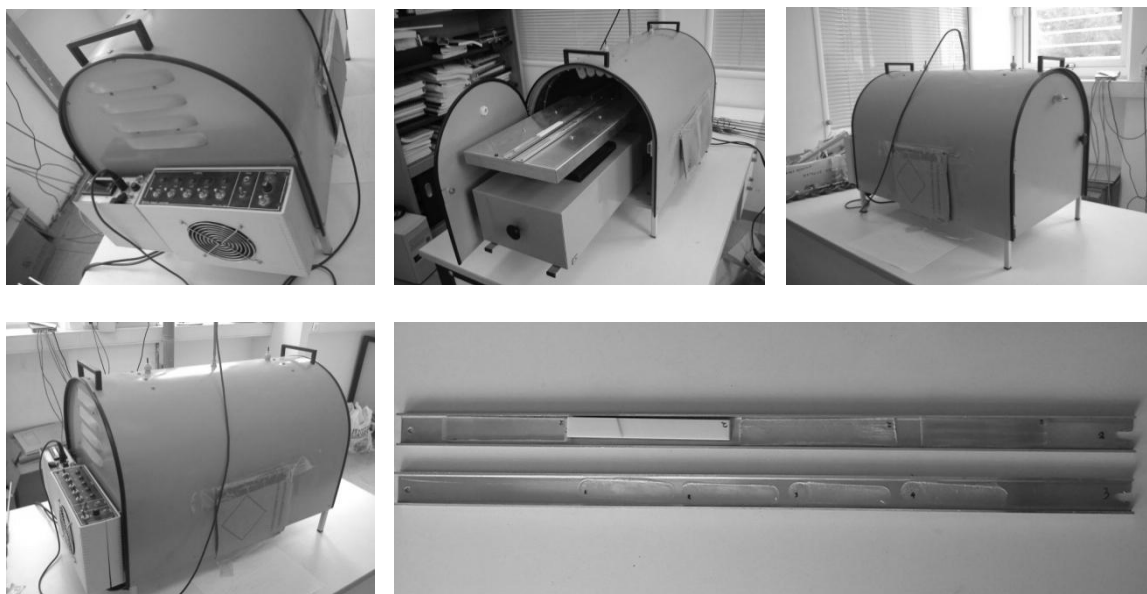
Πίνακας 6.1:Κωδικοποίηση των υλικών που μελετήθηκαν

Υλικό	Ονομασία
Εμπορικός ακόρεστος πολυεστέρας με ίνες γυαλιού με σταθεροποιητή UV	UP-FG-C
Εμπορικό πολυκαρβονικό με σταθεροποιητή UV	PC-C
Εμπορικό πλέξιγκλας με σταθεροποιητή UV	PMMA-C
Εμπορικό ακρυλικό με βωξίτη	CORIAN-C
Εργαστηριακό πολυ(μεθακρυλικό μεθύλιο)	PMMA-L
Εργαστηριακό πολυ(μεθακρυλικό μεθύλιο) με σταθεροποιητή UV	PMMA-S-L

7 UV ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΗΣΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

7.1 Πρότυπος θάλαμος έκθεσης υλικών σε ακτινοβολία UV

Για την προσομοίωση της έκθεσης των υλικών σε UV ακτινοβολία χρησιμοποιήθηκε ειδικός πρότυπος θάλαμος, ιδιοκατασκευή του εργαστηρίου επιστήμης και τεχνικής των υλικών. Οι λάμπες που χρησιμοποιήθηκαν παράγουν UV ακτινοβολία μήκους κύματος 302 nm (β υπεριώδη ακτινοβολία), οπότε σύμφωνα με τον πίνακα, η ακτινοβολία που εκπέμπουν έχει ενέργεια που μπορεί να προκαλέσει διάσπαση δεσμών O-H, C-H, C-C.



Σχήμα 6.5: Πρότυπος θάλαμος έκθεσης υλικών σε ακτινοβολία UV

7.2 Πειραματική διαδικασία ακτινοβόλησης

Τα υλικά ακτινοβολήθηκαν στην παραπάνω διάταξη με επαναλαμβανόμενη διαδικασία, όπου κάθε φορά ο χρόνος έκθεσης κυμαίνονταν από 2 έως τέσσερις ώρες και υπολογίστηκε αθροιστικά. Πριν από κάθε ακτινοβόληση των υλικών πραγματοποιήθηκε μέτρηση της έντασης της ακτινοβολίας με ειδικό μηχάνημα σε τρεις θέσεις μέσα στο θάλαμο (άκρη - μέση - άκρη) και η μέση ένταση ακτινοβόλησης που εφαρμόστηκε ήταν αντίστοιχα 8,5 -11,5 -5,5 mW/cm². Παρακάτω λαμβάνεται σαν τιμή έντασης ο μέσος όρος στη μεσαία θέση όπου παρουσιάζονται οι μέγιστες τιμές δηλ. 11,5 mW/cm². Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε σε κάθε ακτινοβόληση μέτρηση της θερμοκρασίας όπου κυμαίνονταν σε διαφορετικά επίπεδα ανάλογα με την θερμοκρασία του δωματίου που ήταν πάντα σε άμεση επαφή με την θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος και επηρέαζε σημαντικά την αντίστοιχη θερμοκρασία εντός του θαλάμου της διάταξης. Μετά από καταγραφή της κάθε θερμοκρασίας η μέση θερμοκρασία που παρατηρήθηκε μέσα στο θάλαμο ήταν 32,535°C. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι τρεις εκ των πέντε λαμπτήρων UV λόγω αυξημένου κινδύνου υπερθέρμανσης της διάταξης αφού στην περίπτωση ταυτόχρονης χρήσης και των πέντε λαμπτήρων η θερμοκρασία ξεπερνούσε τους 55°C. Τα δοκίμια μετά την μέτρηση της έντασης και της θερμοκρασίας τοποθετούνταν στην σειρά σε ειδική ράγα μέσα στο θάλαμο (σχήμα 6.5) και σε κάθε

ακτινοβολήση η σειρά των δοκιμών μεταβάλλονταν, μπαίνοντας πάντα το τελευταίο από δεξιά πρώτο ώστε όλα τα δοκίμια να υποβληθούν τελικά στην ίδια ένταση ακτινοβολίας καθώς αυτή μεταβάλλεται από την άκρη προς το κέντρο του θαλάμου, όπου παρατηρείται η μέγιστη ένταση. Χαρακτηριστικοί σταθμοί μετρήσεων ήταν οι 18, οι 36 και οι 48 ώρες.

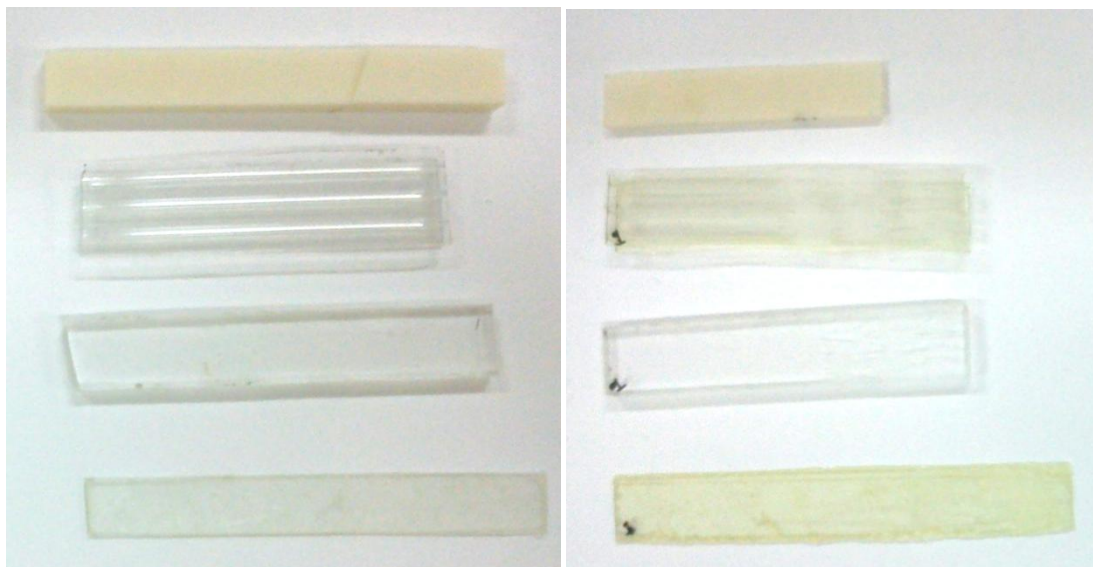
Τα δοκίμια των πολυμερών υλικών που ακτινοβολήθηκαν με UV ακτινοβολία είναι:

A. Εμπορικά δοκίμια:

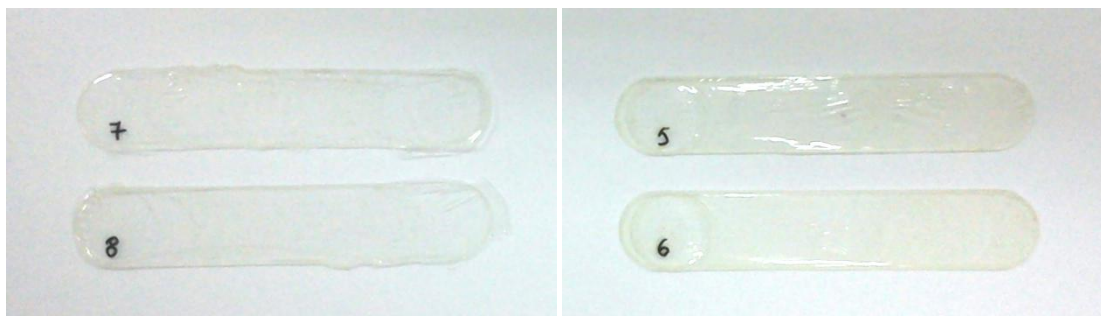
1. Πολυεστέρας με ίνες γυαλιού μήκους 10,160cm, πλάτους 1,575cm και πάχους 0,095 cm.
2. Πολυκαρβονικό μήκους 7,885cm, πλάτους 1,550cm και πάχους 0,590cm.
3. Plexiglass μήκους 7,990cm, πλάτους 1,580cm και πάχους 0,495 cm.
4. Corian μήκους 9,980cm, πλάτους 0,790cm και πάχους 1,215 cm.

B. Εργαστηριακά υμένια (φίλμ):

1. Υμένια πολυ(μεθακρυλικού μεθυλίου) (PMMA) μήκους 6,50cm, πλάτους 0,960cm και πάχους 1,012 cm.
2. Υμένια πολυ(μεθακρυλικού μεθυλίου) (PMMA)+TINUVIN-144/Ciba Geigy μήκους 6,50cm, πλάτους 0,960cm και πάχους 1,012 cm.



Εικόνα 6.1 , 6.2: Υλικά που ακτινοβολήθηκαν από πάνω προς τα κάτω: 1. Corian, 2. Πολυκαρβονικό, 3. Πλέξιγκλας, 4. Πολυεστέρας με ίνες γυαλιού. Αριστερά είναι πριν την ακτινοβολήση και δεξιά είναι μετά από 48h.



Εικόνες 6.3 , 6.4: Υμένια πολυ(μεθακρυλικού μεθυλίου) αριστερά πριν και δεξιά μετά την ακτινοβολήση (5,7: Υμένια πολυ(μεθακρυλικού μεθυλίου), 6,8: Υμένια πολυ(μεθακρυλικού μεθυλίου) + σταθεροποιητής υπεριώδους ακτινοβολίας)

8 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑ ΥΠΕΡΥΘΡΟΥ (FTIR)

8.1 Αρχή της μεθόδου FTIR

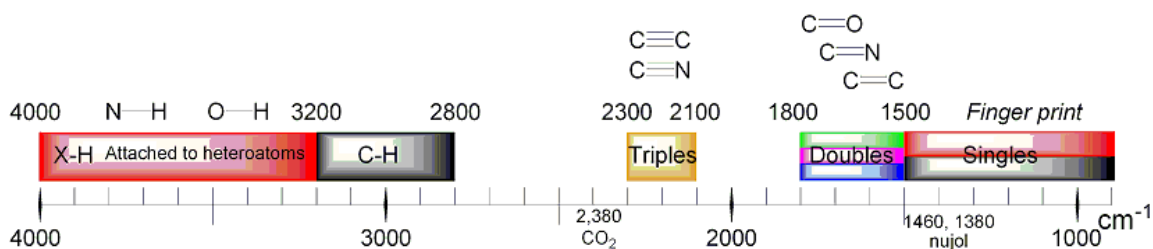
Η φασματοσκοπία υπέρυθρου (IR), ανήκει στις οπτικές μεθόδους ανάλυσης και είναι μία από τις καλύτερες τεχνικές για τη διερεύνηση της μοριακής δομής και ταυτοποίησης οργανικών (κυρίως), αλλά και ανόργανων ενώσεων, με ευρεία εφαρμογή στην Οργανική και Φαρμακευτική Χημεία, στη Φαρμακογνωσία και στην ανάλυση φαρμάκων, πετρελαιοειδών, πολυμερών, κλπ. Επίσης, χρησιμοποιείται περιορισμένα και για ποσοτικές αναλύσεις, καθώς το μέγεθος των κορυφών απορρόφησης εξαρτάται από την ποσότητα της ένωσης στο δείγμα που εξετάζεται.

Το υπέρυθρο φάσμα ενός υλικού, αποτελεί την ταυτότητά του, καθώς οι κορυφές απορρόφησης αντιστοιχούν στις συχνότητες μοριακών δονήσεων του υλικού.

Η υπέρυθρη περιοχή του φάσματος βρίσκεται μεταξύ της ορατής περιοχής και της περιοχής των μικροκυμάτων και καλύπτει το φάσμα από $13300-10\text{cm}^{-1}$. Διακρίνεται σε τρεις περιοχές:

- Το εγγύς υπέρυθρο ($13300-4000\text{cm}^{-1}$)
- Το μέσο υπέρυθρο ($4000-400\text{cm}^{-1}$)
- Το άπω υπέρυθρο ($400-10\text{cm}^{-1}$)

Συνήθως χρησιμοποιείται το μέσο υπέρυθρο, καθώς τα άτομα δονούνται με συχνότητες στην περιοχή αυτή. Το μέσο υπέρυθρο, υποδιαιρείται σε δύο περιοχές, την περιοχή των χαρακτηριστικών ομάδων ($4000-1250\text{cm}^{-1}$) και την περιοχή των αποτυπωμάτων ($1250-400\text{cm}^{-1}$). Η πρώτη περιοχή χαρακτηρίζει ειδικές δραστικές ομάδες και είναι σχετικά ανεξάρτητη της σύστασης του υπόλοιπου μορίου, ενώ η δεύτερη χαρακτηρίζει το μόριο ως σύνολο.



Σχήμα 7.1: Αντιστοιχία κυματαριθμών με στοιχεία και δεσμούς

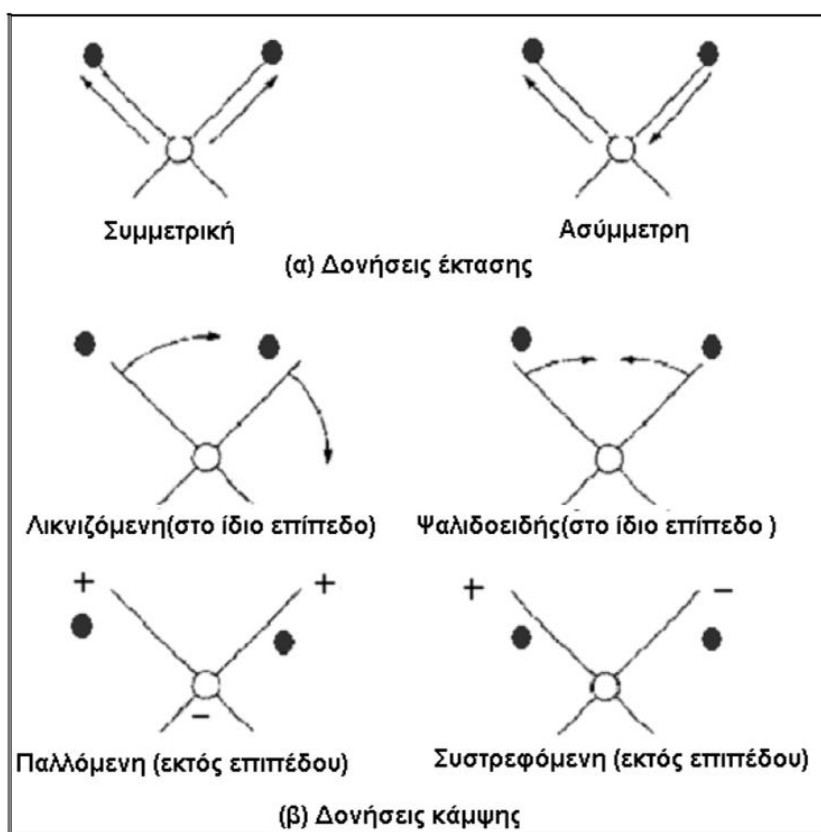
Η ευρεία χρήση της φασματοσκοπίας υπέρυθρου με μετασχηματισμό Fourier, βασίζεται στο γεγονός ότι σχεδόν όλα τα μόρια απορροφούν το υπέρυθρο φάσμα, εκτός από τα μονοατομικά και τα ομοιοπολικά διατομικά μόρια όπως H_2 , N_2 , O_2 . Τα μόρια, απορροφούν την υπέρυθρη ακτινοβολία μόνο όταν δονούνται κατά τέτοιον τρόπο, ώστε η διπολική ροπή τους να μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της δονήσεως. Τα μόρια με διπολική ροπή, επιτρέπουν στα φωτόνια να αλληλεπιδράσουν με αυτά, προκαλώντας τη διέγερση τους σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες δόνησης ή περιστροφής. Όσο μεγαλύτερη είναι η μεταβολή της διπολικής ροπής, τόσο ισχυρότερη είναι και η απορρόφηση. Τα ομοιοπολικά διατομικά και τα μονοατομικά μόρια δεν παρουσιάζουν διπολική ροπή καθώς στα μεν πρώτα τα ηλεκτρονιακά τροχιακά τους είναι ίσα, ενώ τα δεύτερα έχουν μόνο ένα άτομο.

Στα πολυατομικά μόρια υπάρχουν διάφοροι τρόποι δόνησης των ατόμων οι οποίοι αναφέρονται στη συνέχεια:

- Δονήσεις τάσης (stretching vibrations): είναι αυτές κατά τις οποίες δύο συνδεδεμένα άτομα πάλλονται συνέχεια, μεταβάλλοντας τη μεταξύ τους απόσταση χωρίς όμως να αλλάξουν τον άξονα ή τις γωνίες δεσμού. Υπάρχουν είτε

μεμονωμένες δονήσεις, π.χ. ο δεσμός O-H, είτε συζευγμένες, π.χ. μεθυλένιο, οι οποίες διακρίνονται σε συμμετρικές και ασύμμετρες. Οι δονήσεις τάσης απαιτούν μεγαλύτερες ενέργειες από τις δονήσεις κάμψης.

- Δονήσεις κάμψης (bending vibrations): χαρακτηρίζονται από μία συνεχή μεταβολή της γωνίας μεταξύ δύο δεσμών.
- Δονήσεις σείσης (wagging vibrations): παράγονται όταν μία μη γραμμική μονάδα τριών ατόμων πάλλεται εντός του επιπέδου ισορροπίας που σχηματίζεται από τα άτομα και τους δύο δεσμούς.
- Δονήσεις αιώρησης (rocking vibrations): συμβαίνουν όταν η ίδια δομική μονάδα πάλλεται εκτός του επιπέδου ισορροπίας.
- Δονήσεις συστροφής (twisting vibrations): συμβαίνουν όταν η ίδια δομική μονάδα περιστρέφεται γύρω από το δεσμό που τη συνδέει με το υπόλοιπο τμήμα του μορίου.
- Δονήσεις ψαλιδιού ή παραμόρφωσης (scissoring or deformation vibrations): παράγονται όταν δύο μη συνδεόμενα άτομα κινούνται μπρος πίσω και προς τη μεταξύ τους διεύθυνση.



Σχήμα 7.2: Είδη μοριακών δονήσεων. Το (+) υποδηλώνει κίνηση από την σελίδα προς τον αναγνώστη και το (-) από τον αναγνώστη στην σελίδα

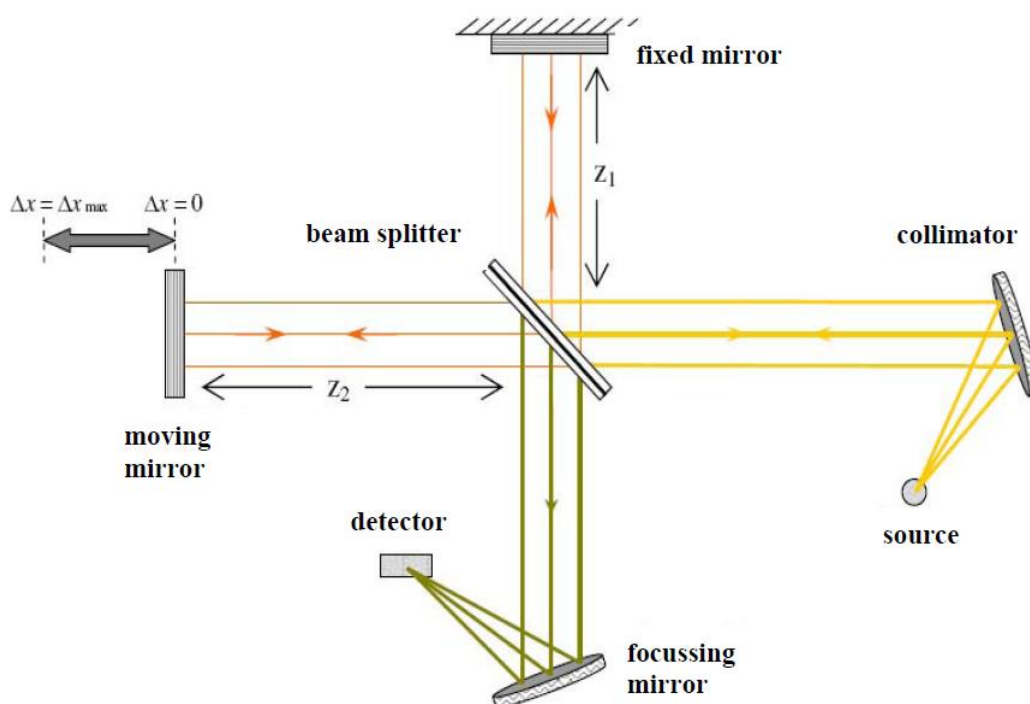
Αν περάσουν από ένα δείγμα διαφορετικές συχνότητες υπέρυθρης ακτινοβολίας, θα εμφανιστούν στο IR φάσμα μια σειρά από ζώνες απορρόφησης που αντιστοιχούν στους παραπάνω τρόπους δόνησης και θα προκύψουν πληροφορίες για τη φύση των ατόμων στο μόριο, τη διάταξή τους στο χώρο και τις χημικές δυνάμεις που τα συνδέουν.

8.2 Οργανολογία της συσκευής FTIR

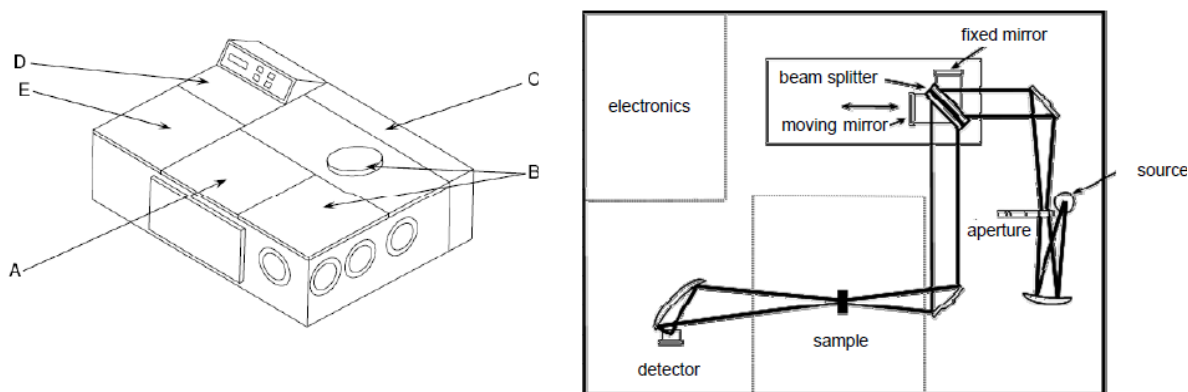
Τα φασματόμετρα FTIR εμφανίστηκαν για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1970. Είναι φασματόμετρα απλής δέσμης που χρησιμοποιούν ως μονοχρωμάτορα ένα συμβολόμετρο τύπου Michelson, που τοποθετείται μεταξύ της πηγής και του δείγματος και περιλαμβάνει μία πηγή, έναν ανιχνευτή, ένα διαχωριστή ακτινοβολίας, δύο καθρέφτες και λογισμικό.

Στο φασματόμετρο FTIR, η ακτινοβολία από την πηγή συγκεντρώνεται σε μία δέσμη με τη βοήθεια ενός κοίλου κατόπτρου και προσπίπτει σε ένα διαχωριστή δέσμης που αποτελείται από ένα φιλμ γερμανίου σε υπόστρωμα KBr, διαπερατό στο κυρίως IR. Λόγω της ημιδιαπερατότητας του δημιουργούνται δύο δέσμες, από τις οποίες η μία προσκρούει (ανακλάται) σε ένα σταθερό κάτοπτρο και η άλλη ανακλάται σε ένα κινητό κάτοπτρο, του οποίου μεταβάλλεται η απόσταση κατά λίγα mm από το διαχωριστή δέσμης. Με τη βοήθεια ενός Laser HeNe, μετρίεται επακριβώς η θέση του κινούμενου κατόπτρου. Η κάθε μία από τις προαναφερθείσες δέσμες όταν επιστρέψει στο διαχωριστή διαχωρίζεται εκ νέου σε δύο μέρη (ένα που τον διαπερνά και ένα που ανακλάται), τα οποία έχουν το ένα τέταρτο της ισχύος της εκτεμπόμενης από την πηγή δέσμης. Κατόπιν, η δέσμη, που προέρχεται από το σταθερό κάτοπτρο και διαπερνά τον διαχωριστή και η δέσμη, που προέρχεται από το κινούμενο κάτοπτρο και ανακλάται στο διαχωριστή ενώνονται, διασχίζουν το δείγμα και προσκρούουν ως σύνολο στον ανιχνευτή. Ο ανιχνευτής μετατρέπει το σήμα της ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό σήμα. Μέσω του μετασχηματισμού Fourier τα σήματα αναλύονται έτσι ώστε να παρουσιασθούν με τη μορφή φάσματος.

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα βασικά όργανα του φασματόμετρου FTIR.



Σχήμα 8.3: Αρχή λειτουργίας του ιντερφερόμετρου Michelson



Σχήμα 8.4: Αριστερά: Εξωτερική άποψη του FTIR σπεκτρομέτρου Bruker IFS 66v/S (Α) Θάλαμος δείγματος, (Β) Θάλαμος ιντερφερόμετρου, (Γ) Μονάδα Laser, (Δ) Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου, (Ε) Θάλαμος ανίχνευσης, Δεξιά: Σχηματική εσωτερική άποψη.

Τα πλεονεκτήματα του φασματομέτρου FTIR είναι τα παρακάτω:

- Ταχύτητα: όλες οι συχνότητες μετριοούνται ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα να χρειάζονται για την καταγραφή του φάσματος λίγα δευτερόλεπτα.
- Ευαισθησία: οι ανιχνευτές είναι πιο ευαίσθητοι, τα επίπεδα θορύβου μικρότερα και οι ταχείες σαρώσεις επιτρέπουν την προσθήκη και τη σύγκριση πολλαπλών σαρώσεων για μείωση του σφάλματος τυχαίου θορύβου.
- Μηχανική απλούστευση: Το κινούμενο κάτοπτρο του συμβολόμετρου είναι το μόνο κινητό εξάρτημα του οργάνου, έτσι ώστε να υπάρχει μικρή δυνατότητα μηχανικών βλαβών.
- Εσωτερική βαθμονόμηση: Το φασματομέτρο FTIR χρησιμοποιεί ένα laser HeNe ως εσωτερικό πρότυπο βαθμονόμησης του μήκους κύματος.
- Η γρήγορη ποιοτική ανάλυση διαφόρων πολύπλοκων στερεών, υγρών ή αέριων μιγμάτων
- Η απαίτηση μικρής ποσότητας δείγματος
- Το χαμηλό όριο ανίχνευσης, της τάξης των 10ppb
- Η μελέτη υδατικών διαλυμάτων στην περιοχή μεταξύ 950 και 1550cm⁻¹
- Η μελέτη υπέρυθρων φασμάτων μονών κρυστάλλων
- Η δονητική ανάλυση κλπ.

8.3 Πειραματική διαδικασία

Αρχικά, λαμβάνεται ορισμένη ποσότητα βρωμιούχου καλίου (KBr), η οποία κονιοποιείται σε γουδί από αχάτη και ξηραίνεται για αρκετές ώρες στους 110°C. Η ξήρανση είναι απαραίτητη, διότι ποσότητα υγρασίας που μπορεί να έχει παραμείνει, δημιουργεί πρόβλημα στη λήψη των φασμάτων. Συγκεκριμένα, στο φάσμα εμφανίζονται κορυφές μεγάλου εύρους για την ομάδα του υδροξυλίου-OH, οι οποίες υπερκαλύπτουν ενδεχόμενες χαρακτηριστικές ζώνες που εμφανίζονται στη ίδια περιοχή του φάσματος.

Στη συνέχεια, το υλικό που εξετάζεται αναμιγνύεται με ορισμένη ποσότητα βρωμιούχου καλίου. Το μίγμα αυτό, μορφοποιείται σε ταμπλέτα, με τη βοήθεια ειδικής μήτρας, πρέσας και αντλίας κενού, όπου συμπιέζεται υπό πίεση 10-11 atm και επί χρονικό διάστημα 1-1.5 min.

Οι ταμπλέτες που παρασκευάζονται, τοποθετούνται σε ξηραντήρα εξαιτίας της υγροσκοπικότητας του KBr, μέχρι να οδηγηθούν στο φασματόμετρο υπερύθρου, όπου λαμβάνονται τα φασματά τους. Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε είναι Φασματόμετρο Υπερύθρου Perkin Elmer Spectrum GX.

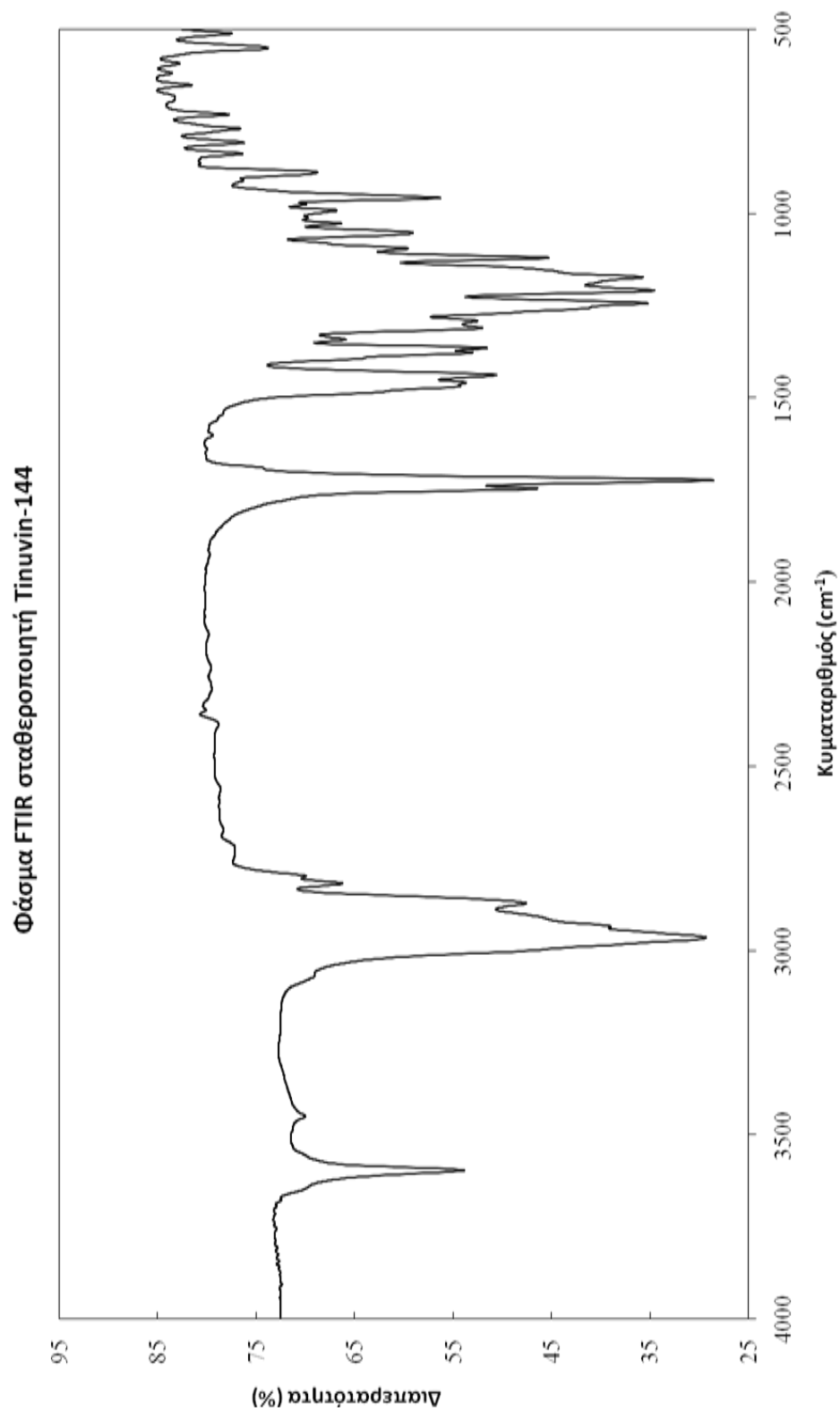
8.3.1 Παρασκευή δισκίων FTIR

Στη συγκεκριμένη εργασία, παρασκευάστηκαν δισκία από KBr με εμπορικό πολυεστέρα με ίνες γυαλιού, με εμπορικό πολυκαρβονικό, με εμπορικό πλέξιγκλας, με corian και με εργαστηριακό φιλμ από PMMA με προσθήκη UV σταθεροποιητή και χωρίς. Παρασκευάστηκε μία ταμπλέτα για κάθε δοκίμιο πριν την UV ακτινοβολία και μετά παρασκευάστηκαν μία ταμπλέτα για κάθε δοκίμιο μετά από 18, 36 και 48 ώρες UV ακτινοβολίας. Συνολικά παρασκευάστηκαν 18 ταμπλέτες.

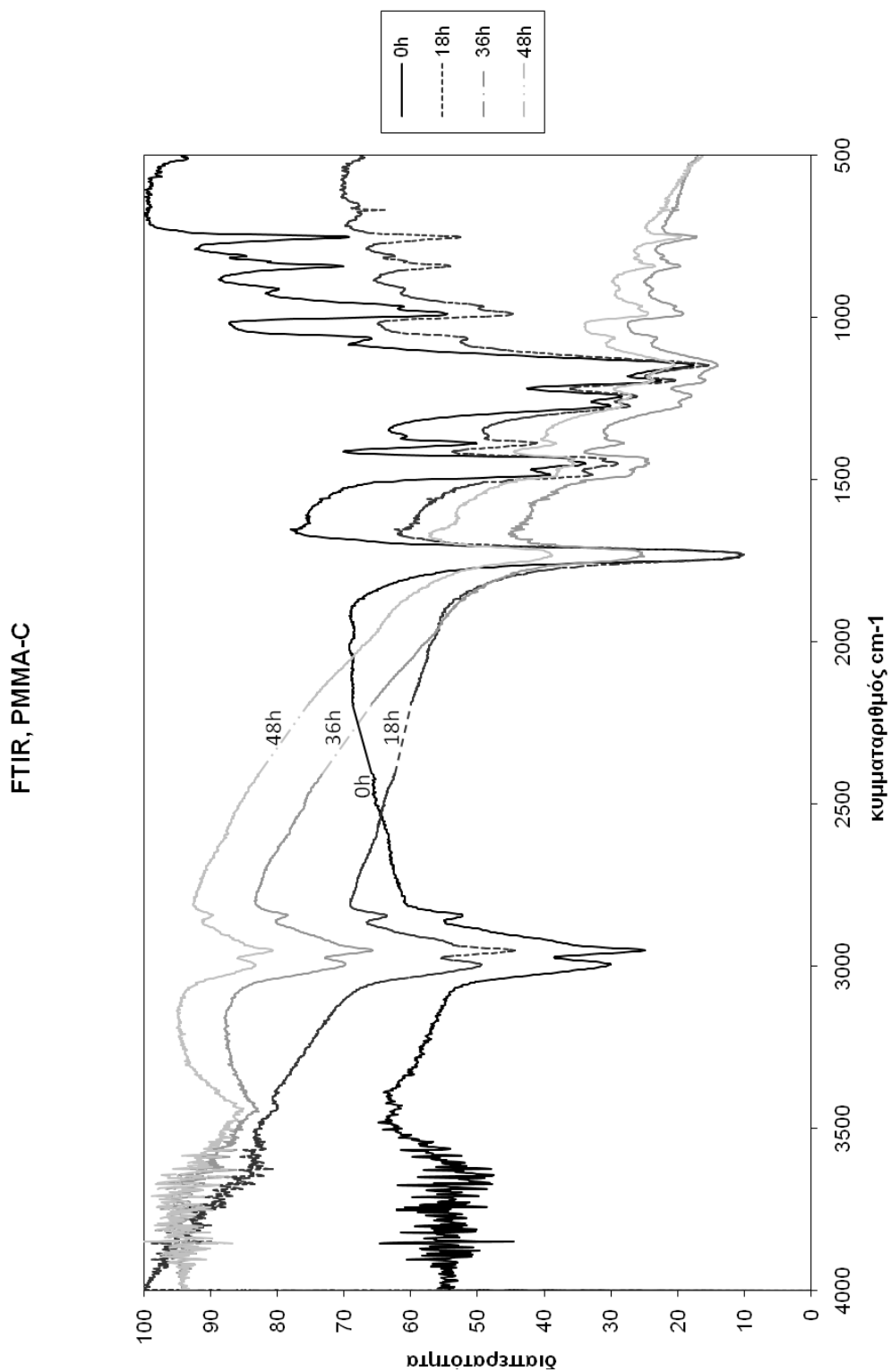
Πολύ μικρή ποσότητα του εκάστοτε δοκιμίου, τεμαχισμένη σε μικρά κομμάτια, αναμιγνύεται με ποσότητα βρωμιούχου καλίου (περίπου 100-200 mg). Η ποσότητα του δείγματος, που χρησιμοποιείται σε ταμπλέτα, όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, και η ταμπλέτα που λαμβάνεται έχει διάμετρο 13mm και πάχος 1mm περίπου.

8.3.2 Αποτελέσματα FTIR

Παρακάτω βλέπουμε τα συγκριτικά φάσματα απορρόφησης (FTIR) όλων των δοκιμίων του πολυεστέρα με ίνες γυαλιού, του πολυκαρβονικού, πολυ(μεθακρυλικού μεθύλιου) (PMMA) με και χωρίς σταθεροποιητή UV και του corian, που ακτινοβολήθηκαν με UV ακτινοβολία, στις 0h, 18h, 36h και 48h αντίστοιχα καθώς και τα φάσματα σύγκρισης του εμπορικού πλέξιγκλας και του εργαστηριακού υμενίου PMMA χωρίς την επίδραση της UV ακτινοβολίας. Αναλυτικά τα επιμέρους φάσματα των υλικών παρουσιάζονται στο παράρτημα.



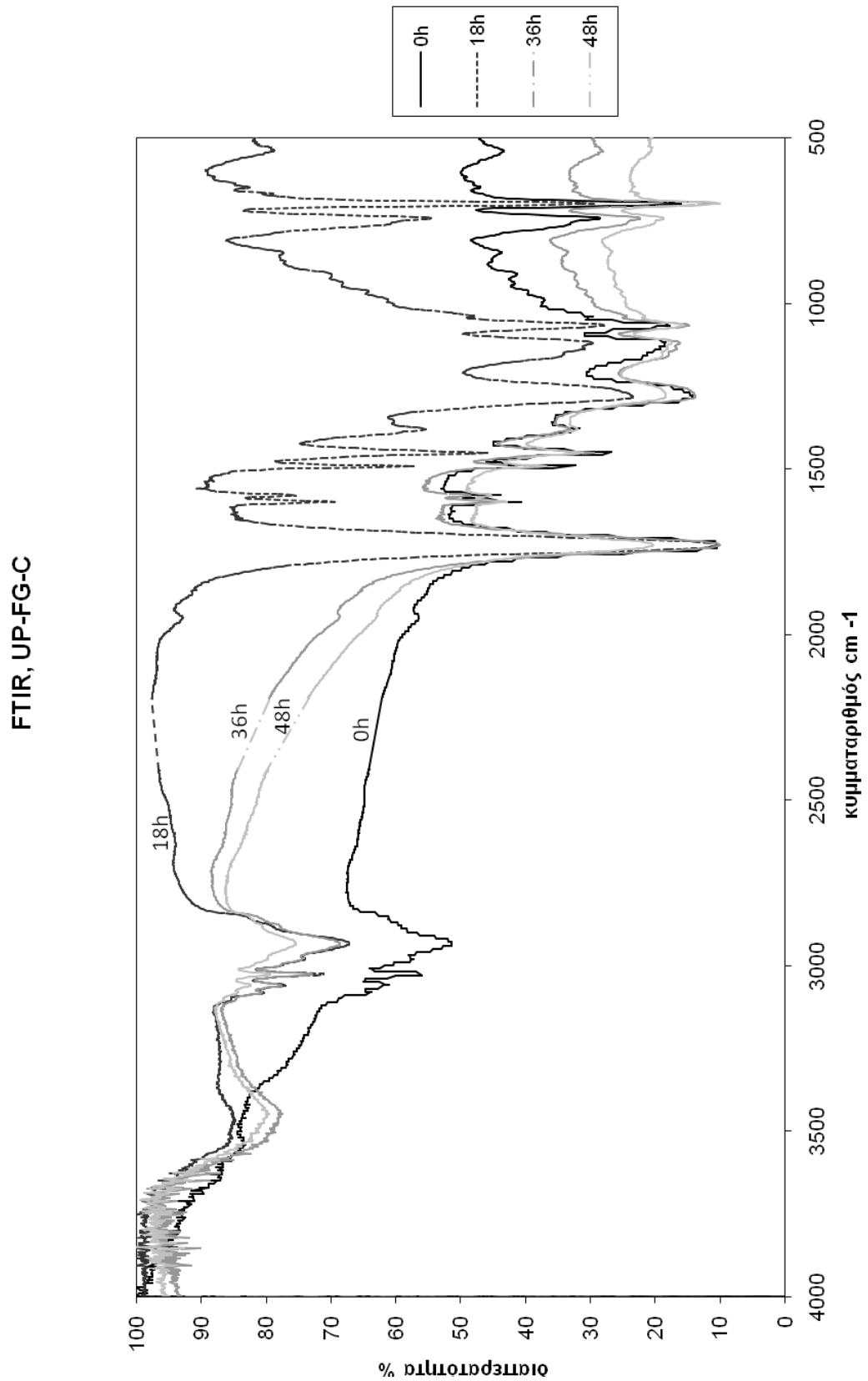
Σχήμα 8.5: Φάσμα FTIR, σταθεροποιητή UV TINUVIN144 [28].



Σχήμα 8.6: Φάσματα FTIR για το εμπορικό πλέξιγκλας, μετά από 0, 18,36 και 48h UV, ακτινοβολήση.

Πίνακας 8-1 . Παρατηρούμενοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το πλέξιγκλας (PMMA-C)

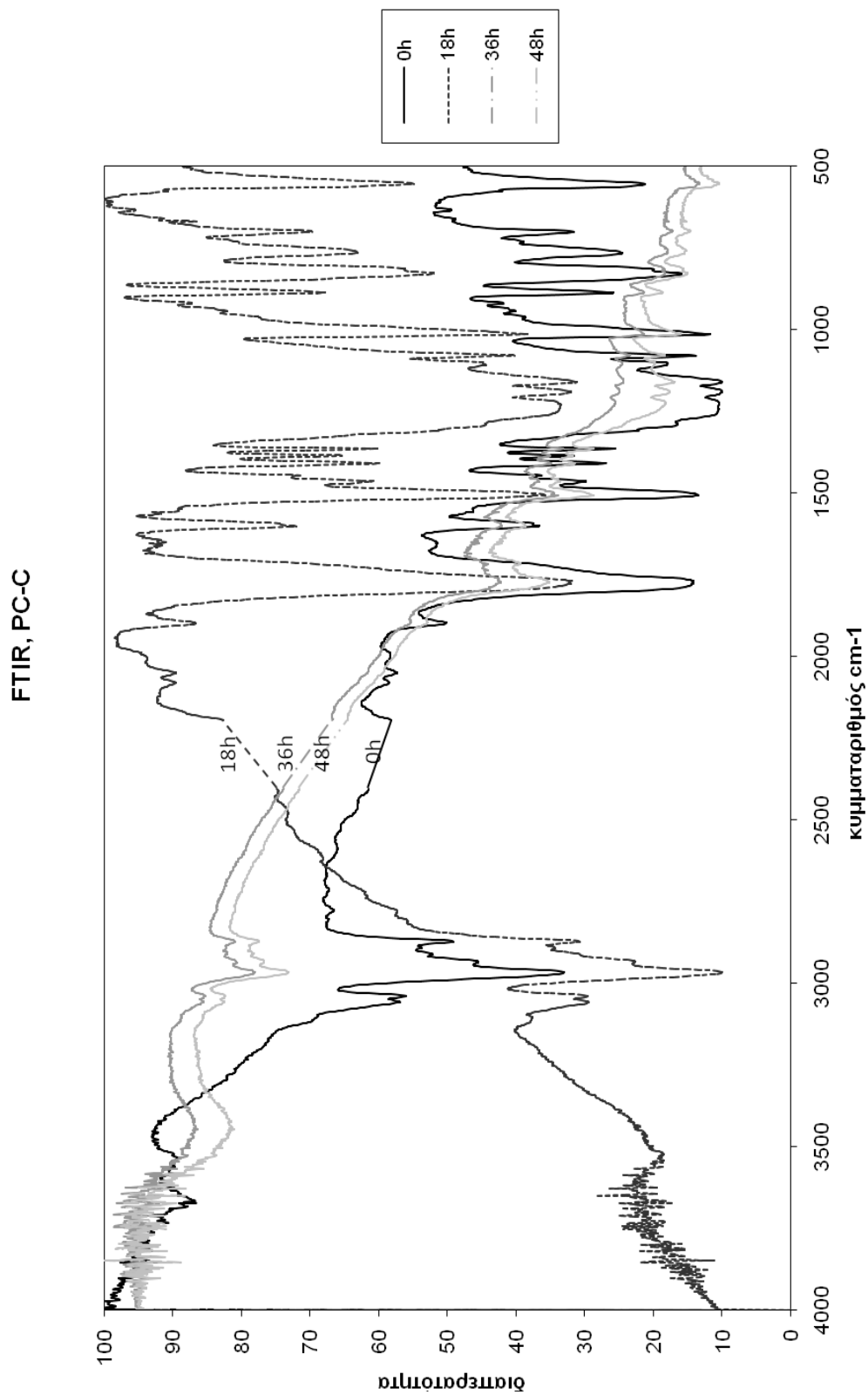
Χαρακτηριστική ομάδα και κυματαριθμός απορρόφησης (cm^{-1}) από την βιβλιογραφία [23]		Κυματαριθμός απορρόφησης (cm^{-1})
<u>PMMA-C</u>		
1	Δονήσεις εφελκυσμού μεθυλεστέρα (2.995, 2.948, 3.024)	3000 m/sh
2	>CH ₂ , δονήσεις τάσης, αλειφατικά τμήματα (2980-2950)	2954 s/sh
	>CH ₂ , δονήσεις τάσης, κυκλικά και γραμμικά τμήματα (2890-2850)	2850 w/sh
4	(>C=O) δονήσεις τάσης (1733)	1739 s/sh
5	C=C δονήσεις τάσης στον αρωματικό δακτύλιο (1600,1580,1500)	1639 w/br
6	C-C δονήσεις τάσης του αρωματικού δακτυλίου (1480-1400)	1459 w/br
7	CH ₃ συμμετρική δόνηση κάμψης (1390-1370)	1392 m/sh
8	C _{sp3} -O (εστέρας) (1330-1200)	1249 w/br
9	C _{sp3} -O (αλκοόλη) (1200-1100)	1201, 1155 w/br
10	C-H δονήσεις 'in plane' (1080-1036)	1076 w/br
11	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο (876)	844 s/sh
12	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 3 ή 4 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο (750)	754 s/sh
13	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο (666) (700)	670 w/sh
* Επεξήγηση χαρακτηρισμών έντασης κορυφής w=weak/ασθενής, m=medium/μέτρια, s=strong/δυνατή, sh=sharp/οξεία, br=broad/ευρεία		



Σχήμα 8.7: Φάσματα FTIR για τον εμπορικό πολυεστέρα με ίνες γυαλιού, μετά από 0, 18,36 και 48h UV, ακτινοβολήση.

Πίνακας 8-2 . Παρατηρούμενοι κυματαριθμοί απορρόφησης για τον πολυεστέρα (UP-FG-C)

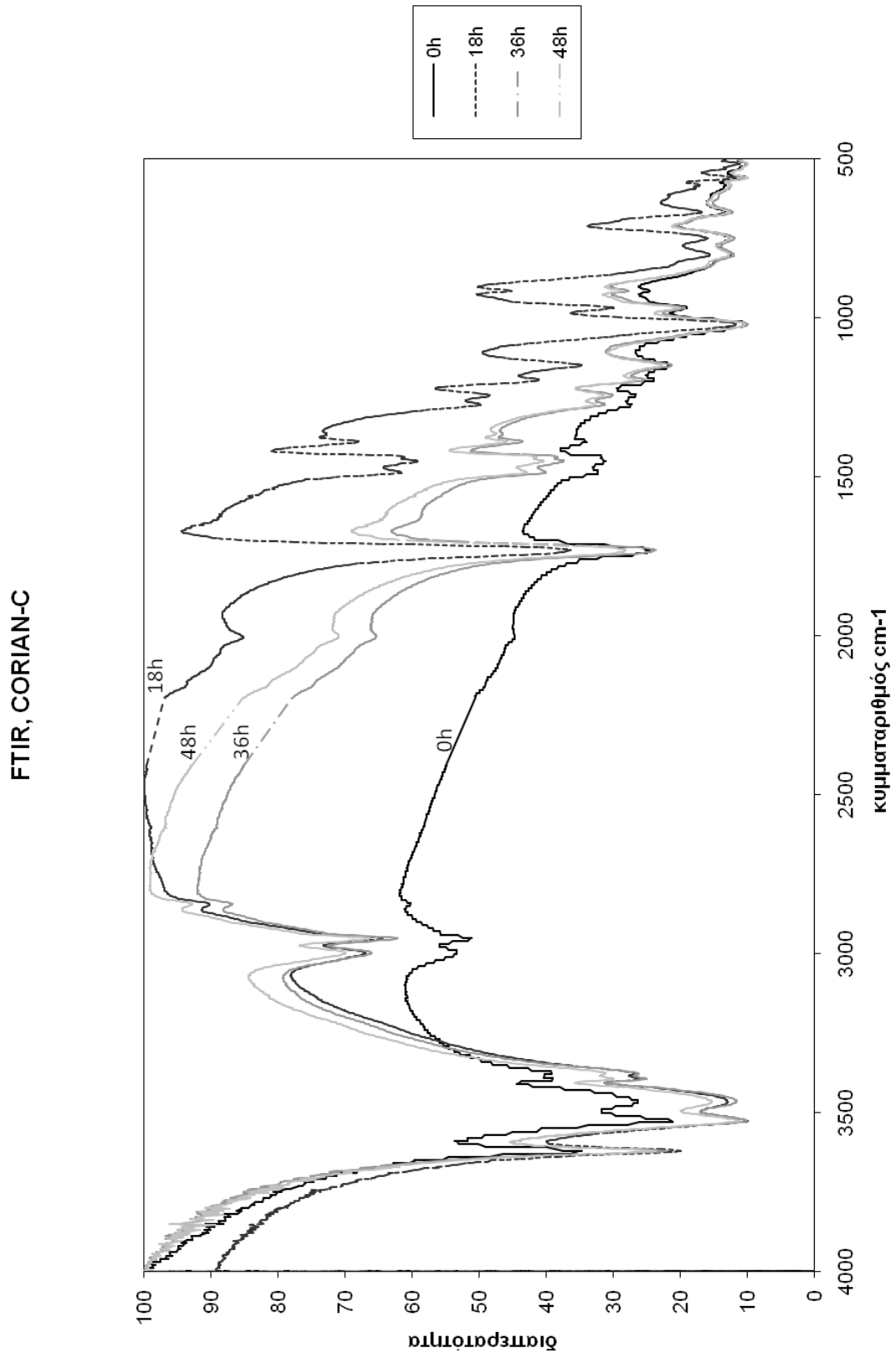
Χαρακτηριστική ομάδα και κυματαριθμός απορρόφησης (cm^{-1}) από την βιβλιογραφία[23]		Κυματαριθμός απορρόφησης (cm^{-1})
<u>UP-FG-C</u>		
1	-OH δονήσεις τάσης(3600-3200)	3466 w/br
2	>CH ₂ , δονήσεις τάσης, αλειφατικά τμήματα (2980-2950)	2943 m/sh
	>CH ₂ , δονήσεις τάσης, κυκλικά και γραμμικά τμήματα (2890-2850)	-
4	(>C=O) δονήσεις τάσης (1736-1726)	1735 s/sh
5	C=C δονήσεις τάσης στον αρωματικό δακτύλιο (1600,1580,1500)	1602,1597,1496 s
6	C-C δονήσεις τάσης του αρωματικού δακτυλίου (1480-1400)	1456 s/sh
7	CH ₃ συμμετρική δόνηση κάμψης (1390-1370)	1386 w/sh
8	C _{sp3} -O (εστέρας) (1330-1200)	1290 s/sh
9	C _{sp3} -O (αλκοόλη) (1200-1100)	1132 s/sh
10	C-H δονήσεις 'in plane' (1080-1036)	1070 s/sh
11	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο (876)	859 w
12	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 3 ή 4 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο (750)	747 m/sh
13	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο (666) (700)	704 s/sh
* Επεξήγηση χαρακτηρισμών έντασης κορυφής w=weak/ασθενής, m=medium/μέτρια, s=strong/δυνατή, sh=sharp/οξεία, br=broad/ευρεία		



Σχήμα 8.8: Φάσματα FTIR για το εμπορικό πολυκαρβονικό, μετά από 0, 18, 36 και 48h UV, ακτινοβολήση.

Πίνακας 8-3. Παρατηρούμενοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το Πολυκαρβονικό (PC)

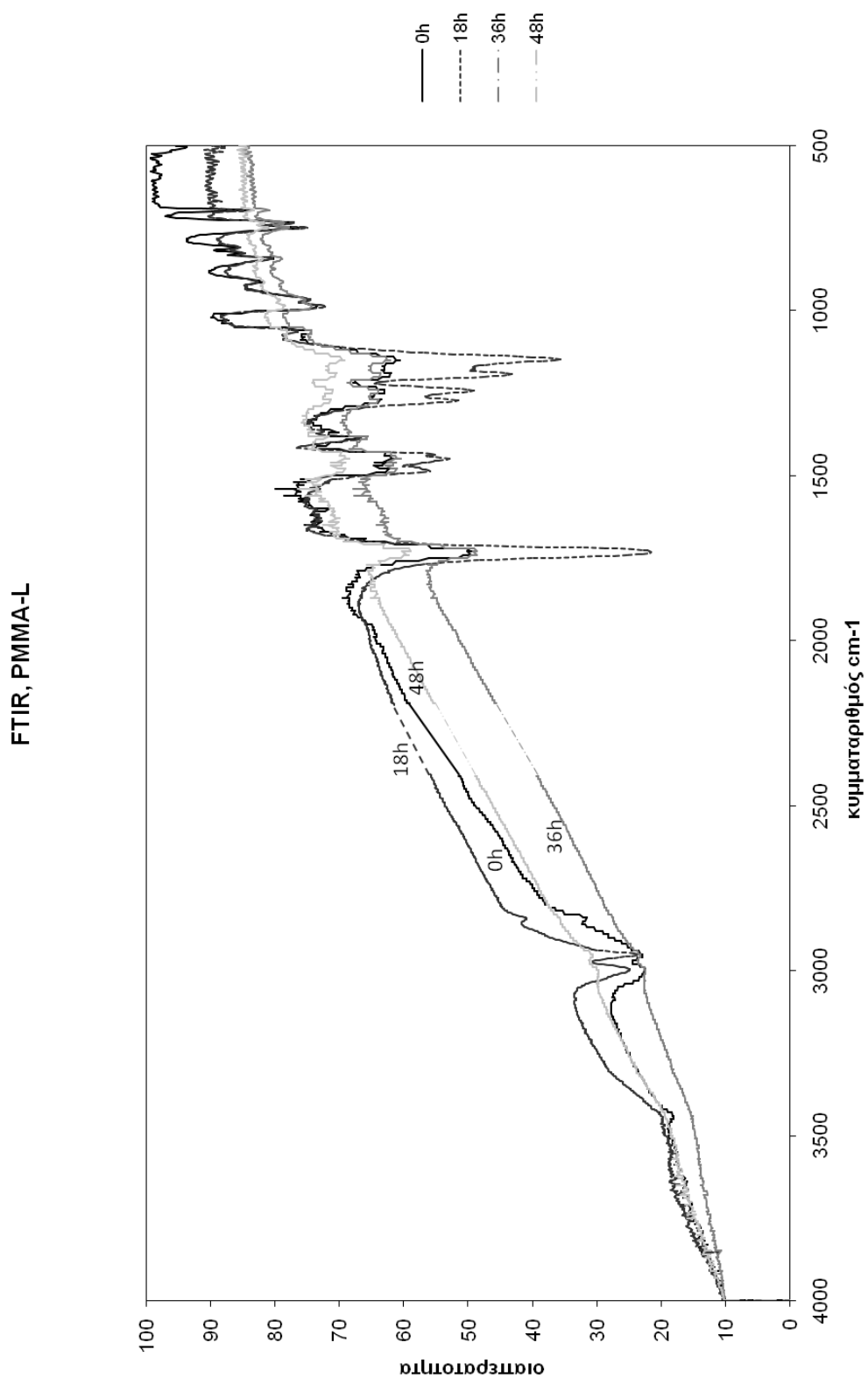
Χαρακτηριστική ομάδα και κυματαριθμός απορρόφησης (cm^{-1}) από την βιβλιογραφία [23]		Κυματαριθμός απορρόφησης (cm^{-1})
<u>PC</u>		
1	-OH δονήσεις τάσης(3600-3200)	3122 w/br
2	>CH ₂ , δονήσεις τάσης, αλειφατικά τμήματα	(2980-2950) 2971 s/sh
	>CH ₂ , δονήσεις τάσης, κυκλικά και γραμμικά τμήματα	(2890-2850) 2875 w/sh
4	(>C=O) δονήσεις τάσης (1736-1726)	1781 s/sh
5	C=C δονήσεις τάσης στον αρωματικό δακτύλιο (1600,1580,1500)	1606,1564,1550 m,w,w/sh
6	C-C δονήσεις τάσης του αρωματικού δακτυλίου (1405)	1473 w/sh
7	CH ₃ συμμετρική δόνηση κάμψης (1362)	1390 w/sh
8	C-O δονήσεις τάσης (1230)	1247 m/br
9	C-O δονήσεις τάσης (1160 – 1193)	1195 m/sh
10	(CH ₃) ₂ δονήσεις τάσης (1080)	1080 m/sh
11	C-H δονήσεις κάμψης 'in plane' CH (1015)	1016 s/sh
12	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' αρωματικού δακτυλίου CH δύο γειτονικών Hs (830)	830 w
13	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 3 ή 4 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο (750)	770 m/sh
14	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο (666) (700)	705 s/sh
* Επεξήγηση χαρακτηρισμών έντασης κορυφής w=weak/ασθενής, m=medium/μέτρια, s=strong/δυνατή, sh=sharp/οξεία, br=broad/ευρεία		



Σχήμα 8.9: Φάσματα FTIR για το εμπορικό σύνθετο ακρυλικό υλικό, corian, μετά από 0, 18, 36 και 48h, UV ακτινοβολία.

Πίνακας 8-4. Παρατηρούμενοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το CORIAN-C

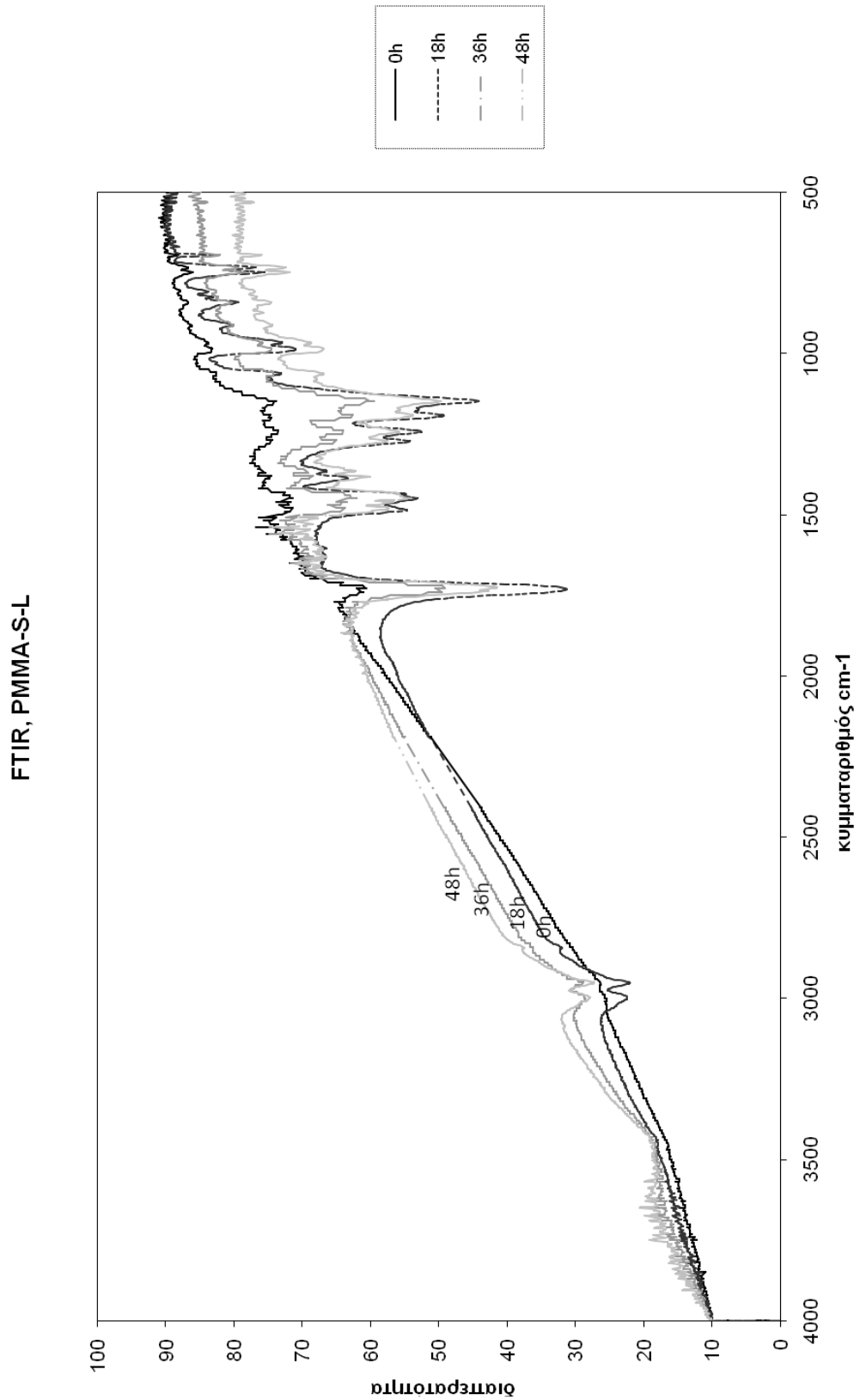
Χαρακτηριστική ομάδα και κυματαριθμός απορρόφησης (cm^{-1}) από την βιβλιογραφία[23]		Κυματαριθμός απορρόφησης (cm^{-1})
<u>CORIAN-C</u>		
1	Δονήσεις εφελκυσμού μεθυλεστέρα CH_3COOCH_3 (2.995, 2.948, 3.024)	3529 s/sh
2	>CH ₂ , δονήσεις τάσης, αλειφατικά τμήματα	(2980-2950) 3006 w/sh
	>CH ₂ , δονήσεις τάσης, κυκλικά και γραμμικά τμήματα	(2890-2850) 2956 w/sh
4	(>C=O) δονήσεις τάσης (1736-1726)	1735 s/sh
5	C=C δονήσεις τάσης στον αρωματικό δακτύλιο (1600,1580,1500)	1635 w/br
6	C-C δονήσεις τάσης του αρωματικού δακτυλίου (1480-1400)	1490,1457,1396 w/br
7	CH ₃ συμμετρική δόνηση κάμψης (1390-1370)	1394 w/sh
8	C _{sp3} -O (εστέρας) (1330-1200)	1278 m/br
9	C _{sp3} -O (αλκοόλη) (1200-1100)	1153 m/sh
10	C-H δονήσεις 'in plane' (1080-1036)	1025 s/sh
11	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο (876)	808 w
12	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 3 ή 4 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο (750)	754 m/sh
13	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο (666) (700)	669 s/sh
* Επεξήγηση χαρακτηρισμών έντασης κορυφής w=weak/ασθενής, m=medium/μέτρια, s=strong/δυνατή, sh=sharp/οξεία, br=broad/ευρεία		



Σχήμα 8.10: Φάσματα FTIR για το εργαστηριακό πολυ(μεθακρυλικό μεθύλιο), μετά από 0, 18, 36 και 48h, UV ακτινοβολήση.

Πίνακας 8-5. Παρατηρούμενοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το υμένιο τρι(μεθακρυλικού μεθυλίου) (PMMA-L)

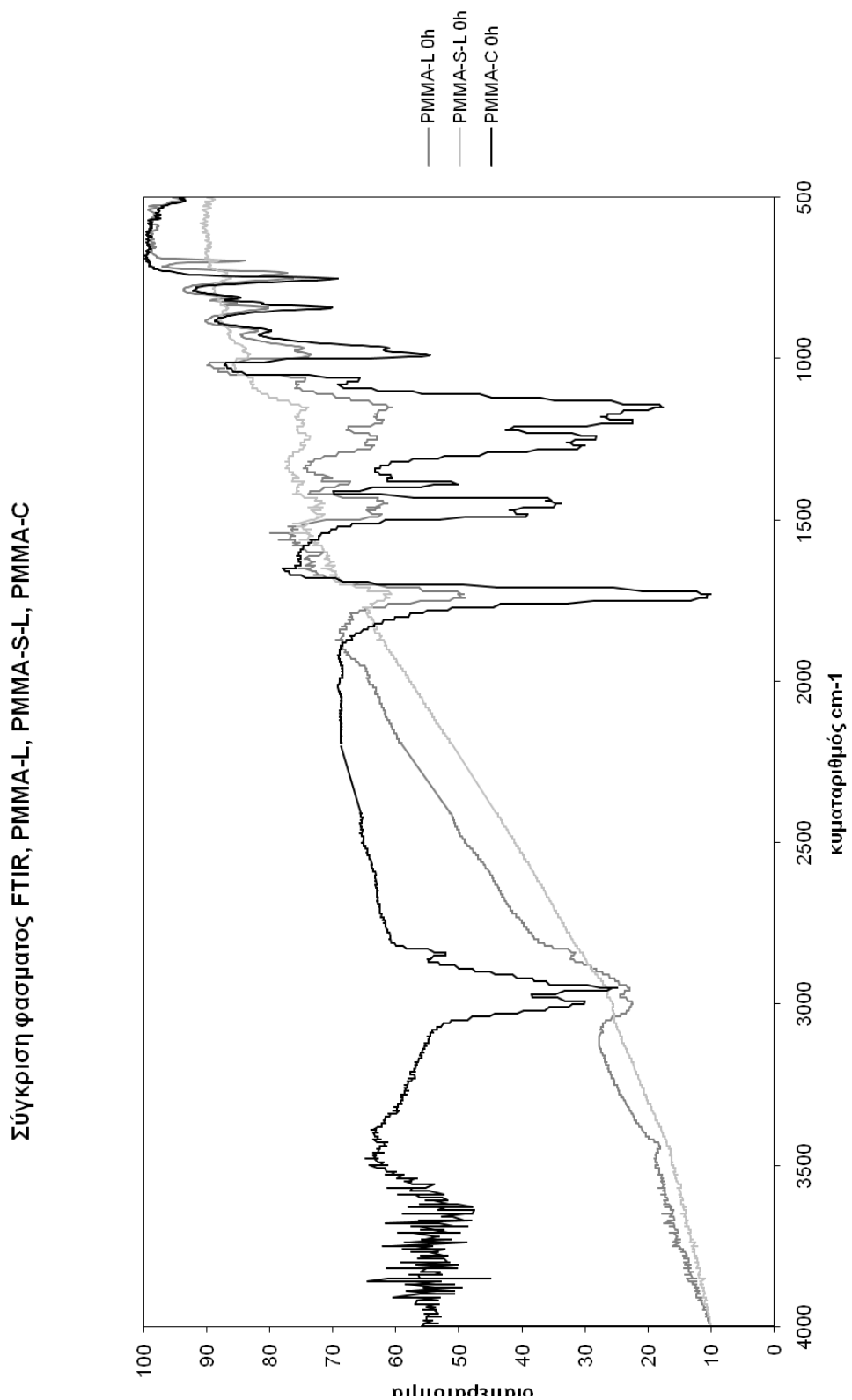
Χαρακτηριστική ομάδα και κυματαριθμός απορρόφησης (cm^{-1}) από την βιβλιογραφία[23]		Κυματαριθμός απορρόφησης (cm^{-1})
<u>PMMA-L</u>		
1	Δονήσεις εφελκυσμού μεθυλεστέρα CH_3COOCH_3 (2.995, 2.948, 3.024)	3012 w/br
2	>CH ₂ , δονήσεις τάσης, αλειφατικά τμήματα	(2980-2950) 2952 w/sh
	>CH ₂ , δονήσεις τάσης, κυκλικά και γραμμικά τμήματα	(2890-2850) 2852 w/sh
4	(>C=O) δονήσεις τάσης (1736-1726)	1735 s/sh
5	C=C δονήσεις τάσης στον αρωματικό δακτύλιο (1600,1580,1500)	1618 w/br
6	C-C δονήσεις τάσης του αρωματικού δακτυλίου (1480-1400)	1452 w/br
7	CH ₃ συμμετρική δόνηση κάμψης (1390-1370)	1388 w/sh
8	C _{sp3} -O (εστέρας) (1330-1200)	1274 s/sh
9	C _{sp3} -O (αλκοόλη) (1200-1100)	1195, 1151 s/sh
10	C-H δονήσεις 'in plane' (1080-1036)	1074 w/br
11	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο (876)	850 w
12	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 3 ή 4 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο (750)	752 m/sh
13	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο (666) (700)	698 m/sh
* Επεξήγηση χαρακτηρισμών έντασης κορυφής w=weak/ασθενής, m=medium/μέτρια, s=strong/δυνατή, sh=sharp/οξεία, br=broad/ευρεία		



Σχήμα 8.11: Φάσματα FTIR για το εργαστηριακό πολυ(μεθακρυλικό μεθύλιο) με προσθήκη σταθεροποιητή UV, μετά από 0, 18, 36 και 48h, UV ακτινοβολήση.

Πίνακας 8-6 . Παρατηρούμενοι κυματαριθμοί απορρόφησης για το υμένιο PMMA+0,3% σταθεροποιητής tinUVin 144, (PMMA-S-L)

Χαρακτηριστική ομάδα και κυματαριθμός απορρόφησης (cm^{-1}) από την βιβλιογραφία[23]		Κυματαριθμός απορρόφησης (cm^{-1})
<u>PMMA-S-L</u>		
1	Δονήσεις εφελκυσμού μεθυλεστέρα CH ₃ COOCH ₃ (2.995, 2.948, 3.024)	3010 w/br
2	>CH ₂ , δονήσεις τάσης, αλειφατικά τμήματα	(2980-2950) 2958 w/br
	>CH ₂ , δονήσεις τάσης, κυκλικά και γραμμικά τμήματα	(2890-2850) 2852 w/sh
4	(>C=O) δονήσεις τάσης (1736-1726)	1737 s/sh
5	C=C δονήσεις τάσης στον αρωματικό δακτύλιο (1600,1580,1500)	1619 w/br
6	C-C δονήσεις τάσης του αρωματικού δακτυλίου (1480-1400)	1454 w/br
7	CH ₃ συμμετρική δόνηση κάμψης (1390-1370)	1392 w/sh
8	C _{sp3} -O (εστέρας) (1330-1200)	1276 w/sh
9	C _{sp3} -O (αλκοόλη) (1200-1100)	1197, 1151 m/sh
10	C-H δονήσεις 'in plane' (1080-1036)	1068 w/br
11	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο (876)	844 w/sh
12	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 3 ή 4 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο (750)	752 w/sh
13	C-H δονήσεις παραμόρφωσης 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο (666) (700)	696 m/sh
* Επεξήγηση χαρακτηρισμών έντασης κορυφής w=weak/ασθενής, m=medium/μέτρια, s=strong/δυνατή, sh=sharp/οξεία, br=broad/ευρεία		



Σχήμα 8.12: Φάσματα FTIR για το εργαστηριακό πολυ(μεθακρυλικό μεθύλιο), το εργαστηριακό πολυ(μεθακρυλικό μεθύλιο)με προσθήκη σταθεροποιητή UV και το εμπορικό πλέξιγκλας, χωρίς UV ακτινοβολήση.

8.3.3 Δείκτες κορυφών με βάση τα φάσματα FTIR

Πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω ποσοτικοί υπολογισμοί των φασμάτων FTIR όλων των δοκιμίων. Έγιναν μετρήσεις των κορυφών I_{C-H} , $I_{C=O}$ σε όλα τα φάσματα και υπολογίστηκαν οι λόγοι των υψών των εκάστοτε κορυφών τις φαίνεται παρακάτω:

- Πολυεστέρας 0h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{2}{5} = 0.4$
- Πολυεστέρας 18h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{2.3}{8.8} = 0.261$
- Πολυεστέρας 36h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{2.4}{5.8} = 0.413$
- Πολυεστέρας 48h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{1.3}{3.7} = 0.351$
- Πολυκαρβονικό 0h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{4.8}{4.8} = 1$
- Πολυκαρβονικό 18h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{4.7}{7.8} = 0.602$
- Πολυκαρβονικό 36h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{1.1}{1.1} = 1$
- Πολυκαρβονικό 48h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{1.4}{1.6} = 0.875$
- Corian 0h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{1.4}{2.5} = 0.56$
- Corian 18h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{3}{7.6} = 0.394$
- Corian 36h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{3.2}{5.4} = 0.592$
- Corian 48h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{3.3}{5.6} = 0.589$
- Πλέξιγκλας 0h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{3.9}{7.4} = 0.52$
- Πλέξιγκλας 18h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{3}{5.8} = 0.512$
- Πλέξιγκλας 36h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{2.3}{2.6} = 0.884$
- Πλέξιγκλας 48h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{1.5}{2.3} = 0.652$
- Υμένιο PMMA 0h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{1.2}{2.7} = 0.44$

$$\text{Υμένιο PMMA 18h:} \quad \frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{1.95}{6.1} = 0.319$$

$$\text{Υμένιο PMMA 36h:} \quad \frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{0.3}{1.4} = 0.214$$

$$\text{Υμένιο PMMA 48h:} \quad \frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{0.35}{1.2} = 0.291$$

- Υμένιο PMMA+tinUVin 0h: $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{1.2}{0.8} = 0.44$

$$\text{Υμένιο PMMA+tinUVin 18h:} \quad \frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{1}{3.9} = 0.256$$

$$\text{Υμένιο PMMA+tinUVin 36h:} \quad \frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{0.8}{2} = 0.4$$

$$\text{Υμένιο PMMA+tinUVin 48h:} \quad \frac{I_{C-H}}{I_{C=O}} = \frac{1.1}{3} = 0.366$$

Από τις παραπάνω λόγους δεν παρατηρείται κάποια συστηματική πορεία αύξησης ή μείωσης τις κορυφές των φασμάτων των υλικών παρά μόνο θα μπορούσαμε να πούμε ότι παρατηρείται μία συστηματική μείωση των λόγων και συνεπώς μετατόπιση των κορυφών μετά από τις πρώτες 18h UV ακτινοβολήσης.

8.4 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Μετά την επεξεργασία των φασμάτων απορρόφησης συμπεραίνονται τα παρακάτω, όσον αφορά τις χαρακτηριστικές ομάδες του πολυεστέρα, των ακρυλικών, του πολυκαρβονικού και τις αντίστοιχους κυματριθμούς απορρόφησης [23]:

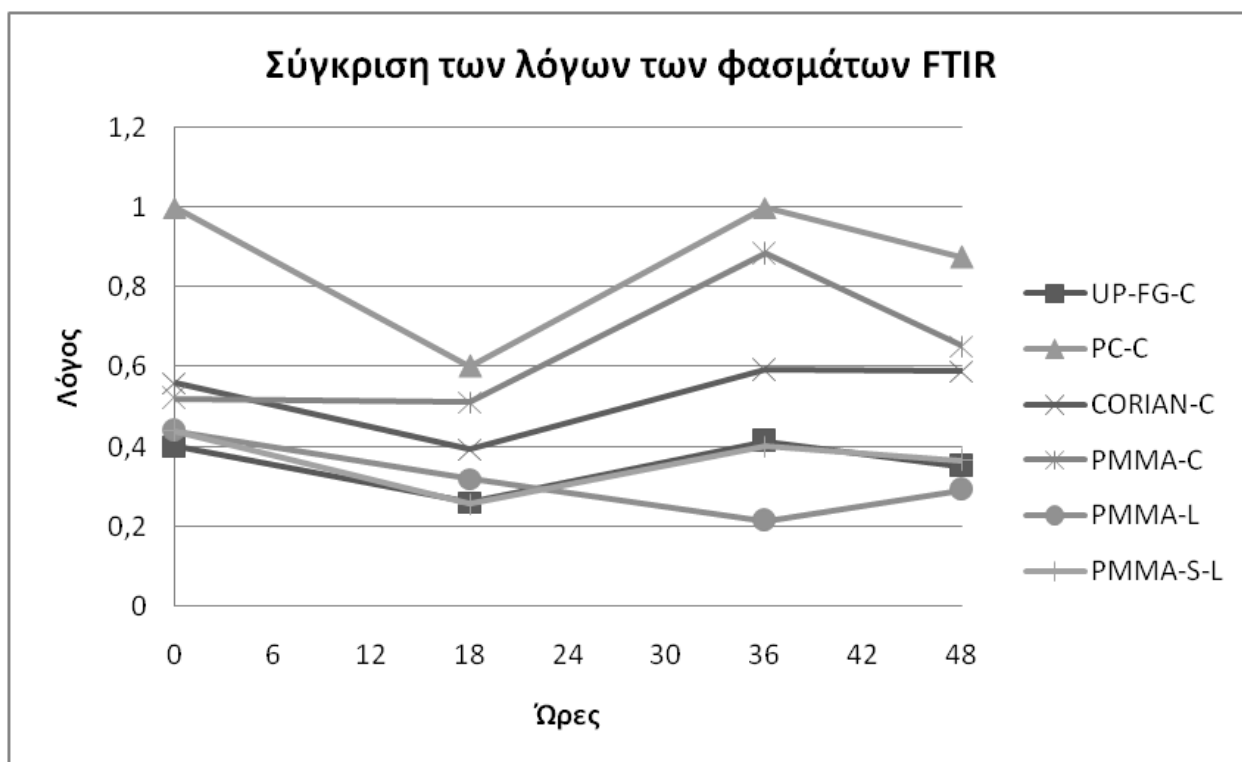
- Οι κορυφές στην περιοχή $3600 - 3200 \text{ cm}^{-1}$ υποδηλώνουν την ύπαρξη υδροξυλομάδας (-OH).
- Οι κορυφές στην περιοχή $1736 - 1726 \text{ cm}^{-1}$ είναι χαρακτηριστικές για την ύπαρξη εστερομάδας (>C=O).
- Οι κορυφές στα $1600, 1580$ και 1500 cm^{-1} οφείλονται τις δονήσεις τάσης του δεσμού C-H στον αρωματικό δακτύλιο. Οι κορυφές αυτές είναι χαρακτηριστικές του αρωματικού δακτυλίου του φθαλικού ανυδρίτη καθώς και του στυρενίου.
- Οι κορυφές στην περιοχή $1330 - 1200 \text{ cm}^{-1}$ είναι χαρακτηριστικές του δεσμού C_{sp^3} -O τις εστερομάδας.
- Οι κορυφές στην περιοχή $1200 - 1100 \text{ cm}^{-1}$ υποδηλώνουν την ύπαρξη του δεσμού C_{sp^3} -O τις γλυκόλης (αιθυλενογλυκόλης).
- Οι κορυφές που βρίσκονται σε περιοχές με κυματριθμό μικρότερο του 1080 cm^{-1} και μεγαλύτερο του 666 cm^{-1} είναι χαρακτηριστικές του δεσμού C-H του βενζολικού δακτυλίου, και κατά συνέπεια οφείλονται στο φθαλικό ανυδρίτη και στο στυρένιο. Πιο συγκεκριμένα, αυτές οι περιοχές είναι στα $1080 - 1036 \text{ cm}^{-1}$ που οφείλονται σε 'in plane' δονήσεις του δεσμού C-H, στα 876 cm^{-1} που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης του δεσμού C-H 'out of plane' μεμονωμένων H στον αρωματικό δακτύλιο, στα 815 cm^{-1} που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης του δεσμού C-H 'Out of plane' 2 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο, στα 750 cm^{-1} που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης του δεσμού C-H 'Out of plane' 3 ή 4 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο, και στα 700 cm^{-1} και 666 cm^{-1} που οφείλονται σε δονήσεις παραμόρφωσης του δεσμού C-H 'out of plane' 5 γειτονικών H στον αρωματικό δακτύλιο.

Γενικά παρατηρώντας τα φάσματα απορρόφησης (FTIR) δεν παρατηρούμε ποσοτικές αλλαγές ή νέες κορυφές. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται αλλαγή στη μορφή του αποτυπώματος του υμενίου του τρις(μεθακρυλικού μεθυλίου) και του τρις(μεθακρυλικού μεθυλίου) με τον σταθεροποιητή UV.

Για τον πολυεστέρα υπάρχουν τις οι κορυφές εκτός από τα 1600 και τα 1580 όπου έχω σύζευξη στον αρωματικό δακτύλιο του στυρενίου ή του φθαλικού ανυδρίτη αυτό οφείλεται πιθανώς στην ύπαρξη UV σταθεροποιητή (τύπου φαινόλης) που υπάρχει μέσα στον εμπορικό πολυεστέρα. Η παραπάνω άποψη ενισχύεται με την αυξημένη ένταση τις κορυφής στα 1070 (δονήσεις τάσης C-OH) σε σχέση με την αλληλουχία των τριών κορυφών στην περιοχή. Τις η ύπαρξη τις κορυφής στα 3024 επιβεβαιώνει την ύπαρξη σταθεροποιητή καθώς δεν παρατηρείται στο φάσμα του καθαρού πολυεστέρα.

Στο φάσμα του ακρυλικού corian παρατηρούνται πολύ έντονες κορυφές με μεγάλα πλάτη στο εύρος 3300-3600 που δεν τις συναντάμε στο φάσμα του καθαρού ακρυλικού και πιθανόν οφείλονται στην ύπαρξη του βωξίτη και πιο συγκεκριμένα στον υδρίτη του αργυλίου (ATH)

Ο λόγος των FTIR παρουσιάζει σύμφωνα και με το παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 8.2) συστηματική μείωση μετά από τις πρώτες 18h ακτινοβόλησης UV ενώ τις 36h αυξάνει για να πέσει πάλι κοντά στην αρχική τιμή μετά από τις 48h ακτινοβόλησης UV.



Σχήμα 8.2: Σύγκριση των λόγων των φασμάτων των υλικών ανάλογα με τις ώρες ακτινοβόλησης

Πίνακας 8.7 : Μεταβολή δείκτη σε αντιστοιχία με τον χρόνο.

Διάρκεια ακτινοβολήσης	Μεταβολή δείκτη $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}}$
0 – 18h	↓
18 – 36h	↑
36 – 48h	↓

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται οι μεταβολές στον δείκτη $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}}$ ανάλογα με τον χρόνο UV ακτινοβολήσης που έχει δεχτεί το υλικό.

- Η μείωση δείκτη που παρατηρήθηκε τις 18 και τις 48h UV ακτινοβολήσης σημαίνει ή ελάττωση των μεθυλενομάδων ή αύξηση των καρβονυλομάδων δηλαδή ελάττωση του αριθμητή ή αύξηση του παρονομαστή.
 - Η αύξηση των καρβονυλομάδων συνήθως γίνεται μέσω θερμικής οξειδωτικής αποικοδόμησης. Δεδομένου ότι είχαμε και υψηλές θερμοκρασίες μέχρι και 50°C. Επομένως μπορούσαν να δημιουργηθούν καρβονυλομάδες (C=O).
 - Η ελάττωση του αριθμητή (μεθυλενομάδες) μπορεί να γίνει από θραύση όταν η καρβονυλομάδα είναι κοντά στο άκρο του μορίου οπότε με την θραύση το δεύτερο τμήμα θα περιέχει μόνο δύο άνθρακες και αντίστοιχα υδρογόνα και μπορεί να απομακρυνθεί ως αέριο αιθυλένιο (CH₂=CH₂)
- Η αύξηση του δείκτη που παρατηρήθηκε τις 36h UV ακτινοβολήσης σημαίνει αύξηση αριθμητή ή ελάττωση παρονομαστή.
 - Η αύξηση του αριθμητή σημαίνει περισσότερες ομάδες που να περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο. Από την Τρίτη αντίδραση σελ.33 όπου τελικά δημιουργείται άλλη μία ομάδα C-H.
 - Η μείωση παρονομαστή μπορεί να εξηγηθεί σύμφωνα με την πρώτη αντίδραση στη σελ.33 όπου έχουμε θραύση του διπλού δεσμού άνθρακα με το οξυγόνο (C=O) και φεύγει ως αέριο μονοξειδίο του άνθρακα (CO).

9 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΜΕ ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΟ

9.1 Αρχή τις μεθόδου

Οι παράμετροι που προσδιορίστηκαν μέσω του χρωματόμετρου συμβολίζονται ως L, a και b. Το L χαρακτηρίζει τη φωτεινότητα και λαμβάνει τιμές από μηδέν (μαύρο) έως 100 (λευκό). Τα a και b είναι οι αριθμητικές τιμές του χρώματος του πολυμερούς, τις άξονες κόκκινο χρώμα (θετικές τιμές του a)/πράσινο (αρνητικές τιμές του a) και κίτρινο χρώμα (θετικές τιμές του b)/μπλε (αρνητικές τιμές του b) στον κύκλο των χρωμάτων. Η αύξηση των αριθμητικών τιμών των παραμέτρων a και b κατά απόλυτη τιμή, υποδηλώνει εντονότερο χρώμα. Από τα L, a και b υπολογίζεται η χρωματικότητα C, η γωνία απόχρωσης H και το συνολικό χρώμα E με βάση τις παρακάτω εξισώσεις:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$H = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

$$E = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

9.2 Πειραματική διαδικασία χρωματόμετρου

Χρησιμοποιήθηκε το χρωματόμετρο Minolta CR-200. Αρχικά γίνεται βαθμονόμηση του οργάνου χρησιμοποιώντας μια λευκή πλακέτα. Στη συνέχεια τοποθετούμε την επιφάνεια του ανιχνευτή πάνω στην επιφάνεια του δείγματος ώστε οι δύο επιφάνειες να εφάπτονται όσο το δυνατόν καλύτερα. Έτσι παίρνουμε τη μέτρηση των δεικτών L,a,b.



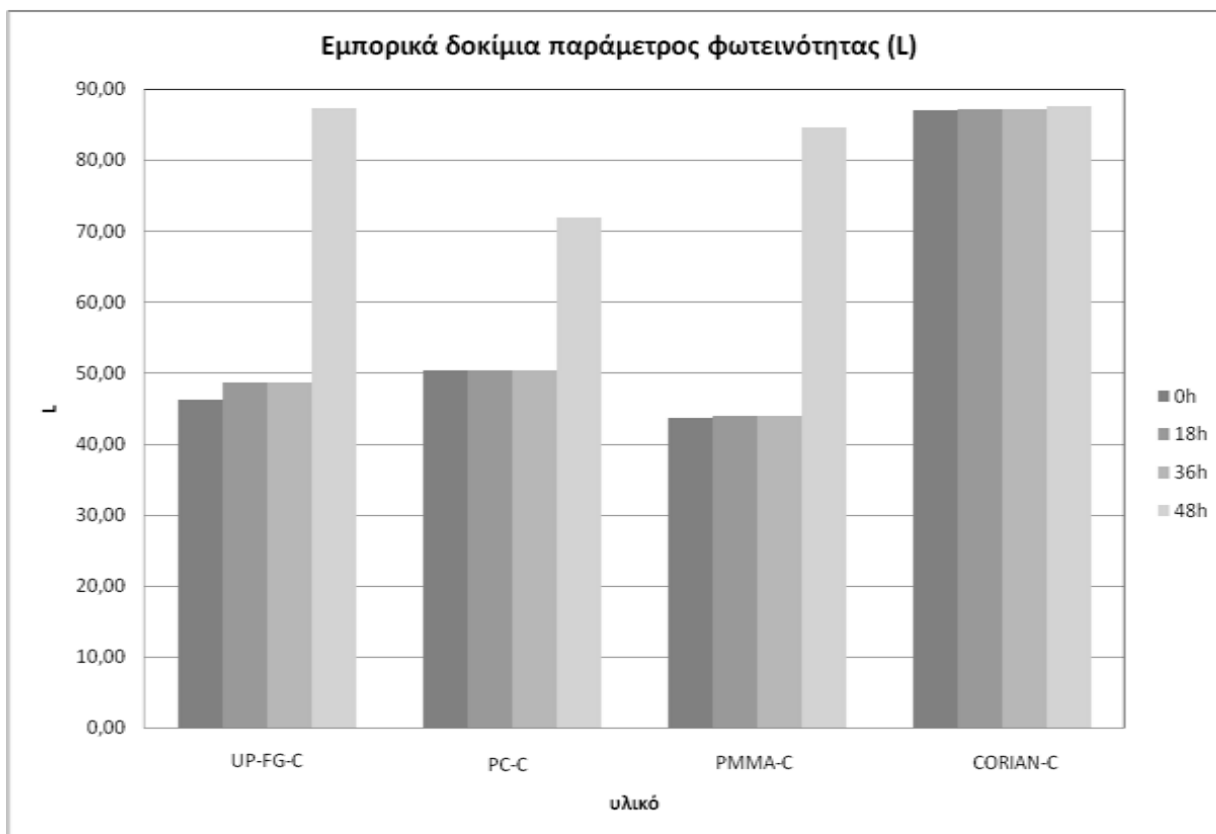
9.3 Αποτελέσματα χρωματομετρίας

Πίνακας 9.1: Μετρήσεις χρωματόμετρου για τα εμπορικά δοκίμια

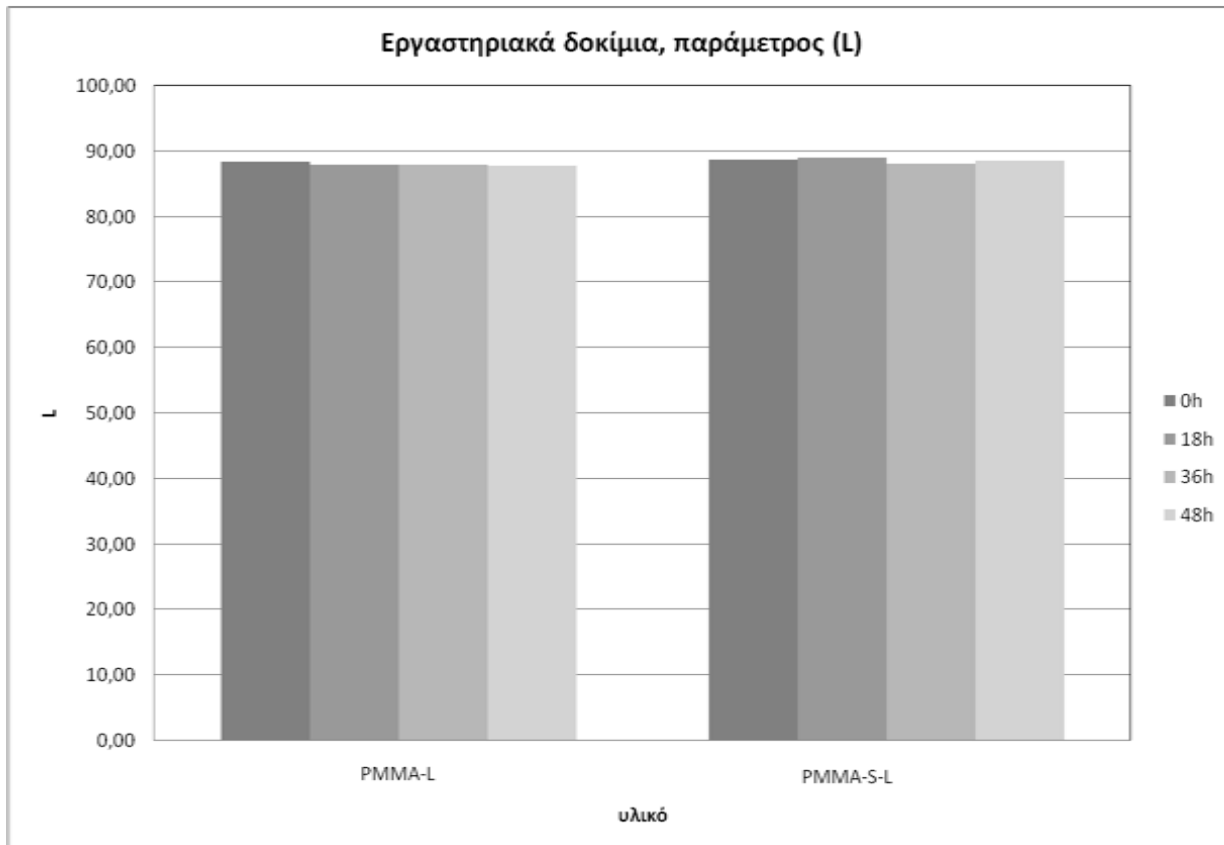
Εμπορικά Δοκίμια	Μέσος όρος L	Μέσος όρος a	Μέσος όρος b	Υπολογιζόμενα μεγέθη		
				C	H	E
Πολυεστέρας 0h	46,20	9,34	3,48	9,97	2,56	47,26
Πολυεστέρας 18h	88,41	-4,91	13,84	14,68	2,98	89,62
Πολυεστέρας 36h	48,67	6,82	5,84	8,98	0,87	49,49
Πολυεστέρας 48h	87,35	-4,94	15,07	15,86	11,15	88,78
Πολυκαρβονικό 0h	50,40	3,92	12,28	12,89	-111,86	52,02
Πολυκαρβονικό 18h	72,48	-2,31	3,54	4,23	-0,04	72,60
Πολυκαρβονικό 36h	50,35	3,14	-1,36	3,42	-2,16	50,46
Πολυκαρβονικό 48h	71,91	-2,53	4,91	5,53	0,39	72,12
Πλέξιγκλας 0h	43,65	8,86	3,10	9,39	2,74	44,64
Πλέξιγκλας 18h	84,32	-3,07	6,82	7,48	0,76	84,65
Πλέξιγκλας 36h	43,94	9,86	3,96	10,62	2,36	45,20
Πλέξιγκλας 48h	84,58	-3,05	6,96	7,60	0,86	84,92
corian 0h	86,98	-2,11	3,81	4,35	0,24	87,08
corian 18h	86,50	-2,63	6,02	6,56	0,87	86,75
corian 36h	87,15	-2,52	5,56	6,10	0,73	87,36
corian 48h	87,62	-2,45	4,32	4,96	0,19	87,76

Πίνακας 9.2: Μετρήσεις χρωματόμετρου για τα εργαστηριακά υμένια (PMMA)

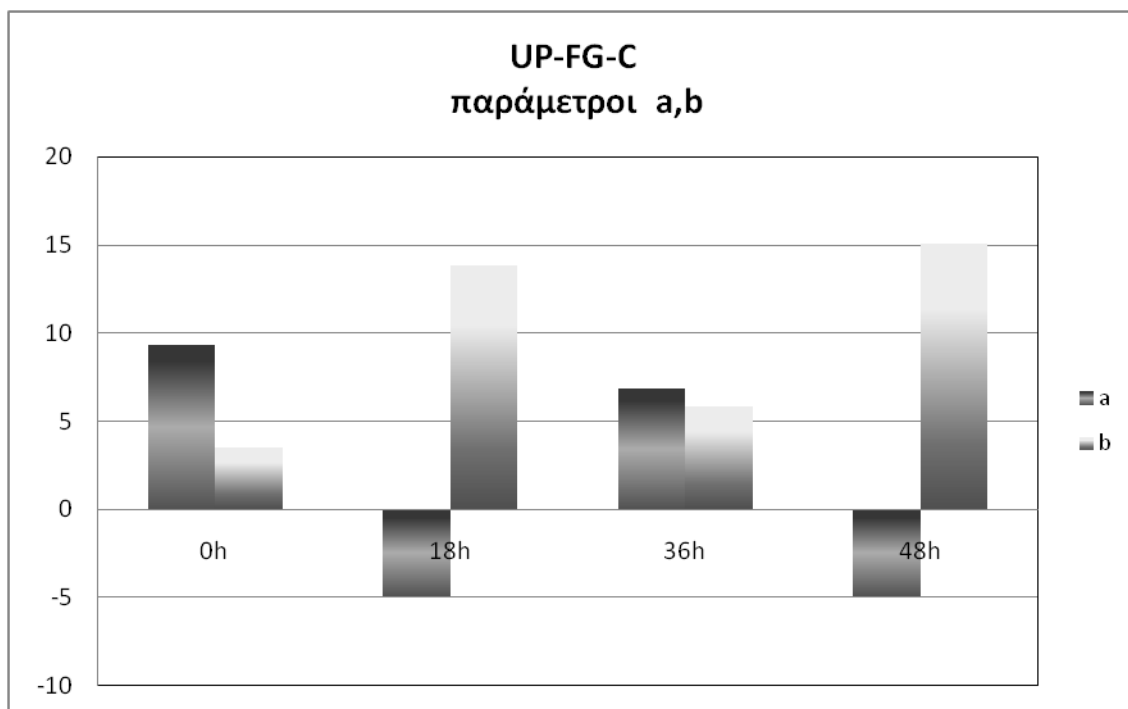
Εργαστηριακά υμένια πολυ(μεθακρυλικού μεθυλίου) (PMMA)	Μέσος όρος L	Μέσος όρος a	Μέσος όρος b	Υπολογιζόμενα μεγέθη		
				C	H	E
PMMA, 0h	88,39	-3,39	10,80	11,32	-22,97	89,11
PMMA, 18h	88,00	-3,12	8,60	9,14	2,44	88,47
PMMA, 36h	87,97	-0,01	11,13	11,13	-0,33	88,67
PMMA, 48h	87,76	-3,55	11,27	11,81	-29,50	88,55
PMMA + tinUVin, 0h	88,77	-3,78	10,79	11,43	3,44	89,50
PMMA + tinUVin, 18h	89,10	-3,02	8,71	9,22	3,80	89,57
PMMA + tinUVin, 36h	88,16	-3,48	11,34	11,86	-8,56	88,96
PMMA + tinUVin, 48h	88,53	-3,54	11,63	12,15	-6,87	89,36



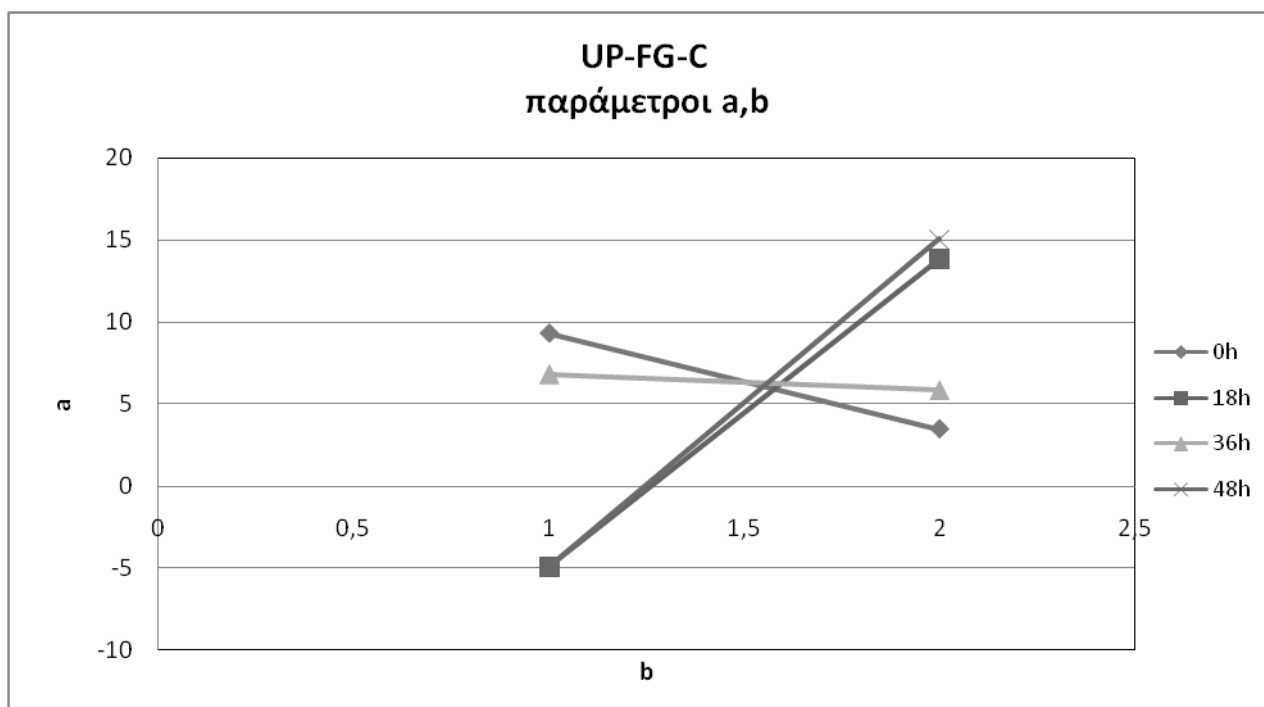
Σχήμα 9.3: Συγκριτικό ραβδόγραμμα της παραμέτρου φωτεινότητας (L) των ακτινοβολημένων εμπορικών δοκιμίων



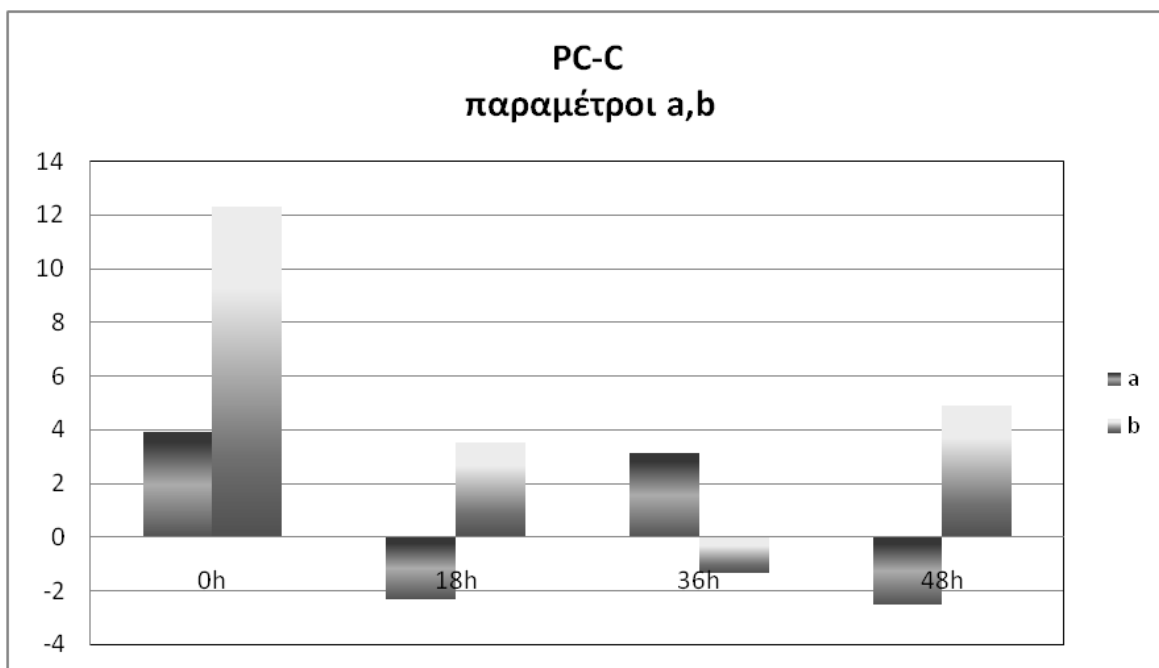
Σχήμα 9.4: Συγκριτικό ραβδόγραμμα της παραμέτρου φωτεινότητας (L) των ακτινοβολημένων υμενίων PMMA



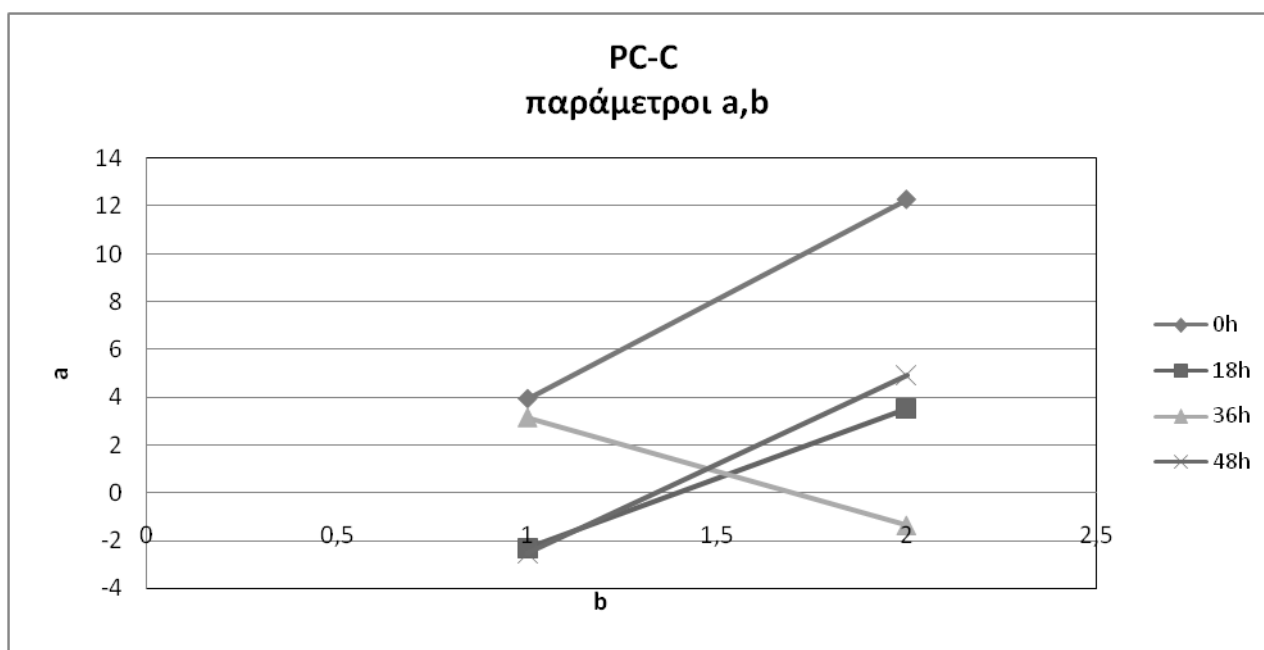
Σχήμα 9.5: Ραβδόγραμμα των παραμέτρων a,b για τον εμπορικό πολυεστέρα με ίνες γυαλιού.



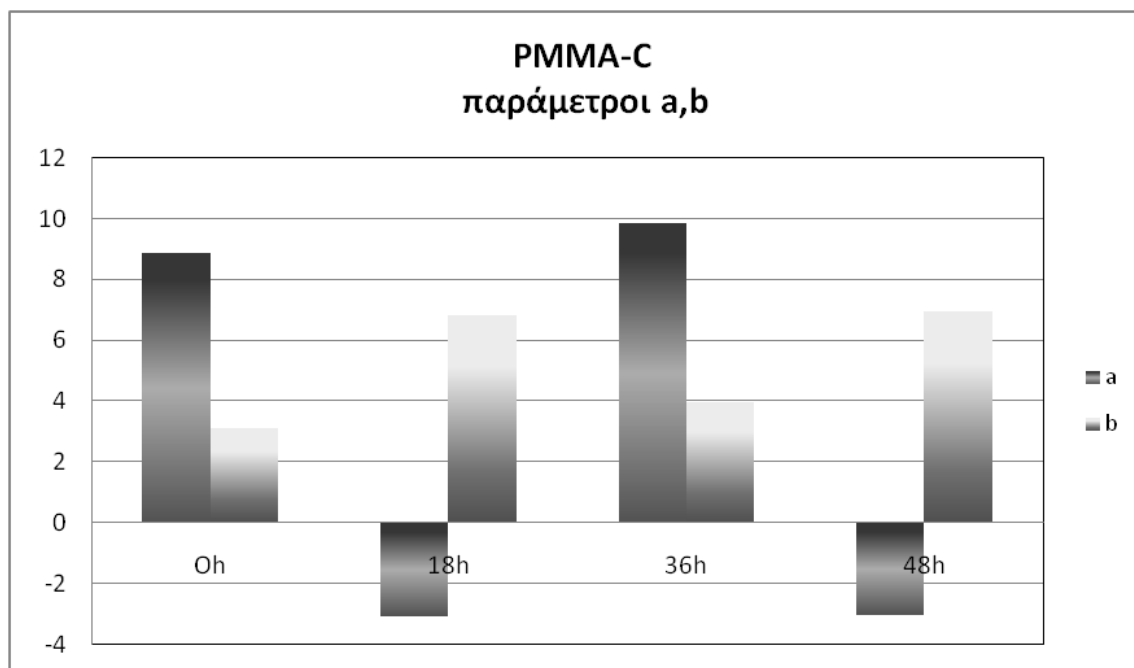
Σχήμα 9.6: Παράμετροι a,b για τον εμπορικό πολυεστέρα με ίνες γυαλιού.



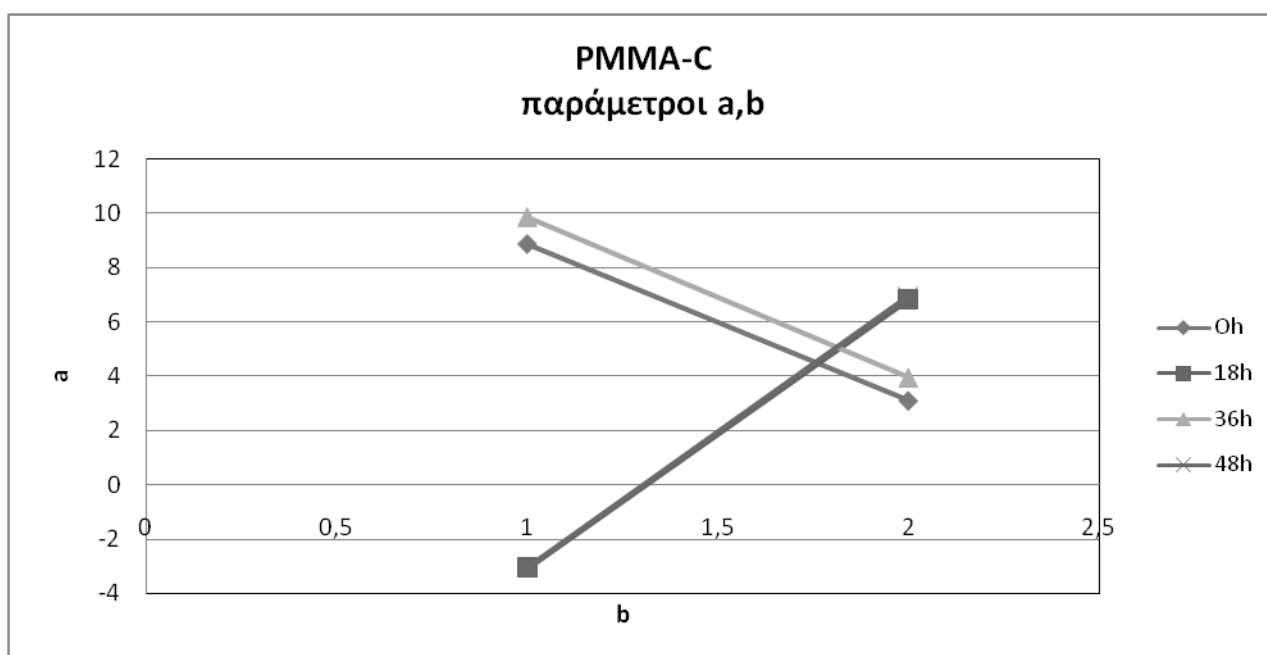
Σχήμα 9.7: Ραβδόγραμμα των παραμέτρων a,b για το εμπορικό πολυκαρβονικό.



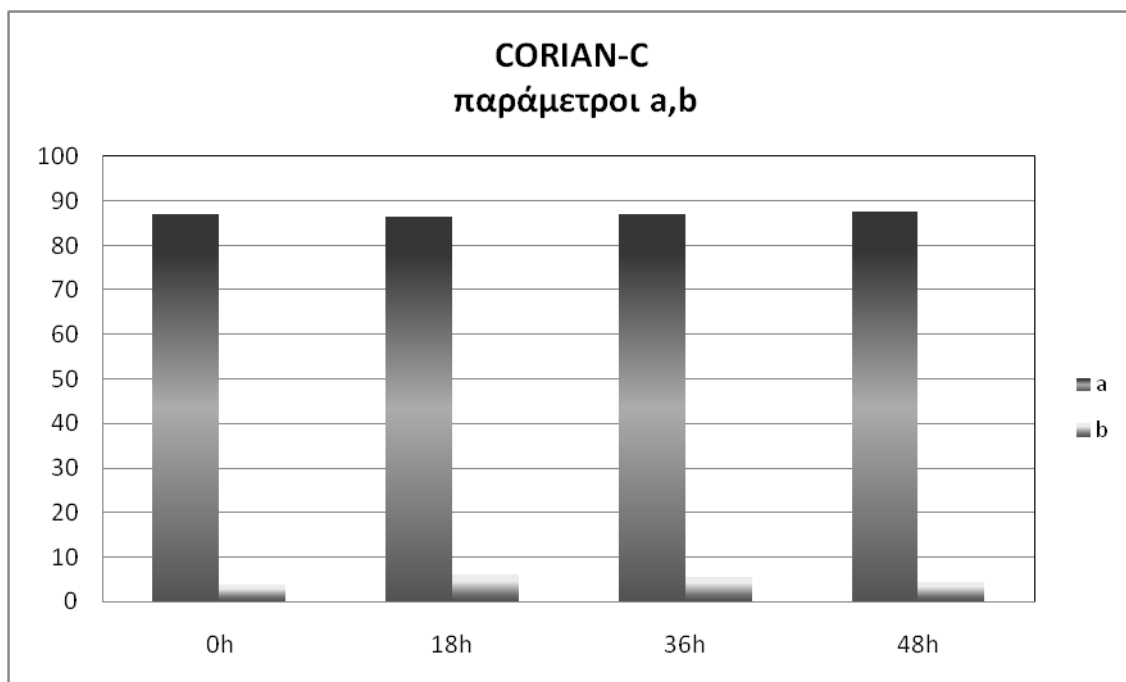
Σχήμα 9.8: Παράμετροι a,b για για το εμπορικό πολυκαρβονικό.



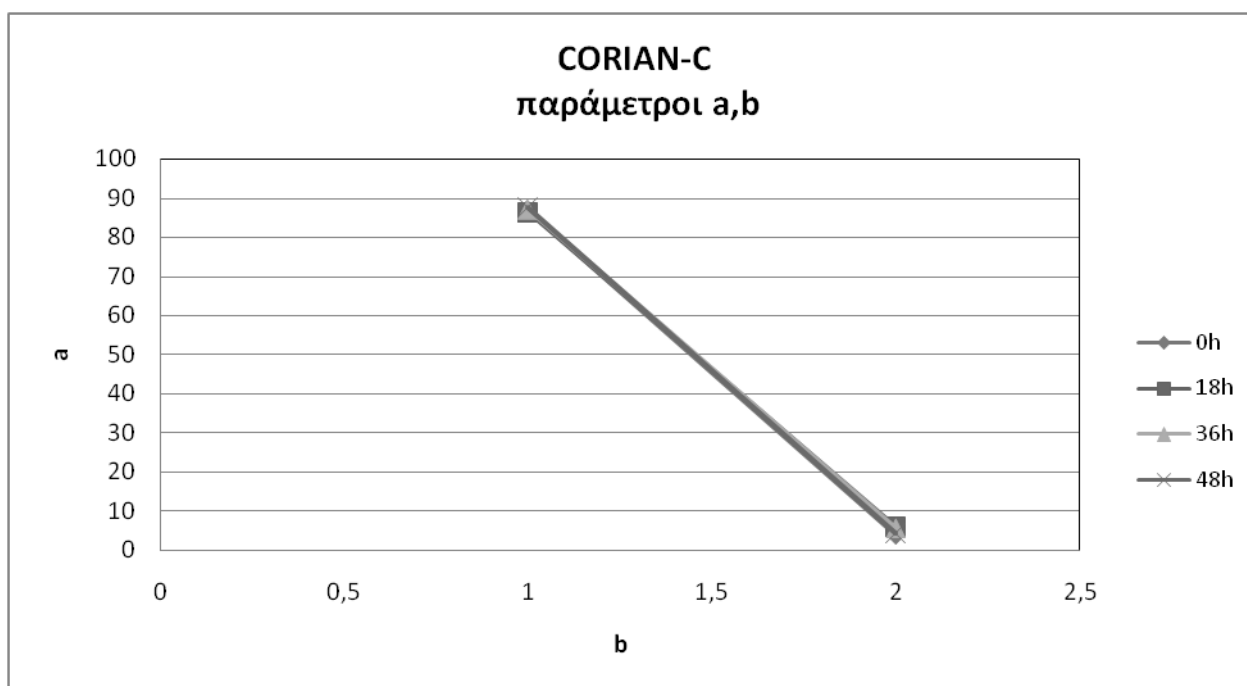
Σχήμα 9.9: Ραβδόγραμμα των παραμέτρων a,b για το εμπορικό πλέξιγκλας.



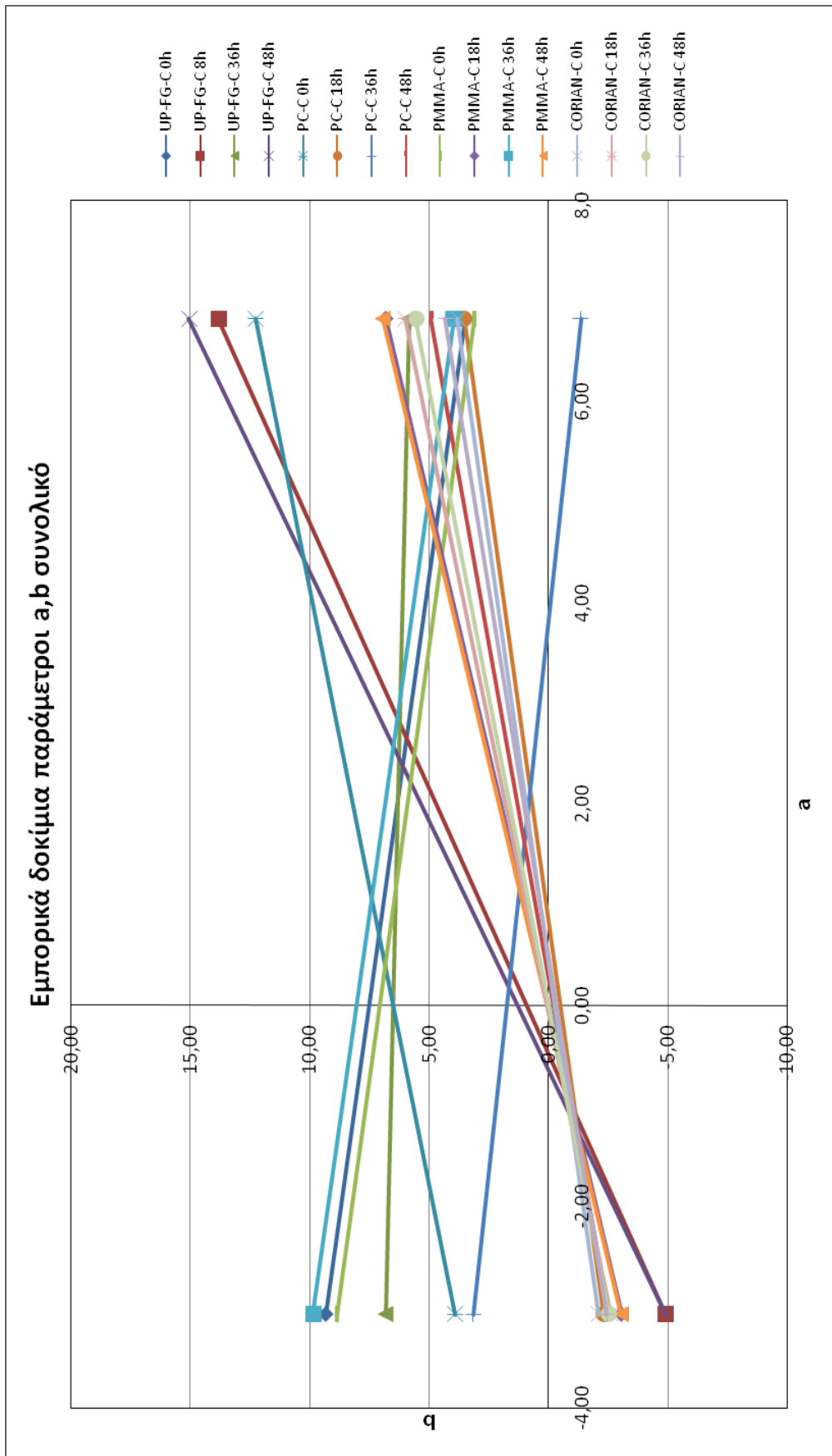
Σχήμα 9.10: Παράμετροι a,b για το εμπορικό πλέξιγκλας.



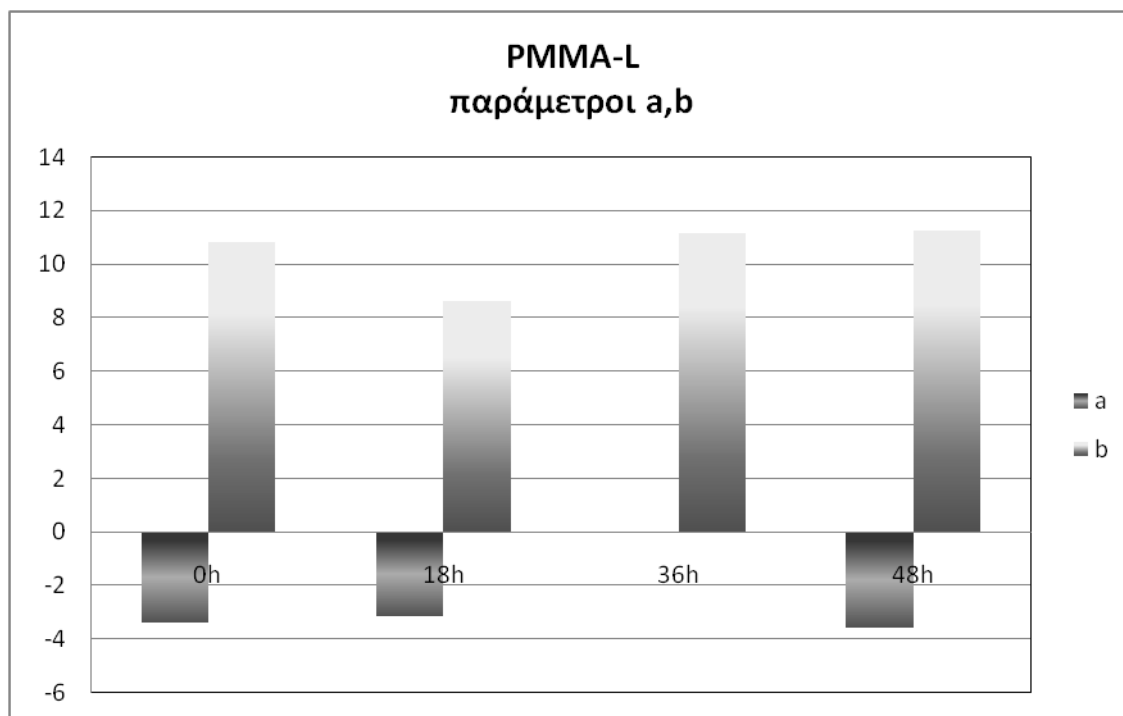
Σχήμα 9.11: Ραβδόγραμμα των παραμέτρων a,b για το εμπορικό ακρυλικό corian.



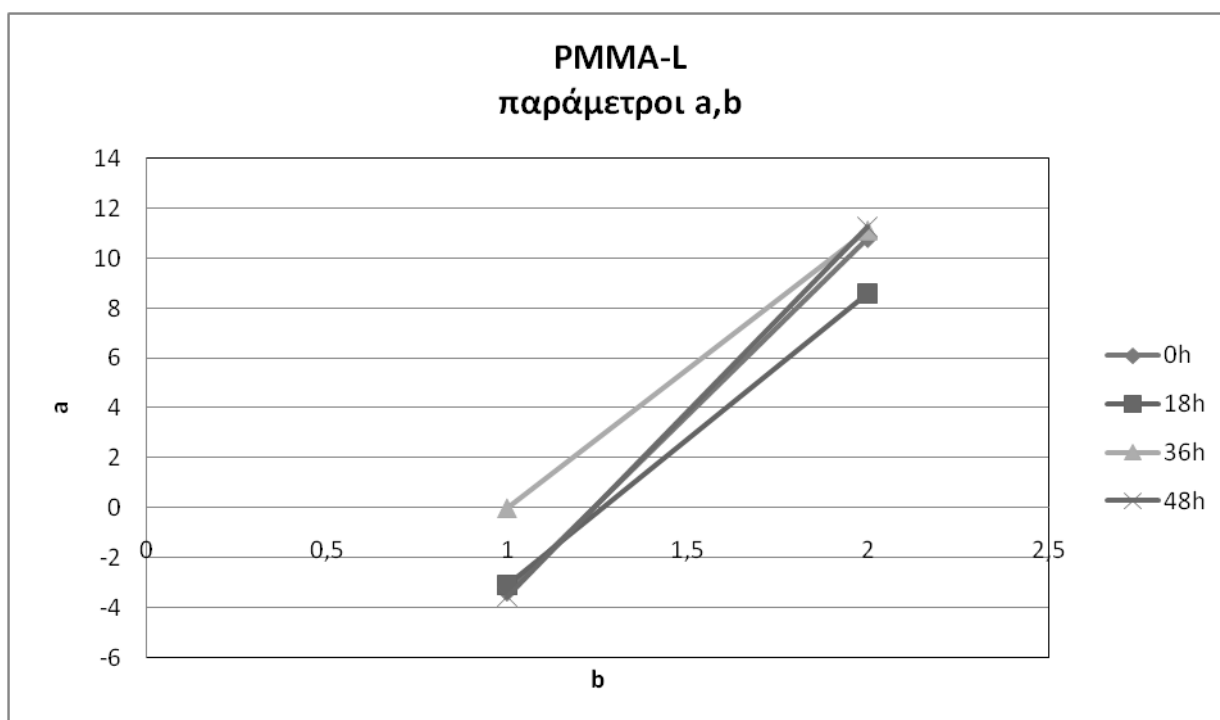
Σχήμα 9.12: Παράμετροι a,b για το εμπορικό ακρυλικό corian.



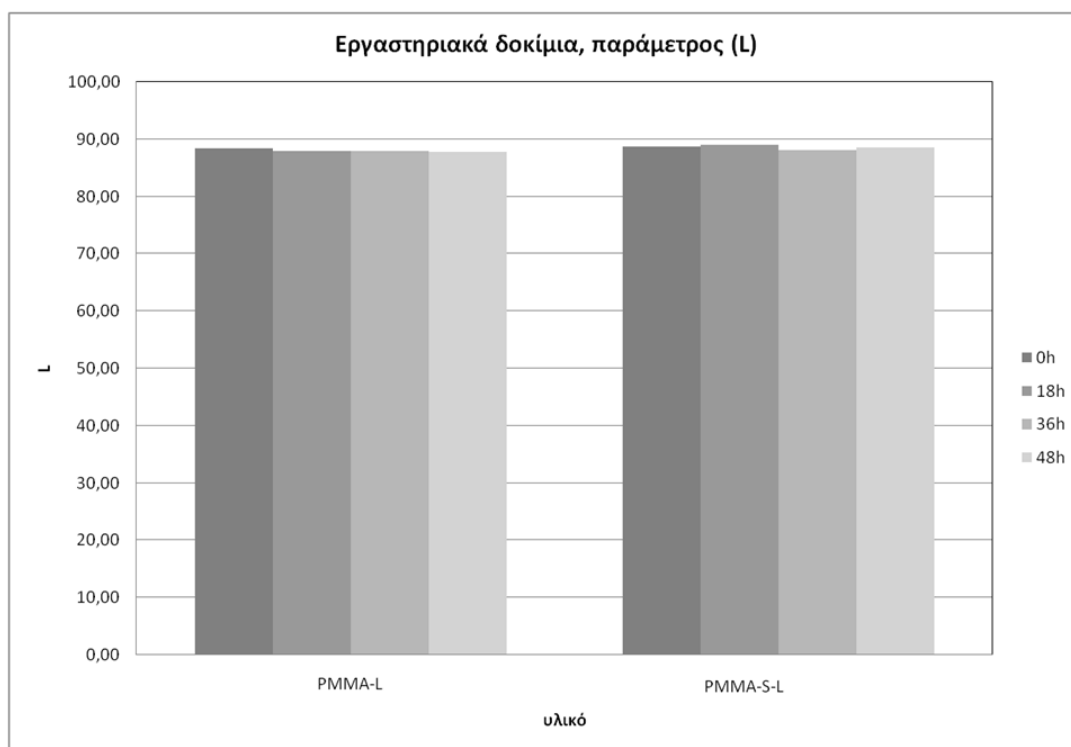
Σχήμα 9.13: Παράμετροι a, b για τα εμπορικά δοκίμια για τις 0,18,36,48h ακτινοβόλησης



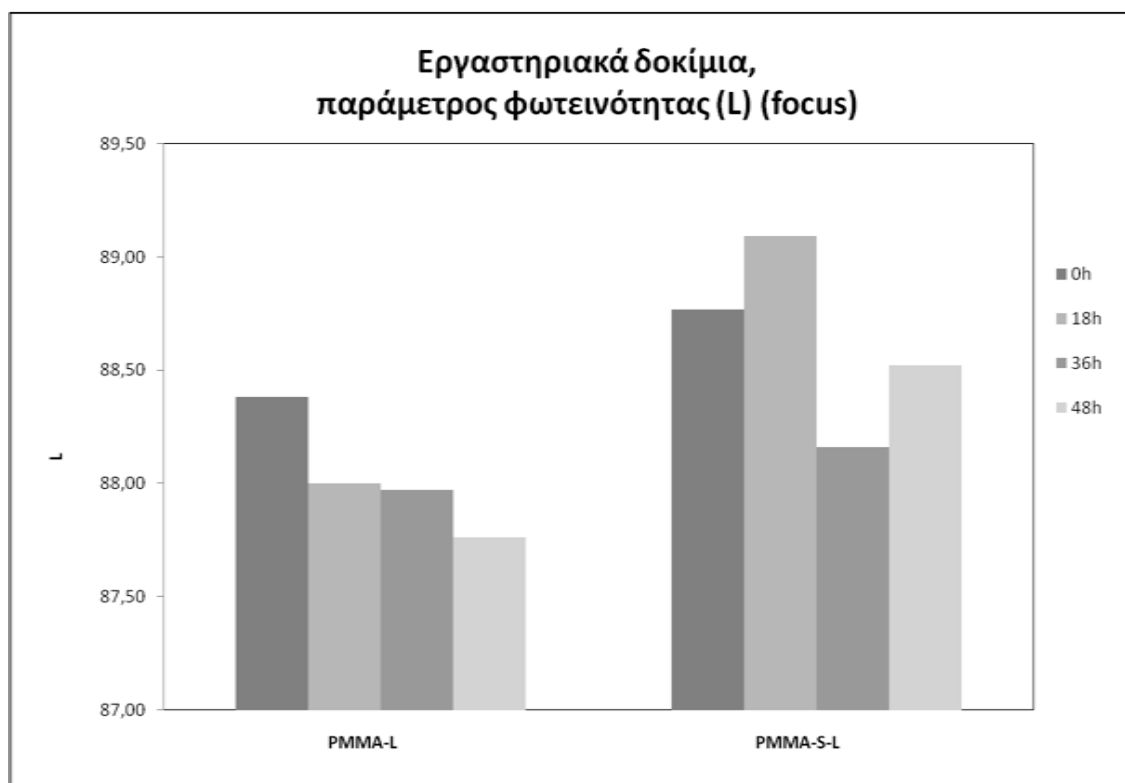
Σχήμα 9.14: Ραβδόγραμμα των παραμέτρων a,b για το εργαστηριακό πλέξιγκλας.



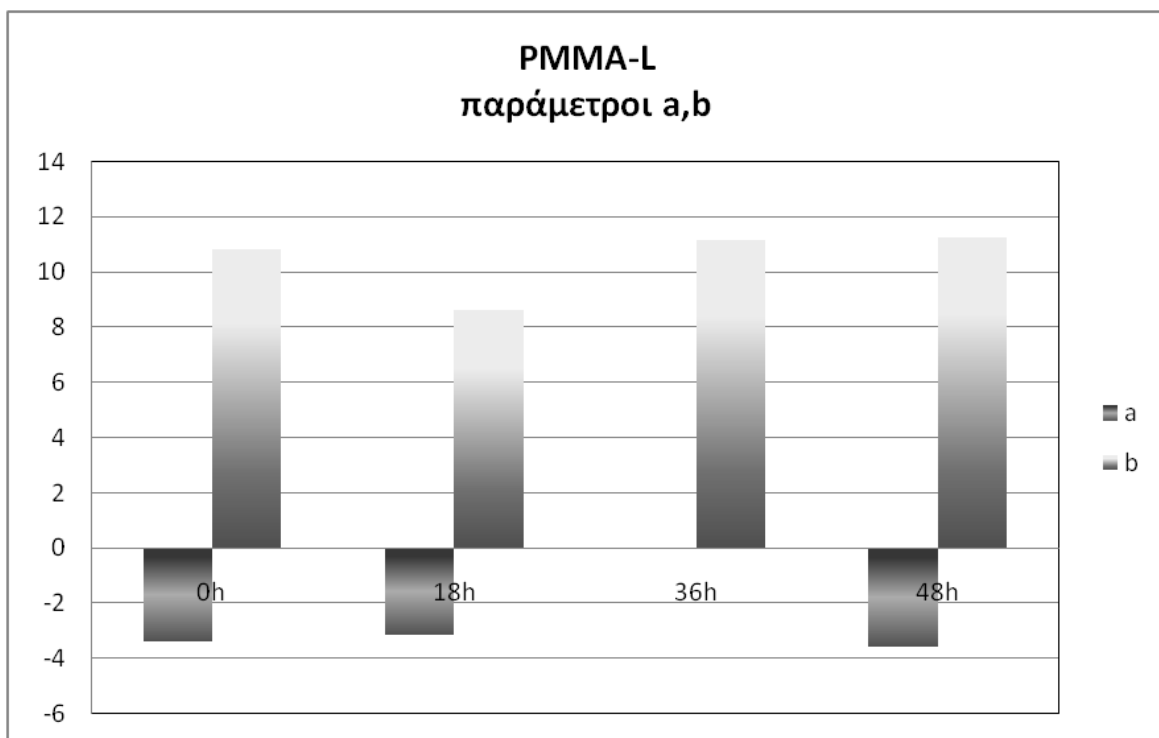
Σχήμα 9.15: Παράμετροι a,b για το εργαστηριακό πλέξιγκλας.



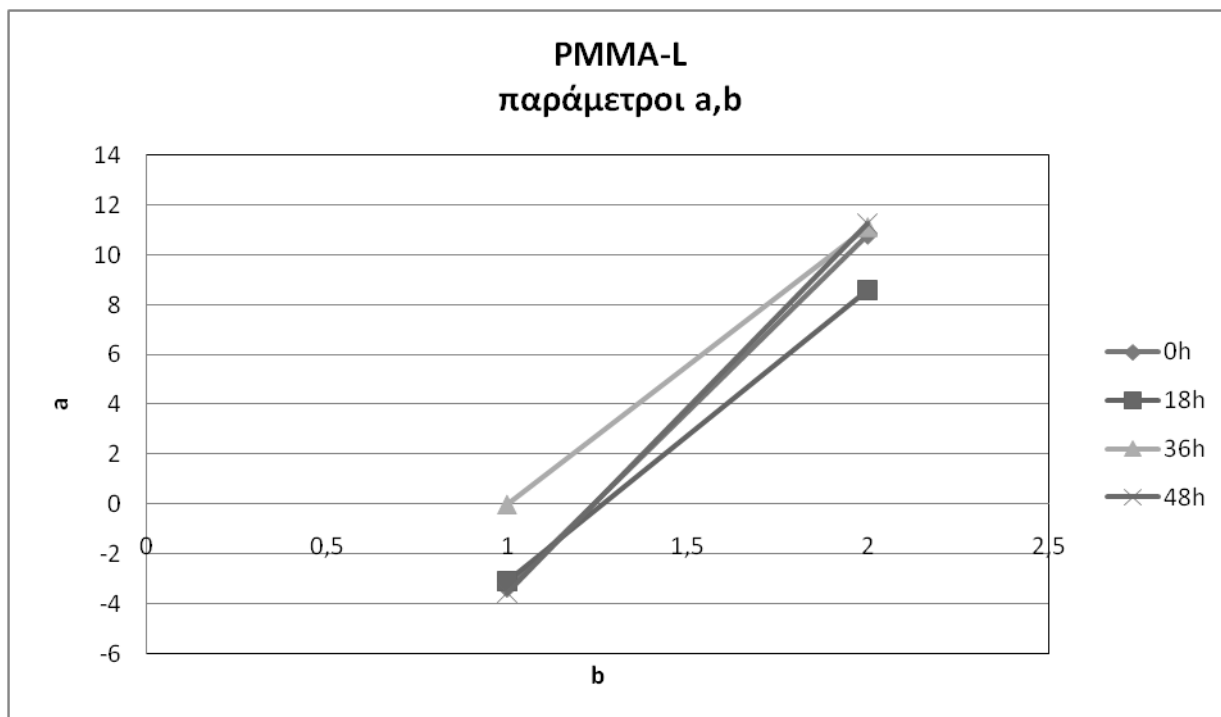
Σχήμα 9.16: Συγκριτικό ραβδόγραμμα της παραμέτρου φωτεινότητας (L) των ακτινοβολημένων υμενίων PMMA



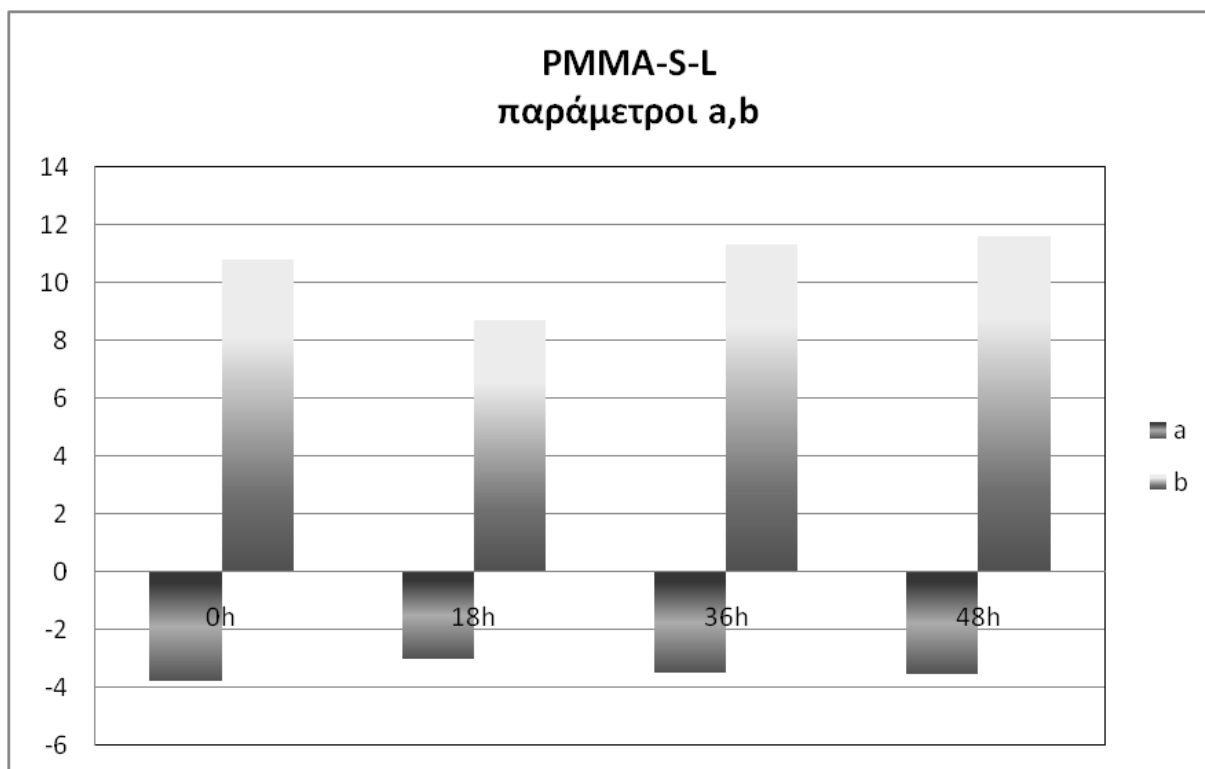
Σχήμα 9.17: Συγκριτικό ραβδόγραμμα της παραμέτρου φωτεινότητας (L) των ακτινοβολημένων υμενίων PMMA σε μικρότερο εύρος της παραμέτρου L.



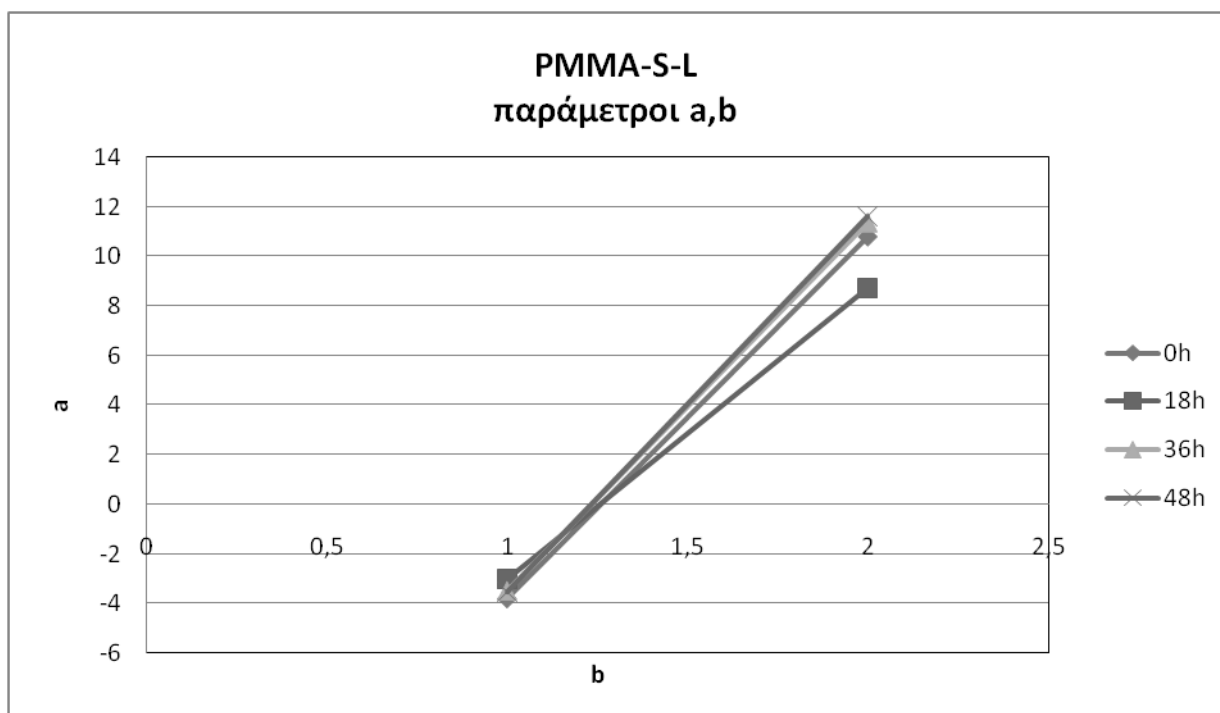
Σχήμα 9.18: Ραβδόγραμμα των παραμέτρων a,b για το εργαστηριακό πλέξιγκλας.



Σχήμα 9.18: Παράμετροι a,b για το εργαστηριακό πλέξιγκλας.



Σχήμα 9.19: Ραβδόγραμμα των παραμέτρων a,b για το εργαστηριακό πλέξιγκλας.



Σχήμα 9.20: Παράμετροι a,b για το εργαστηριακό πλέξιγκλας με UV σταθεροποιητή.

9.4 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Παρατηρώντας με μια γενική ματιά τα διαγράμματα των μετρήσεων των δοκιμίων στο χρωματόμετρο προκύπτει ότι μετά την συνολική ακτινοβολή όλα τα δοκίμια παρουσίασαν μεταβολή στο φυσικό χρωματισμό τους προς το κίτρινο χρώμα πλην του δοκιμίου corian, που δεν παρουσίασε κάποια αξιοσημείωτη μεταβολή.

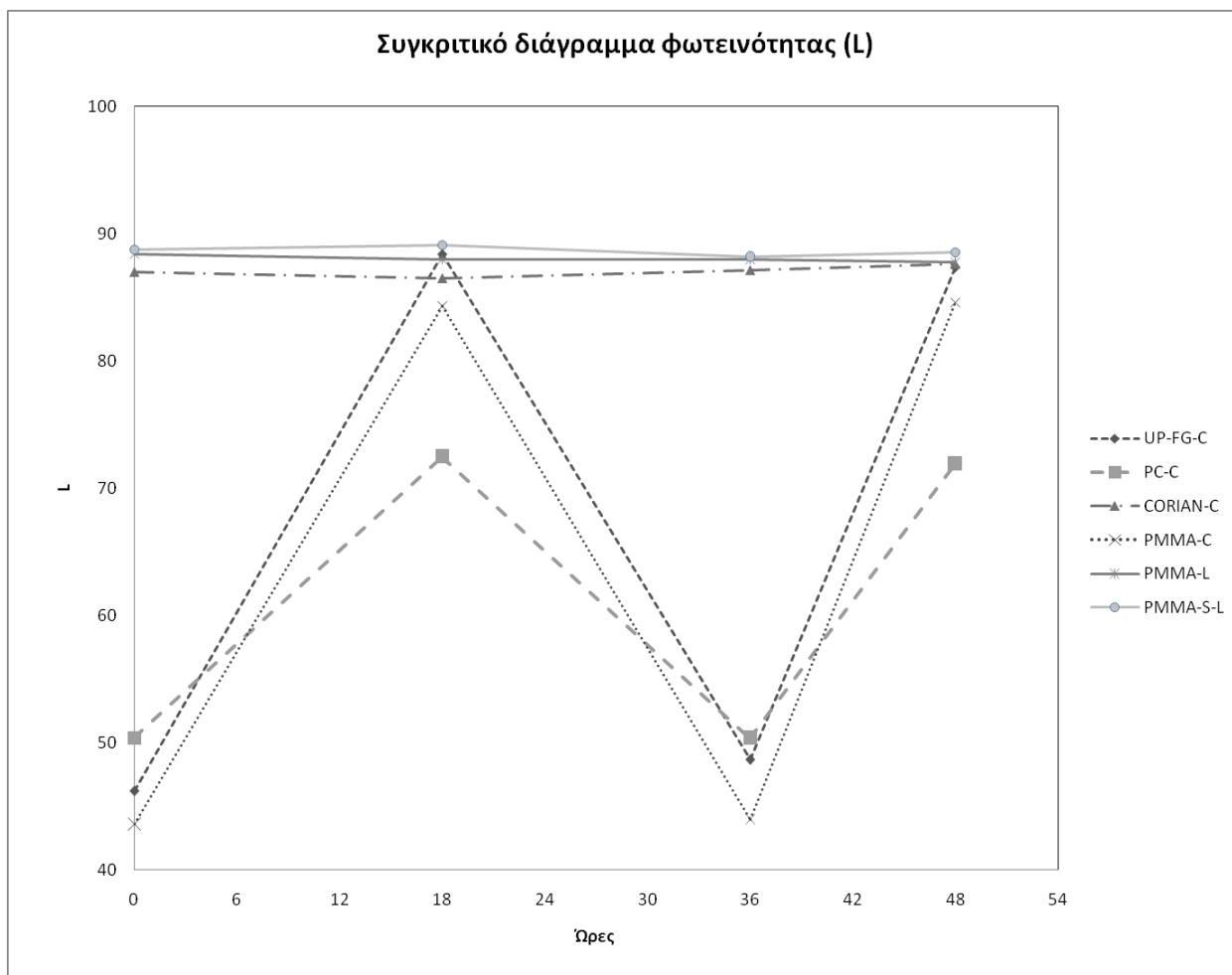
Πιο συγκεκριμένα βλέπουμε τις μεταβολές αύξησης ή μείωσης στο χρώμα και τη φωτεινότητα του κάθε υλικού στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 9.3: Ποσοστιαίες μεταβολές (%) στο χρώμα και την φωτεινότητα των υλικών

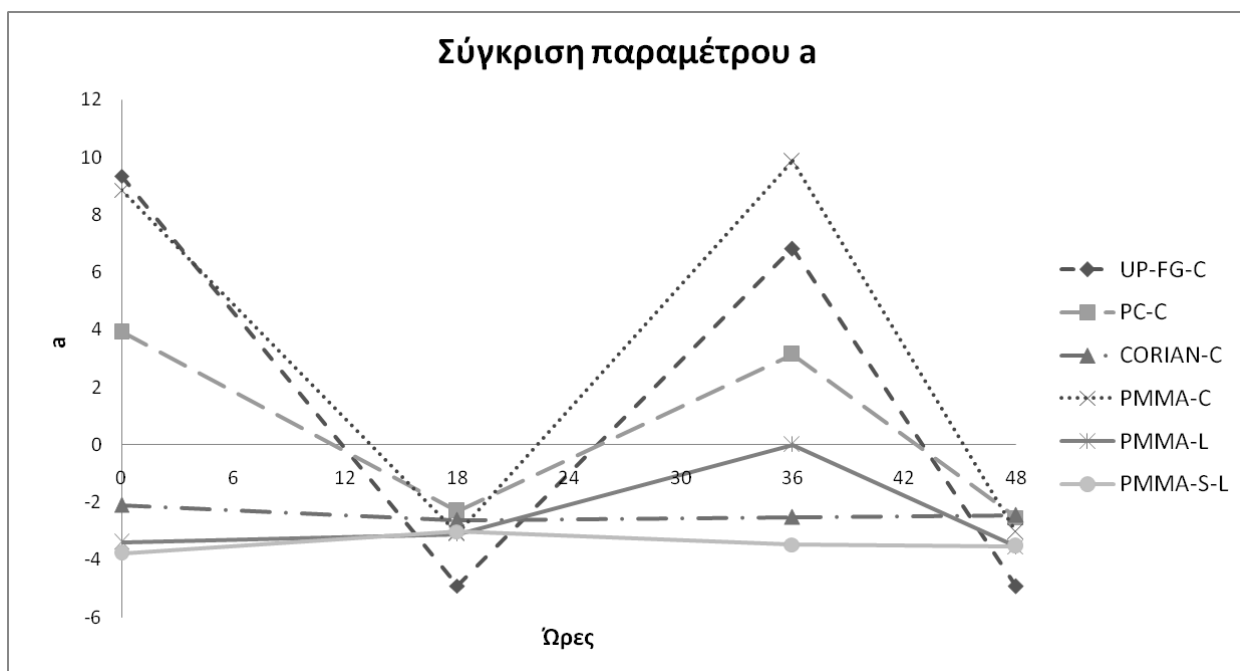
Υλικό	L	a	b
UP-FG-C	89,07 ↑	-152,85 ↓	333,05 ↑
PC-C	42,69 ↑	-164,60 ↓	-60,02 ↓
PMMA-C	93.80 ↑	-134,41 ↓	124,52 ↑
CORIAN-C	0.74 ↑	16,39 ↑	13,39 ↑
PMMA-L	0,7 ↑	4,72 ↑	4,35 ↑
PMMA-S-L	0,27 ↑	-6,35 ↓	7,78 ↑

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι για τον πολυεστέρα παρατηρήθηκε αύξηση της φωτεινότητας (L) 89,07% ενώ το χρώμα άλλαξε προς το πράσινο, μείωση 152,85% και το κίτρινο. Το πολυκαρβονικό παρουσίασε αύξηση στη φωτεινότητα και το χρώμα του μεταβλήθηκε προς το πράσινο και το μπλέ. Το πλέξιγκλας παρουσίασε αύξηση της φωτεινότητας του και το χρώμα του αλλοιώθηκε προς το πράσινο και το κίτρινο. Το corian δεν σημείωσε καμία μεταβολή ούτε στη φωτεινότητα ούτε στο χρώμα του. Τέλος το PMMA δεν παρουσίασε μεταβολή στη φωτεινότητα παρά μόνο στο χρώμα προς το κόκκινο και το κίτρινο, ενώ το PMMA-S-L παρουσίασε μεταβολή μόνο στο χρώμα αλλάζοντας προς το κίτρινο.

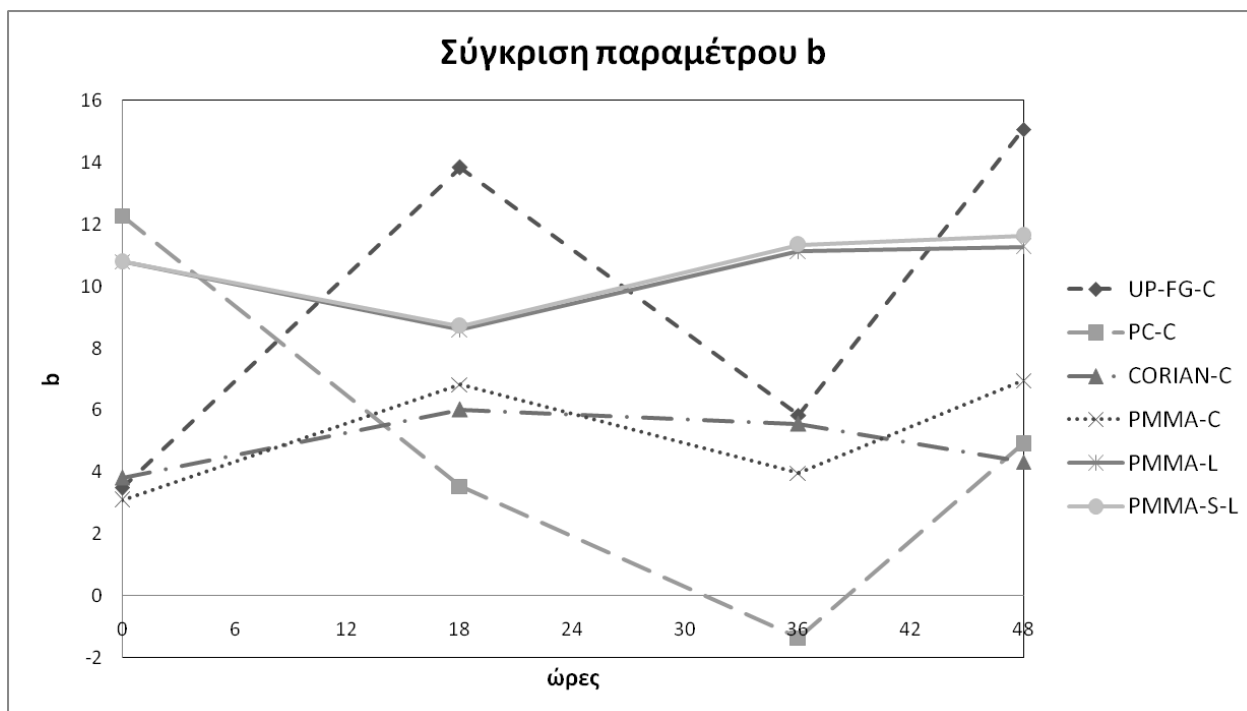
Γενικά παρατηρείται αύξηση της φωτεινότητας μετά από τις 48h ακτινοβολήσης UV καθώς και μεταβολή στο χρώμα των υλικών προς το κίτρινο. Εξαιρέση αποτελεί το εμπορικό υλικό corian που παρουσιάζει σταθερή συμπεριφορά μετά τις 48h ακτινοβολήσης UV. Ο κιτρινισμός στο χρώμα των υλικών σημαίνει πως αυξάνονται τα καρβονύλια (C=O). Σύμφωνα με τον πίνακα: 3.5 στο θεωρητικό μέρος (κεφ.3) η UV ακτινοβολία έχει μήκος κύματος 302nm που αντιστοιχεί σε ενέργεια 398,8 kJ/mol, ο δεσμός του καρβονυλίου για να διασπαστεί θέλει ενέργεια 728,5 άρα δεν μπορεί να σπάσει αντίθετα σπάνε αλειφατικοί δεσμοί C-C καθώς η ενέργεια που απαιτείται για την διάσπασή τους είναι 335 kJ/mol.



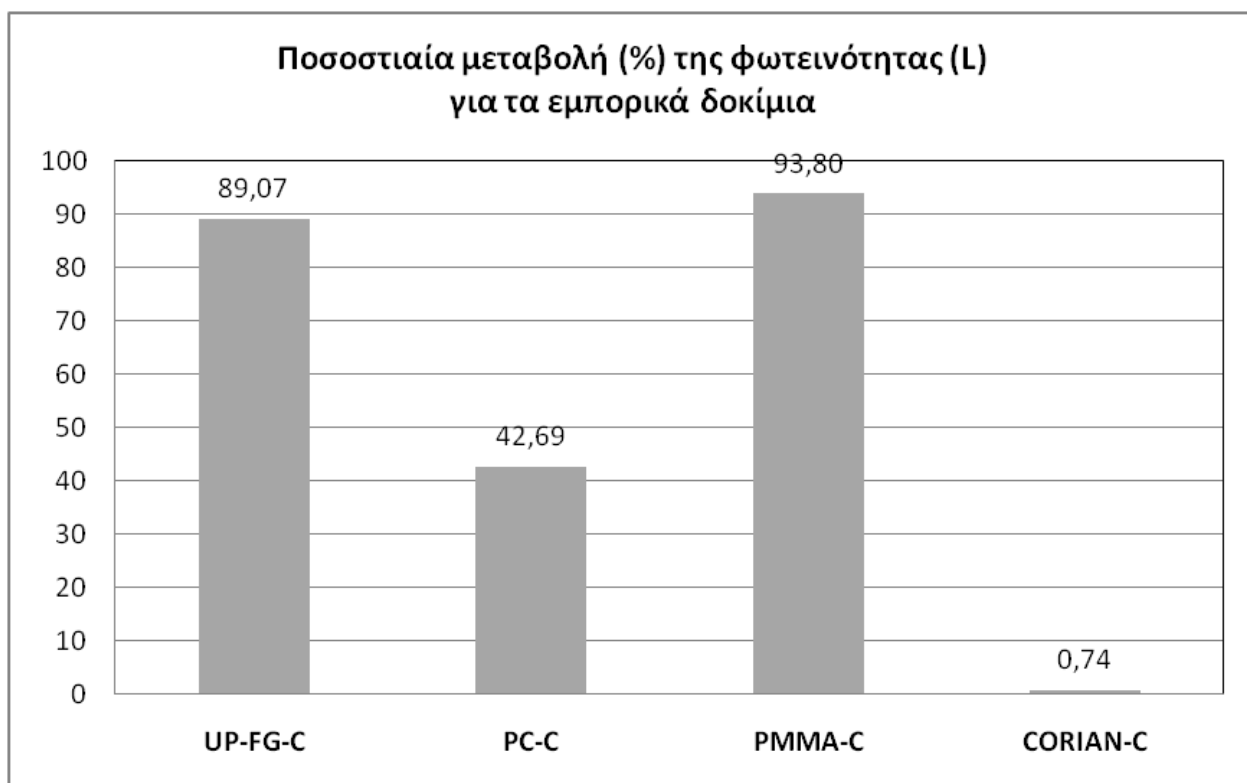
Σχήμα 9.21: Διάγραμμα σύγκρισης φωτεινότητας των ακτινοβολημένων υλικών.



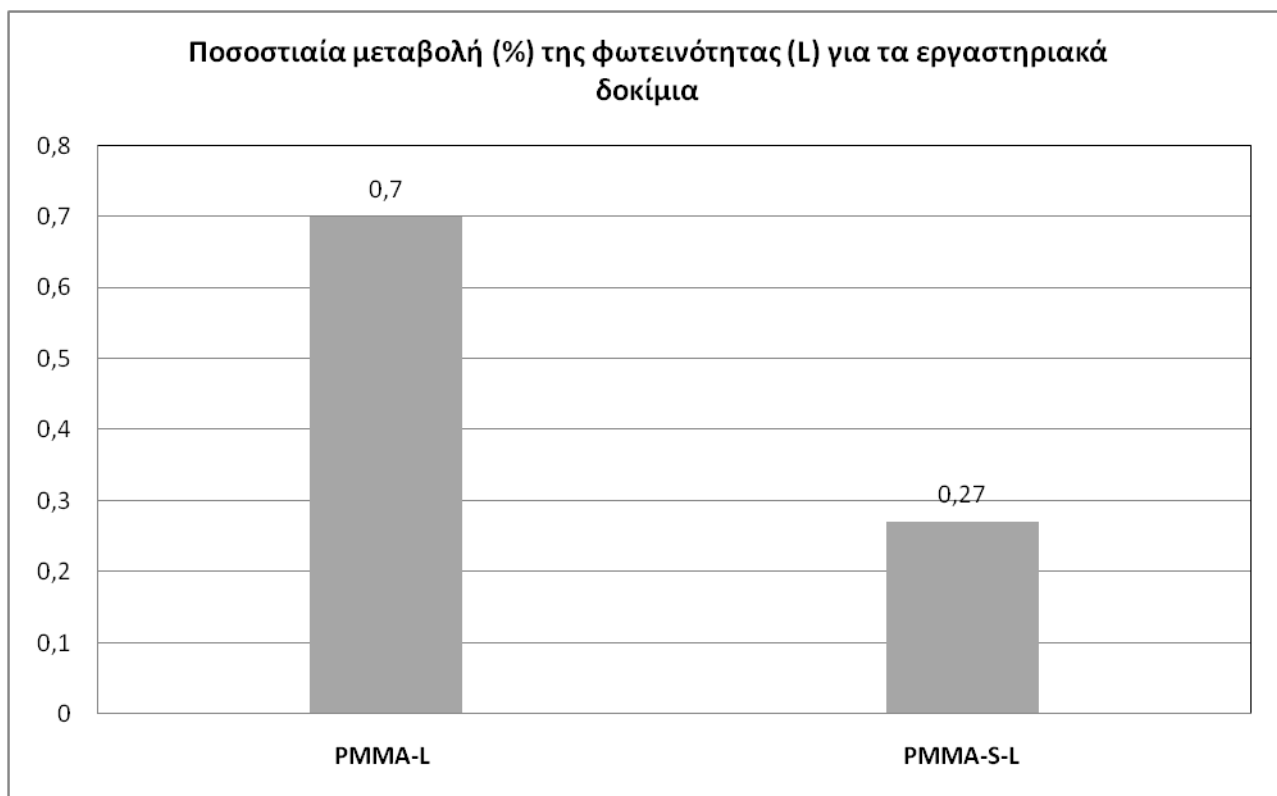
Σχήμα 9.22: Διάγραμμα σύγκρισης της παραμέτρου a, των ακτινοβολημένων υλικών.



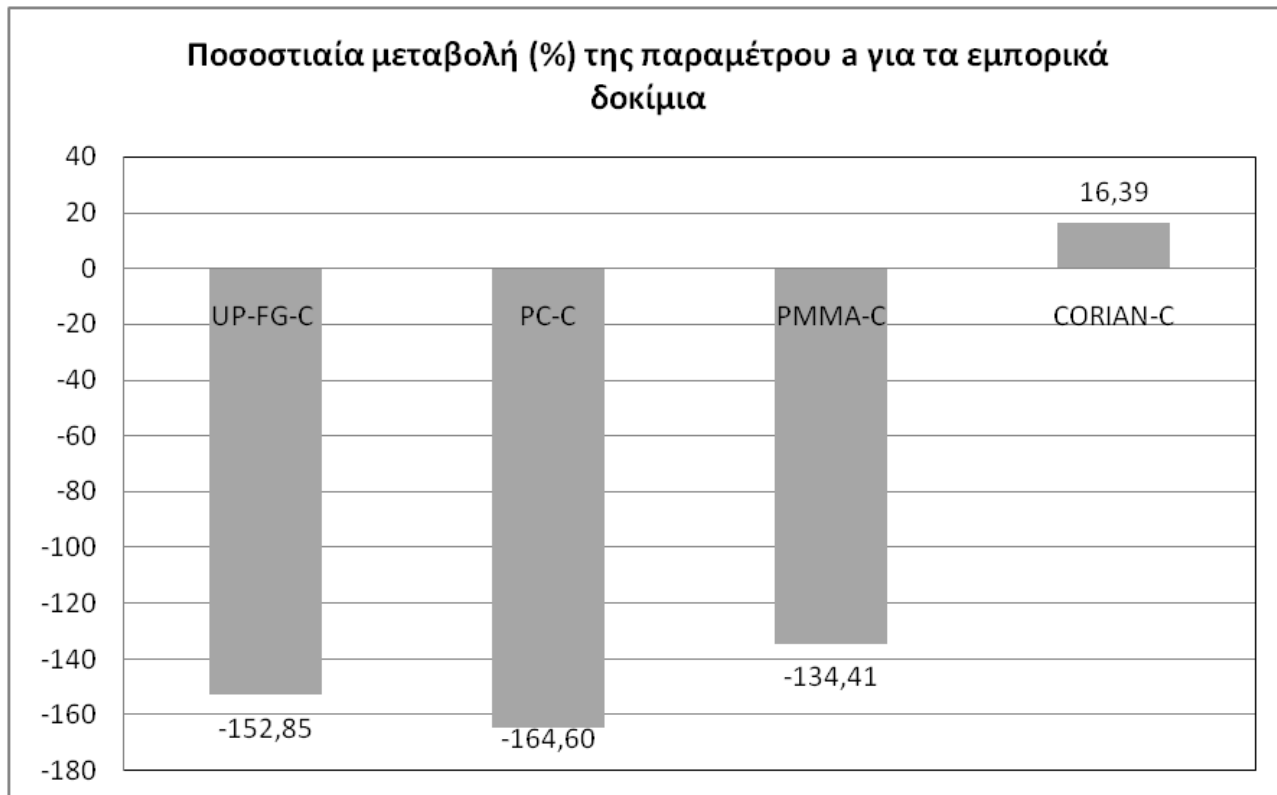
Σχήμα 9.23: Διάγραμμα σύγκρισης της παραμέτρου b, των ακτινοβολημένων υλικών.



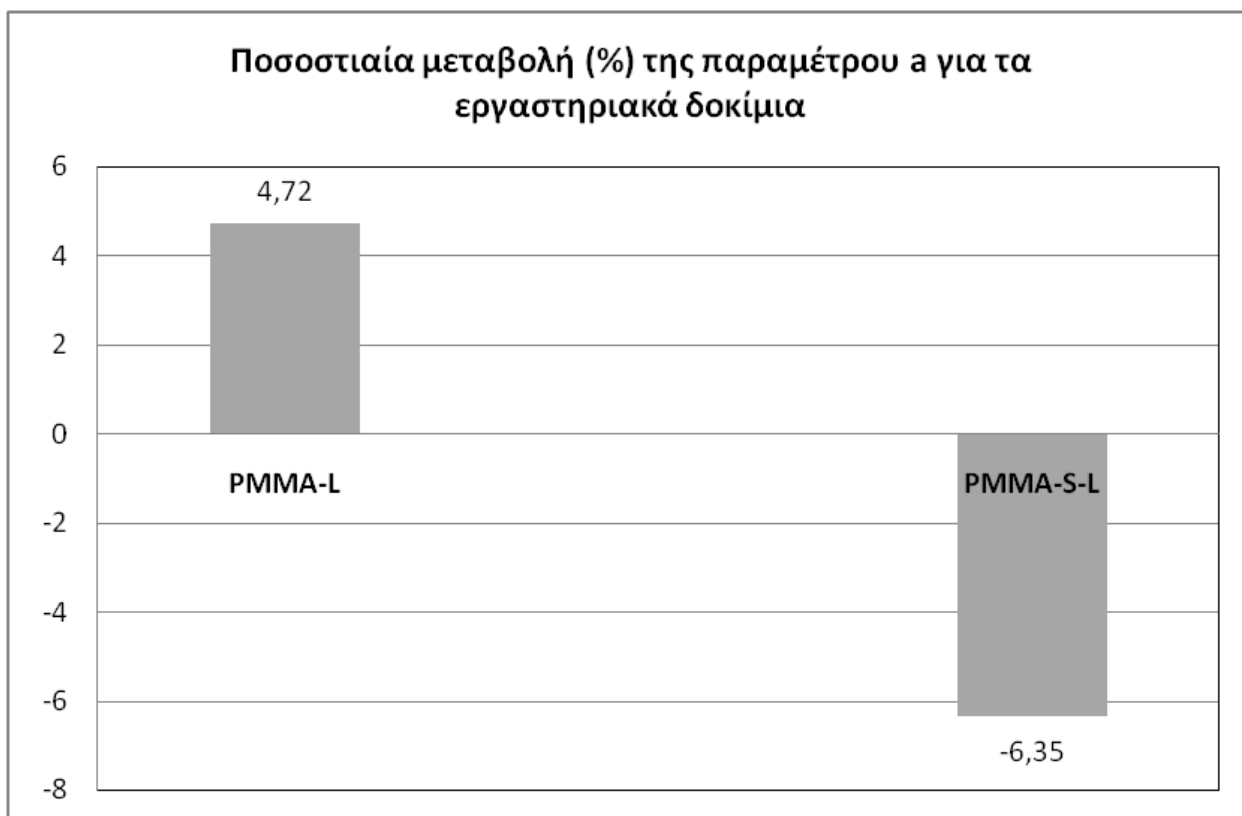
Σχήμα 9.24: Ποσοστιαία μεταβολή (%) της φωτεινότητας (L) για τα εμπορικά δοκίμια μετά από 48h ακτινοβόλησης.



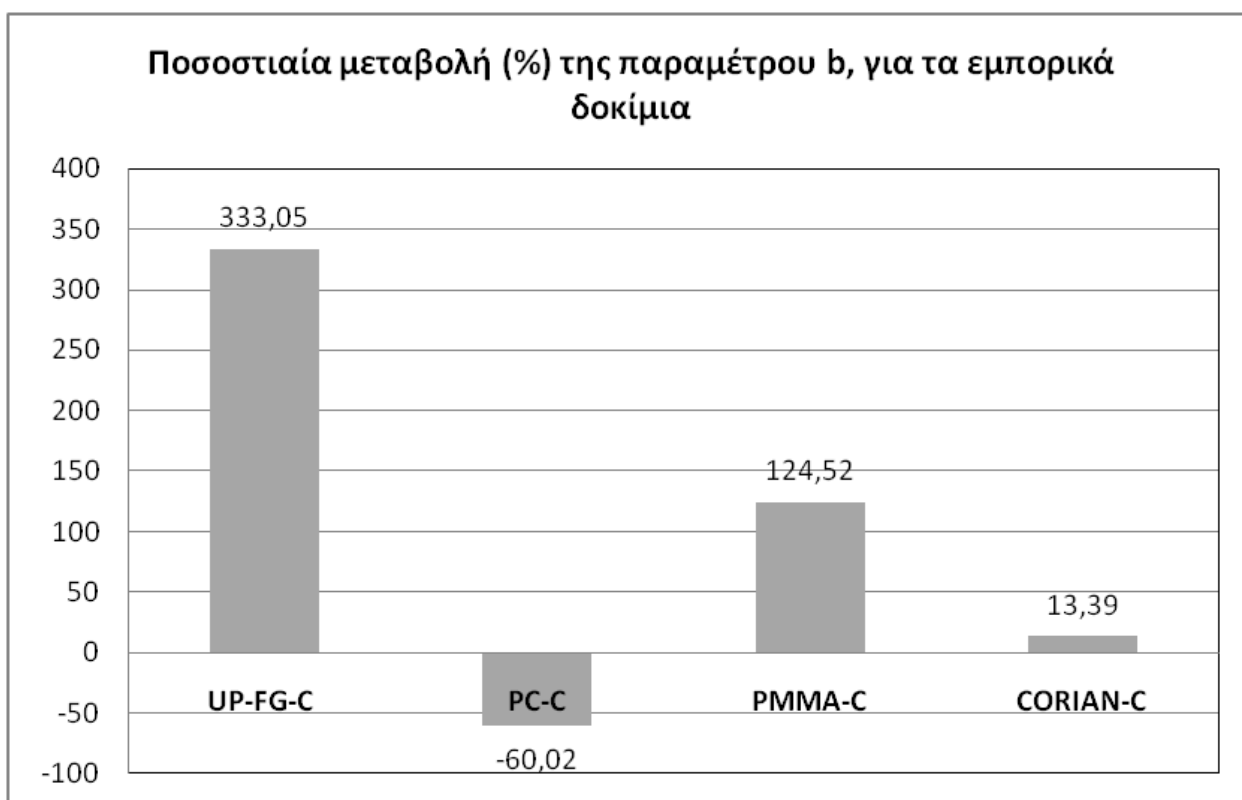
Σχήμα 9.25: Ποσοστιαία μεταβολή (%) της φωτεινότητας (L) για τα εργαστηριακά δοκίμια μετά από 48h ακτινοβολήσης.



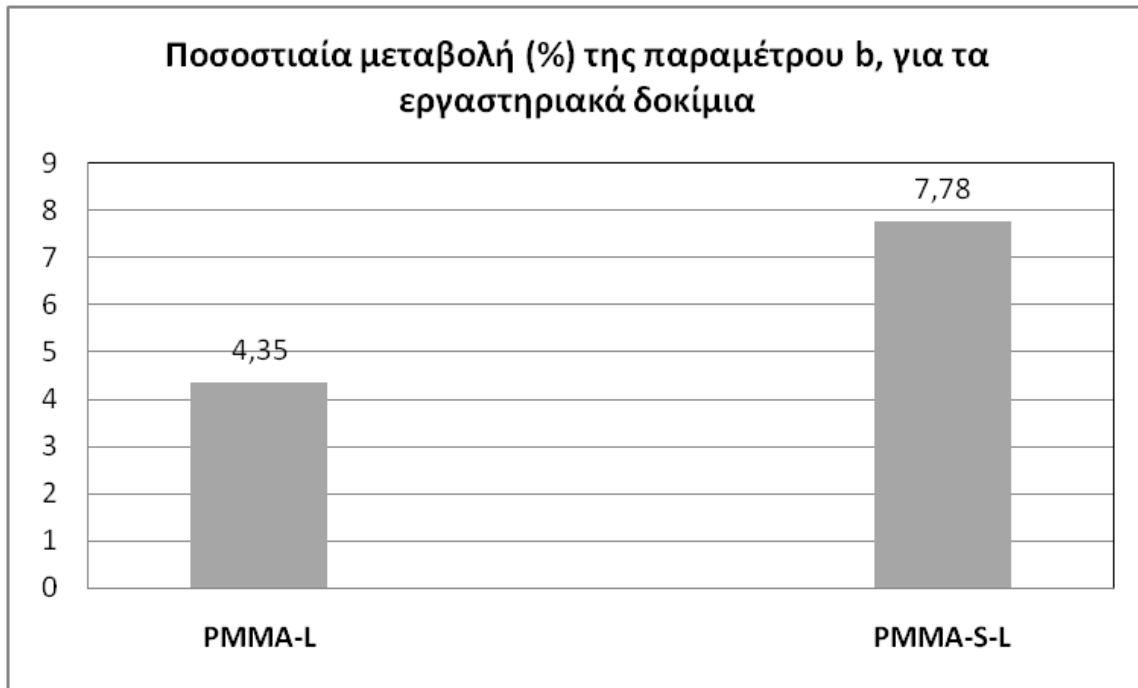
Σχήμα 9.26: Ποσοστιαία μεταβολή (%) της παραμέτρου a, για τα εμπορικά δοκίμια μετά από 48h ακτινοβολήσης.



Σχήμα 9.27: Ποσοστιαία μεταβολή (%) της παραμέτρου a, για τα εργαστηριακά δοκίμια μετά από 48h ακτινοβολήσης.



Σχήμα 9.28: Ποσοστιαία μεταβολή (%) της παραμέτρου b, για τα εμπορικά δοκίμια μετά από 48h ακτινοβολήσης.



Σχήμα 9.29: Ποσοστιαία μεταβολή (%) της παραμέτρου b, για τα εργαστηριακά δοκίμια μετά από 48h ακτινοβολήσης.

10 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

10.1 Δοκιμή σε Κάμψη και Διάτμηση

10.1.1 Δοκιμή σε κάμψη

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ακολουθεί τα πρότυπα κατά ASTM D 790-71 ή DIN EN ISO 178 ή DIN 53 452. Όλα τα δοκίμια που μετρήθηκαν είχαν μήκος 100mm ενώ τα πάχη και τα πλάτη τους αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα. Για τον υπολογισμό της αντοχής σε κάμψη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των τριών σημείων, όπου το φορτίο P ασκείται στο μέσο της απόστασης των σημείων στήριξης L_s (σχήμα 9.1). Η απόσταση μεταξύ των σημείων στήριξης ήταν 10cm. Η δύναμη μετρήθηκε σε κάθε περίπτωση με δυναμόμετρο ακριβείας 9,81N και το βέλος κάμψης με βελόμετρο ακριβείας εκατοστού mm.

Η αντοχή σε κάμψη, σ_B , σύμφωνα με το πρότυπο, δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\sigma_B = \left(\frac{3 \cdot P_{\max} \cdot L_s}{2 \cdot b \cdot d^2} \right)$$

όπου, σ_B : αντοχή σε κάμψη (MPa)

P_{\max} : μέγιστο εφαρμοζόμενο φορτίο που αντέχει το δοκίμιο (N)

L_s : απόσταση των σημείων στήριξης (mm)

b : πλάτος του δοκιμίου (mm)

d : πάχος του δοκιμίου (mm)

10.1.2 Δοκιμή σε διάτμηση

Η αντοχή σε διάτμηση των δοκιμίων έγινε με βάση την αντοχή σε κάμψη, με ελαττωμένη απόσταση των σημείων στήριξης ως προς το πάχος του δοκιμίου, σύμφωνα με το πρότυπο ASTM-NORM.D 2344-65 T, (σχήμα 9.1). Όλα τα δοκίμια που μετρήθηκαν είχαν μήκος 100mm ενώ τα πλάτη και τα πλάτη τους αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα. Έτσι, όπως προαναφέρθηκε, η μέθοδος αυτή αντιστοιχεί σε αυτήν της κάμψης τριών σημείων, με τη μόνη διαφορά ότι τα σημεία στήριξης απέχουν πολύ μικρότερη απόσταση μεταξύ τους, περίπου 10mm.

Η αντοχή σε διάτμηση, τ_B , σύμφωνα με το πρότυπο, δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\tau_B = \left(\frac{0,75 \cdot P_{\max}}{b \cdot d} \right)$$

όπου, τ_B : αντοχή σε διάτμηση (MPa)

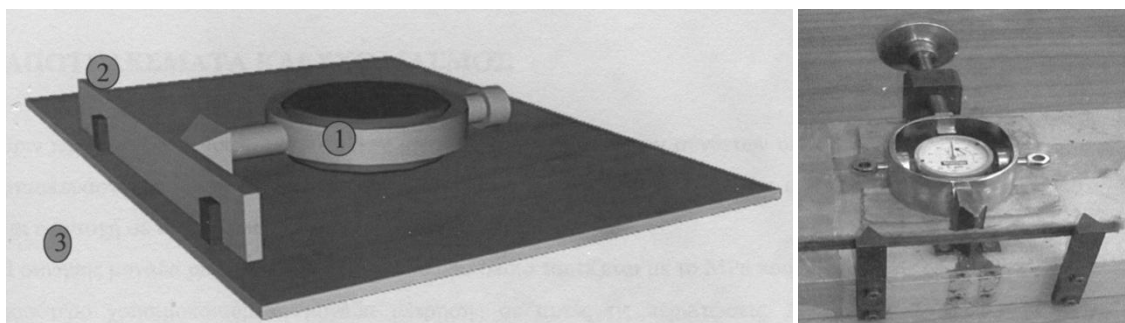
P_{\max} : μέγιστο εφαρμοζόμενο φορτίο που αντέχει το δοκίμιο (N)

b : πλάτος του δοκιμίου (mm)

d : πάχος του δοκιμίου (mm)

Σημειώνεται ότι, υπέστησαν δοκιμή αντοχής σε κάμψη και σε διάτμηση τουλάχιστον τέσσερα δοκίμια από κάθε περίπτωση. Από τις τιμές αυτές προσδιορίστηκαν οι μέσοι όροι, οι οποίοι και αναφέρονται στους παρακάτω πίνακες.

Στο παρακάτω σχήμα (εικ.1) απεικονίζεται η διάταξη μέτρησης της δοκιμής σε κάμψη και διάτμηση με την οποία μετρήθηκαν τα δοκίμια για την παρούσα εργασία. Συγκεκριμένα, έτσι όπως φαίνονται τα σημεία στήριξης μετράται η αντοχή σε κάμψη, ενώ μειώνοντας την απόσταση των σημείων αυτών μετράται η αντοχή σε διάτμηση.



Σχήμα 10.1: Διάταξη μέτρησης δοκιμής σε κάμψη και διάτμηση

(1) Αναλογικό – Μηχανικό βελόμετρο (επιμηκυνσιόμετρο)

(2) Δοκίμιο

(3) Μεταβλητή απόσταση σημείων στήριξης, όπου οι αποστάσεις είναι 100 mm προκειμένου για τη δοκιμή σε κάμψη και 100 mm για τη δοκιμή σε διάτμηση

10.1.3 Αποτελέσματα μετρήσεων κάμψης και διάτμησης

Κατά την διαδικασία της μέτρησης δεν κατάφεραν να δώσουν αποτελέσματα σε κάμψη και διάτμηση το πολυκαρβονικό, καθώς και τα φιλμ PMMA που παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο καθώς παρουσίασαν ελαστική συμπεριφορά η οποία δεν μπορεί να οδηγήσει σε θραύση. Επομένως τα υλικά που μετρήθηκαν σε κάμψη και σε

διάτμηση είναι, το corian και το plexiglass ενώ ο πολυεστέρας με ίνες γυαλιού έδωσε αποτελέσματα μόνο σε διάτμηση.

Πριν παραταθούν τα αποτελέσματα των μηχανικών μετρήσεων των δοκιμών που μετρήθηκαν, είναι σκόπιμο να αναφερθούν οι μονάδες σύμφωνα με τις οποίες μετράται η αντοχή σε κάμψη και διάτμηση.

Η συνήθης μονάδα μέτρησης είναι το N/mm^2 , το οποίο ταυτίζεται με το MPa που είναι η περισσότερο χρησιμοποιούμενη μονάδα μέτρησης σε αυτές τις περιπτώσεις. Άλλες λιγότερο εύχρηστες μονάδες μέτρησης και η αντιστοιχία τους με το N/mm^2 αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 10.1 : Μονάδες μέτρησης αντοχής σε κάμψη και διάτμηση

Μονάδες μέτρησης	Μετατροπές μονάδων
1 MPa	1N/mm ²
1 N/mm ²	10,191 kp/cm ²
1 kp/cm ²	0.0981 N/mm ²
1 kp/mm ²	9.81 N/mm ²

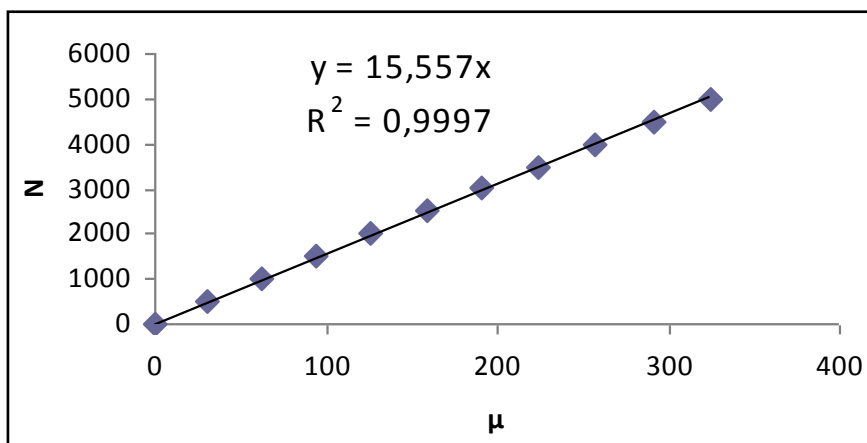
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι τιμές των μηχανικών μετρήσεων των υλικών που μετρήθηκαν καθώς και τα χαρακτηριστικά τους πάχη και πλάτη.

Πίνακας 10.2: Μηχανικές ιδιότητες των υλικών που μετρήθηκαν πριν την UV ακτινοβολία

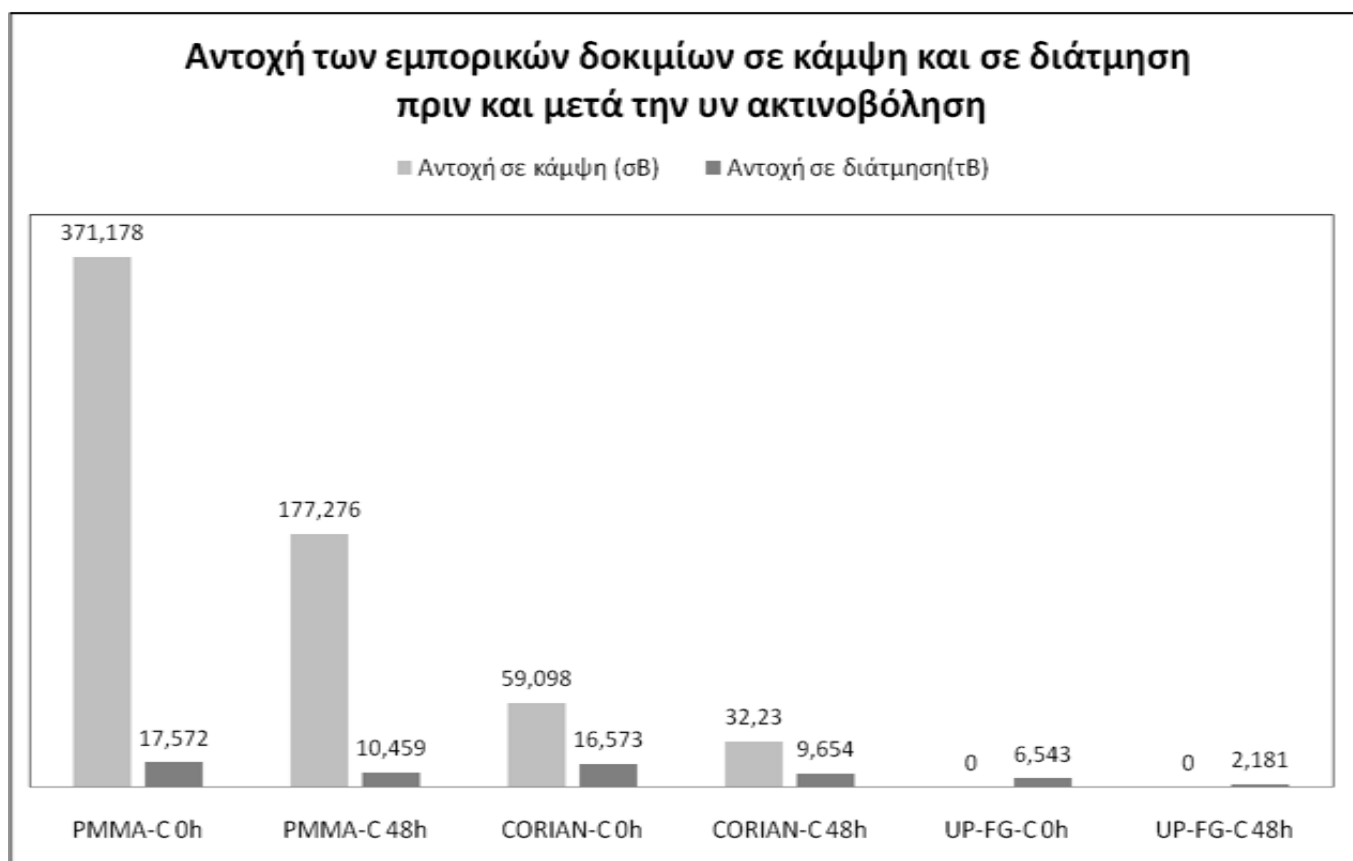
υλικό	πάχος (d)	πλάτος (b)	Κάμψη μ.ο. μετρήσεων	Κάμψη P _{max}	Διάτμηση μ.ο. μετρήσεων	Διάτμηση P _{max}	Αντοχή σε κάμψη(σ _B) (MPa)	Αντοχή σε διάτμηση(τ _B) (MPa)
PMMA-C	4,88	17,68	67	1041,87	130	2021,5	371,178	17,572
CORIAN-C	5,99	12,1	11	171,05	103	1601,65	59,098	16,573
UP-FG-C	12,73	0,84	-	-	6	93,3	-	6,543

Πίνακας 10.3 : Μηχανικές ιδιότητες των υλικών που μετρήθηκαν μετά την UV ακτινοβολία

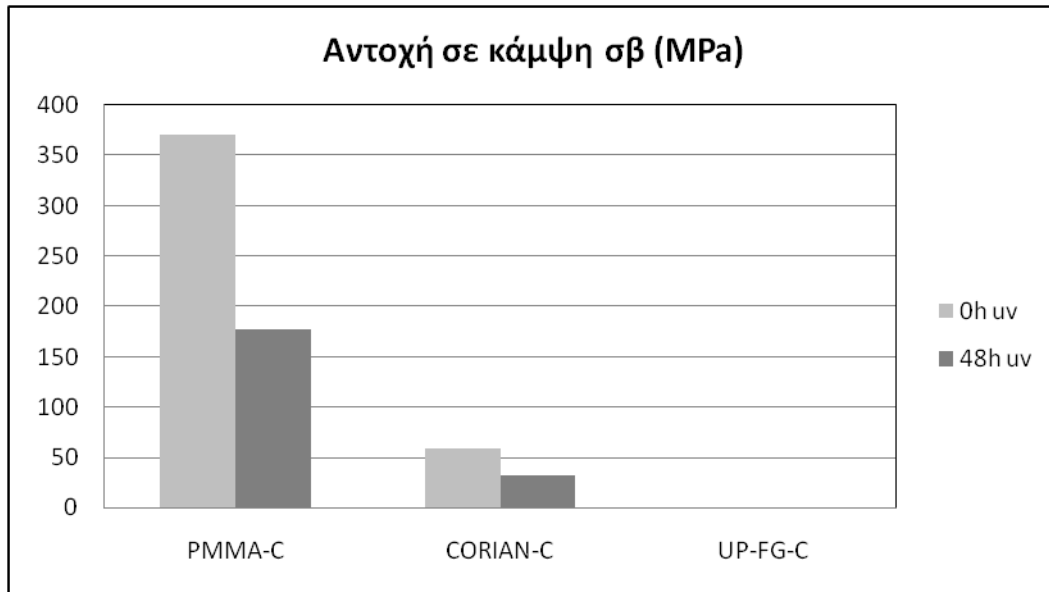
υλικό	πάχος (d)	πλάτος (b)	Κάμψη μ.ο. μετρήσεων	Κάμψη P _{max}	Διάτμηση μ.ο. μετρήσεων	Διάτμηση P _{max}	Αντοχή σε κάμψη(σ _B) (MPa)	Αντοχή σε διάτμηση(τ _B) (MPa)
PMMA-C	4,88	17,68	32	497.6	65	1010.75	177.276	10.459
CORIAN-C	5,99	12,10	6	93.3	60	933	32,23	9.654
UP-FG-C	12,73	0,84	-	-	2	31.1	-	2.181



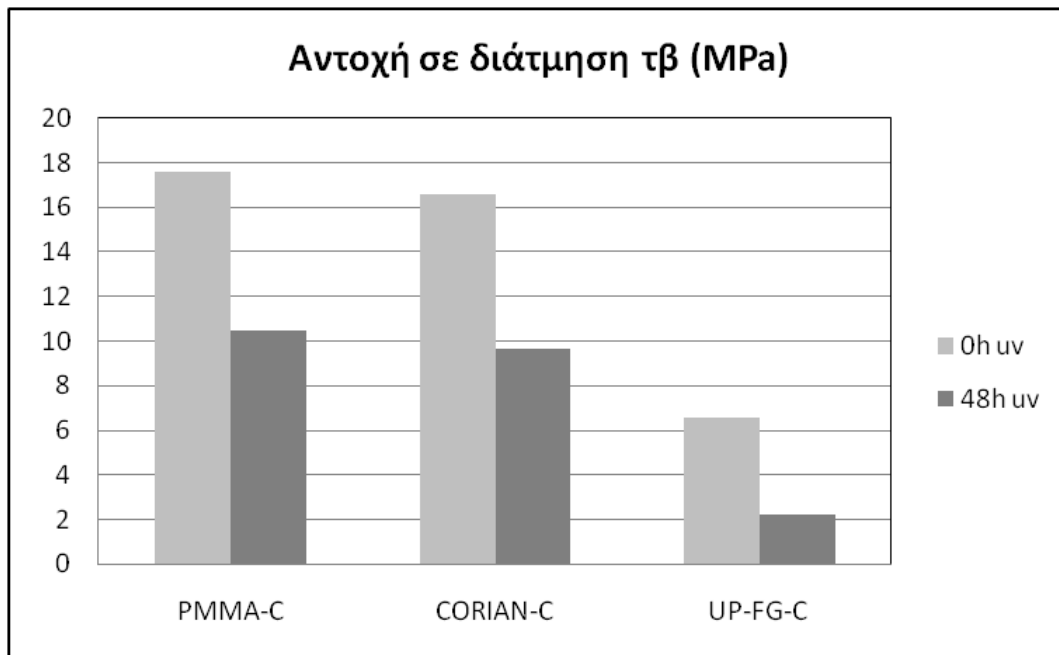
Σχήμα 10.2: Διάγραμμα γραμμικής παρεμβολής για τον υπολογισμό της αντοχής σε κάμψη (σ_B) και της αντοχής σε διάτμηση (τ_B)



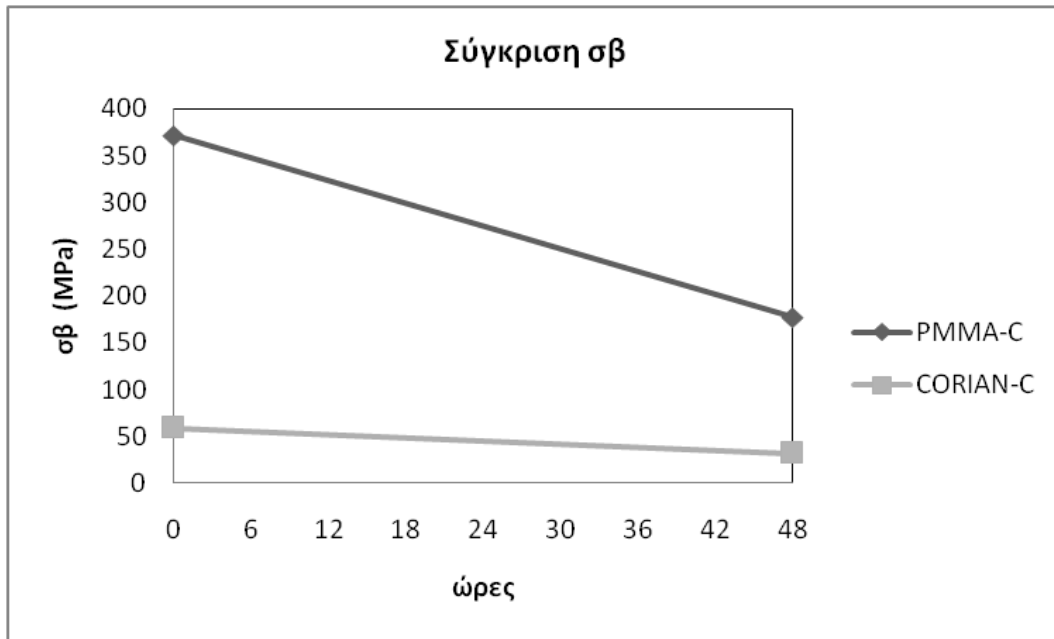
Σχήμα 10.3: Συγκριτικό ραβδόγραμμα των εμπορικών δοκιμών, αντοχής σε κάμψη και σε διάτμηση πριν και μετά την ακτινοβόληση



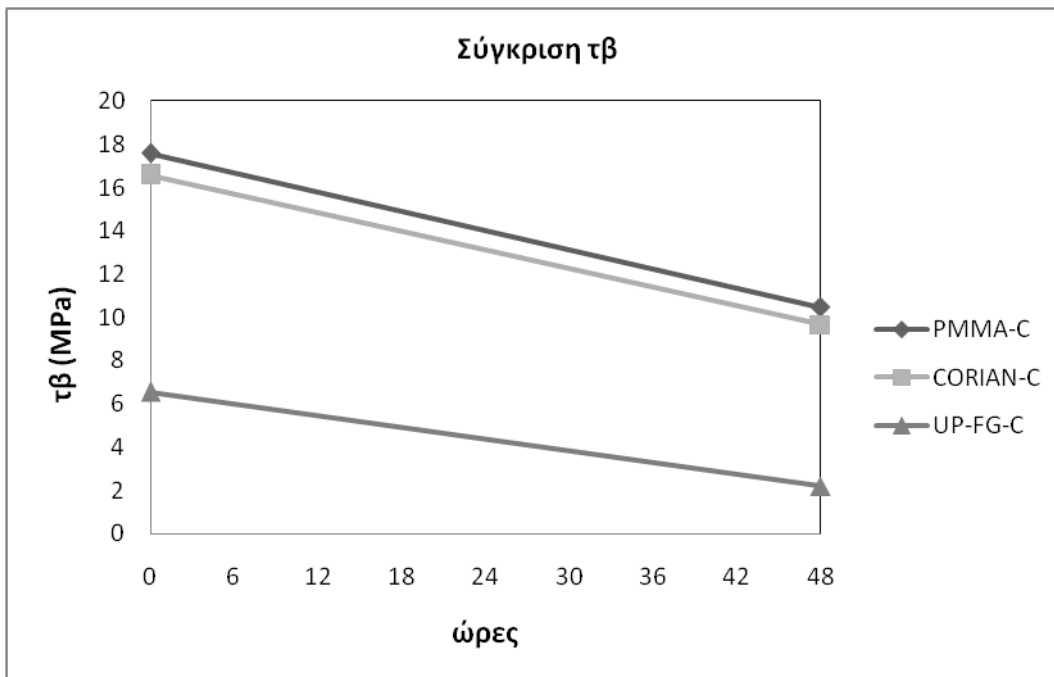
Σχήμα 10.4: Συγκριτικό ραβδόγραμμα αντοχής σε κάμψη πριν και μετά την ακτινοβολία



Σχήμα 10.5: Συγκριτικό ραβδόγραμμα αντοχής σε διάτμηση πριν και μετά την ακτινοβολία



Σχήμα 10.6: Συγκριτικό διάγραμμα αντοχής σε κάμψη πριν και μετά την ακτινοβολία



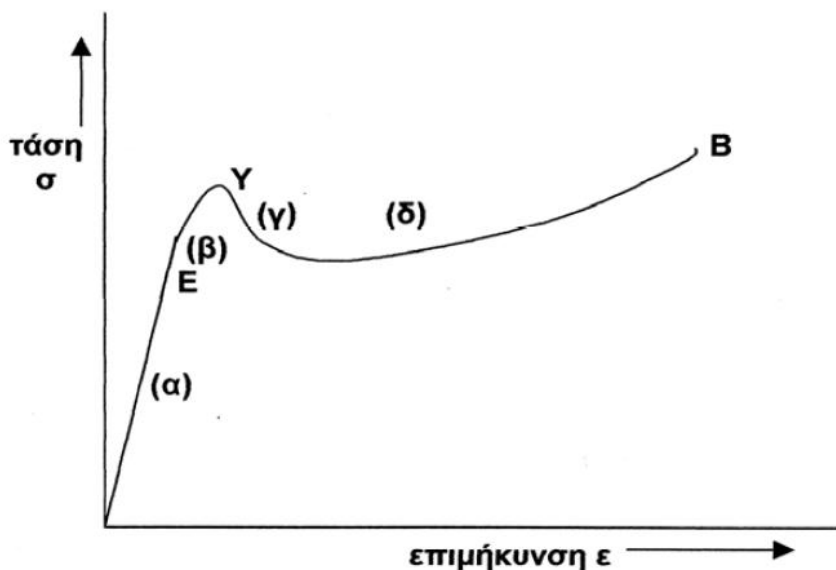
Σχήμα 10.7: Συγκριτικό διάγραμμα αντοχής σε διάτμηση πριν και μετά την ακτινοβολία

10.2 Δοκιμή εφελκυσμού

10.2.1 Γενικά

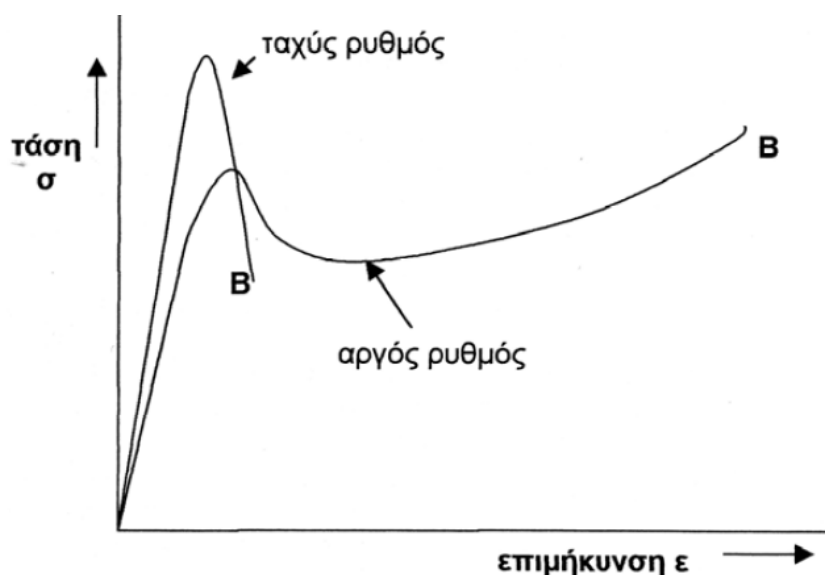
Μία από τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες δοκιμές της μηχανικής συμπεριφοράς των πολυμερών είναι η δοκιμή εφελκυσμού (tensile test). Η δοκιμή αυτή μας δίνει τα διαγράμματα τάσης – παραμόρφωσης (σ - ϵ). Μία τέτοια δοκιμή προσδιορίζει την ικανότητα του υλικού να αντέχει σε δυνάμεις που τείνουν να το εκτείνουν και το βαθμό στο οποίο το υλικό έχει εκταθεί ή παραμορφωθεί πριν τη θραύση του. Υπάρχει ένα πλήθος παραγόντων που επηρεάζουν τη μορφή ενός διαγράμματος τάσης – παραμόρφωσης. Μερικοί από αυτούς είναι η θερμοκρασία, ο ρυθμός επιμήκυνσης, η προϊστορία του υλικού, η γεωμετρία του δοκιμίου, η εξωτερική πίεση και το περιβάλλον. Ένα τέτοιο διάγραμμα είναι χρήσιμο μόνο όταν είναι πλήρως καθορισμένοι οι προηγούμενοι παράγοντες.

Στο σχήμα που ακολουθεί (Διάγρ.9.1) φαίνεται ένα τυπικό διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης (σ - ϵ) ενός πολυμερούς. Στις χαμηλές παραμορφώσεις, η καμπύλη σ - ϵ είναι ευθεία γραμμή μέχρι το σημείο E. Η περιοχή αυτή (περιοχή α του διαγράμματος) ονομάζεται γραμμική ελαστική περιοχή του υλικού. Από την κλίση της γραμμής αυτής προσδιορίζεται το μέτρο ελαστικότητας (Young Modulus) E του υλικού. Μετά το σημείο E ακολουθεί η μη γραμμική ελαστική περιοχή (περιοχή β του διαγράμματος). Η καμπύλη αυτή εμφανίζει ένα μέγιστο στο σημείο Y. Το σημείο αυτό ονομάζεται σημείο διαρροής (yield point), η αντίστοιχη τάση σ_Y καλείται τάση διαρροής (yield strength) ενώ η αντίστοιχη παραμόρφωση επιμήκυνση διαρροής (elongation at strength). Μετά το σημείο διαρροής το υλικό συνεχίζει να παραμορφώνεται με τάση μικρότερη της σ_Y , με την εμφάνιση στένωσης ή λαιμού στο δοκίμιο (περιοχή γ του διαγράμματος). Αυτή η περιοχή ονομάζεται περιοχή λαιμώσεως (necking). Μετά την περιοχή λαιμώσεως το δοκίμιο παραμορφώνεται υπό σταθερή σχεδόν τάση. Στην περιοχή αυτή (περιοχή δ του διαγράμματος), το υλικό συμπεριφέρεται κατά κάποιο τρόπο, σαν εύκολα παραμορφώσιμο ή εύπλαστο, παρά το γεγονός ότι δεν θερμαίνεται εξωτερικά. Το φαινόμενο αυτό καλείται ψυχρή έλαση (cold drawing). Σε μεγάλες παραμορφώσεις η τάση αυξάνει συνήθως και πάλι μέχρι το τελικό σημείο θραύσης B. Η τάση σ_B στο σημείο θραύσης ονομάζεται τάση θραύσης ή αντοχή σε εφελκυσμό (tensile or ultimate strength) και η παραμόρφωση ϵ_B επιμήκυνση κατά τη θραύση (elongation at break). Για ορισμένες εφαρμογές οι οποίες απαιτούν μεγάλη αντοχή, η κρίσιμη τάση του υλικού θεωρείται η σ_Y και όχι η σ_B .



Σχήμα 10.8: Τυπικό Διάγραμμα Τάσης-Επιμήκυνσης

Στο παρακάτω σχήμα (Διάγρ. 9.2) φαίνεται η διαφορετική συμπεριφορά που παρουσιάζει ένας πολυεστέρας για δύο ρυθμούς παραμόρφωσης: έναν υψηλό (μεγαλύτερο από 1 mm/s), και έναν χαμηλό (μικρότερο από 0,05 mm/s). Το υλικό συμπεριφέρεται εντελώς διαφορετικά στις δύο αυτές συνθήκες δοκιμής. Στην περίπτωση του χαμηλού ρυθμού, το υλικό εμφανίζει μία σημαντική επιμήκυνση πριν τη θραύση του. Παρόλα αυτά και στις δύο περιπτώσεις το υλικό εμφανίζει στο διάγραμμά του ένα μέγιστο σημείο, το σημείο διαρροής.

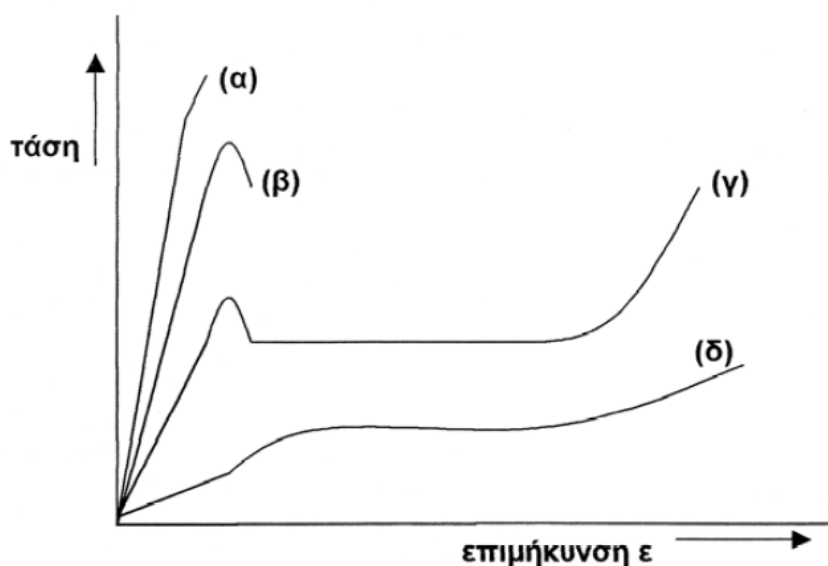


Σχήμα 10.9: Συμπεριφορά πολυεστέρα για δύο ρυθμούς επιμήκυνσης

Οι τελικές μηχανικές ιδιότητες των πολυμερών είναι: το φαινόμενο της διαρροής (yielding), της λαίμωσης (necking), της ψυχρής έλασης (cold drawing), της θραύση (fracture) και της κόπωσης (fatigue). Εμείς θα ασχοληθούμε με το φαινόμενο της διαρροής, το οποίο και περιγράφεται παρακάτω.

Είναι γνωστό πως η συμπεριφορά ενός πολυμερούς επηρεάζεται σημαντικά από την θερμοκρασία και το ρυθμό παραμόρφωσης. Γι αυτό και το διάγραμμα φορτίου–επιμήκυνσης μεταβάλλεται καθώς μεταβάλλεται η θερμοκρασία. Στο διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο τρόπος εξάρτησης από την θερμοκρασία για σταθερό ρυθμό παραμόρφωσης.

Στις χαμηλές θερμοκρασίες, το φορτίο αυξάνεται σχεδόν γραμμικά με την επιμήκυνση μέχρι του σημείου θραύσης του δοκιμίου, όπως φαίνεται στην καμπύλη α. Η επιμήκυνση στο σημείο θραύσης διατηρείται γενικά σε πολύ χαμηλά επίπεδα, τυπικές τιμές της είναι κάτω του 10%. Στην περίπτωση αυτή το υλικό εμφανίζει ψαθυρή θραύση. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, το υλικό εμφανίζει ένα μέγιστο στην καμπύλη φορτίου (καμπύλη β), γνωστό ως σημείο διαρροής ή σημείο ενδώσεως ή όριο ελαστικότητας. Μετά από αυτό το σημείο, ακολουθεί η θραύση του υλικού με σχετικά χαμηλές επιμηκύνσεις, γύρω στο 10-20%. Σε ορισμένες περιπτώσεις, πριν τη θραύση, το υλικό εμφανίζει μία στένωση της διατομής του, γνωστή ως λαίμωση. Η θραύση σε αυτήν την περίπτωση αναφέρεται ως πλαστική ή ελατή θραύση. Το σημαντικότερο στην συμπεριφορά αυτή είναι ότι το πολυμερές, πέραν του σημείου διαρροής, υφίσταται μια μη αντιστρεπτή ή πλαστική παραμόρφωση. Σε ακόμη υψηλότερες θερμοκρασίες, υπό ορισμένες συνθήκες, η λαίμωση σταθεροποιείται το υλικό εμφανίζει μια σκλήρυνση λόγω επιμήκυνσης, οδηγώντας έτσι σε ψυχρή έλαση του υλικού (καμπύλη γ). Στην περίπτωση αυτή η επιμηκύνσεις είναι σημαντικές της τάξεως του 100% και το υλικό αναφέρεται και πάλι ως ελατό. Τέλος, σε ακόμα υψηλότερες θερμοκρασίες, το υλικό εμφανίζει μία ομοιόμορφη παραμόρφωση χωρίς σημεία διαρροής και η θραύση εμφανίζεται σε πολύ υψηλές επιμηκύνσεις (καμπύλη δ). Η συμπεριφορά αυτή είναι αναμενόμενη στην περίπτωση των άμορφων πολυμερών πάνω από την θερμοκρασία υαλώδους μεταπτώσεως (περιοχή ελαστοελαστικότητας) ενώ οι ασκούμενες τάσεις διατηρούνται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα.

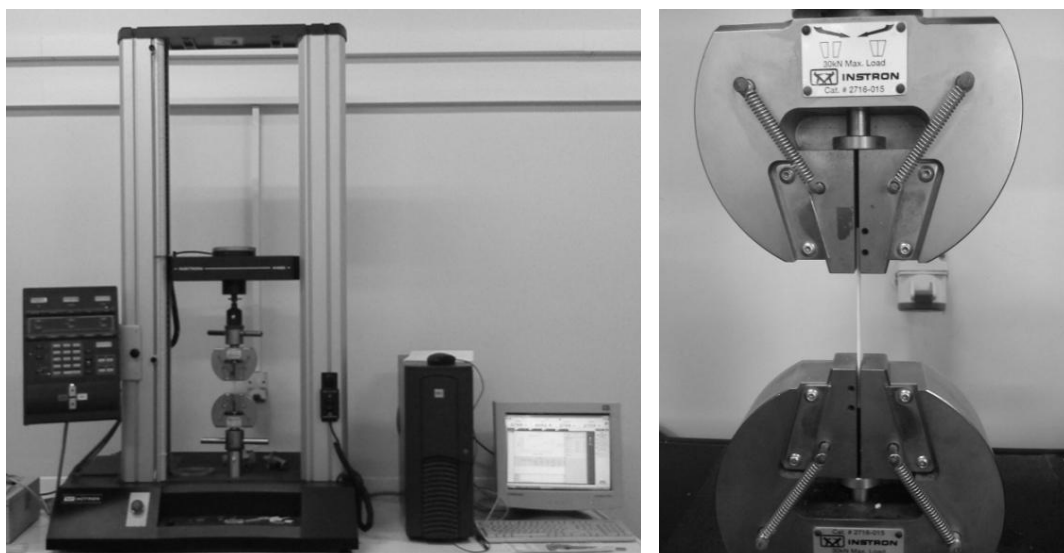


Σχήμα 10.10: α) Ψαθυρή θραύση β) Σημείο διαρροής ή ενδώσεως και πλαστική ή ελατή θραύση γ) λαίμωση και ψυχρή έλαση δ) Ελαστική συμπεριφορά

10.2.2 Περιγραφή της διάταξης

Σε μια διάταξη εφελκυσμού, τα άκρα των δοκιμίων συγκρατούνται από δύο ειδικούς σφιγκτήρες (αρπάγες), οι οποίοι απομακρύνονται μεταξύ τους με απόλυτα ελεγχόμενη ταχύτητα, επιβάλλοντας έτσι ελεγχόμενο ρυθμό παραμόρφωσης του δοκιμίου. Πάνω στο δοκίμιο είναι προσαρμοσμένο ένα επιμηκυνσίμετρο για τον ακριβή έλεγχο της παραμόρφωσης του δοκιμίου.

Οι μετρήσεις των δοκιμίων της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκαν σε μια μηχανή εφελκυσμού τύπου Instron 1121 μέγιστου φορτίου 10 KN σε θερμοκρασία δωματίου (Εικ. 9.9). Τα δοκίμια είχαν μήκος 100 mm και η επιβαλλόμενη ταχύτητα μετακίνησης αρπαγών ήταν διαφορετική για επιμέρους δοκίμια (Πίνακας 9.4).



Σχήμα 9.9: Διάταξη μέτρησης εφελκυσμού Instron 1121

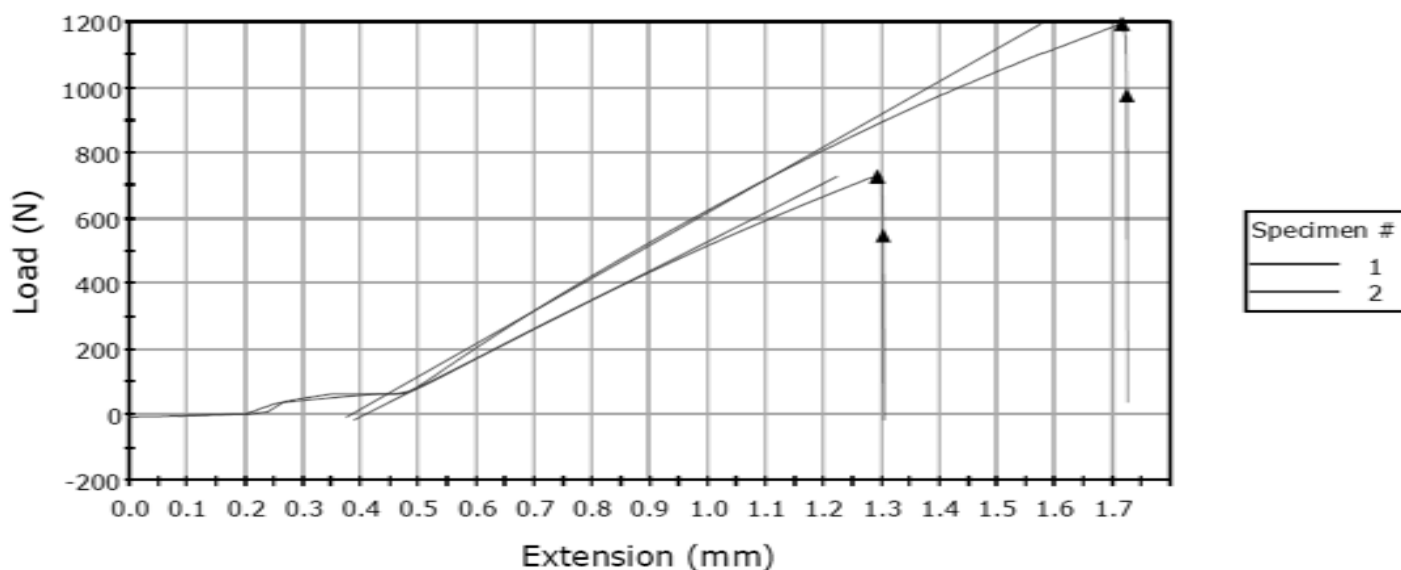
10.2.3 Αποτελέσματα μετρήσεων εφελκυσμού

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται συγκεντρωμένες όλες οι μετρήσεις δοκιμής σε εφελκυσμό για το κάθε δοκίμιο πριν και μετά από 48h UV ακτινοβόληση. Για τα δοκίμια πριν την ακτινοβόληση θραύτηκαν δύο για κάθε υλικό ενώ για μετά την ακτινοβόληση ένα.

Πίνακας 10.4: Αναλυτική παρουσίαση των μετρήσεων εφελκυσμού για το κάθε δοκίμιο μετά από 48 ώρες UV ακτινοβολήσης

Όνομασία δείγματος Sample	Ταχύτητα μετακίνησης αρπαγών Rate (mm/min)	Μέγιστο Φορτίο Maximum load (N)	Εφελκυστική τάση στο μέγιστο φορτίο Tensile strain at maximum load (MPa)	Εφελκυστική τάση στο μέγιστο φορτίο Tensile strain at maximum load (%)	Εφελκυστική τάση θραύσης tensile strain at break		Μέτρο ελαστικότητας modulus (MPa)	Επιμήκυνση extension (mm)		
					(MPa)	(%)		L ₀	L'	dl
Corian-C 0h 1	2	902,28	37,60	2.23	37.60	2.24	2436.915	99.80	101.35	1.55
Corian-C 0h 2	2	203,22	16.93	1.19	16.91	1.19				
Corian-C (after 48h UV)	2	801.61	33.40	1.65	33.40	1.65	4152.973	99.80	100.57	0.77
PC-C 0h 1	10	1316.51	10.45	10.65	7.39	17.38	186.093	78.85	87	8.15
PC-C 0h 2	10	1238.12	9.83	16.73	2.81	20.61				
PC-C (after 48h UV)	10	1107.65	10.86	11.64	9.58	14.75	185.842	78.85	84.45	5.6
PMMA-C 0h 1	2	3506.04	43.83	5.67	43.83	5.67	886.136	79.99	82.2	2.21
PMMA-C 0h 2	2	2708.72	21.50	5.22	21.50	5.22				
PMMA-C (after 48h UV)	2	4375.83	54.70	8.01	54.70	8.01	1330.079	79.99	83.14	3.15
UP-FG-C 0h 1	2	1193.02	91.77	4.51	75.04	4.53	3229.282	101.60	103.35	1.75
UP-FG-C 0h 2	2	728.32	66.21	3.09	49.81	3.12				
UP-FG-C (after 48h UV)	1	1048.05	65.50	3.61	65.47	3.61	2718.662	101.60	103.02	1.42
PMMA-L 0h 1	10	51.00	7.39	2.09	0.00	10.31	567.204	60	10.1	4.1
PMMA-L (after 48h UV)	5	35.70	5.41	1.89	0.24	3.61	458.958	60	60.79	0.79
PMMA-S-L 0h 1	5	52.34	9.52	2.04	-0.10	3.88	669.003	60	61.29	1.29
PMMA-S-L (after 48h UV)	5	59.59	10.83	3.09	0.10	4.21	596.266	60	60.925	0.925

UP-FG-C πριν την UV ακτινοβολία

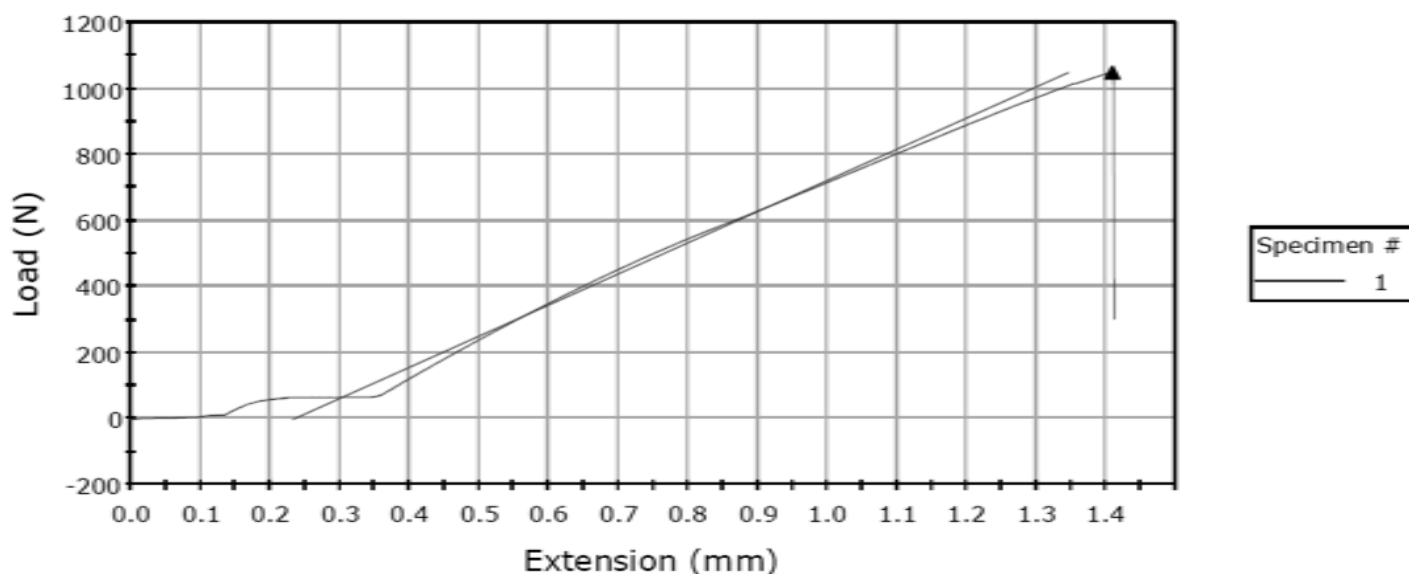


Σχήμα 10.11: Διάγραμμα εφελκυσμού, τάσης – επιμήκυνσης, για τον πολυεστέρα χωρίς UV ακτινοβολία

Πίνακας 10.5: Μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό για τον UP-FG-C την UV ακτινοβολία

	Specimen label	Maximum Load (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Tensile stress at Yield (Zero Slope) (MPa)	Modulus (E-modulus) (MPa)
	1	1193.02	91.77	4.51	975.57	75.04	4.53	91.77	2920.26
	2	728.32	66.21	3.09	547.91	49.81	3.12	66.21	3151.98
Coefficient of Variation		34.2045	22.8805	26.3964	39.6987	28.5822	26.16634	22.88056	5.39664
Maximum		1193.02	91.77	4.51	975.57	75.04	4.53	91.77	3151.98
Mean		960.67	78.99	3.80	761.74	62.43	3.83	78.99	3036.12
Median		960.67	78.99	3.80	761.74	62.43	3.83	78.99	3036.12
Minimum		728.32	66.21	3.09	547.91	49.81	3.12	66.21	2920.26
Range		464.70	25.56	1.42	427.66	25.23	1.42	25.56	231.72
Standard Deviation		328.592	18.0735	1.00358	302.401	17.8430	1.00108	18.07355	163.8486
		48	5		29	2			0

UP-FG-C μετά από 48 ώρες UV ακτινοβολία

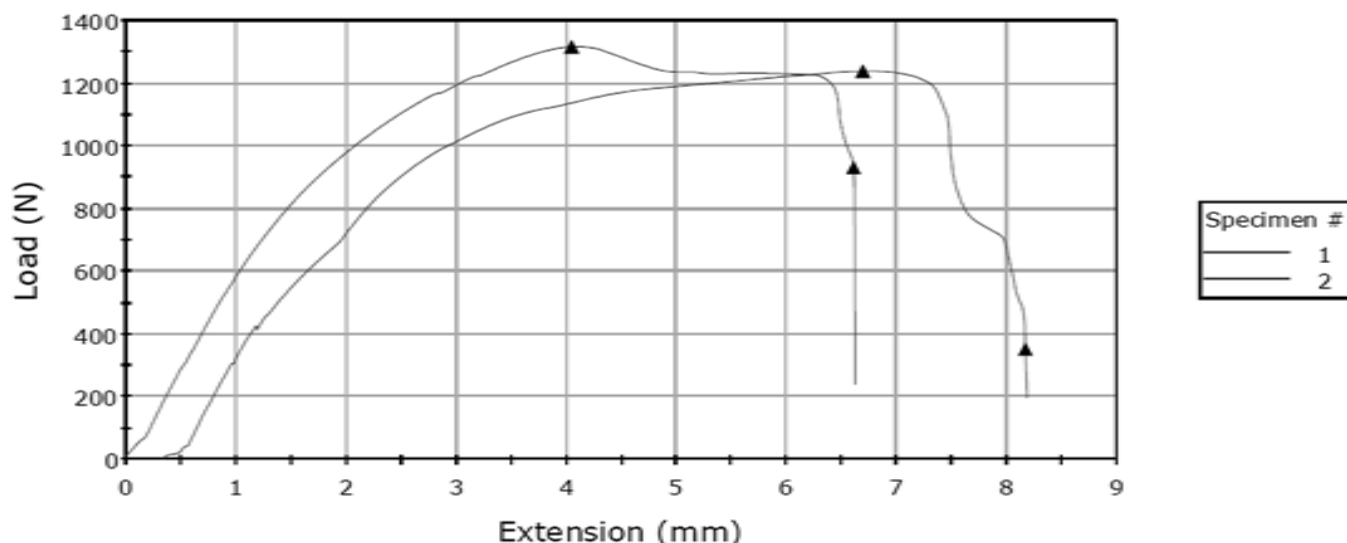


Σχήμα 10.12: Διάγραμμα εφελκυσμού, τάσης – επιμήκυνσης, για τον πολυεστέρα μετά από 48 ώρες UV ακτινοβολία

Πίνακας 10.6: Μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό για τον UP-FG-C μετά από 48 ώρες UV ακτινοβολία

	Specimen label	Maximum Load (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Tensile stress at Yield (Zero Slope) (MPa)	Modulus (E-modulus) (MPa)
	1	1048.05	65.50	3.61	1047.51	65.47	3.61	-----	2300.40
Coefficient of Variation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Maximum		1048.05	65.50	3.61	1047.51	65.47	3.61	-----	2300.40
Mean		1048.05	65.50	3.61	1047.51	65.47	3.61	-----	2300.40
Median		1048.05	65.50	3.61	1047.51	65.47	3.61	-----	2300.40
Minimum		1048.05	65.50	3.61	1047.51	65.47	3.61	-----	2300.40
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-----	0.00
Standard Deviation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Mean + 1 SD		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

PC-C πριν την UV ακτινοβολήση

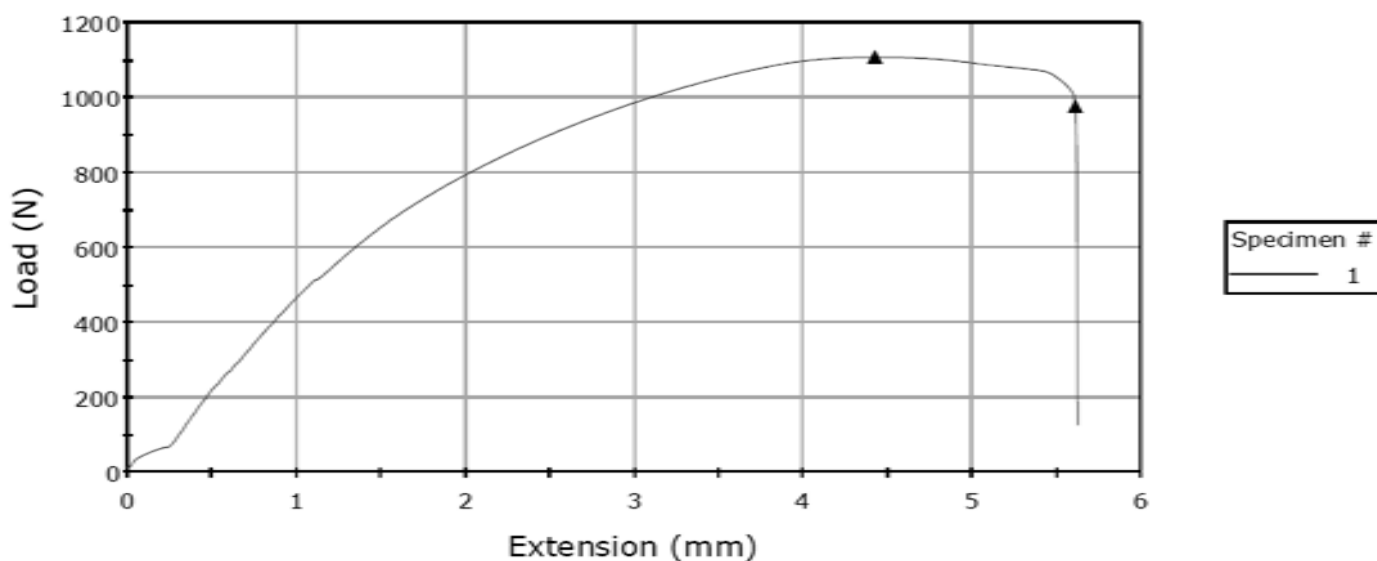


Σχήμα 10.13: Διάγραμμα εφελκυσμού, τάσης – επιμήκυνσης, για το πολυκαρβονικό πριν την UV ακτινοβολήση

Πίνακας 10.7: Μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό για το PC-C πριν την UV ακτινοβολήση

	Specimen label	Maximum Load (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Tensile stress at Yield (Zero Slope) (MPa)	Modulus (E-modulus) (MPa)
	1	1316.51	10.45	10.65	931.54	7.39	17.38	10.45	-----
	2	1238.12	9.83	16.73	354.63	2.81	20.61	9.83	-----
Coefficient of Variation		4.33958	4.33958	31.41805	63.43437	63.43437	12.02351	4.33958	-----
Maximum		1316.51	10.45	16.73	931.54	7.39	20.61	10.45	-----
Mean		1277.31	10.14	13.69	643.08	5.10	18.99	10.14	-----
Median		1277.31	10.14	13.69	643.08	5.10	18.99	10.14	-----
Minimum		1238.12	9.83	10.65	354.63	2.81	17.38	9.83	-----
Range		78.39	0.62	6.08	576.91	4.58	3.23	0.62	-----
Standard Deviation		55.43011	0.43992	4.29977	407.93695	3.23759	2.28358	0.43992	-----

PC-C μετά από 48 ώρες UV ακτινοβόληση

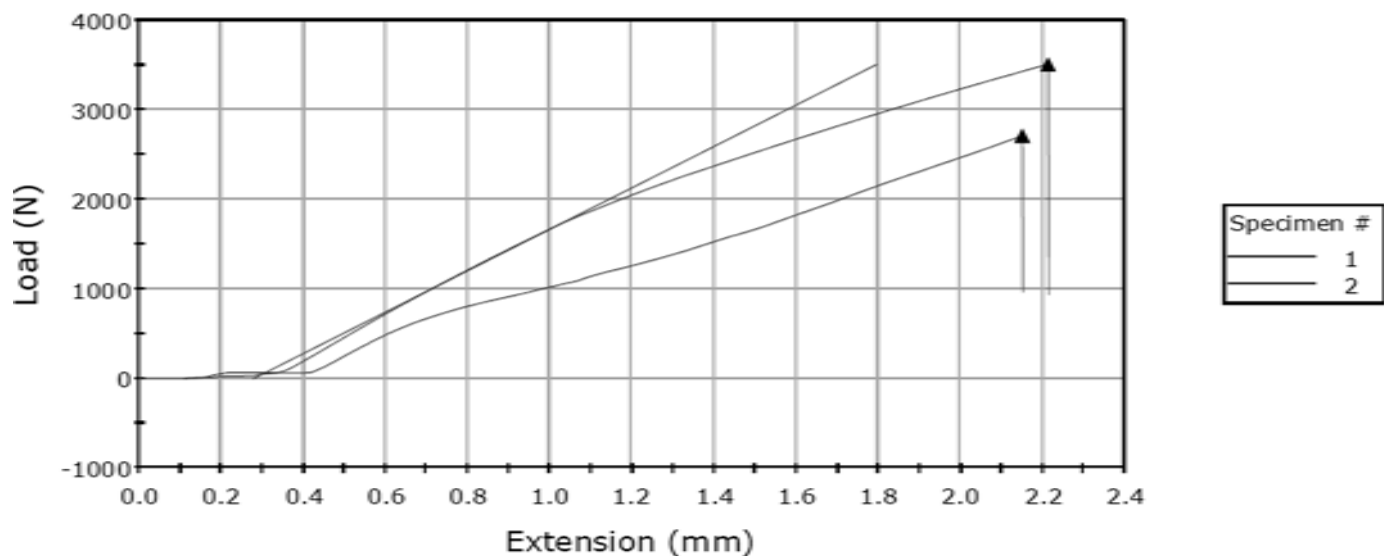


Σχήμα 10.14: Διάγραμμα εφελκυσμού, τάσης – επιμήκυνσης, για το πολυκαρβονικό μετά από 48ώρες UV ακτινοβόληση

Πίνακας 10.8: Μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό για το PC-C μετά από 48ώρες UV ακτινοβόληση

	Specimen label	Maximum Load (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Tensile stress at Yield (Zero Slope) (MPa)	Modulus (E-modulus) (MPa)
	1	1107.65	10.86	11.64	977.18	9.58	14.75	10.86	-----
Coefficient of Variation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Maximum		1107.65	10.86	11.64	977.18	9.58	14.75	10.86	-----
Mean		1107.65	10.86	11.64	977.18	9.58	14.75	10.86	-----
Median		1107.65	10.86	11.64	977.18	9.58	14.75	10.86	-----
Minimum		1107.65	10.86	11.64	977.18	9.58	14.75	10.86	-----
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-----
Standard Deviation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Mean + 1 SD		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

PMMA-C πριν την UV ακτινοβολία

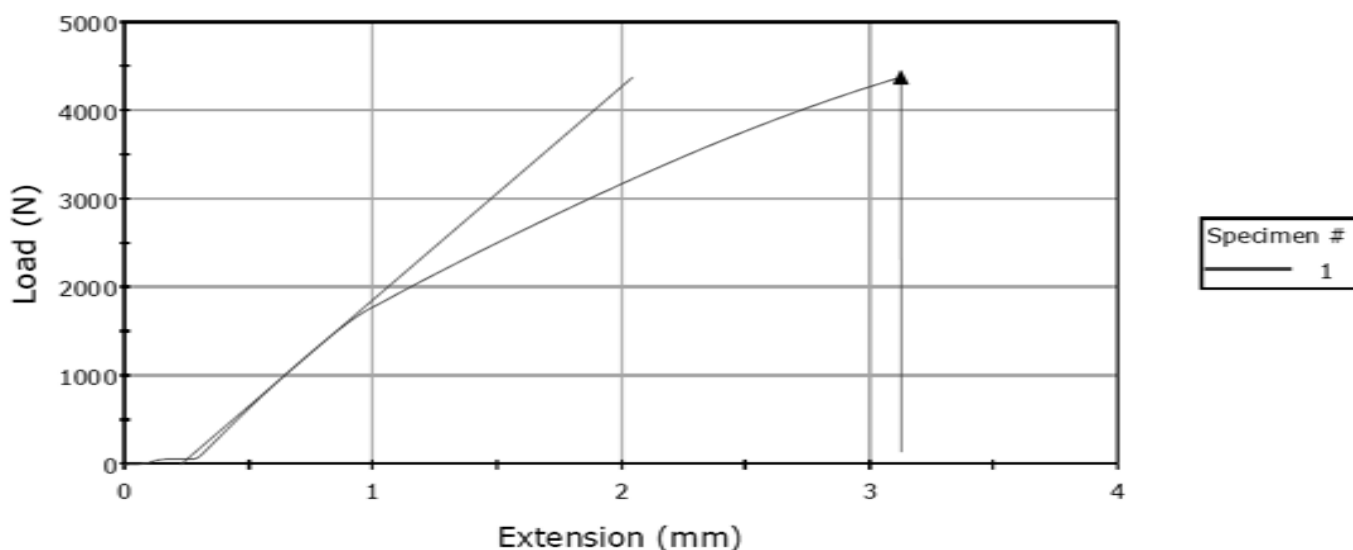


Σχήμα 10.15: Διάγραμμα εφελκυσμού, τάσης – επιμήκυνσης, για το πλέξιγκλας πριν την ακτινοβολία UV

Πίνακας 10.9: Μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό για το PMMA-C πριν την ακτινοβολία UV

	Specimen label	Maximum Load (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Tensile stress at Yield (Zero Slope) (MPa)	Modulus (E-modulus) (MPa)
	1	3506.04	43.83	5.67	3506.04	43.83	5.67	43.83	1127.86
	2	2708.72	21.50	5.22	2708.72	21.50	5.22	21.50	-----
	Coefficient of Variation	18.14359	48.33830	5.77482	18.14359	48.33830	5.77482	48.33830	-----
	Maximum	3506.04	43.83	5.67	3506.04	43.83	5.67	43.83	1127.86
	Mean	3107.38	32.66	5.45	3107.38	32.66	5.45	32.66	1127.86
	Median	3107.38	32.66	5.45	3107.38	32.66	5.45	32.66	1127.86
	Minimum	2708.72	21.50	5.22	2708.72	21.50	5.22	21.50	1127.86
	Range	797.32	22.33	0.44	797.32	22.33	0.44	22.33	0.00
	Standard Deviation	563.79038	15.78808	0.31457	563.79038	15.78808	0.31457	15.78808	-----

PMMA-C μετά από 48 ώρες UV ακτινοβολία

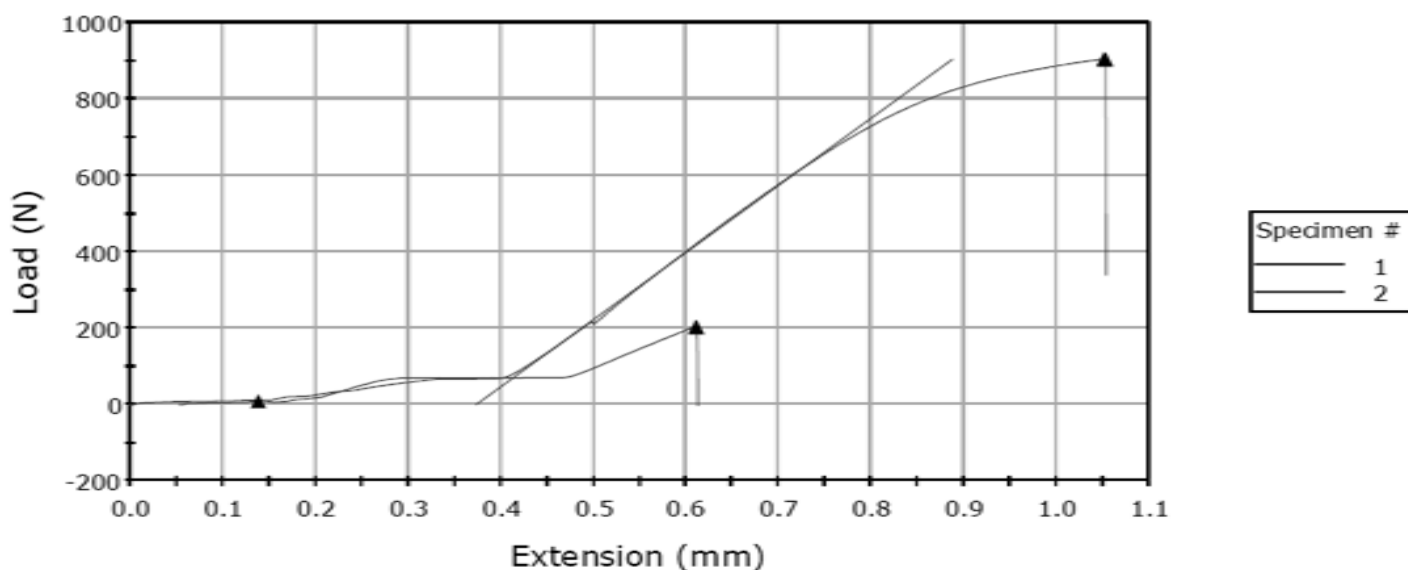


Σχήμα 10.16: Διάγραμμα εφελκυσμού, τάσης – επιμήκυνσης, για το πλέξιγκλας μετά από 48ώρες UV ακτινοβολία

Πίνακας 10.10: Μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό για το PMMA-C μετά από 48ώρες UV ακτινοβολία

	Specimen label	Maximum Load (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Tensile stress at Yield (Zero Slope) (MPa)	Modulus (E-modulus) (MPa)
	1	4375.83	54.70	8.01	4375.83	54.70	8.01	54.70	1172.16
Coefficient of Variation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Maximum		4375.83	54.70	8.01	4375.83	54.70	8.01	54.70	1172.16
Mean		4375.83	54.70	8.01	4375.83	54.70	8.01	54.70	1172.16
Median		4375.83	54.70	8.01	4375.83	54.70	8.01	54.70	1172.16
Minimum		4375.83	54.70	8.01	4375.83	54.70	8.01	54.70	1172.16
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Standard Deviation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Mean + 1 SD		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Corian-C πριν την UV ακτινοβολία

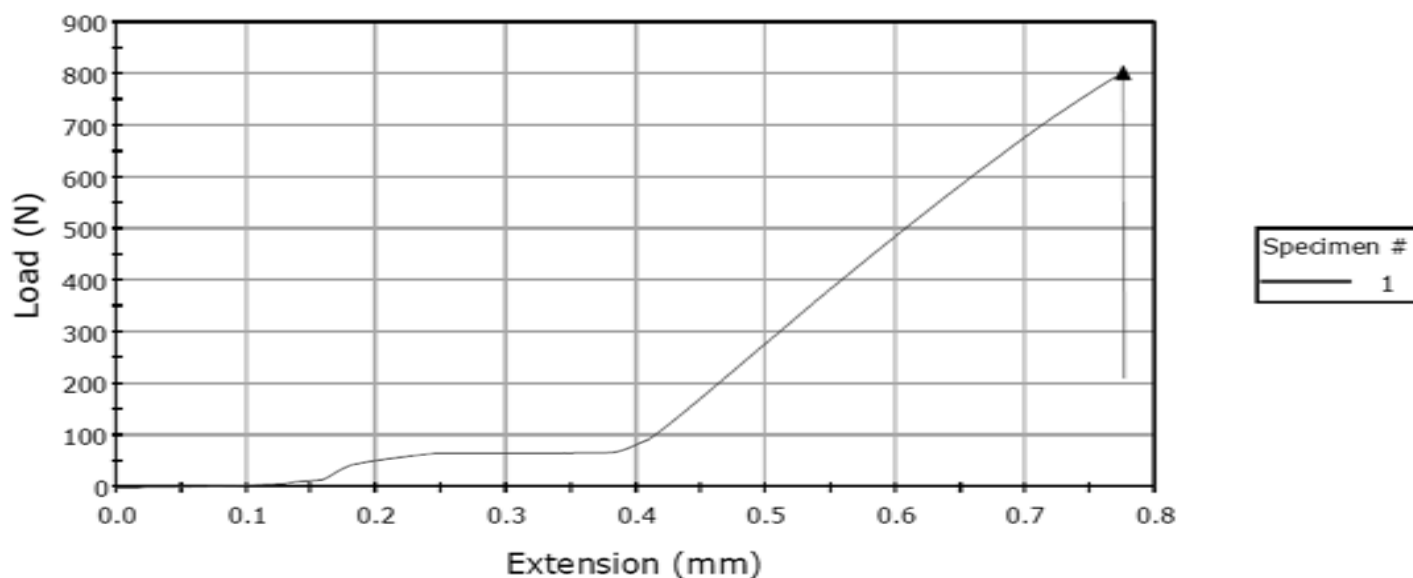


Σχήμα 10.17: Διάγραμμα εφελκυσμού, τάσης – επιμήκυνσης, για το corian πριν την ακτινοβολία UV

Πίνακας 10.11: Μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό για το CORIAN-C πριν την ακτινοβολία UV

	Specimen label	Maximum Load (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Tensile stress at Yield (Zero Slope) (MPa)	Modulus (E-modulus) (MPa)
	1	902.28	37.60	2.23	902.28	37.60	2.24	-----	3438.23
	2	203.22	16.93	1.19	202.95	16.91	1.19	0.78	-----
Coefficient of Variation		89.4274 2	53.5808 8	43.3180 9	89.4838 2	53.6613 7	43.32988	-----	-----
Maximum		902.28	37.60	2.23	902.28	37.60	2.24	0.78	3438.23
Mean		552.75	27.26	1.71	552.61	27.25	1.71	0.78	3438.23
Median		552.75	27.26	1.71	552.61	27.25	1.71	0.78	3438.23
Minimum		203.22	16.93	1.19	202.95	16.91	1.19	0.78	3438.23
Range		699.06	20.66	1.05	699.33	20.68	1.05	0.00	0.00
Standard Deviation		494.310 05	14.6088 3	0.74111	494.500 98	14.6247 4	0.74246	-----	-----

Corian-C μετά από 48 ώρες UV ακτινοβολία

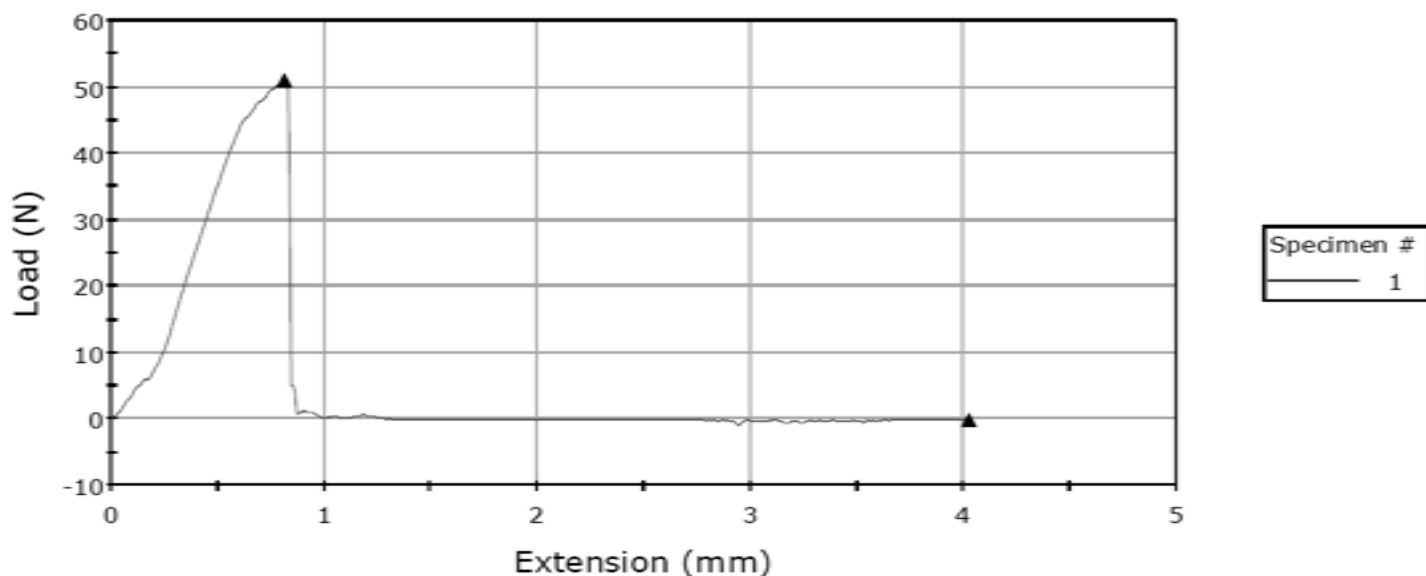


Σχήμα 10.18: Διάγραμμα εφελκυσμού, τάσης – επιμήκυνσης, για το corian μετά από 48ώρες UV ακτινοβολία

Πίνακας 10.12: Μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό για το CORIAN-C μετά από 48ώρες UV ακτινοβολία

	Specimen label	Maximum Load (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Tensile stress at Yield (Zero Slope) (MPa)	Modulus (E-modulus) (MPa)
1		801.61	33.40	1.65	801.61	33.40	1.65	33.40	-----
Coefficient of Variation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Maximum		801.61	33.40	1.65	801.61	33.40	1.65	33.40	-----
Mean		801.61	33.40	1.65	801.61	33.40	1.65	33.40	-----
Median		801.61	33.40	1.65	801.61	33.40	1.65	33.40	-----
Minimum		801.61	33.40	1.65	801.61	33.40	1.65	33.40	-----
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-----
Standard Deviation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Mean + 1 SD		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

PMMA-L πριν την UV ακτινοβολία

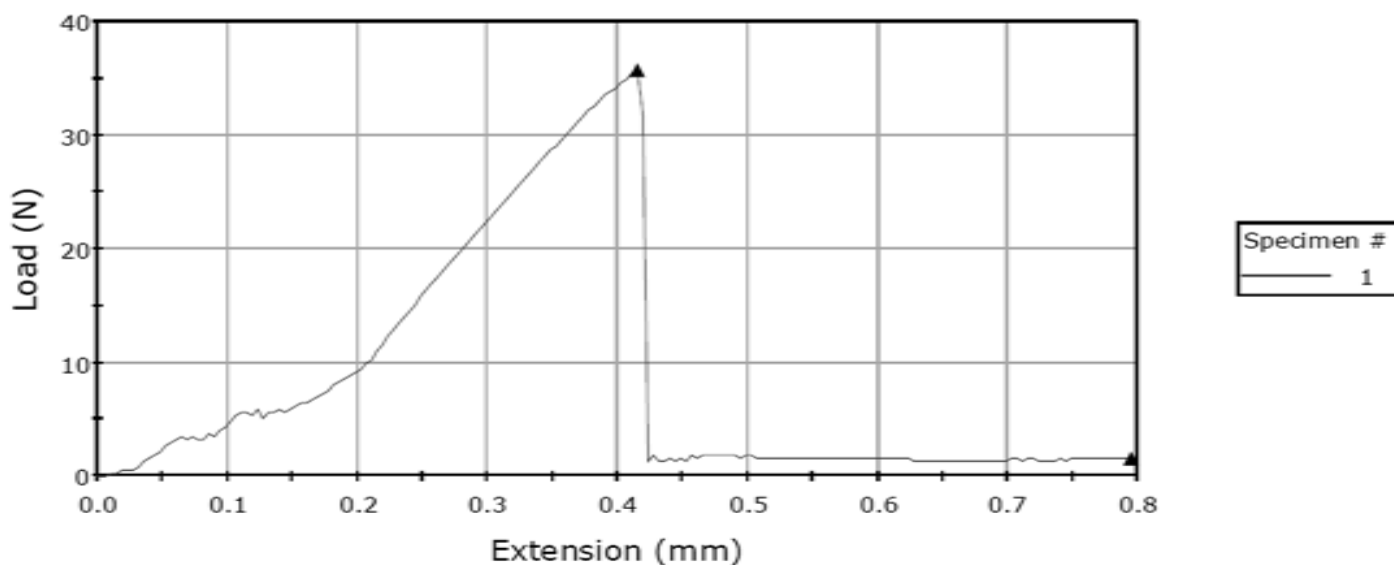


Σχήμα 10.19: Διάγραμμα εφελκυσμού, τάσης – επιμήκυνσης, για το PMMA πριν την ακτινοβολία UV

Πίνακας 10.13: Μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό για το PMMA πριν την ακτινοβολία UV

	Specimen label	Maximum Load (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Tensile stress at Yield (Zero Slope) (MPa)	Modulus (E-modulus) (MPa)
1		51.00	7.39	2.09	0.00	0.00	10.31	7.39	-----
Coefficient of Variation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Maximum		51.00	7.39	2.09	0.00	0.00	10.31	7.39	-----
Mean		51.00	7.39	2.09	0.00	0.00	10.31	7.39	-----
Median		51.00	7.39	2.09	0.00	0.00	10.31	7.39	-----
Minimum		51.00	7.39	2.09	0.00	0.00	10.31	7.39	-----
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-----
Standard Deviation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Mean + 1 SD		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

PMMA-L μετά από 48 ώρες UV ακτινοβόληση

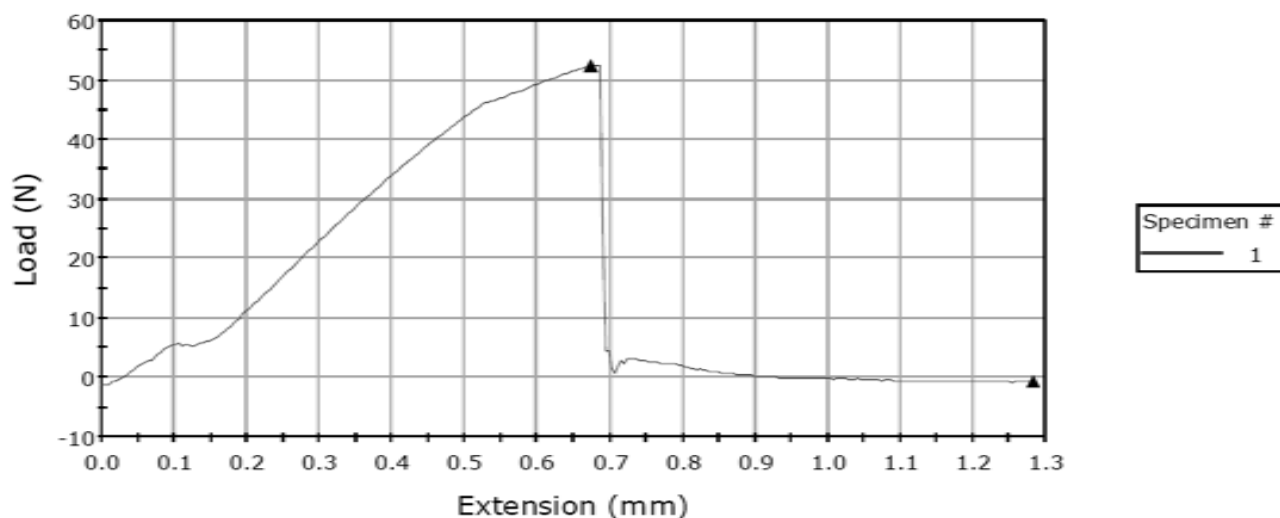


Σχήμα 10.20: Διάγραμμα εφελκυσμού, τάσης – επιμήκυνσης, για το PMMA μετά από 48ώρες UV ακτινοβόληση

Πίνακας 10.14: Μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό για το PMMA-L μετά από 48ώρες UV ακτινοβόληση

	Specimen label	Maximum Load (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Tensile stress at Yield (Zero Slope) (MPa)	Modulus (E-modulus) (MPa)
	1	35.70	5.41	1.89	1.61	0.24	3.61	-----	-----
Coefficient of Variation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Maximum		35.70	5.41	1.89	1.61	0.24	3.61	-----	-----
Mean		35.70	5.41	1.89	1.61	0.24	3.61	-----	-----
Median		35.70	5.41	1.89	1.61	0.24	3.61	-----	-----
Minimum		35.70	5.41	1.89	1.61	0.24	3.61	-----	-----
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-----	-----
Standard Deviation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Mean + 1 SD		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

PMMA-S-L πριν την UV ακτινοβολία

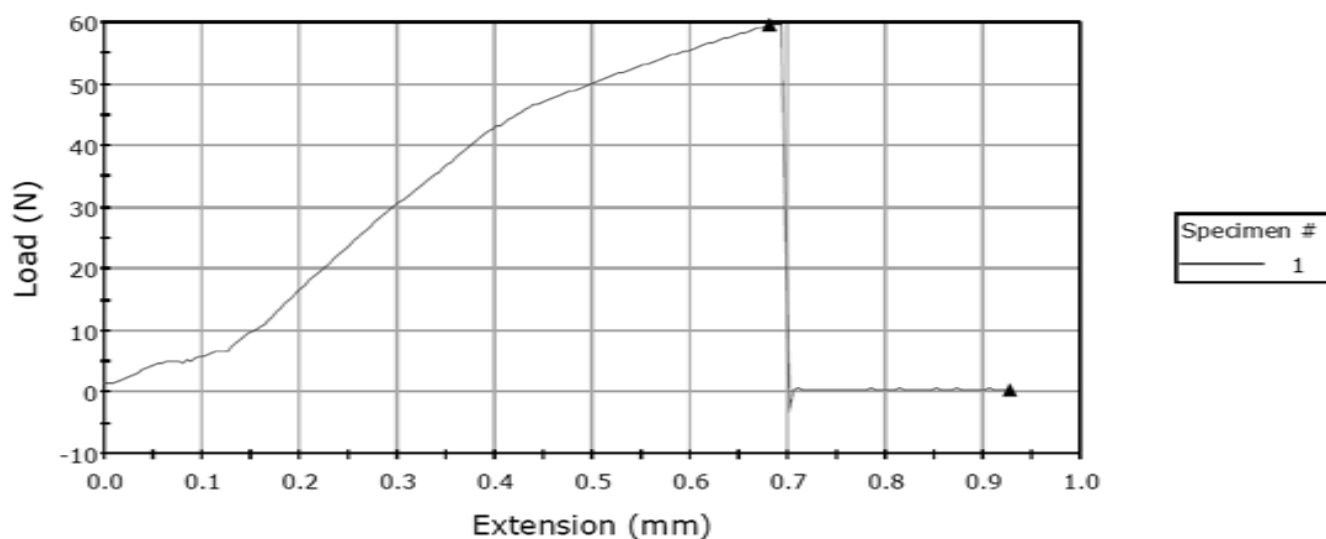


Σχήμα 10.21: Διάγραμμα εφελκυσμού, τάσης – επιμήκυνσης, για το PMMA+tinUVin 144 πριν την UV ακτινοβολία

Πίνακας 10.15: Μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό για το PMMA-S-L πριν την UV ακτινοβολία

	Specimen label	Maximum Load (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Tensile stress at Yield (Zero Slope) (MPa)	Modulus (E-modulus) (MPa)
	1	52.34	9.52	2.04	-0.54	-0.10	3.88	9.52	-----
	Coefficient of Variation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Maximum	52.34	9.52	2.04	-0.54	-0.10	3.88	9.52	-----
	Mean	52.34	9.52	2.04	-0.54	-0.10	3.88	9.52	-----
	Median	52.34	9.52	2.04	-0.54	-0.10	3.88	9.52	-----
	Minimum	52.34	9.52	2.04	-0.54	-0.10	3.88	9.52	-----
	Range	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-----
	Standard Deviation	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Mean + 1 SD	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

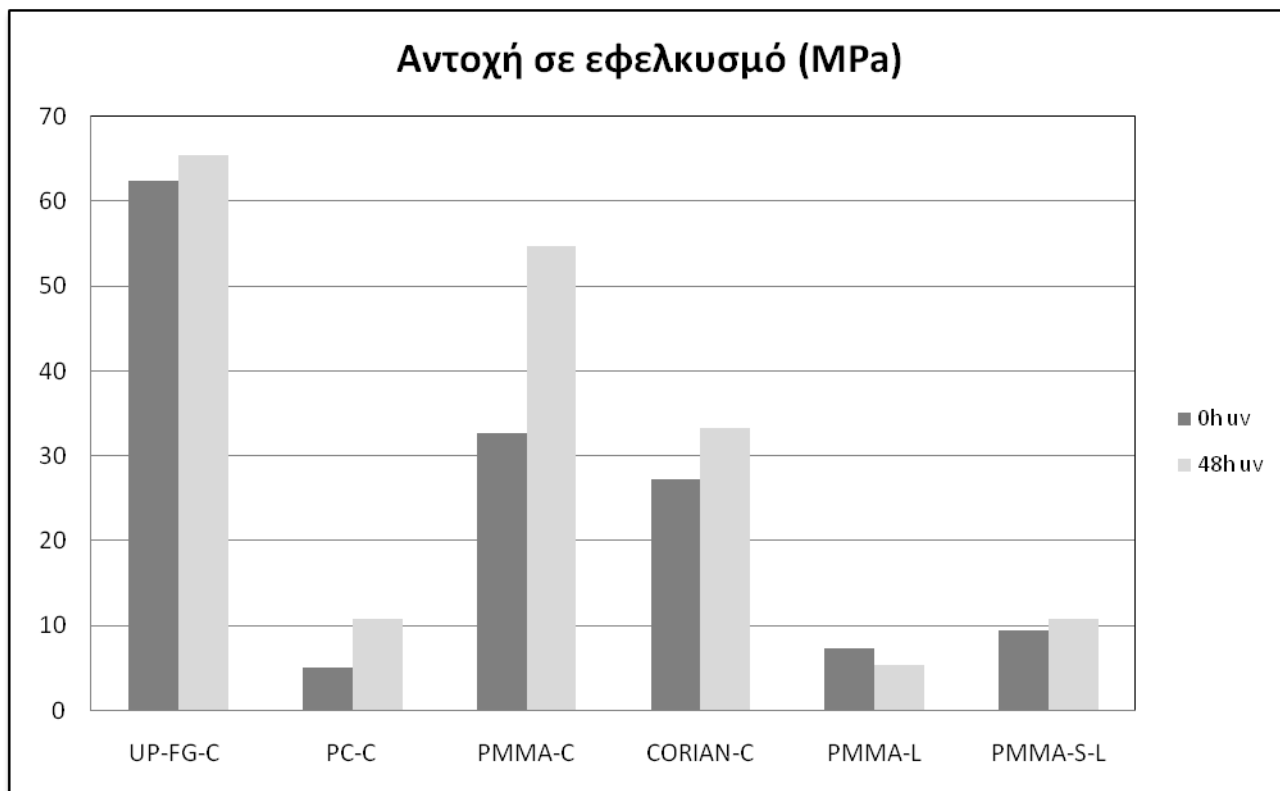
PMMA-S-L μετά από 48 ώρες UV ακτινοβολία



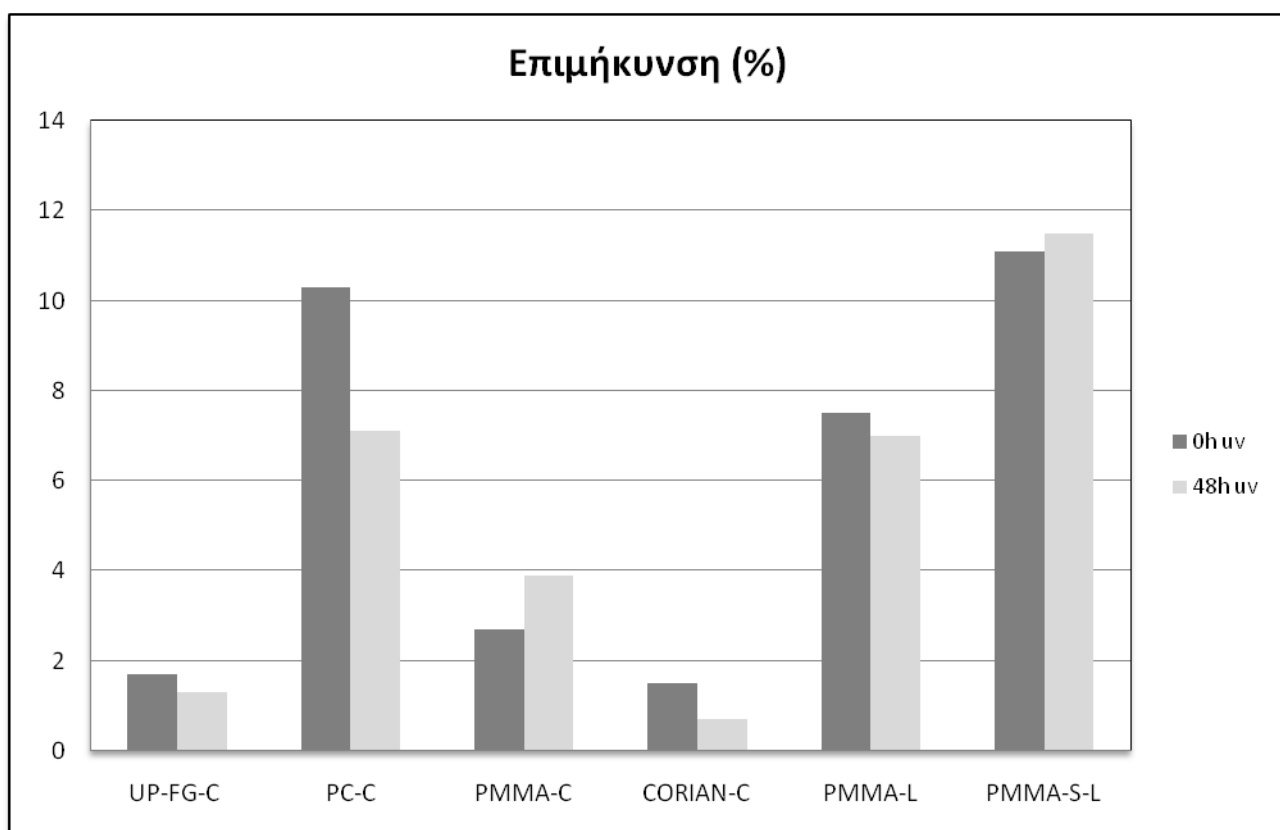
Σχήμα 10.22: Διάγραμμα εφελκυσμού, τάσης – επιμήκυνσης, για το PMMA-S-L μετά από 48ώρες UV ακτινοβολία

Πίνακας 10.16: Μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό για το PMMA-S-L μετά από 48ώρες UV ακτινοβολία

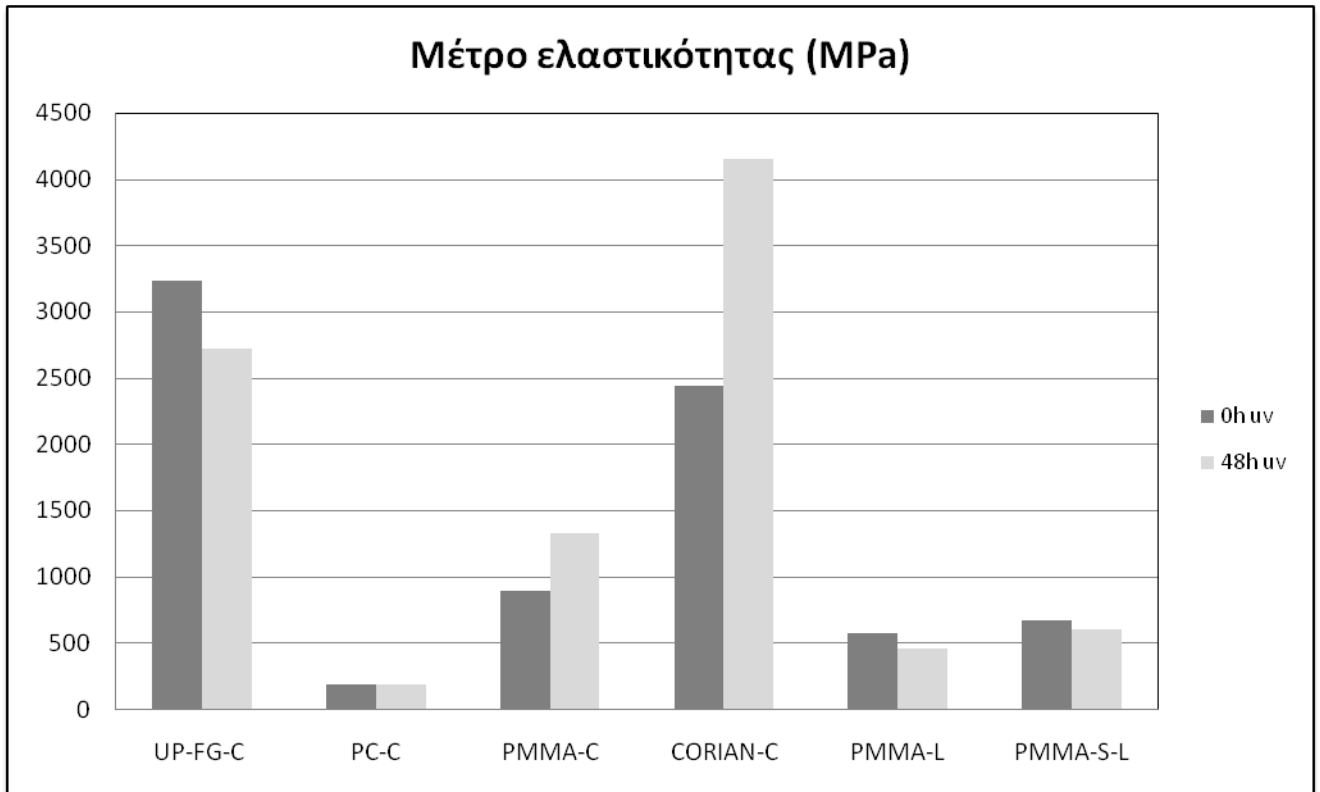
	Specimen label	Maximum Load (N)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Load at Break (Standard) (N)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile strain at Break (Standard) (%)	Tensile stress at Yield (Zero Slope) (MPa)	Modulus (E-modulus) (MPa)
	1	59.59	10.83	3.09	0.53	0.10	4.21	10.83	-----
Coefficient of Variation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Maximum		59.59	10.83	3.09	0.53	0.10	4.21	10.83	-----
Mean		59.59	10.83	3.09	0.53	0.10	4.21	10.83	-----
Median		59.59	10.83	3.09	0.53	0.10	4.21	10.83	-----
Minimum		59.59	10.83	3.09	0.53	0.10	4.21	10.83	-----
Range		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-----
Standard Deviation		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Mean + 1 SD		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----



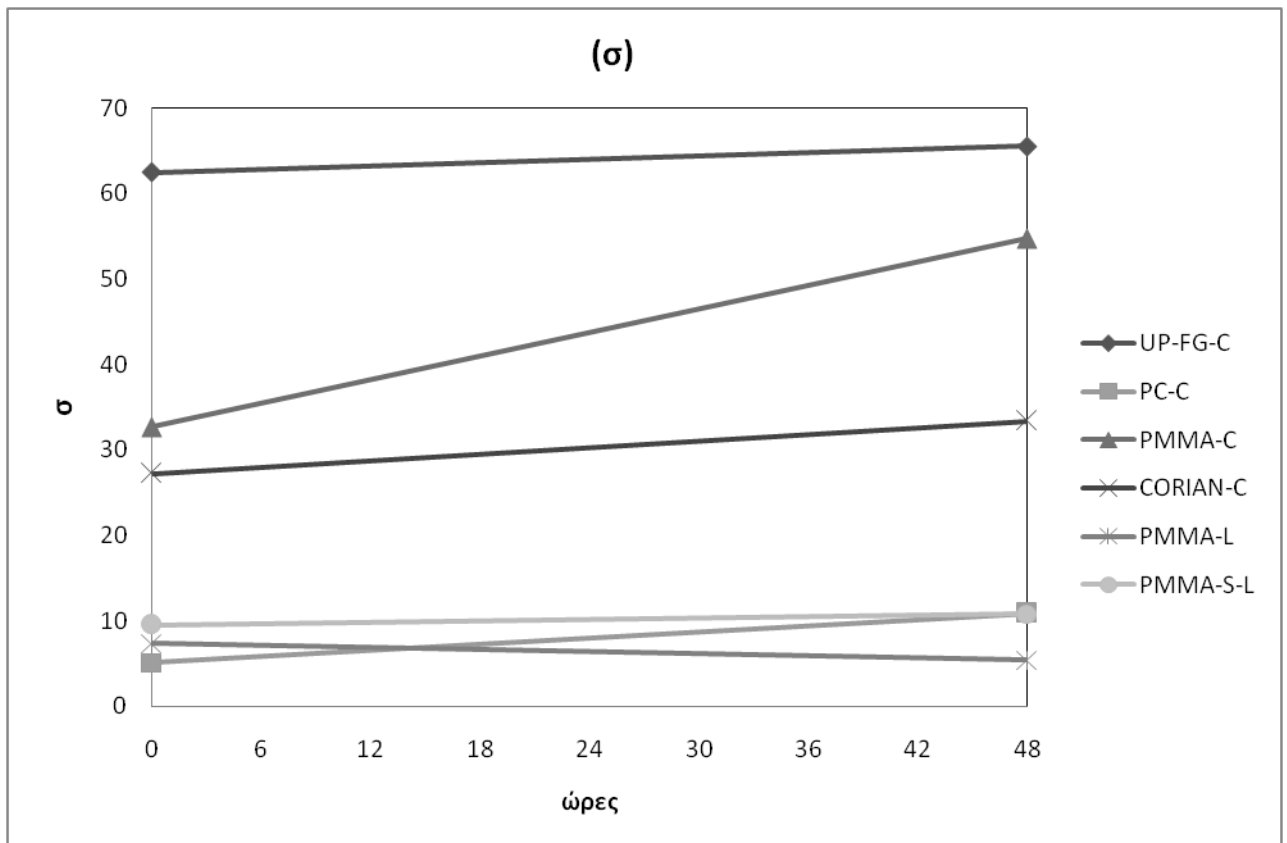
Σχήμα 10.23: Συγκριτικό ραβδόγραμμα αντοχής σε εφελκυσμό για όλα τα δοκίμια πριν και μετά την ακτινοβολήση UV



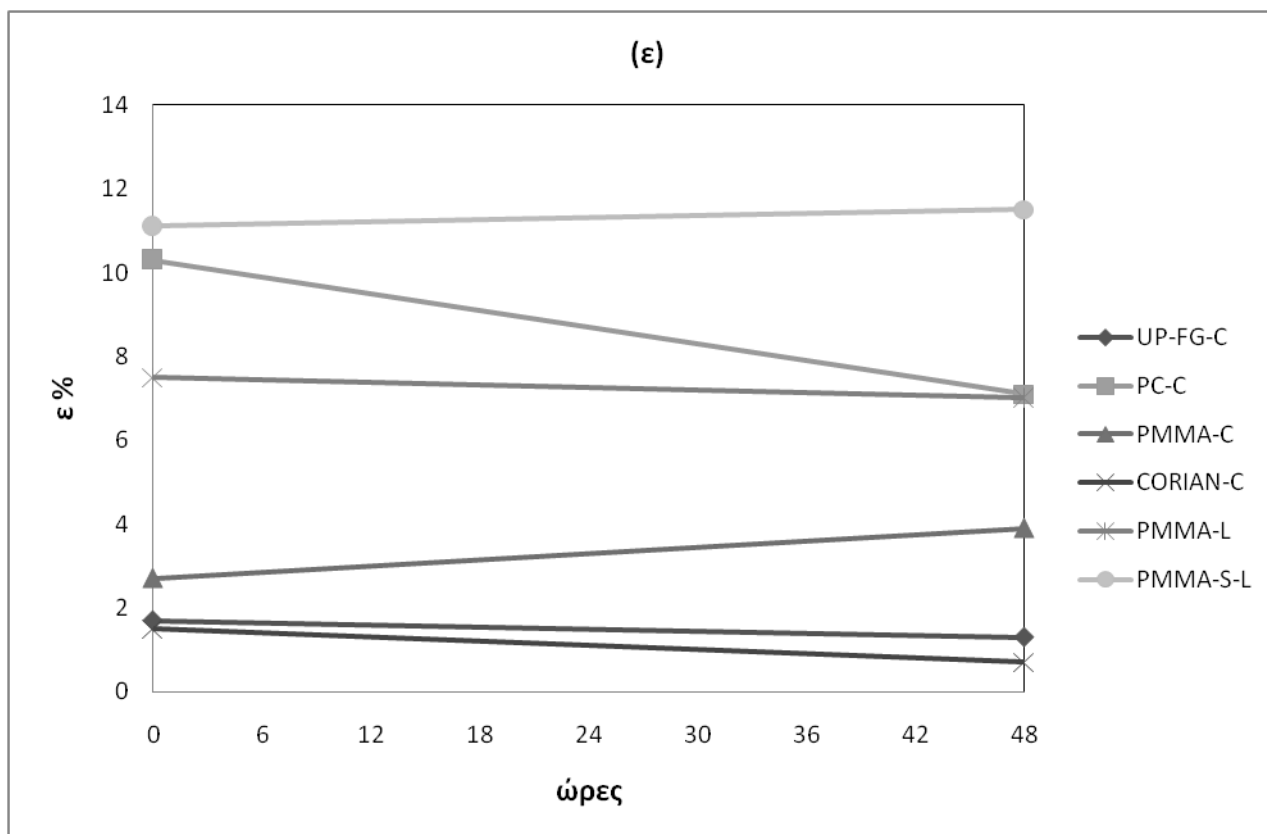
Σχήμα 10.24: Συγκριτικό ραβδόγραμμα εφελκυστικής επιμήκυνσης για όλα τα δοκίμια πριν και μετά την ακτινοβολήση UV



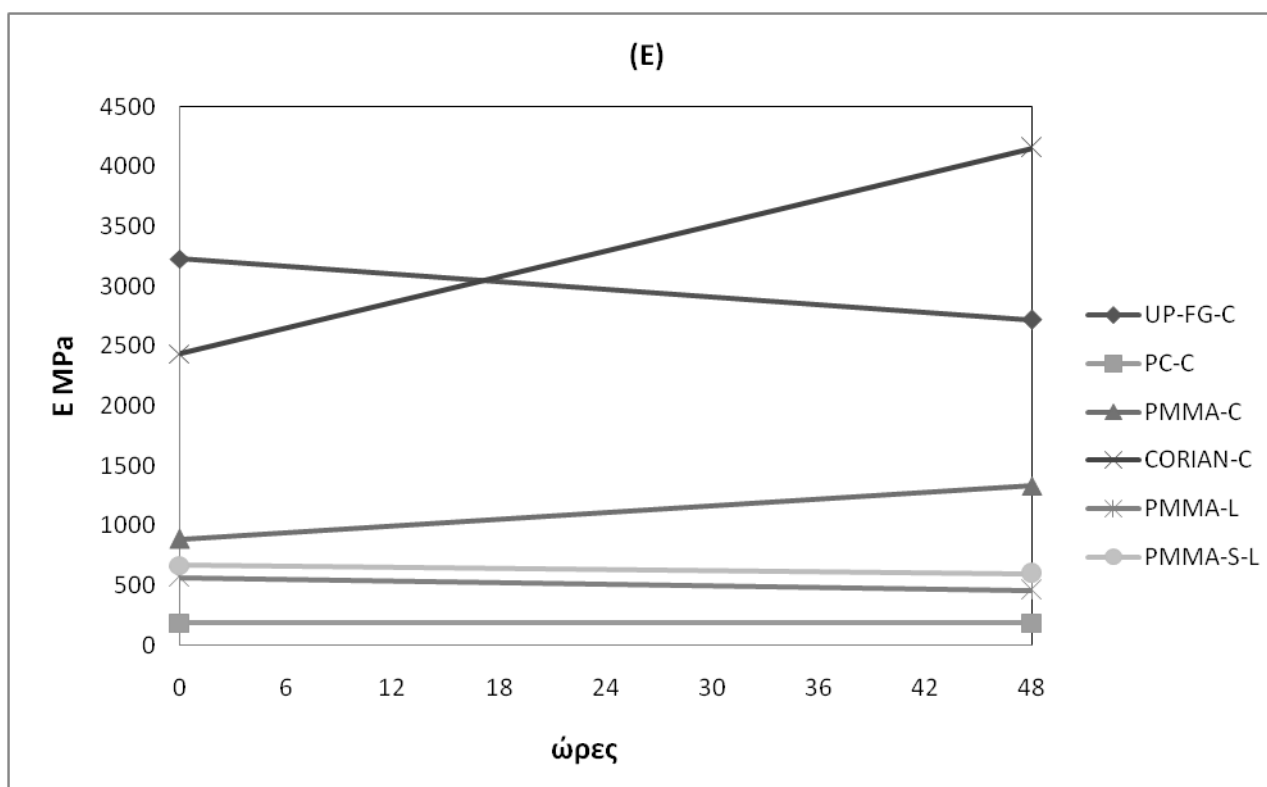
Σχήμα 10.25: Συγκριτικό ραβδόγραμμα του μέτρου ελαστικότητας για όλα τα δοκίμια πριν και μετά την ακτινοβολή UV



Σχήμα 10.26: Συγκριτικό διάγραμμα της αντοχής σε εφελκυσμό για όλα τα δοκίμια πριν και μετά την ακτινοβολή UV



Σχήμα 10.27: Συγκριτικό διάγραμμα της επιμήκυνσης για όλα τα δοκίμια πριν και μετά την ακτινοβολία UV



Σχήμα 10.28: Συγκριτικό διάγραμμα του μέτρου ελαστικότητας για όλα τα δοκίμια πριν και μετά την ακτινοβολία UV

10.3 Συζήτηση αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα και τους πίνακες μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη, διάτμηση και εφελκυσμό προέκυψε ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας για τις μεταβολές των μηχανικών αντοχών των δοκιμίων μετά την UV ακτινοβόληση:

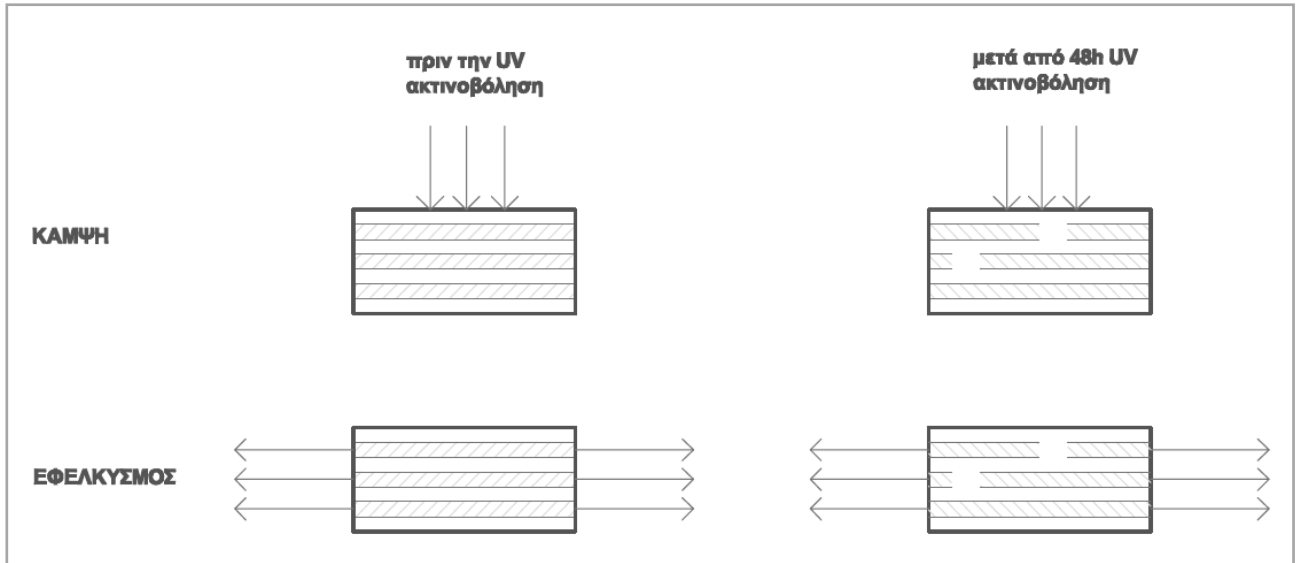
Πίνακας 10.17: Πίνακας ποσοστιαίων (%) μεταβολών των μηχανικών αντοχών των δοκιμίων μετά την UV ακτινοβόληση.

Υλικό	Αντοχή σε κάμψη	Αντοχή σε διάτμηση	Αντοχή σε εφελκυσμό
UP-FG-C	όχι	-40,48 ↓	4,93 ↑
PC-C	όχι	όχι	112,94 ↑
PMMA-C	-52,24 ↓	-41,75 ↓	67,46 ↑
CORIAN-C	-45,46 ↓	-66,67 ↓	22,55 ↑
PMMA-L	όχι	όχι	26,79 ↓
PMMA-S-L	όχι	όχι	13,76 ↑

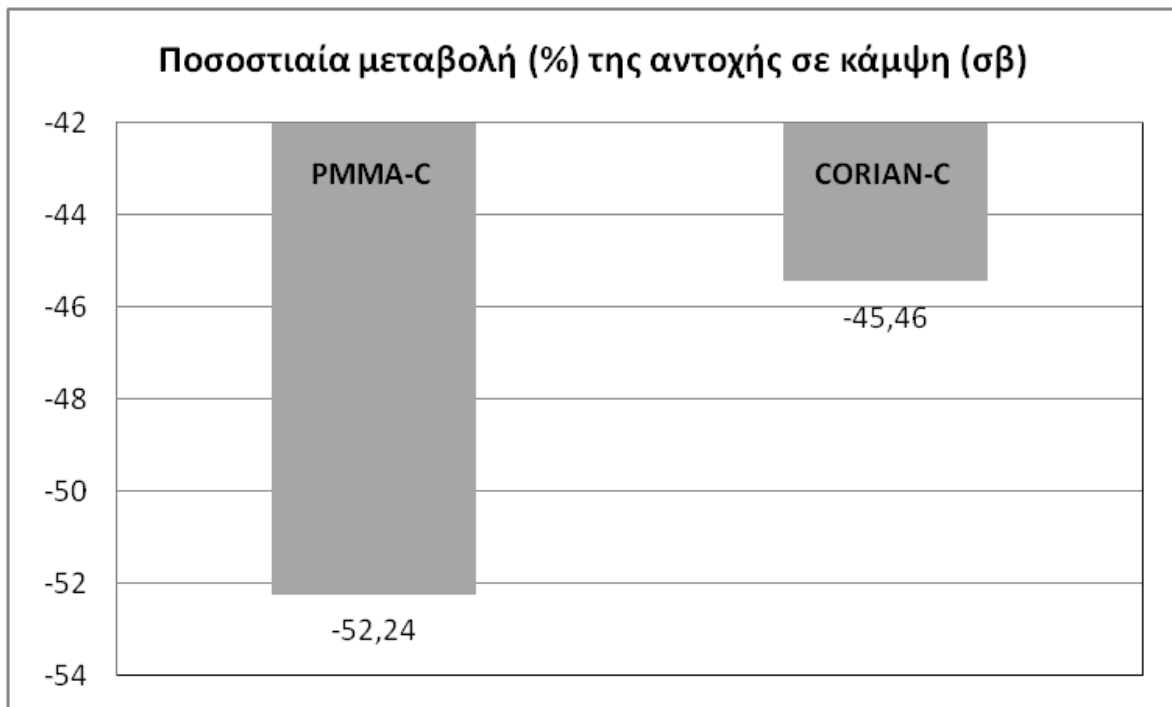
Από τον παραπάνω πίνακα (πιν: 10.17) προκύπτει ότι ο πολυεστέρας με ίνες γυαλιού παρουσίασε μείωση της αντοχής του σε διάτμηση 40,48% και μικρή αύξηση 4,93% της αντοχής του σε εφελκυσμό μετά την ακτινοβόληση. Το πολυκαρβονικό παρουσίασε μεγάλη μεταβολή 112,94% στην αντοχή του σε εφελκυσμό γεγονός που οφείλεται στην μορφολογία του δοκιμίου καθώς είναι κατασκευή με διάτρητη διατομή και συνεπώς η μέτρηση αφορά την κατασκευή και όχι το ίδιο το υλικό. Το πλέξιγκλας μετά την ακτινοβόληση παρουσίασε μείωση της αντοχής του σε κάμψη 52,24% και 41,75% σε διάτμηση και αύξηση της αντοχής του σε εφελκυσμό 67,46%. Τέλος τα υμένια του PMMA παρουσίασαν μεταβολή στην αντοχή τους σε εφελκυσμό, το καθαρό PMMA παρουσίασε μείωση 26,79% ενώ το PMMA με προσθήκη UV σταθεροποιητή παρουσίασε μικρότερη αύξηση 13,76%.

Η αντοχή σε εφελκυσμό μετά την ακτινοβόληση UV για 48h παρουσιάζει μικρή αύξηση ως προς το μη ακτινοβολημένο υλικό. Την μεγαλύτερη αύξηση από όλα τα υλικά παρουσιάζει το εμπορικό πλέξιγκλας (PMMA-C) 67,46%. Επίσης η αύξηση που μέτρου ελαστικότητας κυρίως για τον πολυεστέρα, το πλέξιγκλας και το corian και η μείωση της επιμήκυνσης σημαίνει πως μετά την ακτινοβόληση UV τα υλικά έγιναν πιο άκαμπτα και πιο ψαθυρά. Αυτό υποδηλώνει έμμεσα τη δημιουργία διασταυρώσεων πλέγματος από μακρορίζες που δημιουργούνται λόγω θραύσης μακρομορίων και οι οποίες επανασυνδοιαζόμενες δημιουργούν διακλαδώσεις και ακολούθως διασταυρώσεις πλέγματος. Θα μπορούσαμε να πούμε τελικά πως δεν έχουμε φτάσει μακροσκοπικά στην απαιτούμενη δόση που καταστρέφει το υλικό καθώς η συγκεκριμένη δόση δεν προκάλεσε εκτεταμένη αποικοδόμηση μάζας των υλικών.

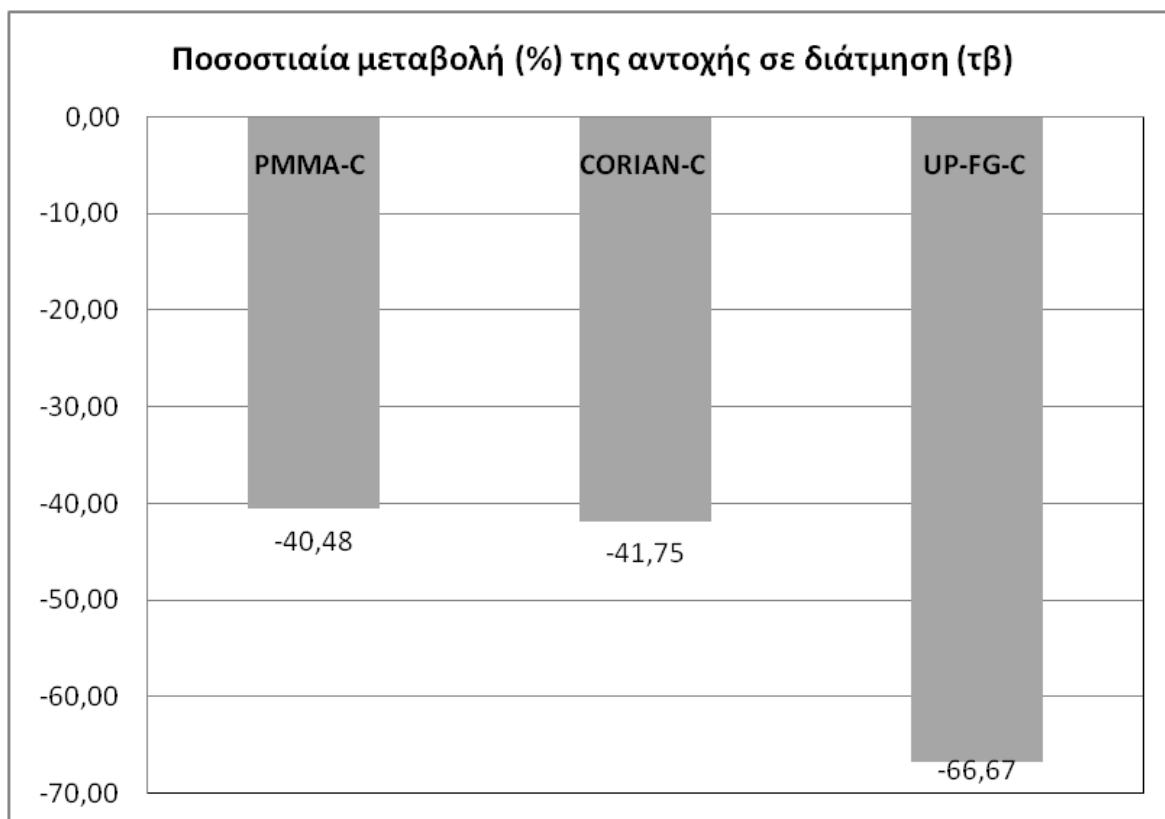
Η αντοχή σε κάμψη και σε διάτμηση παρουσιάζει μεγαλύτερη μεταβολή από την αντοχή σε εφελκυσμό και αυτό οφείλεται στην διαφορετική καταπόνηση που δέχεται το δοκίμιο του υλικού καθώς στην περίπτωση της κάμψης έχουμε εγκάρσια διεύθυνση της δύναμης ενώ στον εφελκυσμό έχουμε αξονική.



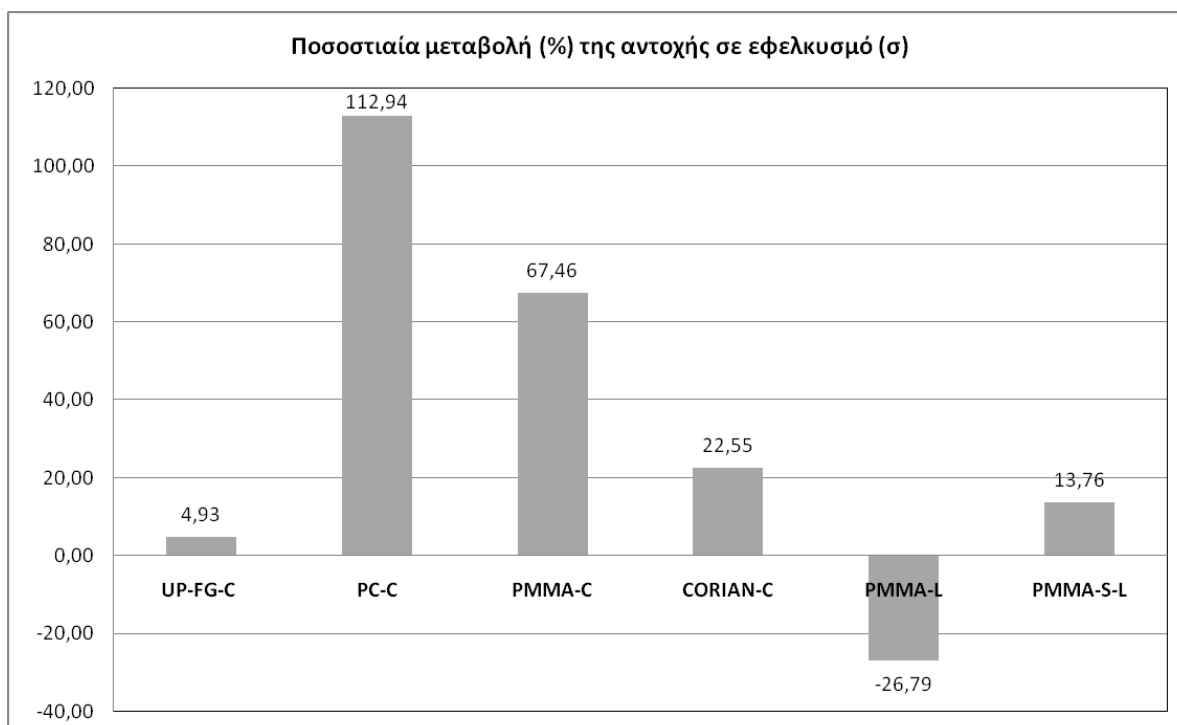
Σχήμα 10.29 : Καταπόνηση των δεσμών των υλικών σε κάμψη και σε εφελκυσμό πριν και μετά την UV ακτινοβολία



Σχήμα 10.30: Ποσοστιαία μεταβολή (%) της αντοχής σε κάμψη (σ_β) για τα δοκίμια που μετρήθηκαν μετά από 48h ακτινοβολία.



Σχήμα 10.31: Ποσοστιαία μεταβολή (%) της αντοχής σε διάτμηση (τ_b) για τα δοκίμια που μετρήθηκαν μετά από 48h ακτινοβολήση.



Σχήμα 10.32: Ποσοστιαία μεταβολή (%) της αντοχής σε εφελκυσμό(σ_b) για τα όλα τα δοκίμια μετά από 48h ακτινοβολήση.

11 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

11.1 Γενικά συμπεράσματα

Η επίδραση της UV ακτινοβολίας σε πλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε δομικές εφαρμογές έχει ιδιαίτερη σημασία. Τα υλικά που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι εμπορικά πλαστικά που εφαρμόζονται στις κατασκευές ως εξωτερικά στοιχεία πλήρωσης με τη μορφή πάνελ, όπως το πλέξιγκλας (plexiglass), το πολυκαρβονικό (polycarbonate), ο πολυεστέρας με ίνες γυαλιού καθώς και το σύνθετο ακρυλικό υλικό corian. Το corian παρόλο που δεν είναι διαφανές το εξετάσαμε για λόγους σύγκρισης. Κατά συνέπεια εξετάστηκαν: α) θερμοπλαστικά πολυμερή: το πλέξιγκλας, το πολυκαρβονικό και το ακρυλικό υλικό corian, β) θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή: ακόρεστος πολυεστέρας με ίνες γυαλιού.

Δεδομένου ότι η ακριβής σύνθεση των εμπορικών πλαστικών προϊόντων σχετικά με τα πρόσθετα που περιέχουν (όπως UV σταθεροποιητή κλπ.) δεν είναι γνωστή, εξετάστηκε και αντίστοιχο πολυμερές εργαστηριακής σύνθεσης στο οποίο προστέθηκε UV σταθεροποιητής σε συγκεκριμένη συγκέντρωση. Για τον λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε πολυμερισμός του μεθακρυλικού μεθυλίου με ταυτόχρονη χύτευση και ενσωμάτωση UV σταθεροποιητή γνωστής συστάσεως, σε μία συγκέντρωση.

Η επιστημονική προσέγγιση της επίδρασης της UV ακτινοβολίας καθώς και η προσομοίωση και επιστημονική μελέτη έγινε μέσω κατάλληλης εργαστηριακής διάταξης. Τα δοκίμια από τα υλικά ακτινοβολήθηκαν στην ειδική διάταξη και θα μελετήθηκε η επίδραση της δόσης της ακτινοβολίας μετά από 18, 36 και 48h στα χαρακτηριστικά (όπως διαφάνεια, ξεθώριασμα, κλπ.), την δομή και τις μηχανικές ιδιότητές τους. Η μελέτη των υλικών πραγματοποιήθηκε μέσω χαρακτηρισμών FTIR, χρωματομετρίας και μηχανικών ιδιοτήτων, αντοχή σε κάμψη, διάτμηση και εφελκυσμό, πριν και μετά την UV ακτινοβολία.

Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα των επιμέρους χαρακτηρισμών και των αντίστοιχων μετρήσεων των δοκιμίων των υλικών προκύπτει ότι:

Χαρακτηρισμοί με FTIR:

Στα υπέρυθρα φάσματα των υλικών δεν εξαφανίζονται ούτε δημιουργούνται καινούργιες κορυφές. Ειδικά για την ομάδα του καρβονυλίου στην οποία οφείλεται το ξεθώριασμα και ο κιτρινισμός των υλικών, δημιουργείται με θερμική, οξειδωτική ή UVαποικοδόμηση και υπάρχει σε όλα τα υλικά από την αρχή. Επομένως η δυνατότητα που παραμένει για συμπεράσματα είναι μέσω των δεικτών σε επιλεγμένες κορυφές. Ο λόγος των δεικτών $FTIR \frac{I_{C-H}}{I_{C=O}}$ παρουσιάζει συστηματική μείωση μετά από τις πρώτες 18h ακτινοβολίας UV ενώ στις 36h αυξάνει για να πέσει πάλι κοντά στην αρχική τιμή μετά από τις 48h ακτινοβολίας UV.

Η μείωση δείκτη που παρατηρήθηκε στις 18 και στις 48h UV ακτινοβολίας σημαίνει ή ελάττωση των μεθυλενομάδων ή αύξηση των καρβονυλομάδων δηλαδή ελάττωση του αριθμητή ή αύξηση του παρονομαστή. Η αύξηση των καρβονυλομάδων συνήθως γίνεται μέσω θερμικής οξειδωτικής αποικοδόμησης. Δεδομένου ότι είχαμε και υψηλές θερμοκρασίες μέχρι και 50°C. Επομένως μπορούσαν να δημιουργηθούν καρβονυλομάδες (C=O). Η ελάττωση του αριθμητή (μεθυλενομάδες) μπορεί να γίνει από θραύση όταν η καρβονυλομάδα είναι κοντά στο άκρο του μορίου οπότε με την θραύση το δεύτερο τμήμα θα περιέχει μόνο δύο άνθρακες και αντίστοιχα υδρογόνα και μπορεί να απομακρυνθεί ως αέριο αιθυλένιο (CH₂=CH₂).

Η αύξηση του δείκτη που παρατηρήθηκε στις 36h UV ακτινοβολίας σημαίνει αύξηση αριθμητή ή ελάττωση παρονομαστή. Η αύξηση του αριθμητή σημαίνει

περισσότερες ομάδες που να περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο. Από την τρίτη αντίδραση σελ.28 όπου τελικά δημιουργείται άλλη μία ομάδα C-H. Η μείωση παρονομαστή μπορεί να εξηγηθεί σύμφωνα με την πρώτη αντίδραση στη σελ.28 όπου έχουμε θραύση του διπλού δεσμού άνθρακα με το οξυγόνο (C=O) και φεύγει ως αέριο μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται αλλαγή στη μορφή του αποτυπώματος του υμενίου του πολυ(μεθακρυλικού μεθυλίου) και του πολυ(μεθακρυλικού μεθυλίου) με τον σταθεροποιητή UV.

Για τον πολυεστέρα υπάρχουν όλες οι κορυφές εκτός από τα 1600 και τα 1580 όπου έχω σύζευξη στον αρωματικό δακτύλιο του στυρενίου ή του φθαλικού ανυδρίτη αυτό οφείλεται πιθανώς στην ύπαρξη UV σταθεροποιητή (τύπου φαινόλης) που υπάρχει μέσα στον εμπορικό πολυεστέρα. Η παραπάνω άποψη ενισχύεται με την αυξημένη ένταση της κορυφής στα 1070 (δονήσεις τάσης C-OH) σε σχέση με την αλληλουχία των τριών κορυφών στην περιοχή. Επίσης η ύπαρξη της κορυφής στα 3024 επιβεβαιώνει την ύπαρξη σταθεροποιητή καθώς δεν παρατηρείται στο φάσμα του καθαρού πολυεστέρα.

Στο φάσμα του ακρυλικού corian παρατηρούνται πολύ έντονες κορυφές με μεγάλα πλάτη στο εύρος 3300-3600 που δεν τις συναντάμε στο φάσμα του καθαρού ακρυλικού και πιθανόν οφείλονται στην ύπαρξη του βωξίτη και πιο συγκεκριμένα στον υδρίτη του αργιλίου (ATH)

Χαρακτηρισμοί χρωματόμετρου:

Γενικά παρατηρείται σε όλα τα υλικά αύξηση της φωτεινότητας μετά από τις 48h ακτινοβολίας UV καθώς και μεταβολή στο χρώμα των υλικών προς το κίτρινο. Εξάιρεση αποτελεί το εμπορικό υλικό corian που παρουσιάζει σταθερή συμπεριφορά μετά τις 48h ακτινοβολίας UV.

Για τον πολυεστέρα παρατηρήθηκε αύξηση της φωτεινότητας ενώ το χρώμα άλλαξε προς το πράσινο και το κίτρινο. Το πολυκαρβονικό παρουσίασε αύξηση στη φωτεινότητα και το χρώμα του μεταβλήθηκε προς το πράσινο και το μπλε. Το πλέξιγκλας παρουσίασε αύξηση της φωτεινότητας του και το χρώμα του αλλοιώθηκε προς το πράσινο και το κίτρινο. Το corian δεν σημείωσε καμία μεταβολή ούτε στη φωτεινότητα ούτε στο χρώμα του. Τέλος το PMMA δεν παρουσίασε μεταβολή στη φωτεινότητα παρά μόνο στο χρώμα προς το κόκκινο και το κίτρινο, ενώ το PMMA+tinUVin 144 παρουσίασε μεταβολή μόνο στο χρώμα αλλάζοντας προς το κίτρινο.

Ο κιτρινισμός στο χρώμα των υλικών σημαίνει πως αυξάνονται τα καρβονύλια (C=O). Σύμφωνα με τον πίνακα: 3.5 στο θεωρητικό μέρος (κεφ.3) η UV ακτινοβολία έχει μήκος κύματος 302nm που αντιστοιχεί σε ενέργεια 398,8 KJ/mol, ο δεσμός του καρβονυλίου για να διασπαστεί θέλει ενέργεια 728,5 άρα δεν μπορεί να σπάσει αντίθετα σπάνε αλειφατικοί δεσμοί C-C καθώς η ενέργεια που απαιτείται για την διάσπασή τους είναι 335 KJ/mol.

Επίσης θα πρέπει να σημειωθεί πως και στις μετρήσεις του χρωματόμετρου και συγκεκριμένα για την παράμετρο L και a παρατηρείται μια συστηματική αυξομείωση των τιμών παρόμοια με αυτή των λόγων δεικτών του FTIR στις αντίστοιχες ώρες ακτινοβολίας UV. Παρατηρείται ότι για τον εμπορικό πολυεστέρα με ίνες γυαλιού, το εμπορικό πολυκαρβονικό και το εμπορικό πλέξιγκλας η παράμετρος L αυξάνει στις 18h μειώνεται στις 36h και αυξάνεται πάλι στις 48h. Τα εργαστηριακά ακρυλικά υμένα PMMA καθώς το εμπορικό corian δεν σημειώνουν αξιοσημείωτες μεταβολές. Για την παράμετρο a παρατηρείται ότι ο εμπορικός πολυεστέρας με ίνες γυαλιού, το εμπορικό πολυκαρβονικό και το εμπορικό πλέξιγκλας παρουσιάζουν μείωση στις 18h αύξηση στις 36h και μείωση στις 48h ώρες. Τα εργαστηριακά ακρυλικά υμένα PMMA και το εμπορικό corian ούτε σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζουν αξιοσημείωτη μεταβολή. Για την παράμετρο b δεν παρατηρείται κάποια συστηματική μεταβολή, θα μπορούσαμε όμως να

πούμε γενικά ότι όλα τα υλικά έχουν μία τάση προς το κίτρινο χρώμα μετά την UV ακτινοβολήση

Μηχανικές ιδιότητες.

Οι μηχανικές ιδιότητες των δοκιμίων επηρεάζονται σημαντικά μετά από 48h UV ακτινοβολήση. Η αντοχή σε κάμψη και σε διάτμηση παρουσιάζει μεγαλύτερη μεταβολή από την αντοχή σε εφελκυσμό και αυτό οφείλεται στην διαφορετική καταπόνηση που δέχεται το δοκίμιο του υλικού καθώς στην περίπτωση της κάμψης έχουμε εγκάρσια διεύθυνση της δύναμης ενώ στον εφελκυσμό έχουμε αξονική.

Η αντοχή σε εφελκυσμό μετά την ακτινοβολήση UV για 48h παρουσιάζει μικρή αύξηση ως προς το μη ακτινοβολημένο υλικό. Την μεγαλύτερη αύξηση από όλα τα υλικά να παρουσιάζει το εμπορικό πλέξιγκλας. Επίσης η αύξηση που μέτρου ελαστικότητας κυρίως για τον πολυεστέρα, το πλέξιγκλας και το corian και η μείωση της επιμήκυνσης σημαίνει πως μετά την ακτινοβολήση UV τα υλικά έγιναν πιο άκαμπτα και πιο ψαθυρά.

Ο πολυεστέρας με ίνες γυαλιού παρουσίασε μείωση της αντοχής του σε διάτμηση 40,48% και μικρή αύξηση 4,93% της αντοχής του σε εφελκυσμό μετά την ακτινοβολήση. Το πολυκαρβονικό παρουσίασε μεγάλη μεταβολή 112,94% στην αντοχή του σε εφελκυσμό γεγονός που οφείλεται στην μορφολογία του δοκιμίου καθώς είναι κατασκευή με διάτρητη διατομή και συνεπώς η μέτρηση αφορά την κατασκευή και όχι το ίδιο το υλικό. Το πλέξιγκλας μετά την ακτινοβολήση παρουσίασε μείωση της αντοχής του σε κάμψη 52,24% και 41,75% σε διάτμηση και αύξηση της αντοχής του σε εφελκυσμό 67,46%. Τέλος τα υμένα του PMMA παρουσίασαν μεταβολή στην αντοχή τους σε εφελκυσμό, το καθαρό PMMA παρουσίασε μείωση 26,79% ενώ το PMMA με προσθήκη UV σταθεροποιητή παρουσίασε μικρότερη αύξηση 13,76%.

Θα μπορούσαμε να πούμε τελικά πως δεν έχουμε φτάσει μακροσκοπικά στην απαιτούμενη δόση που καταστρέφει το υλικό καθώς η συγκεκριμένη δόση δεν προκάλεσε εκτεταμένη αποικοδόμηση μάζας των υλικών.

Τέλος παρουσιάζεται ένα συγκεντρωτικός πίνακας με όλες τις μεταβολές των υλικών μετά από 48h ακτινοβολήση UV.

Πίνακας 11.1: Μεταβολές των υλικών μετά την συνολική UV ακτινοβολήση (48h)

υλικό	Έκθεση σε UV ακτινοβολία				Χαρακτηρισμοί			Μηχανικές ιδιότητες			
	Ένταση ακτινοβολίας mW/cm ²	Χρόνος έκθεσης h	Δόση Ακτινοβολίας mW*h/cm ²	Αντιστοιχία σε πραγματικό χρόνο (μήνες)	FTIR $\frac{I_{C-H}}{I_{C=O}}$	Χρωματόμετρο			Κάμψη	Διάτμηση	Εφελκυσμός
L	a	b									
UP-FG-C	11,5	48	456	8	↓	↑	↓	↑	όχι	↓	↑
PC-C					↓	↑	↓	↓	όχι	όχι	↑
PMMA-C					↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑
CORIAN-C					↑	-	-	-	↓	↓	↑
PMMA-L					↓	-	↑	↑	όχι	όχι	↓
PMMA-S-L					↓	-	-	↑	όχι	όχι	↑

11.2 Προτάσεις

Μετά την μελέτη των παραπάνω υλικών και τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την επεξεργασία των επιμέρους χαρακτηρισμών και μετρήσεων θα μπορούσε να πει κανείς πως θα ήταν ιδιαίτερα ενδιαφέρονσα μια εκ νέου μελέτη των υλικών κάτω από διαφορετικές συνθήκες ακτινοβολίας. Για παράδειγμα η αύξηση της έντασης της ακτινοβολίας ή της θέσης των υλικών μέσα στο θάλαμο ακτινοβολίας ώστε να προκληθεί επιταχυνόμενη ακτινοβολία θα μπορούσε να δώσει νέα συμπεράσματα για την φωτοαποικοδόμηση των πολυμερών υλικών. Επίσης όσον αφορά στην μέθοδο παρασκευής του πολυ(μεθακρυλικού μεθυλίου) με σταθεροποιητή μπορεί να αλλάξει η συγκέντρωση του σταθεροποιητή και να μορφοποιηθούν δοκίμια με διαφορετικές συγκεντρώσεις UV σταθεροποιητή.

Τέλος η μελέτη μπορεί να επαναληφτεί για περισσότερα πολυμερή υλικά οικοδομικών εφαρμογών όπως το πολυστυρένιο και άλλοι τύποι σύνθετου ή όχι ακόρεστου πολυεστέρα.

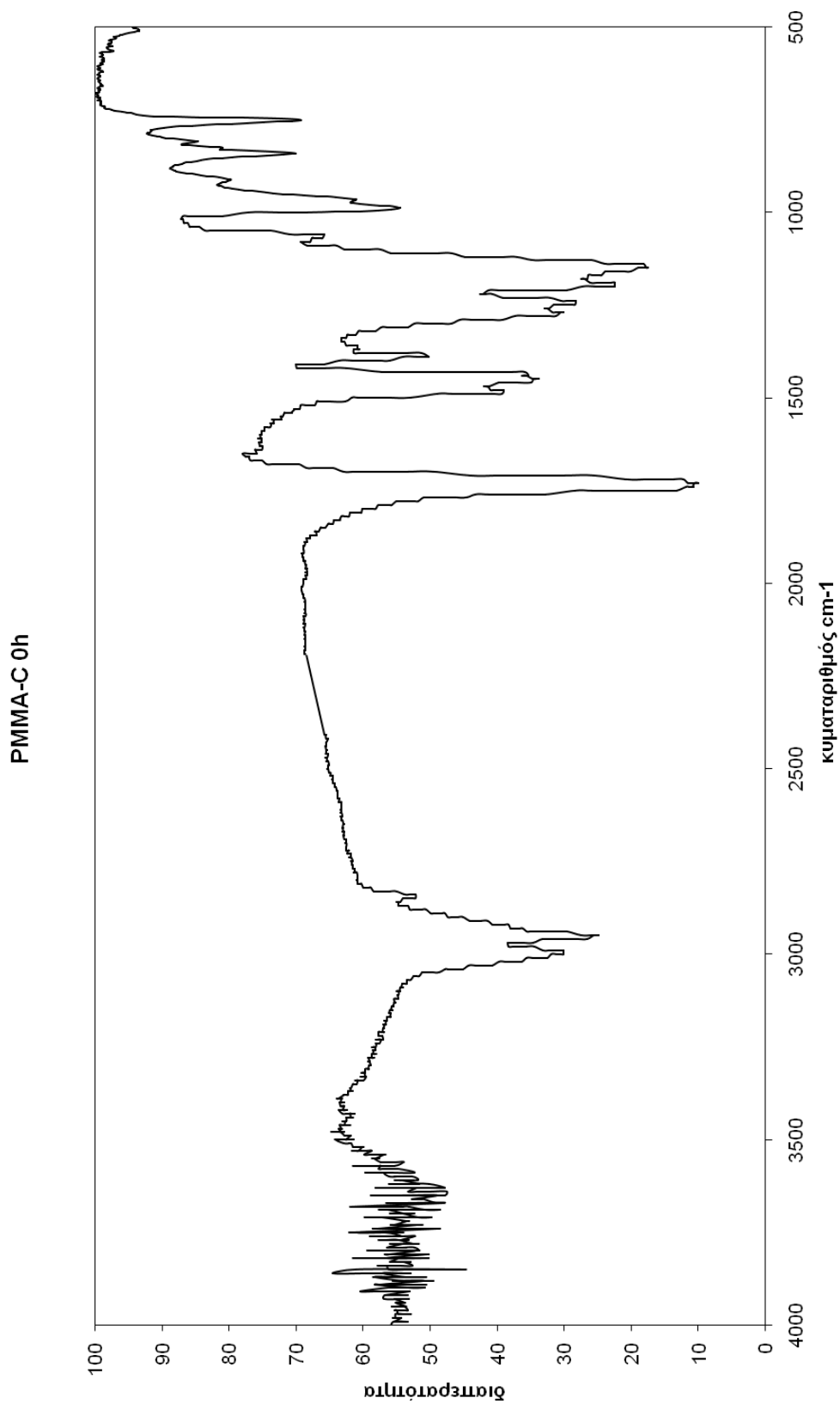
12 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

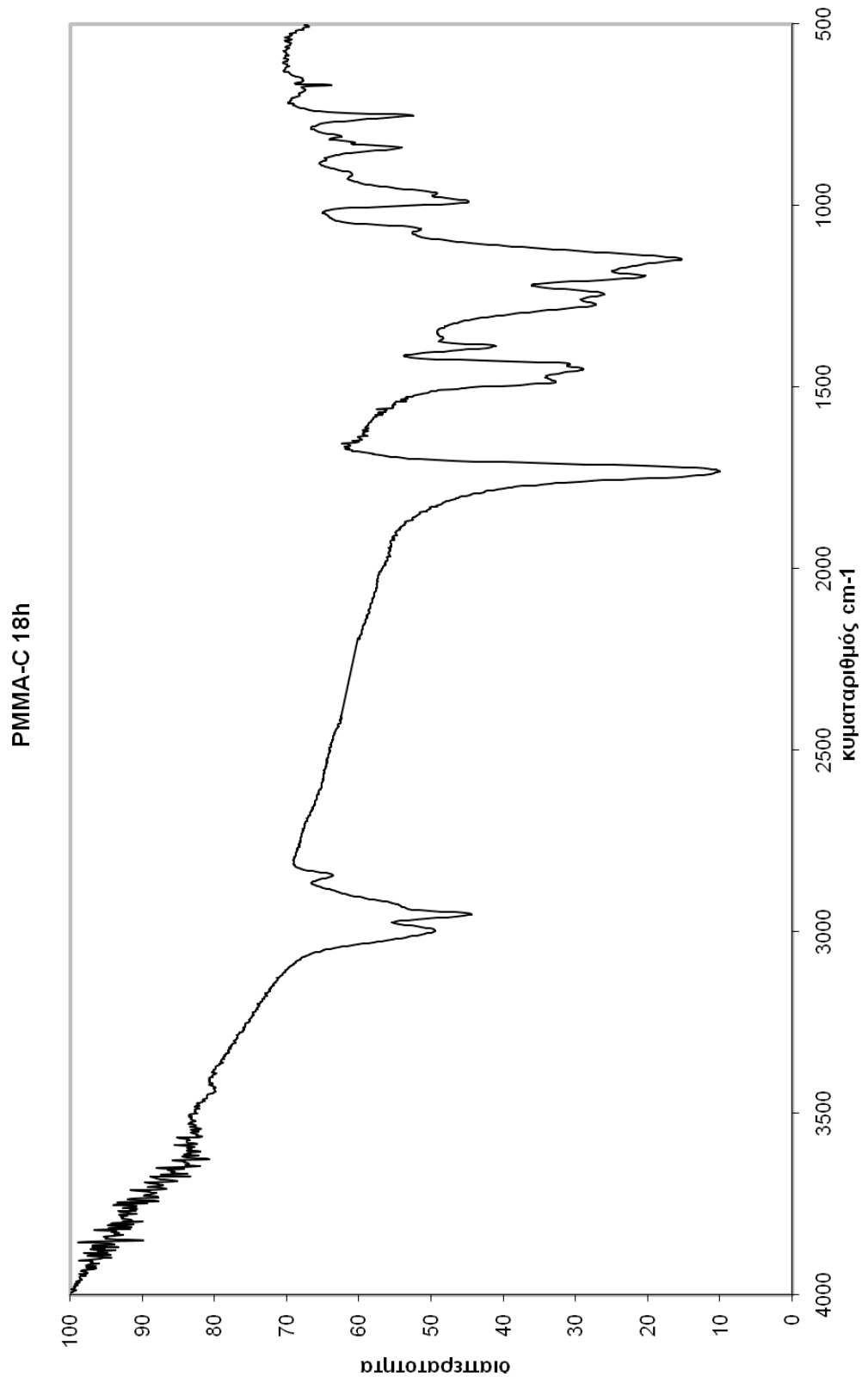
1. <http://el.wikipedia.org/wiki/πέτρα>
2. <http://el.wikipedia.org/wiki/ξύλο>
3. Π. Τουλιάτος, Τυπολογία ξύλινων και μεταλλικών κατασκευών στην αρχιτεκτονική σύνθεση, Σημειώσεις, <http://courses.arch.ntua.gr/fsr/121149/touliatos.pdf>
4. <http://el.wikipedia.org/wiki/τούβλο>
5. <http://el.wikipedia.org/wiki/γυαλί>
6. <http://el.wikipedia.org/wiki/τσιμέντο>
7. <http://el.wikipedia.org/wiki/γάλυβας>
8. <http://el.wikipedia.org/wiki/αλουμίνιο>
9. http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/550/1/Nimertis_Stavropoulos.pdf
10. <http://www.episkeves.civil.upatras.gr/ergasies>
11. Ιωάννης Χρ. Σιμιτζής Επιστήμη Πολυμερών, Αθήνα, 1994, σελ. 14-15, 126-138, 271, 272, 321-327, 352-354
12. Bjorksten Research Laboratories Inc., "Polyesters and their applications", Chapman & Hall, Limited, 1956, pp. 1-72,140,174-194,199-224.
13. Ultraviolet radiation, Fred W. Billmeyer, in AccessScience@McGraw-Hill: <http://www.accessscience.com>, DOI 10.1036/1097-8542.719800
14. <http://www.uvnet.gr/uvnet.gr/content/stationDetails.php?id=2&time=3&p=Irr302>
15. <http://www.uvminerals.org/>
16. Ιωάννης Χρ.Σιμιτζής, Θερμοαναλυτικές Μέθοδοι και Θερμικές ιδιότητες Υλικών. (Σημειώσεις) Αθήνα, Απρίλιος 2001, σελ.57, 82-.88, 91-94.
17. W.V. Titow, B J. Lanham, "Reinforced thermoplastics", Applied Science Publishers LTD, London, 1975, pp.42-46.
18. Jan F. Rabek, Polymer Photodegradation: Mechanisms and Experimental Methods, Springer, 1995, pp.67-92.
19. Εμμ.Μ. Καμπούρης, "Τεχνολογία πολυμερών", Τόμος ΙΙ, ΕΜΠ, Αθήνα 1980, σελ. 9-49, 247-253, 418-421.

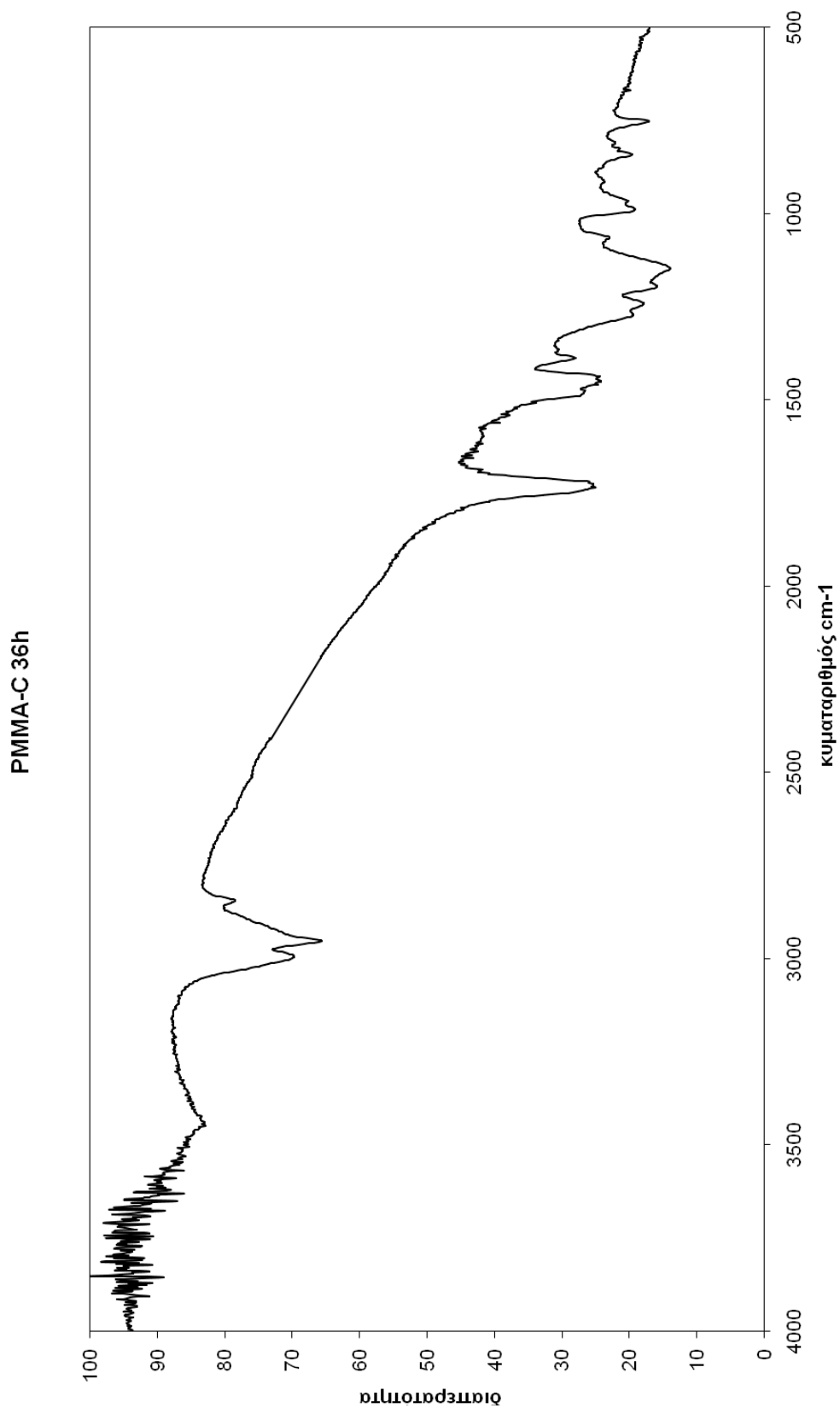
20. Mona Malik, Veena Choudhary, and I.K. Varma, in "REV. MACROMOL. CHEM. PHYS.", C40 (2&3), 2000, pp. 139-165.
21. Simitzis, J., Zoumpoulakis, L. & Soulis, S., "DSC curing study of catalytically synthesized maleic-acid-based unsaturated polyesters", Polym. Int., Vol. 51 (2002) pp. 308-318.
22. Ιωάννης Χρ.Σιμιτζής, Τεχνολογία Προηγμένων Πολυμερών και Σύνθετων Υλικών (Σημειώσεις) Αθήνα, Νοέμβριος 2002, σελ. 64-70.
23. Λ. Ζουμπουλάκης, Δ. Τριάντου, Σ. Σούλης, Π. Γεωργίου, Ι.Σιμιτζής, Σχεδιασμός Ακόρεστων Πολυεστέρων Των Δομικών Κατασκευών Με Βάση Την Σταθερότητά τους έναντι στη UV ακτινοβολία.
24. J.A. Brydson, "Plastics Materials", Newness- Butterworths, 1979, p. 569-582
25. A. Mozumder, Fundamentals of radiation chemistry, University of Notre Dame, Indiana, U.S.A.
26. John Wiley & Sons Inc, 2002, Encyclopedia of Polymer Science and Technology: <http://nim.interscience.wiley.com/emrw/9780471440260/home/>
27. <http://en.wikipedia.org/wiki/Plexi>
28. http://riodb01.ibase.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi
29. http://www2.dupont.com/Corian_Global_Landing/en_US/index.html
30. <http://www.sxima-hellas.gr/corian/coriandupont.htm>
31. <http://en.wikipedia.org/wiki/Polycarbonate>
32. <http://en.wikipedia.org/wiki/Corian>
33. <http://www.fibermaxcomposites.com/shop/?language=gr>
34. <http://www.domiki.gr/seismo/methodoi10.htm>.
35. <http://www.agrek.gr/thermokipia-agrek-main.html>
36. <http://www.viodomiki.gr/frameset.htm>
37. http://mellios.com.gr/g_plek0.asp
38. <http://www.sheet.bayerpolymers.com/671/Products/Bayblend.htm>
39. www.netcomposites.com
40. http://www.macon.gr/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=19&Itemid=3&lang=el

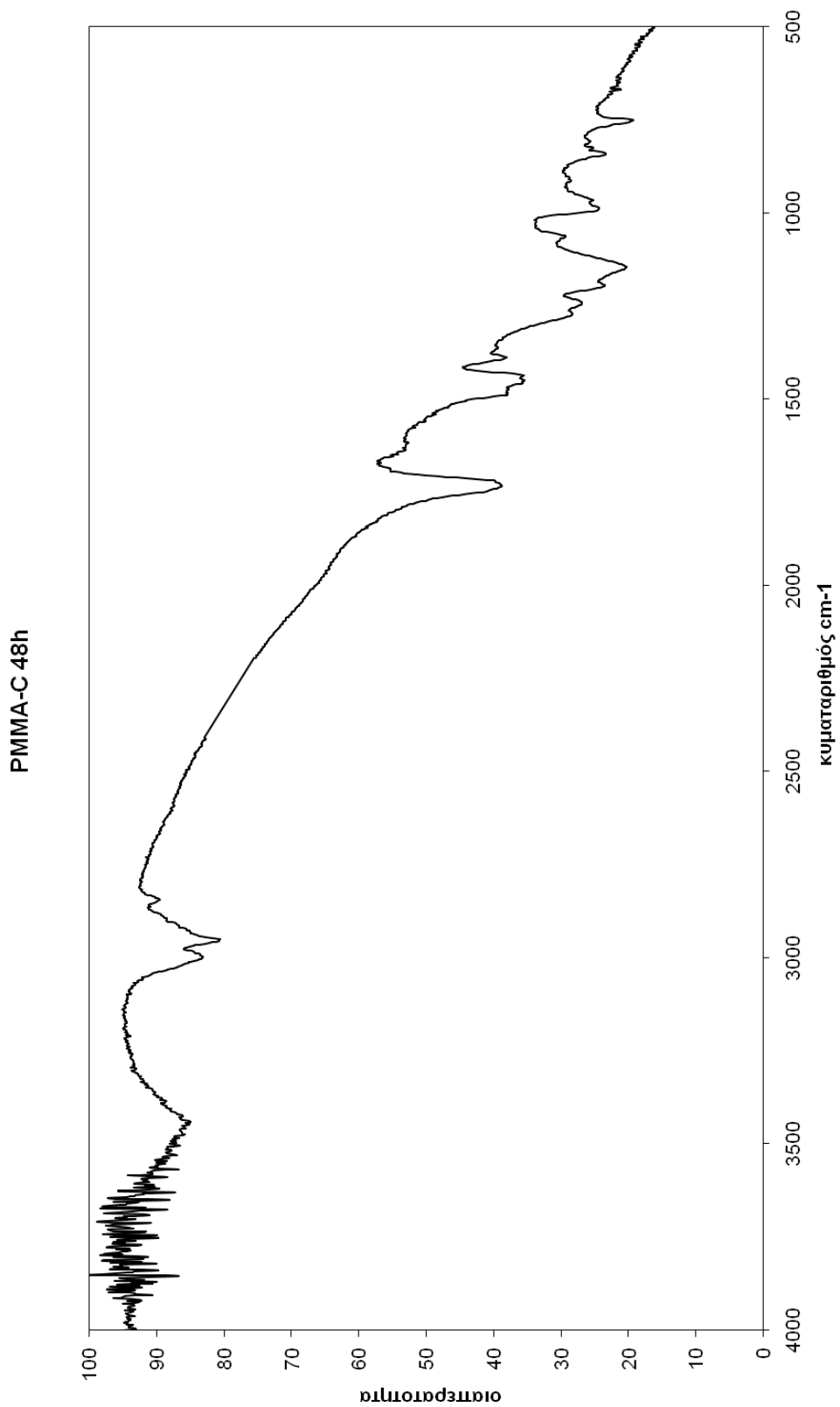
41. <http://www.areacorian.gr/?gclid=CMeclrL2-akCFQIt3wodRmtsYg>
42. <http://www.technientos.gr/>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

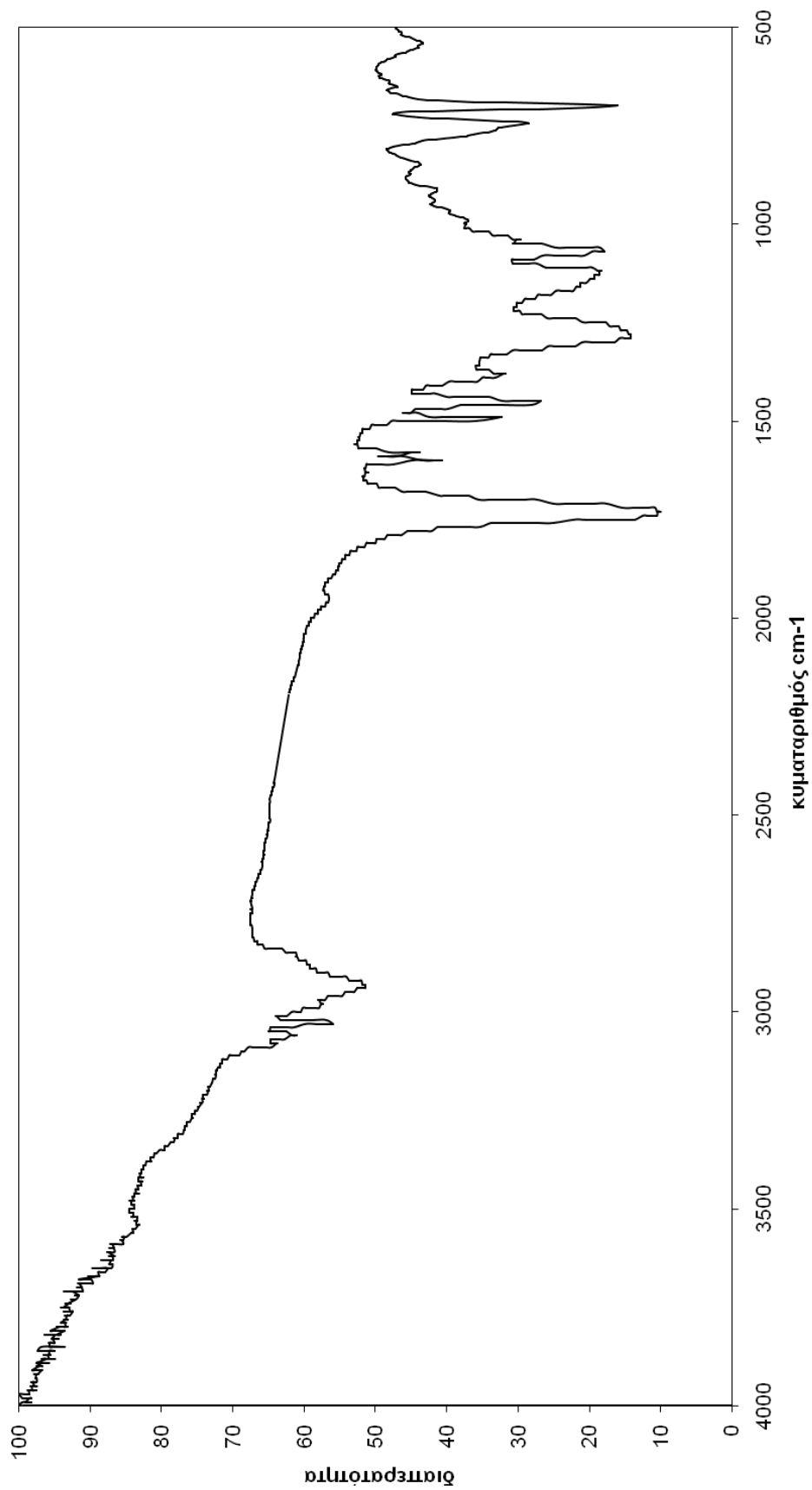


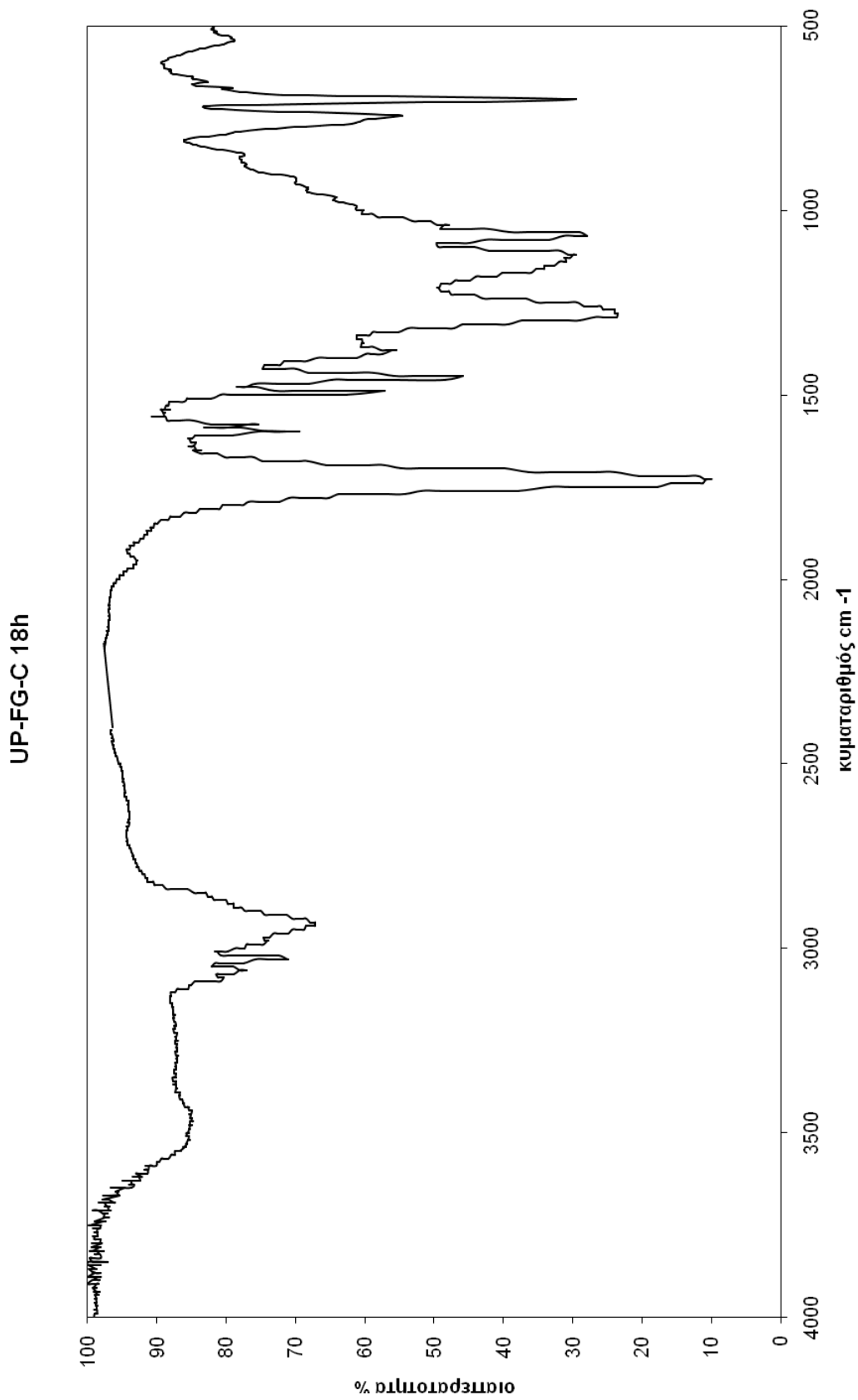


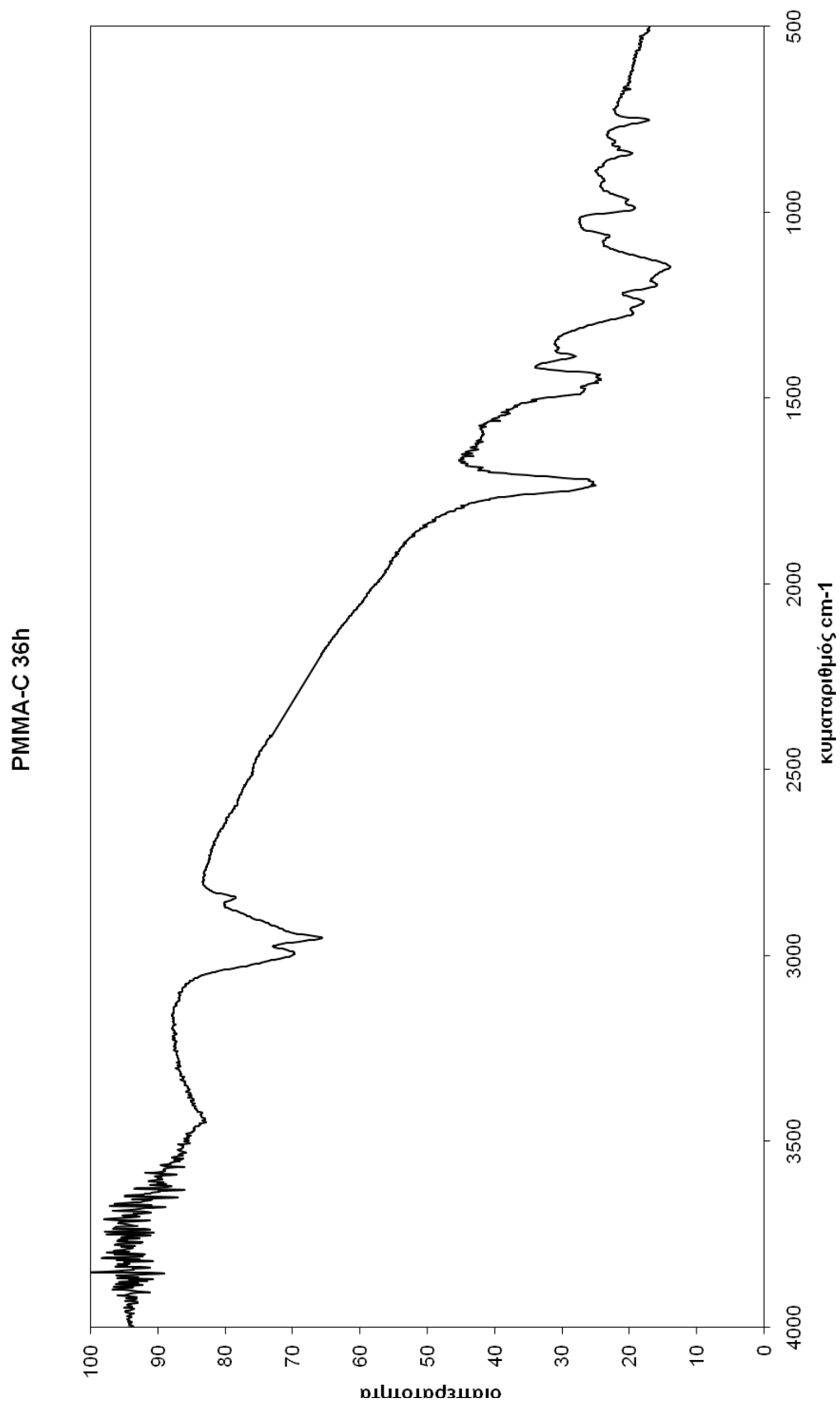


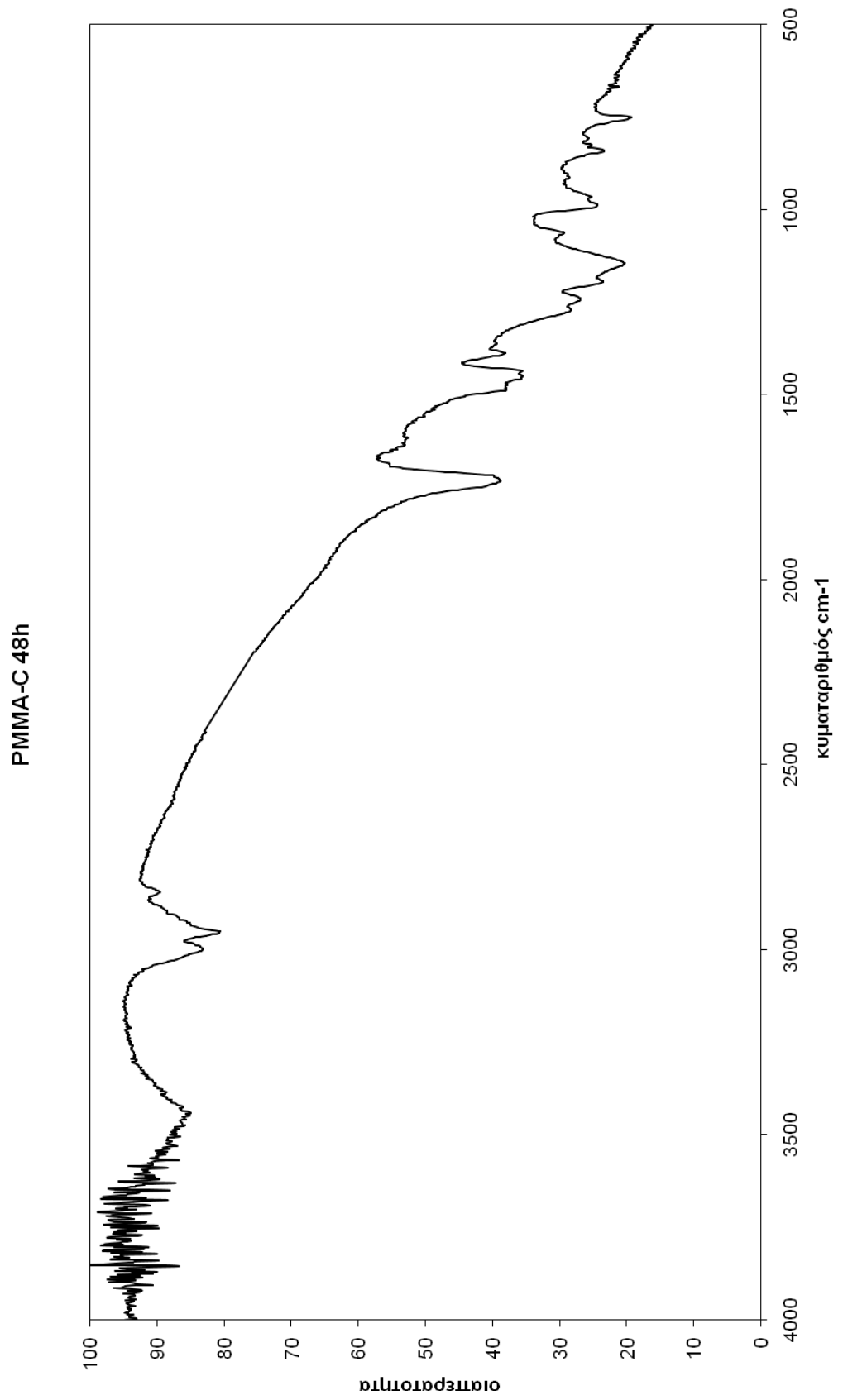


UP-FG-C 0h

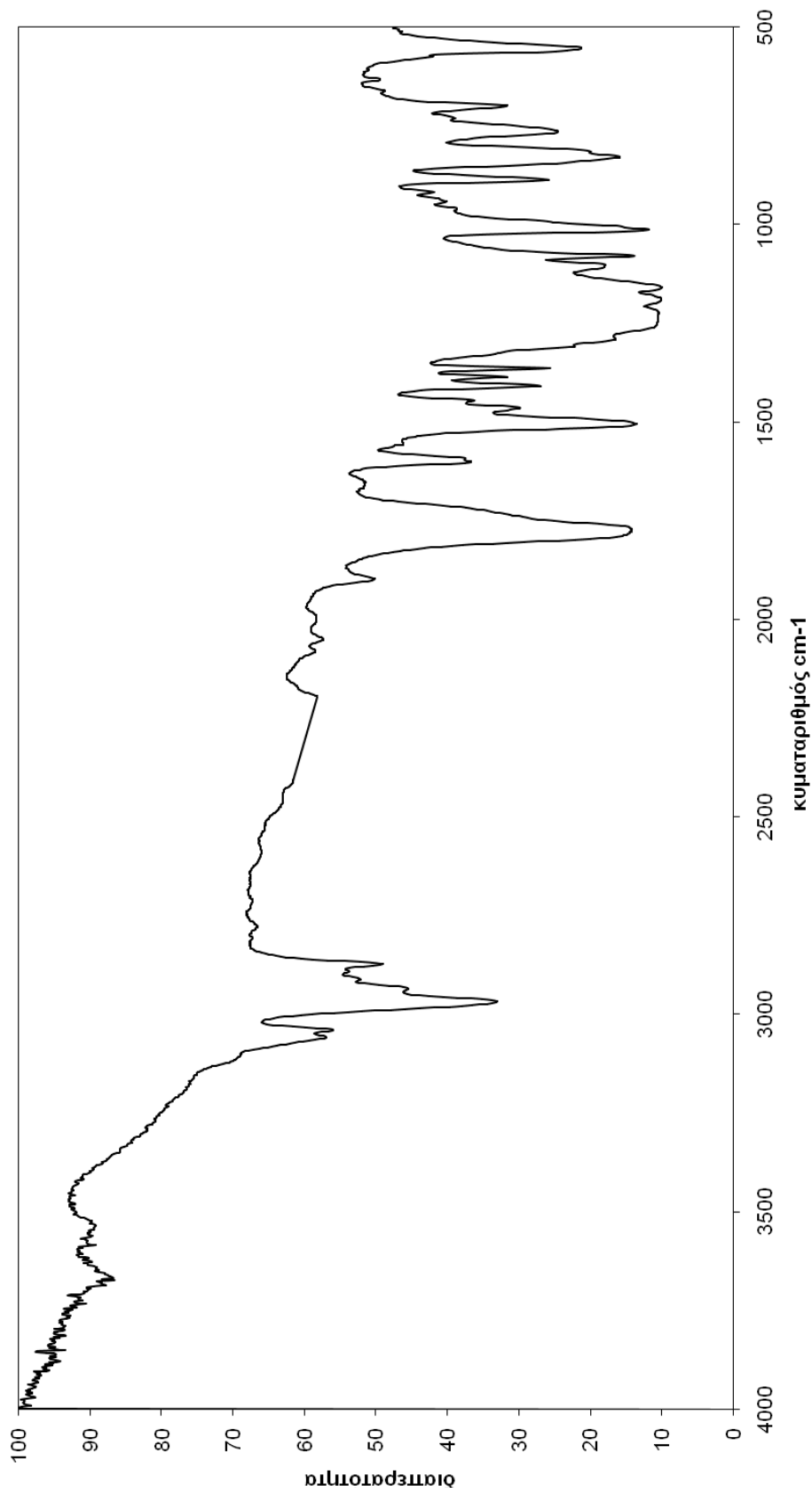


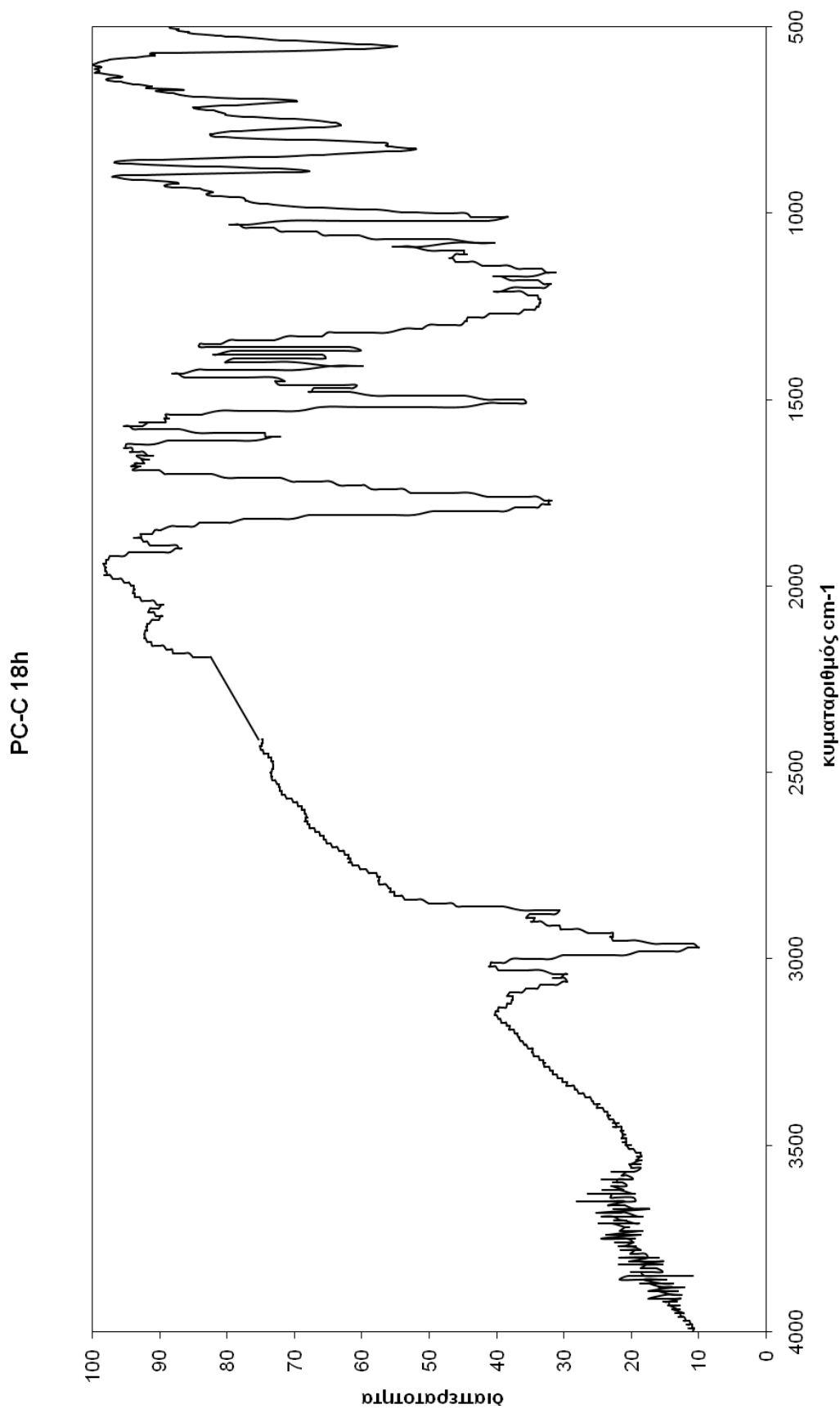


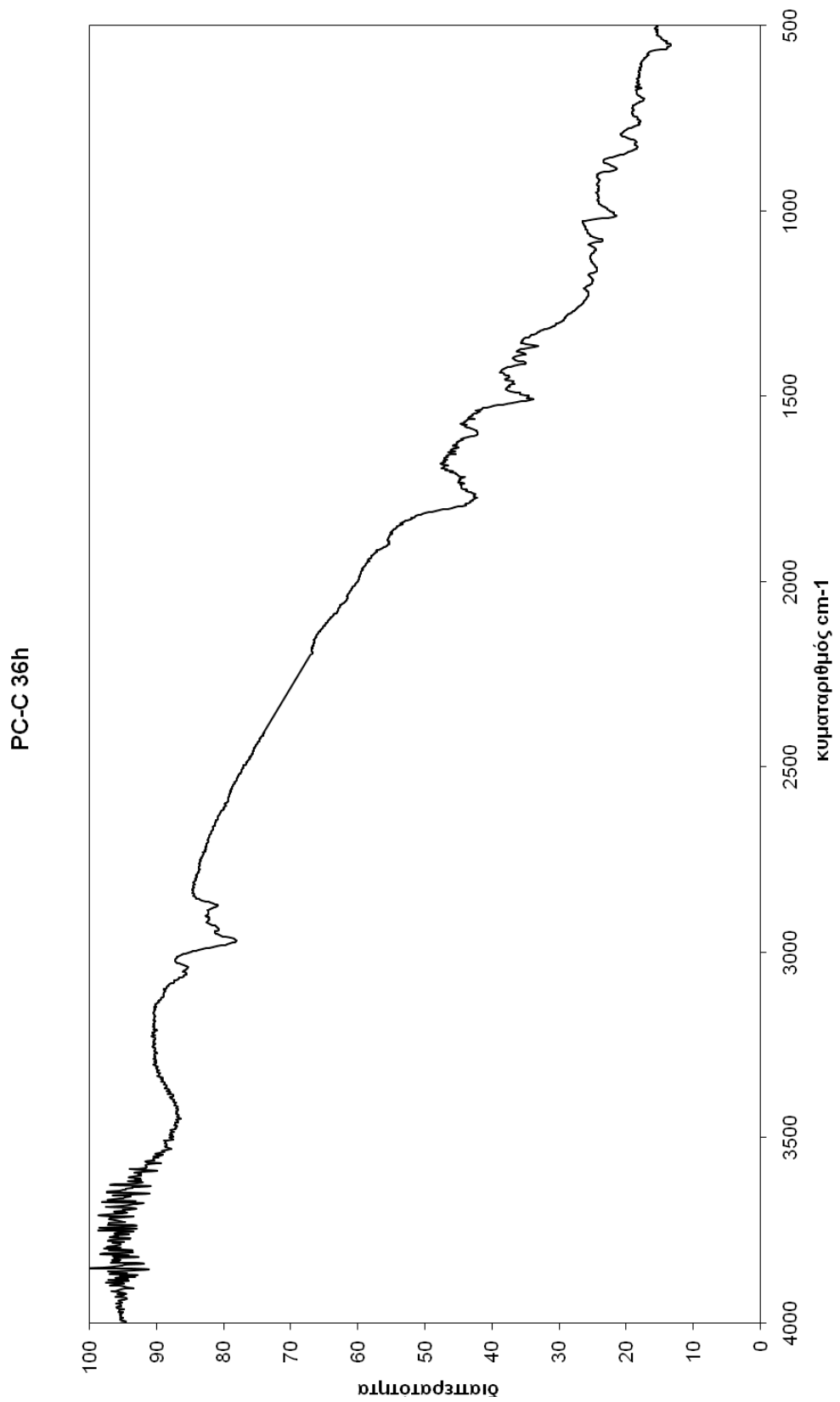


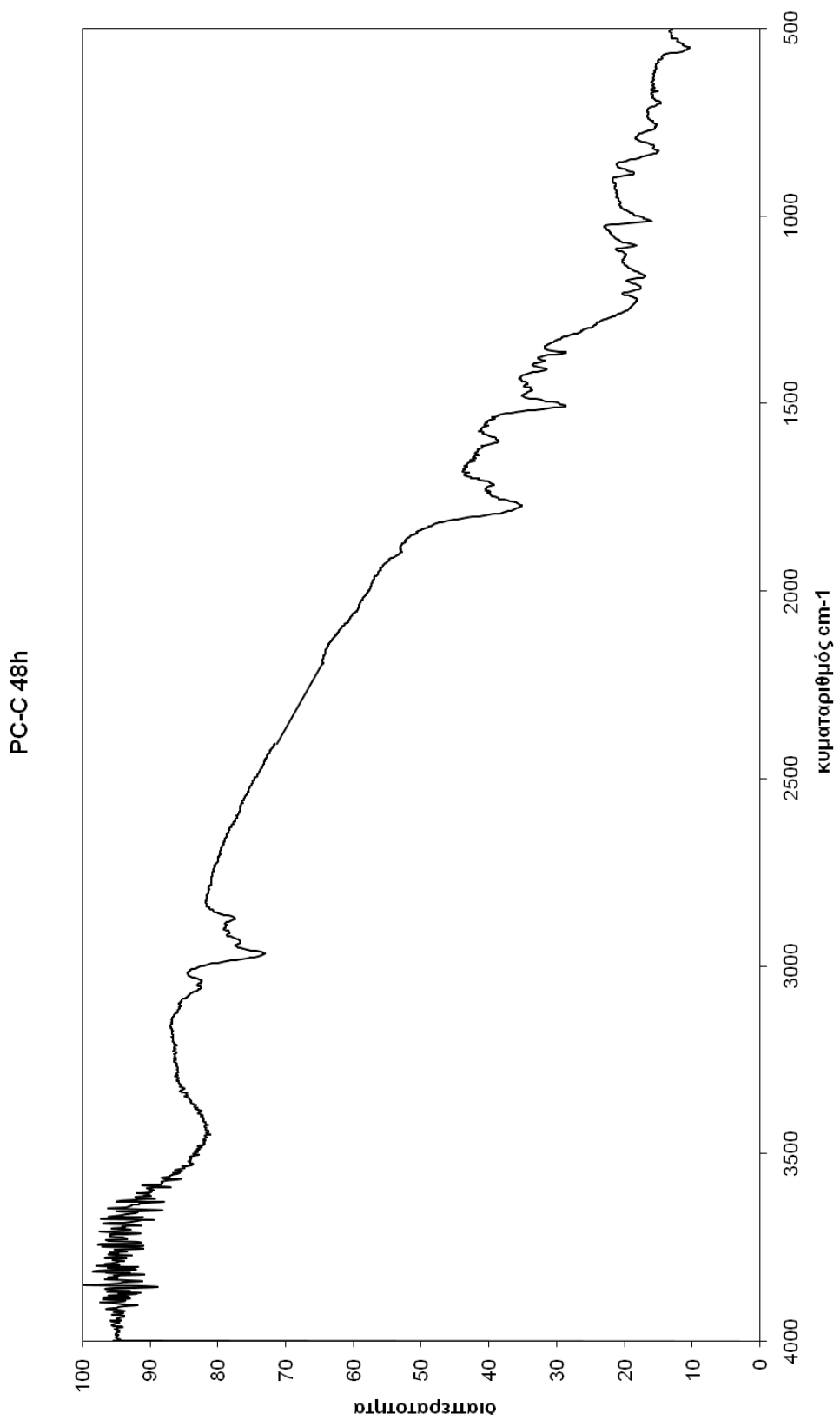


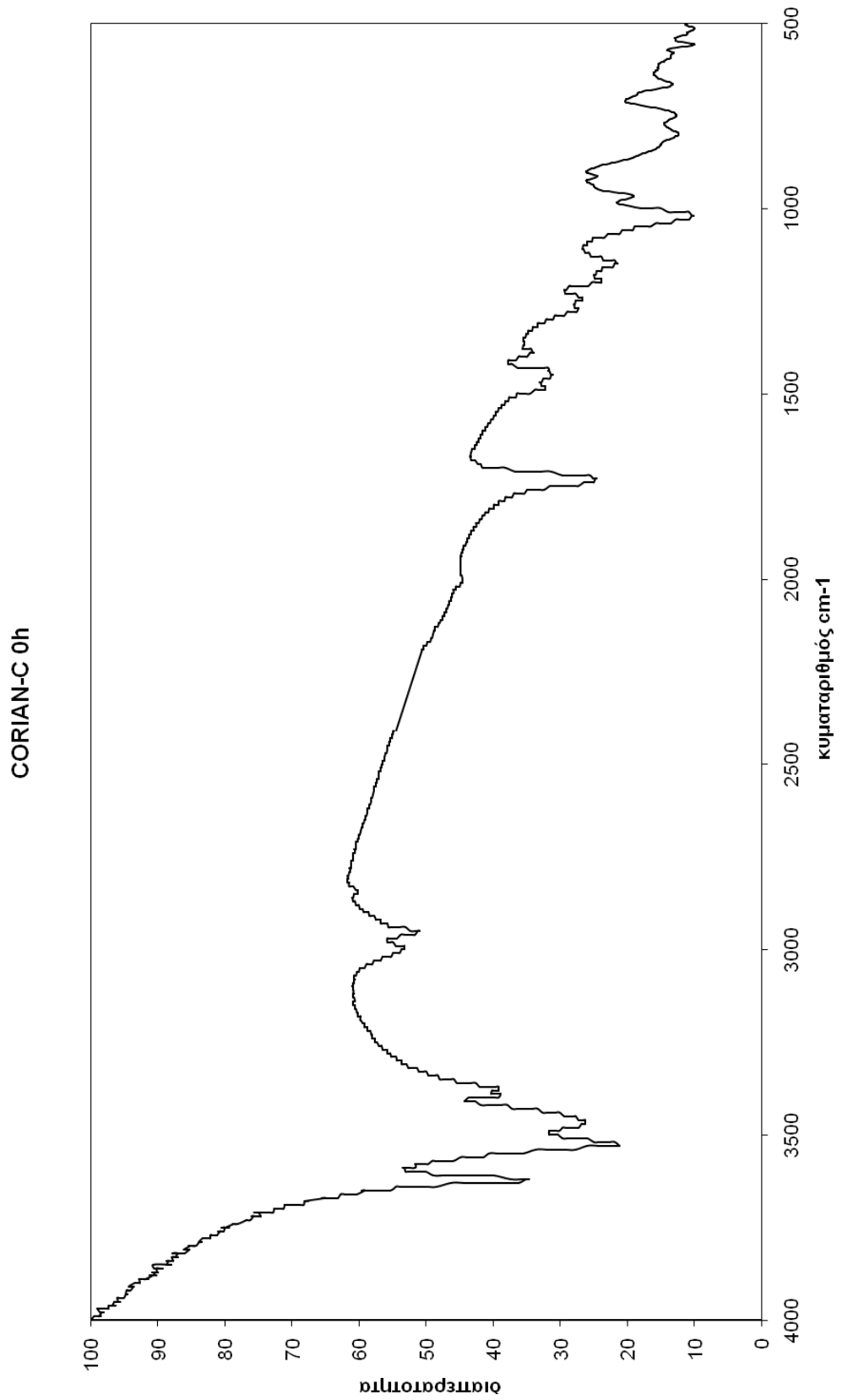
PC-C 0h

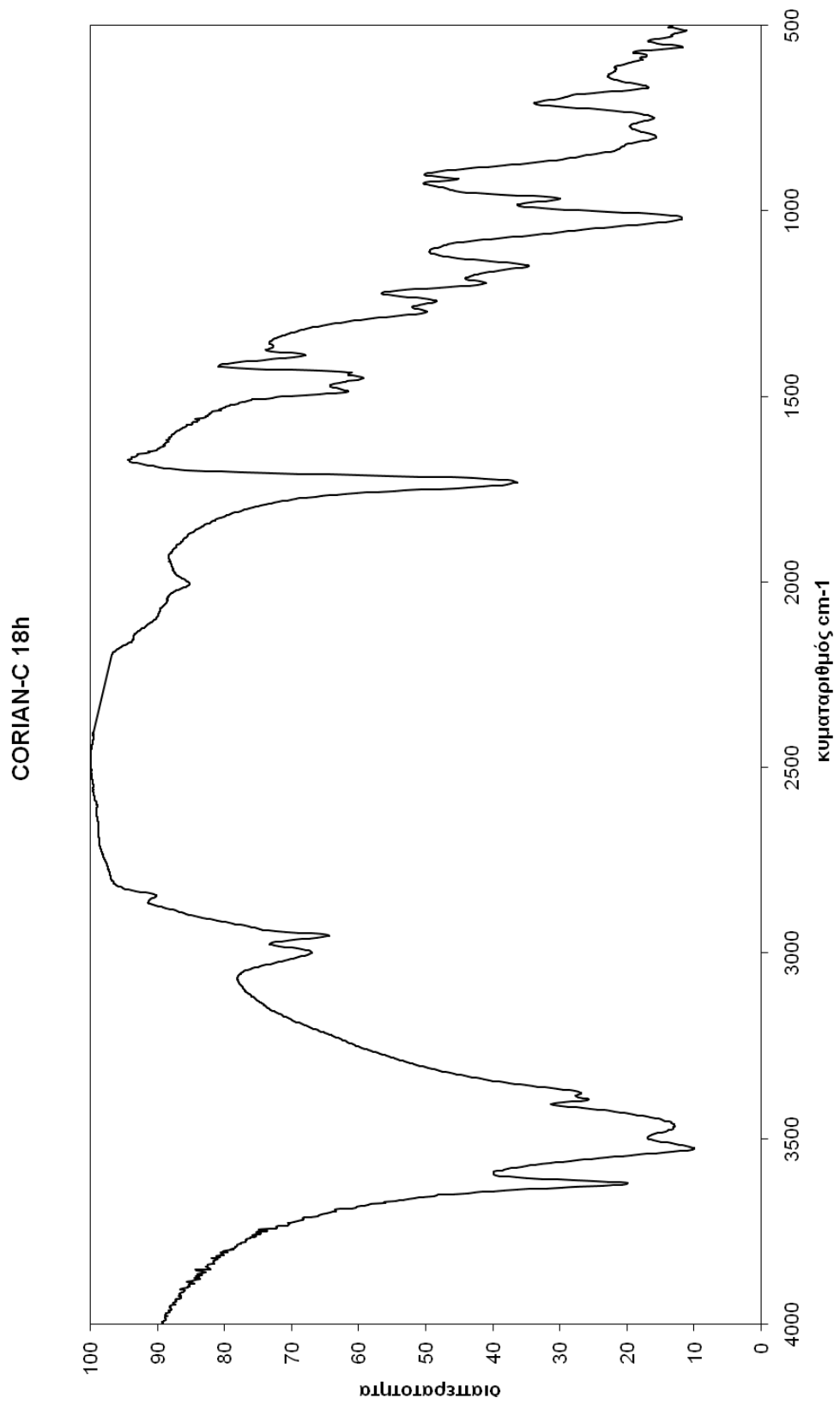


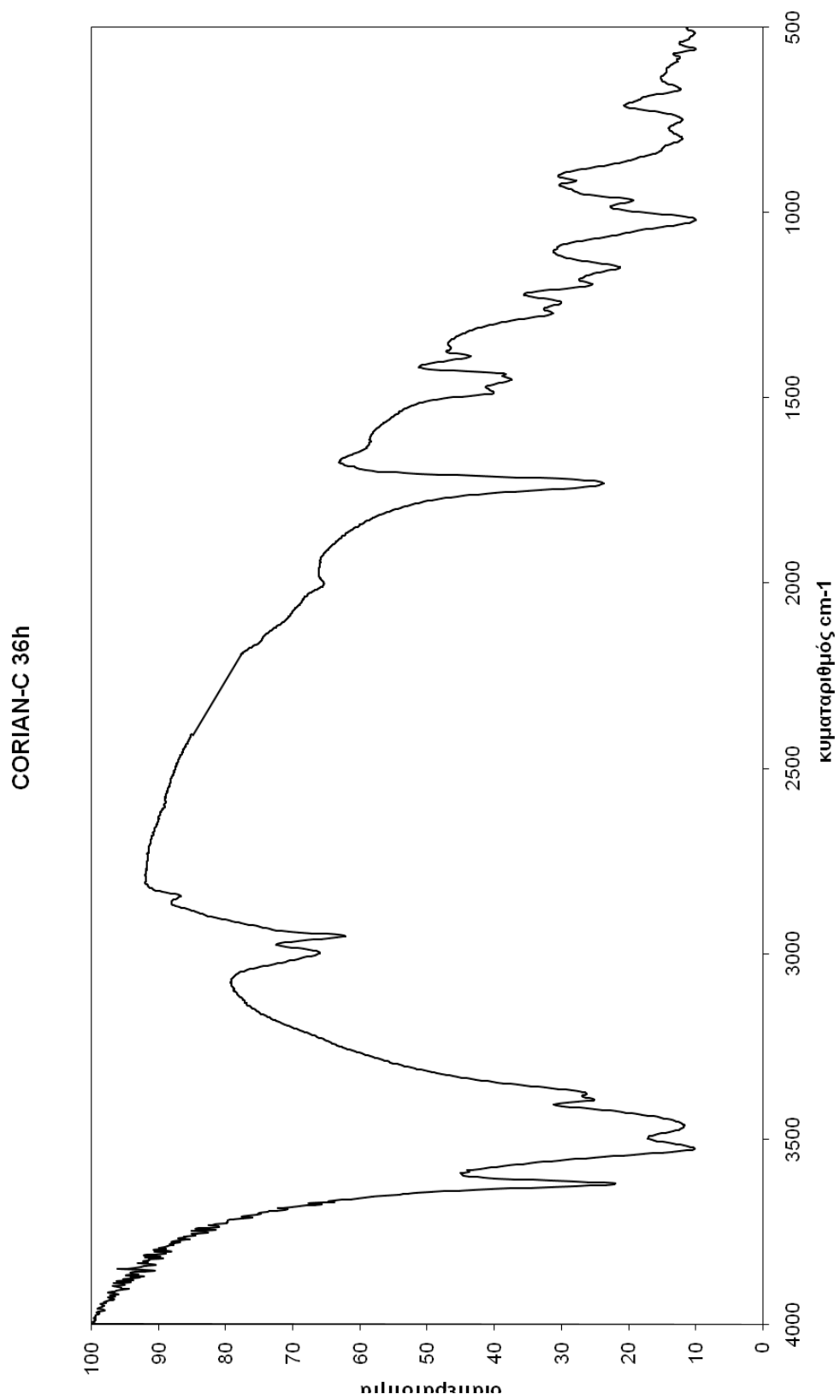


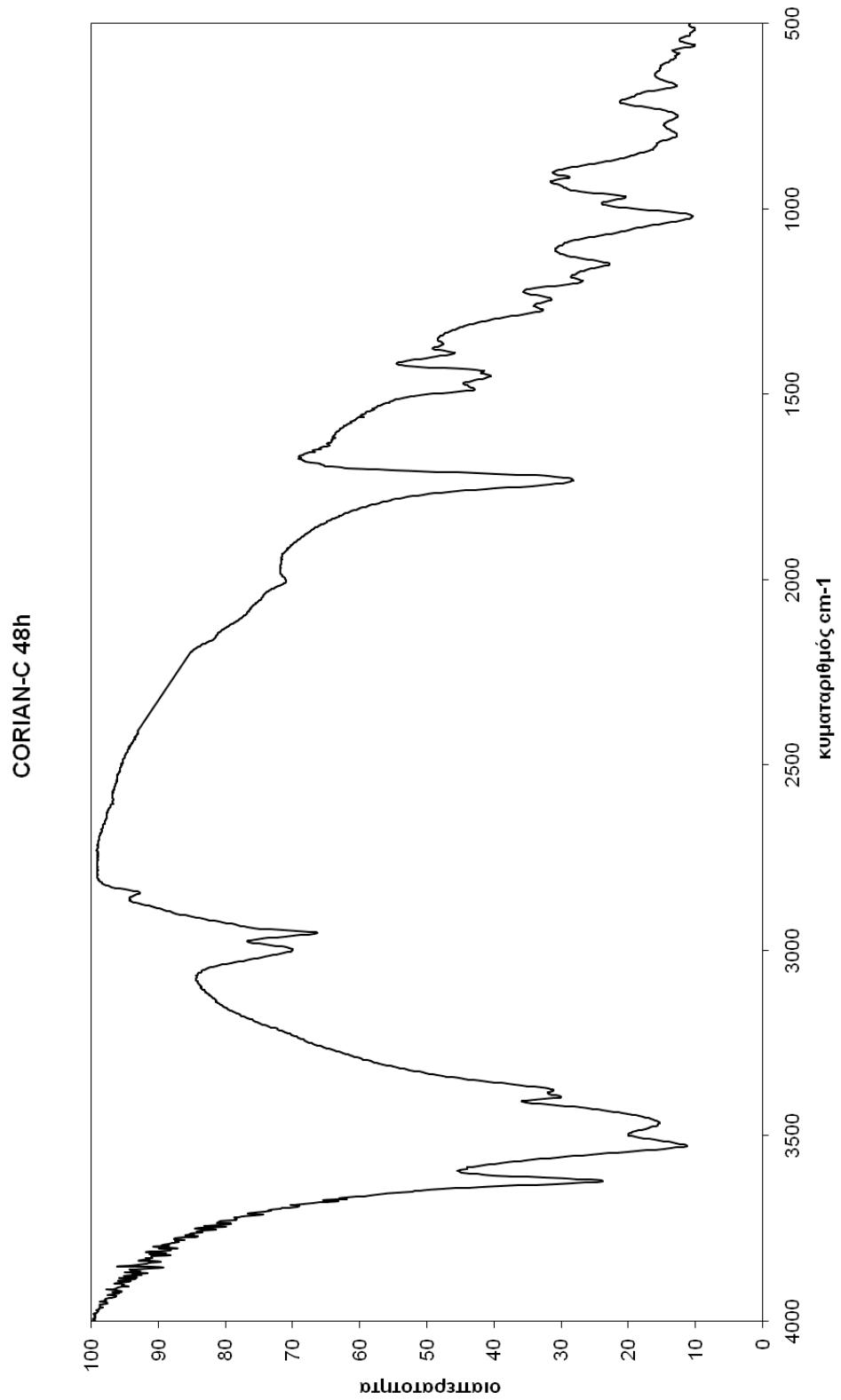


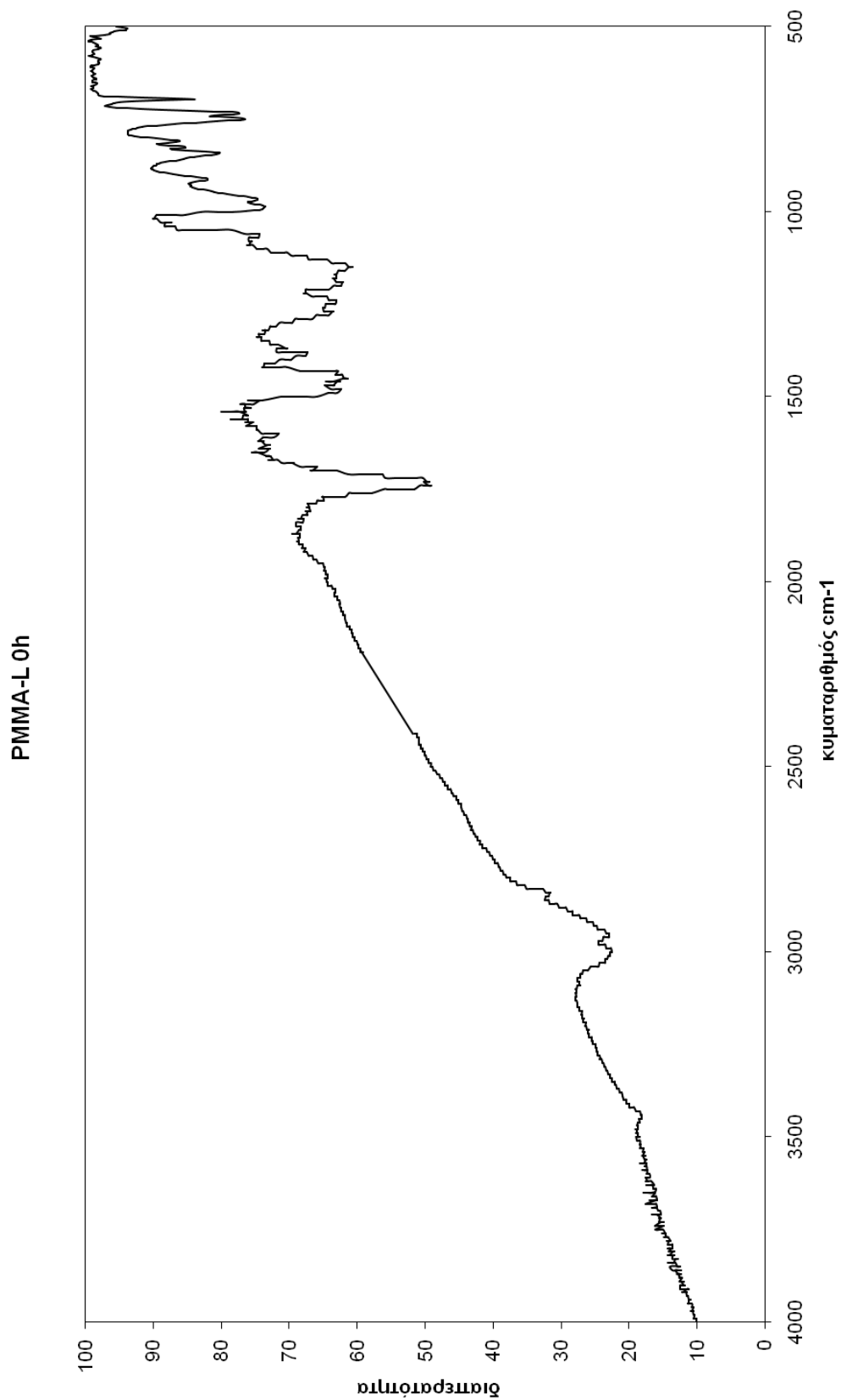


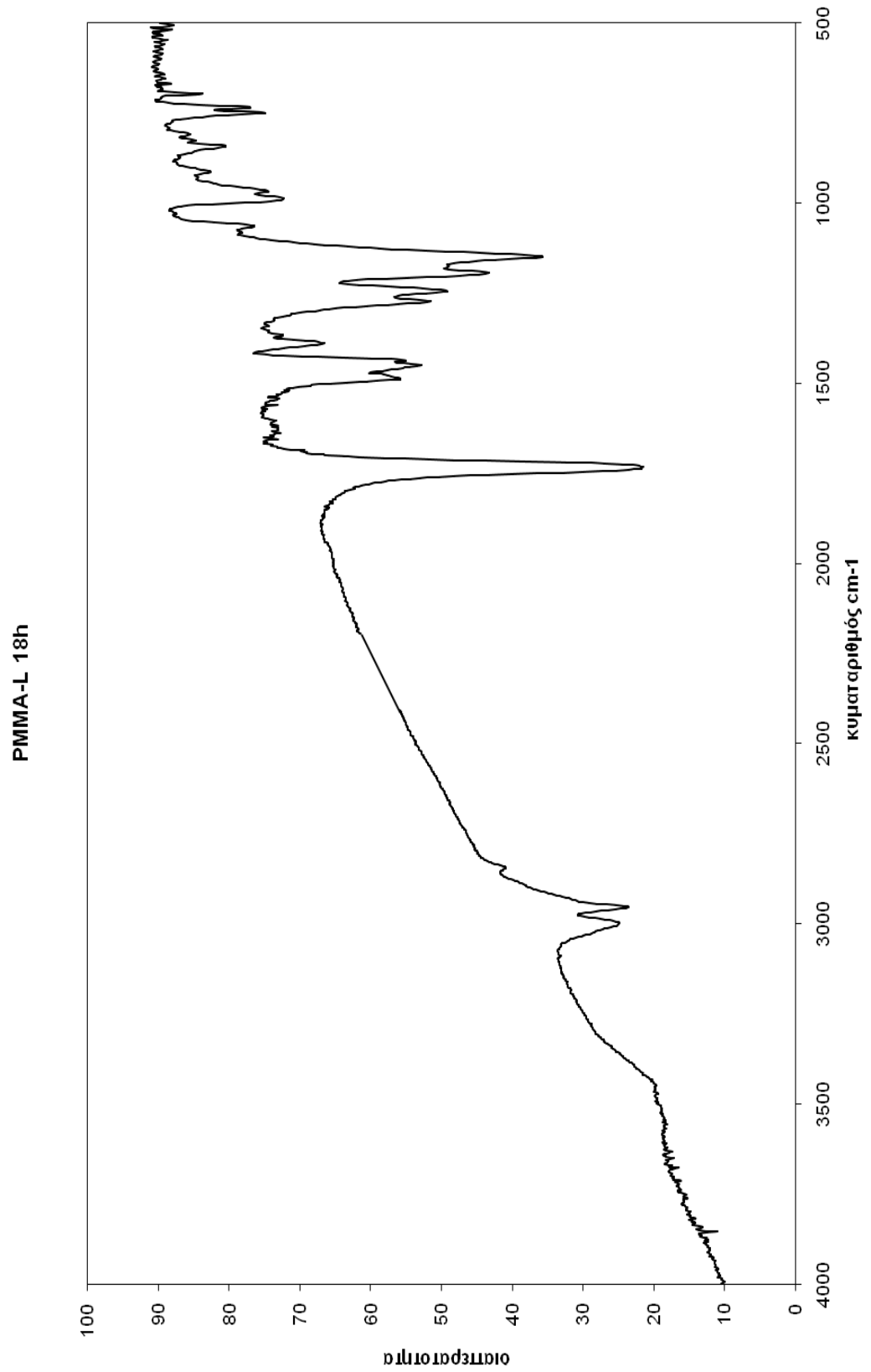


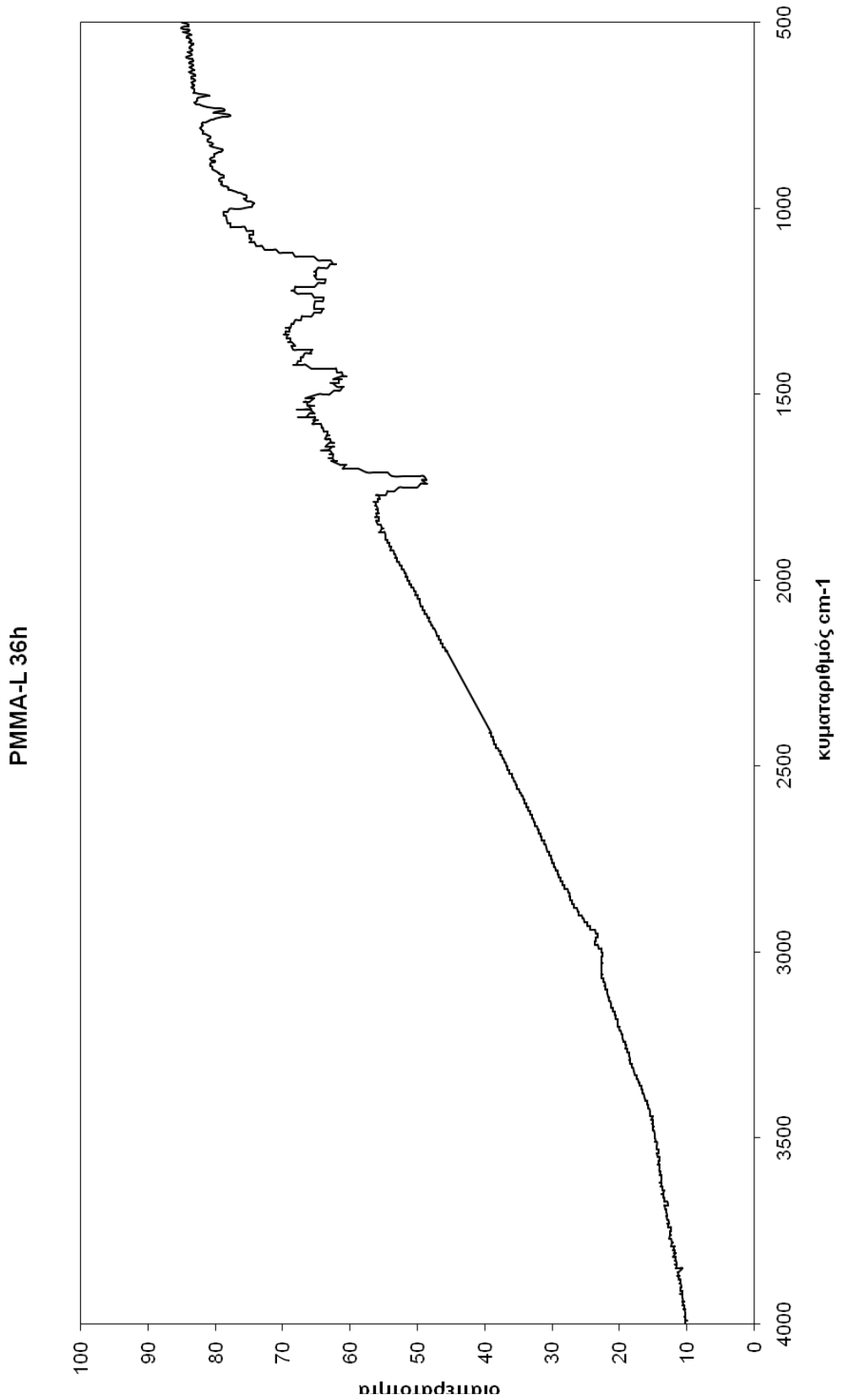


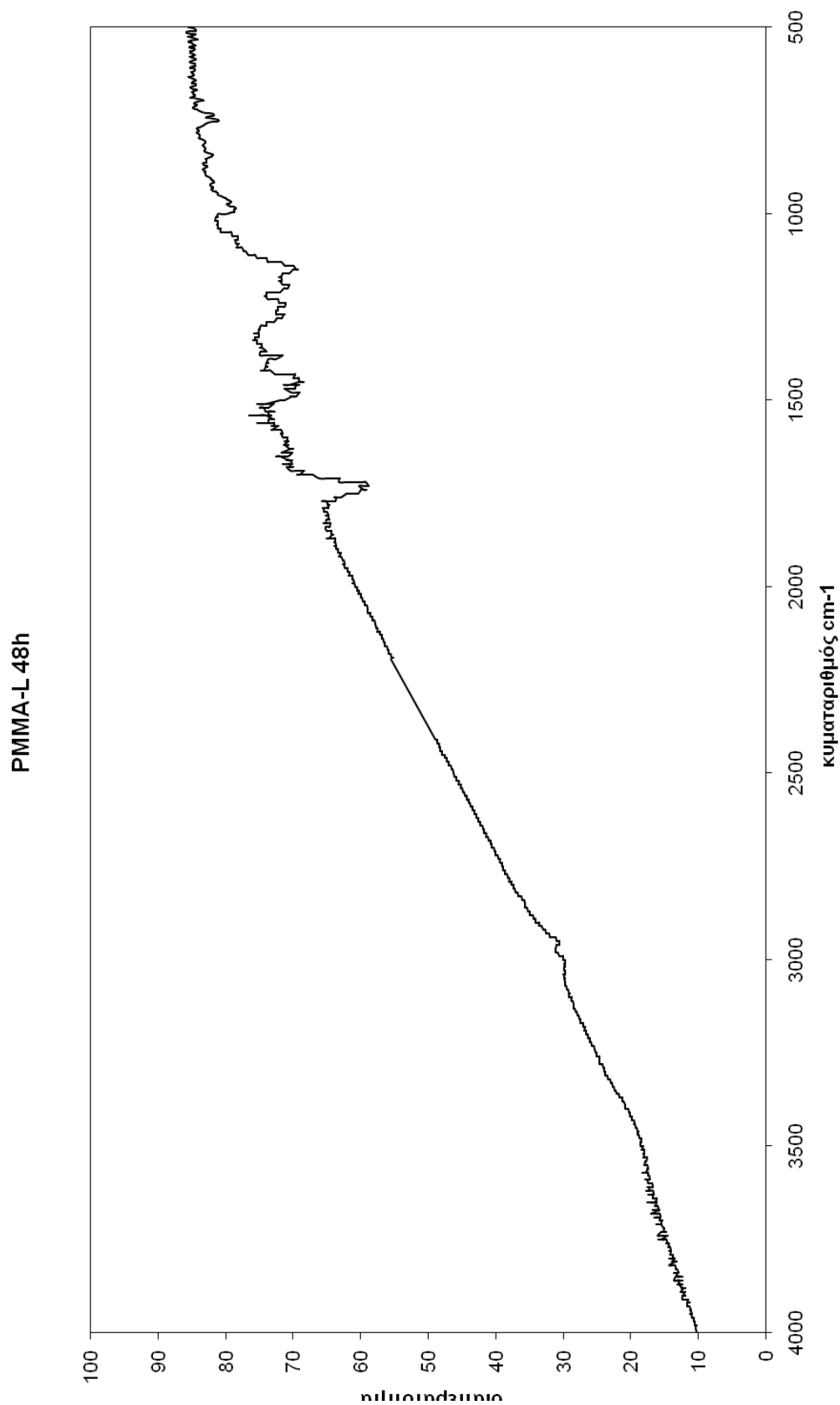


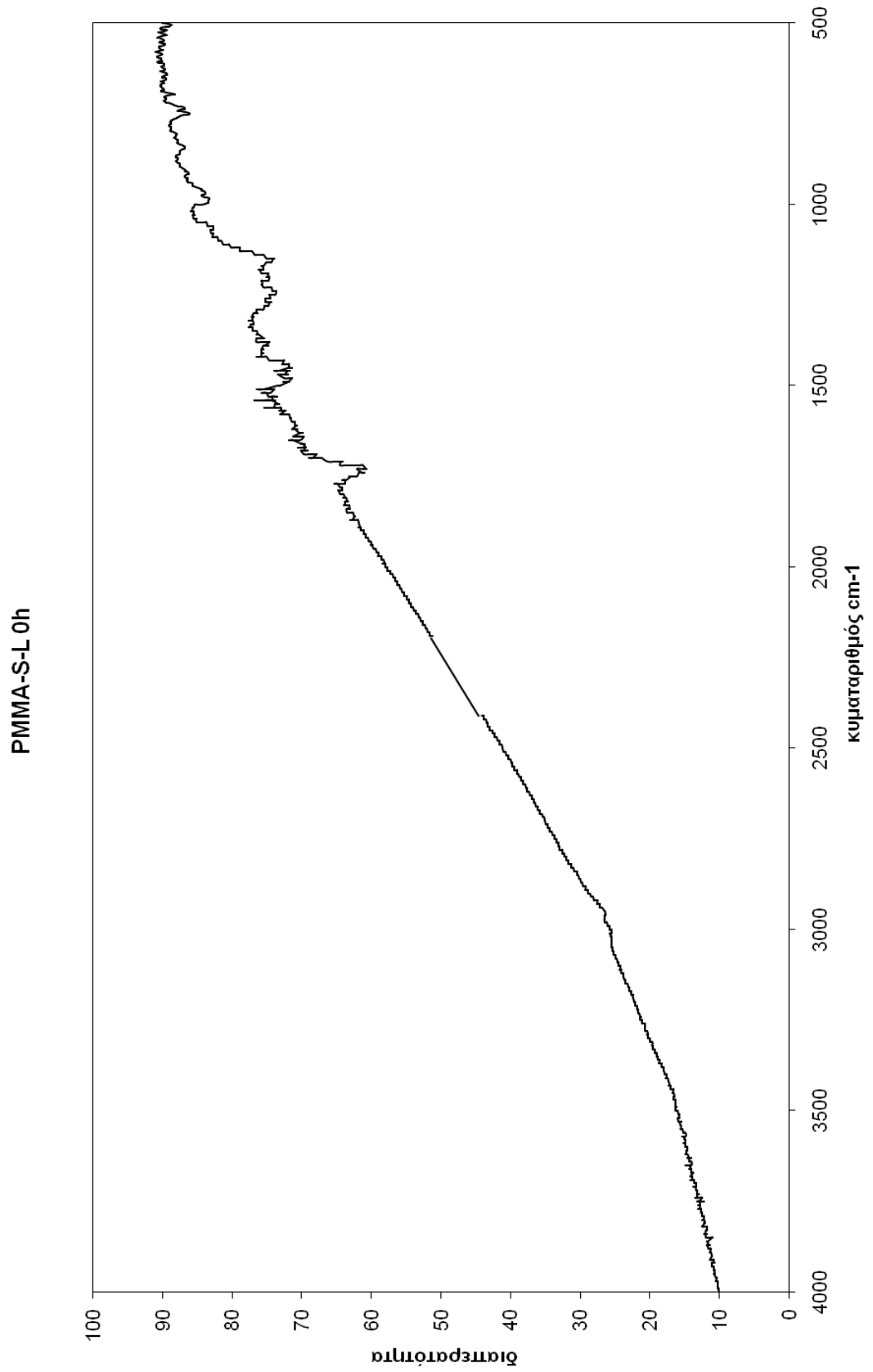


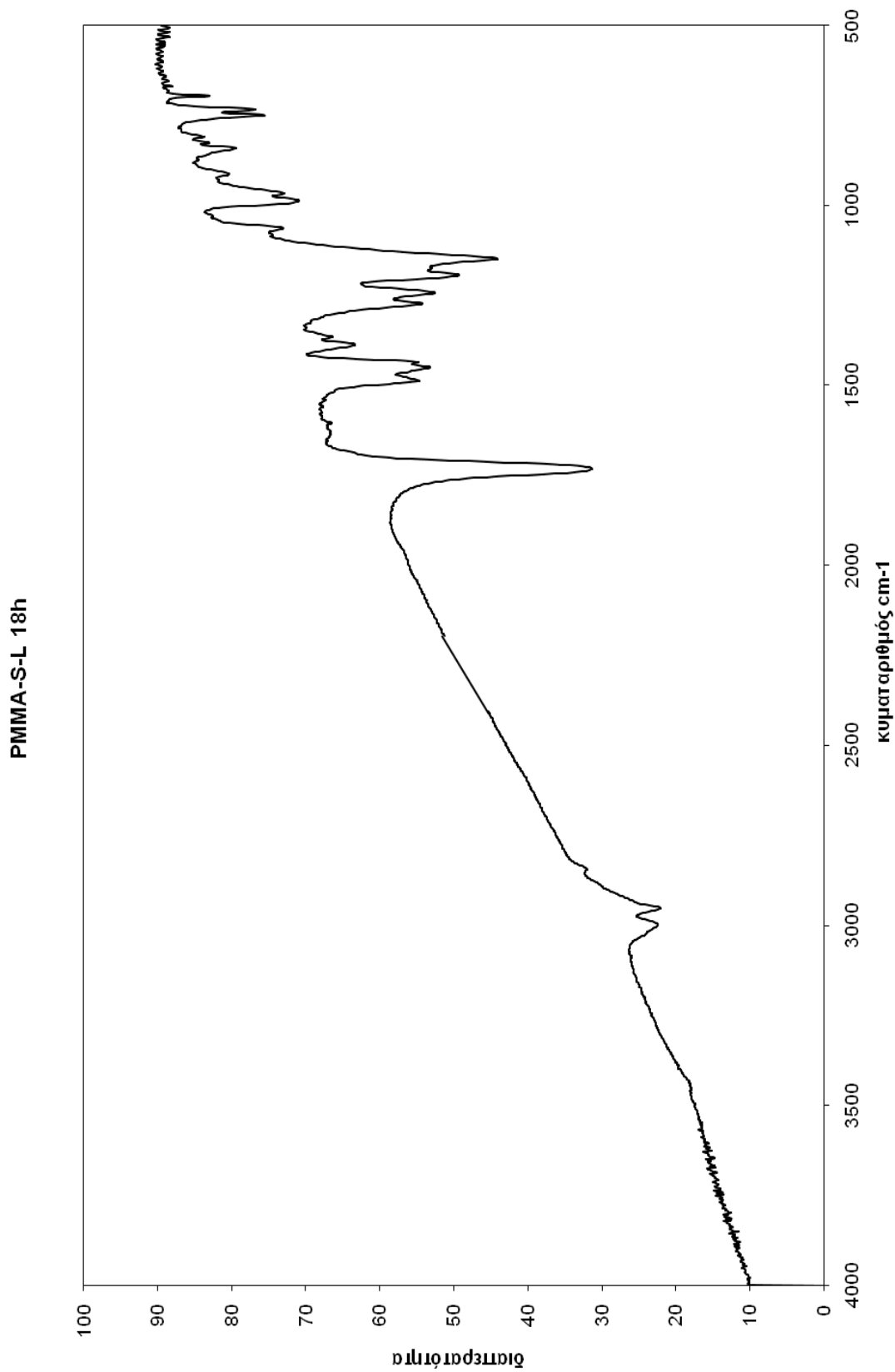


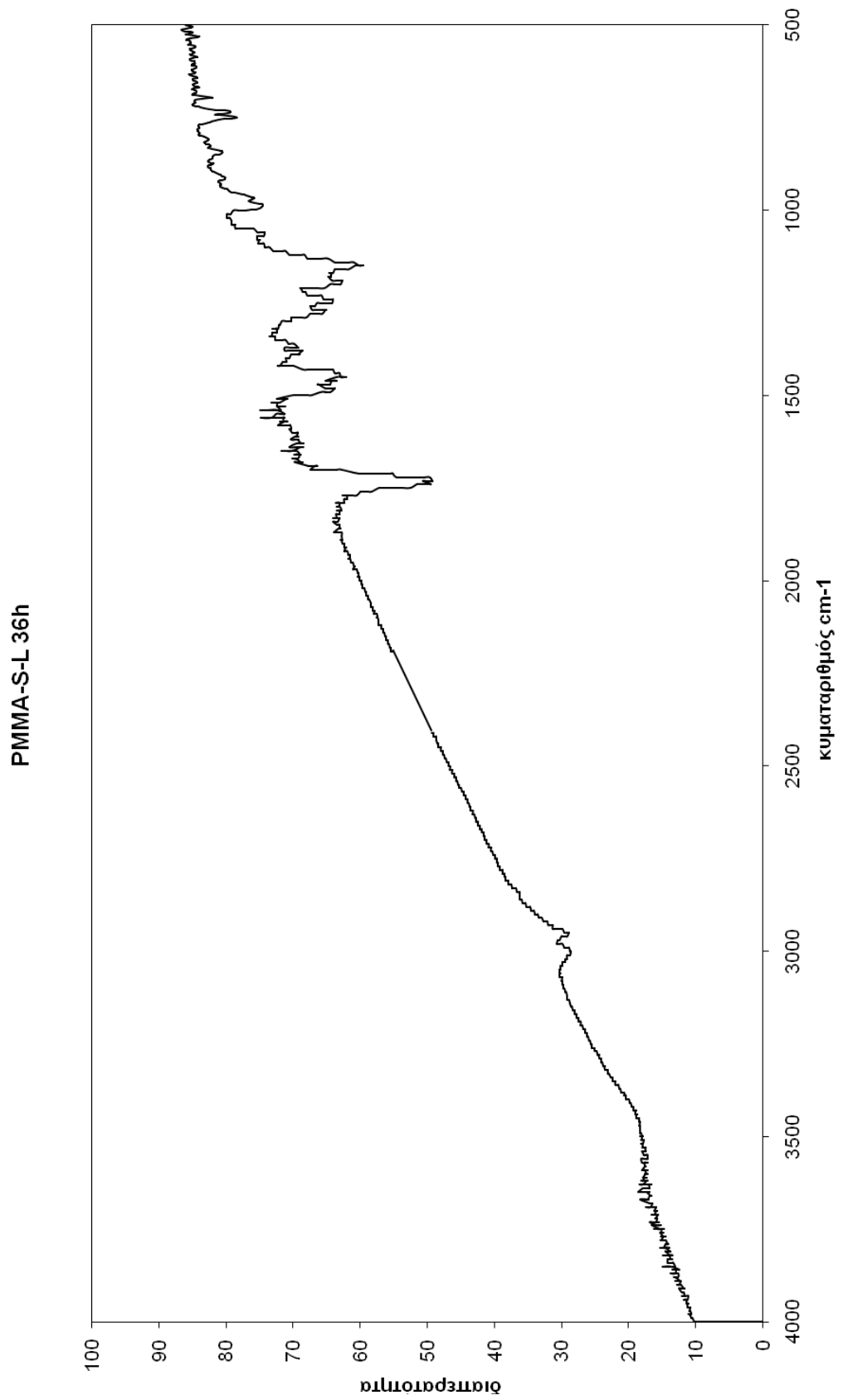




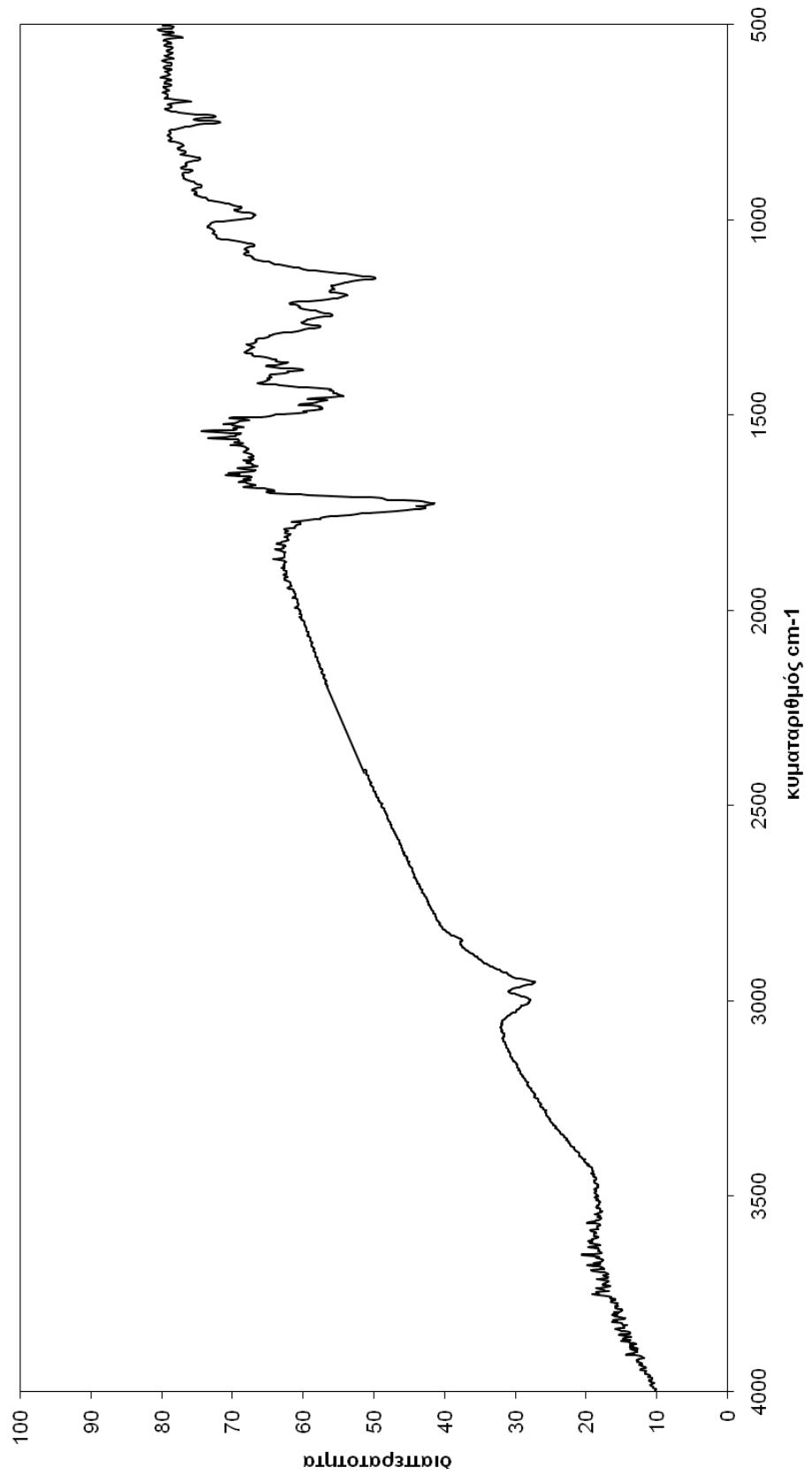








PMMA-S-L 48h



ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Προσωπικά Στοιχεία

Επώνυμο: Μπουσμπουρέλη
Όνομα: Πετρούλα
Υπηκοότητα: Ελληνική
Ημ. Γέννησης: 24/01/1980
Οικ. Κατάσταση: Έγγαμη με δύο τέκνα
Διεύθυνση: Ασυρμάτου 3, 17341 Αγ. Δημήτριος, Αθήνα
Τηλ: 210-9766841, **Fax** 210-9766841, **Κιν:** 6974- 072869,
Email: petroula.b@gmail.com

Σπουδές

2009 - 2011: Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών» στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

2002 – 2008: Διπλωματούχος Αρχιτέκτων Μηχανικός του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Διπλωματική Εργασία: “Συγκρότημα βιοκλιματικών κατοικιών στην Αγία Μαρίνα Αττικής”.

Διάλεξη: “Σουβατζίδης – Τομπάζης, δύο διαφορετικές προσεγγίσεις στον βιοκλιματικό σχεδιασμό κατοικιών”.

1999-2001: Απόφοιτη Ινστιτούτου Επαγγελματικής Κατάρτισης (Ι.Ε.Κ.) Αργυρούπολης “Τεχνικός Κινούμενης Εικόνας Ηλεκτρονικής Σχεδίασης Γραφήματος” (3D Animation). Κάτοχος πιστοποίησης (Ο.Ε.Ε.Κ.).

1999-2000: Απόφοιτη Κέντρου Επαγγελματικής Κατάρτισης (Κ.Ε.Τ.Ε.Κ. ΑΛΙΜΟΥ) με ειδικότητα “Διοικητική Υποστήριξη”.

1997: Απόφοιτη Γενικού Λυκείου (1^ο Λύκειο Αγ. Δημητρίου)

Ξένες Γλώσσες

- Πολύ καλή γνώση **Αγγλικής** γλώσσας (First Certificate In English, Cambridge University)
- Πολύ καλή γνώση **Ιταλικής** γλώσσας (Livello Avanzato)
- Βασική γνώση **Γαλλικής** γλώσσας

Υπολογιστές-Σχεδιαστικά Προγράμματα

Λειτουργικά Συστήματα: Windows Vista /XP

Εφαρμογές: MS OFFICE

Πολύ καλή χρήση Internet

- .1 AutoCAD 2D-3D, Τέκτονας, 3D Studio Max
- .2 Adobe Photoshop, Illustrator, Corel

Σεμινάρια

- Autocad 2D, Γενικές Αρχές 3D Σχεδίασης, Εκτύπωση (Ι.Ε.Κ.Ε.Μ. Τ.Ε.Ε.)
- Διαδικασία Έκδοσης Οικοδομικών Αδειών (Ι.Ε.Κ.Ε.Μ. Τ.Ε.Ε.)
- Autocad 3D, Φωτορεαλισμός, Εκτύπωση (Ι.Ε.Κ.Ε.Μ. Τ.Ε.Ε.)
- Ενεργειακή απόδοση και πιστοποίηση κτιρίων (Ι.Ε.Κ.Ε.Μ. Τ.Ε.Ε.)
- Τεχνικές Μετρήσεων και Όργανα για την ενεργειακή Επιθεώρηση

στα Κτίρια και τη βιομηχανία (Ι.Ε.Κ.Ε.Μ. Τ.Ε.Ε.)

- Πρακτικός Οδηγός Εξοικονόμησης Ενέργειας σε κτίρια, Ξενοδοχεία, Βιομηχανίες και Αθλητικά κέντρα (Ι.Ε.Κ.Ε.Μ. Τ.Ε.Ε.)

Μάρτιος 2010 – Ιούνιος 2010: Καθηγήτρια στο δημόσιο Ι.Ε.Κ. Αγ. Δημητρίου στην ειδικότητα «Τεχνικός διακόσμησης» στο μάθημα «Εφαρμοσμένο σχέδιο (AUTOCAD 2D – 3D)».

Προϋπηρεσία

Σεπτέμβριος 2009 – Ιανουάριος 2010: Καθηγήτρια στο δημόσιο Ι.Ε.Κ. Κερατσινίου στην ειδικότητα «ΣΧΕΔΙΑΣΤΗΣ ΜΕΣΩ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ Η/Υ» στο μάθημα «Εφαρμοσμένο σχέδιο 2D».

Σεπτέμβριος 2009 – Ιούνιος 2010: Καθηγήτρια στο ιδιωτικό Ι.Ε.Κ. ΞΥΝΗ στο τμήμα « ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗΣ» στο μάθημα «Τεχνολογία Υλικών».

Σεπτέμβριος 2009 – Ιούνιος 2010: Εισηγήτρια σχεδιαστικών προγραμμάτων (AUTOCAD 2D – 3D) στο Κέντρο Ελευθέρων Σπουδών CARRIERA (ΟΜΙΛΟΣ ΞΥΝΗ).

Σεπτέμβριος 2006 – Ιούλιος 2008 : Συνεργάτης στο αρχιτεκτονικό γραφείο “Μιχάλης Σουβατζίδης και Συνεργάτες”. Συμμετοχή στο σχεδιασμό βιοκλιματικών πολυκατοικιών στην Αθήνα και στη διεκπεραίωση των πολεοδομικών φακέλων.

Νοέμβριος 2006 – σήμερα: Καθηγήτρια Αρχιτεκτονικού Σχεδίου, Δομικού Σχεδιασμού και Οικοδομικής στο εργαστήριο σπουδών “Εξέλιξη” στο Μαρούσι. Προετοιμασία υποψηφίων για πανελλήνιες εξετάσεις καθώς και για κατατακτήριες εξετάσεις στην Αρχιτεκτονική Σχολή Ε.Μ.Π.

Φεβρουάριος 2006 – Απρίλιος 2006: Συνεργάτης στο τεχνικό γραφείο Ν. Ζηρίλιος και συνεργάτες”. Συμμετοχή στο σχεδιασμό πολυκατοικίας στο κέντρο της Αθήνας.

Ιούλιος 2005 - Σεπτέμβριος 2005: ΥΠΕΧΩΔΕ, δ/νση Χωροταξίας και στη Γενική Δ/νση Πολεοδομίας. Πρακτική άσκηση, συμμετοχή στο σχεδιασμό χαρτών χρήσεων γης και αρχικών σχεδίων ανάπλασης παράκτιας περιοχής στην ανατολική αττική.

2003-2006 : Καθηγήτρια Γραμμικού Σχεδίου στο εργαστήριο σχεδίου του φροντιστηρίου “Μέθοδος” στον Αγ. Δημήτριο.

Ιούλιος-Αύγουστος 2004: Συντονίστρια Υπηρεσιών Τελωνείου Σκοποβολής στον Τομέα Σκοποβολής στο Μαρκόπουλο, Ολυμπιακή Επιτροπή Ολυμπιακών Αγώνων Αθήνα 2004 Α.Ε.

2001 : Διοικητικός Υπάλληλος στο Ίδρυμα Πολιτισμού και Εκπαίδευσης «Ανδρέας Λεντάκης ».

Ενδιαφέροντα

Αθλητισμός, μουσική, ταξίδια, ζωγραφική, ποδήλατο

