



**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ**

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

***ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ
ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΟΛΛΑΣ 2-ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ, ΠΟΥ
ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΟΛΥΣΤΡΩΜΑΤΙΚΩΝ
ΕΥΚΑΜΠΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ***

ΠΑΠΑΝΘΥΜΟΥ ΜΥΡΤΩ

ΤΕΧΝΟΛΟΓΟΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ

A.M.17007

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2022

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Σ. ΡΑΦΑΗΛΙΔΗΣ

Υποβολή διπλωματικής εργασίας, που αποτελεί μέρος των απαιτήσεων για την απονομή του διπλώματος του προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών με τίτλο «Συστήματα Διαχείρισης Ποιότητας και Οργάνωσης Παραγωγής στη Βιομηχανία Τροφίμων», της σχολής ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ του ΔΙΕΘΝΕΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την εταιρεία ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ Α.Ε., καθώς η παρούσα εργασία είναι αποτέλεσμα της πολύτιμης υποστήριξης της. Η εργασία αυτή δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς τους πόρους και τον χρόνο τους οποίους διέθεσε η εταιρεία στην υλοποίησή της. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Λευτέρη Τουρασανίδη διευθυντή τμήματος R&D, καθώς και τον κ. Χριστόδουλο Ναζίρη διευθυντή του τμήματος Διασφάλισης Ποιότητας για την υποστήριξη και συμπαράσταση τους στο εν λόγω πόνημα.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Στυλιανό Ραφαηλίδη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της προετοιμασίας και της συγγραφής της παρούσας ερευνητικής εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ τον άντρα μου Δωδόπουλο Πασχάλη για την υποστήριξη και την εμπύχωση του καθ' όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Περίληψη

Πραγματοποιήθηκαν λαμιναρίσματα τεσσάρων διαφορετικών δομών (φίλμ τύπων πολυμερών) με τη χρήση κόλλας δύο συστατικών σε πραγματικές βιομηχανικές συνθήκες σε λαμιναριστική μηχανή COMEXI NEXUS EVO. Ερευνήθηκε η πορεία του πολυμερισμού των υλικών με μέτρηση της μείωσης της κορυφής των ισοκυανικών ομάδων της κόλλας με το όργανο FT-IR spectrum 100, ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Η πρώτη μέτρηση έγινε απευθείας μετά το λαμινάρισμα των υλικών με τελευταία μέτρηση μετά το πέρας 24 ωρών. Παράλληλα έγινε μέτρηση της ισχύς λαμιναρίσματος με το όργανο Testometric, ώστε μελετηθεί η ισχύς λαμιναρίσματος σε συνδυασμό με τη πορεία μείωσης της κορυφής των ισοκυανικών. Τέλος ερευνήθηκαν τυχόν μεταπτώσεις φάσεων των δειγμάτων κόλλας με την εφαρμογή αυξημένης θερμοκρασίας για μικρό χρονικό διάστημα με το όργανο DSC-60 (Differential Scanning Calorimetry). Τα πειραματικά δεδομένα έδειξαν ότι υπάρχει άμεση σχέση του είδους των υλικών που λαμινάρονται με την εφαρμογή κόλλας δύο συστατικών που βρίσκονται σε αναλογίες διαφορετικές για κάθε σύστημα των πολυμερών ώστε να επιτευχθεί το βέλτιστο αποτέλεσμα.

Abstract

Lamination of films from four different types of synthetic polymers was achieved using two component adhesives in actual industrial conditions using a laminating machine (COMEXI NEXUS EVO). The rate of polymerization was investigated by measuring the peak reduction of isocyanate groups of the adhesive using a FT-IR spectrometer at regular time intervals. First measurement was taken as soon as the lamination was done whereas the last measurement was carried out after a 24 hour time interval was elapsed. At the same time the strength of the lamination was assessed using the instrument Testometric in order to study the development of strength of the lamination in relation to the rate of reduction of the absorbance peaks attributed to isocyanates still present in the adhesive matrix. The possibility of phase transitions taking place during heating the adhesives was explored using a DSC calorimeter. The experimental data indicated that there is a direct relation between the type of the polymeric films which are laminated by applying the two component adhesive and the proportion of the components employed for each system in order to achieve the optimum outcome.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	<i>Σελίδα</i>
Α ΜΕΡΟΣ – ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
2. ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΥΛΙΚΑ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ	9
2.1 ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟ	9
2.1.1 ΔΟΜΗ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ	9
2.1.2 ΦΙΛΜ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ	11
2.1.3 ΔΙΑΞΟΝΙΚΑ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟ	12
2.2 ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑΣ	13
2.2.1 ΔΟΜΗ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑΣ	13
2.2.2 ΦΙΛΜ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑΣ	14
2.2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΙΛΜ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑΣ	17
2.3 ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟ	18
2.3.1 ΔΟΜΗ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ	18
2.3.2 ΦΙΛΜ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ	19
2.3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ	20
3. ΚΟΛΛΑ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΔΥΟ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ	21
3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	21
3.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΟΛΛΑΣ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΔΥΟ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ	24
4. ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑ	26
4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ	26
4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ ΜΕ ΚΟΛΛΑ ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΛΥΤΗ	28
4.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ	30
5. ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΣ	33
5.1 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΩΝ ΑΝΑΛΟΓΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΟΛΛΑΣ	34
6. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΕΝΩΝ ΔΙΠΛΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΚΟΛΛΑ ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΛΥΤΗ	35
6.1 PP/PP	35
6.2 PET/PE	36
6.3 PET/PP	37

6.4 ΡΡ/ΡΕ	38
7. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ	39
8. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	40
Β' ΜΕΡΟΣ- ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	49
1. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	49
2. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ	
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ & ΣΥΖΗΤΗΣΗ	54
3.1.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΜΩΝ ΠΟΥ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕ ΚΟΛΛΑ 275-64	54
3.1.2 ΦΑΣΜΑΤΑ FT-IR ΔΟΜΩΝ ΜΕ ΚΟΛΛΑ 275-64	59
3.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΔΟΜΕΣ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕ ΚΟΛΛΑ 275-64	66
3.1.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ DSC ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΛΛΑ 275-64	70
3.2.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΜΩΝ ΠΟΥ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕ ΚΟΛΛΑ 782-375	75
3.2.2 ΦΑΣΜΑΤΑ FT-IR ΔΟΜΩΝ ΜΕ ΚΟΛΛΑ 782-375	80
3.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΔΟΜΕΣ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕ ΚΟΛΛΑ 782-375	88
3.2.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ DSC ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΛΛΑ 782-375	92
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	97
5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	99
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	101
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	119
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	137
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ	139
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε	141

A ΜΕΡΟΣ - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση των μεταποιημένων εύκαμπτων υλικών συσκευασίας έχει εμφανώς αυξηθεί κατά την τελευταία δεκαετία σε ολόκληρο τον κόσμο και αναμένεται να συνεχιστεί δυναμικά. Τέτοια αύξηση της εύκαμπτης συσκευασίας έχει τροφοδοτηθεί από τις απαιτήσεις των καταναλωτών (εύχρηστη συσκευασία, συσκευασία σε μερίδες, αύξηση διάρκειας ζωής), απαιτήσεις marketing (βελτίωση της εμφάνισης της συσκευασίας, βελτιωμένα γραφικά, χαρακτηριστικά ασφαλείας) και παραγωγικές απαιτήσεις (ενεργειακά βελτιωμένη συσκευασία, συσκευασία υψηλής απόδοσης και οικονομικά αποδοτική συσκευασία). Η ζήτηση για εύκαμπτες συσκευασίες συχνά προέρχεται είτε από μια νέα χρήση συσκευασιών (όπως είναι τα φρεσκοκομμένα φρούτα και λαχανικά ή με συσκευασία δοσολογίας για ιατρικές εφαρμογές), είτε ως αντικατάσταση πιο συμβατικών άκαμπτων συσκευασιών (όπως εμφανίζεται αύξηση σε συσκευασίες σνακ και ξηρών ειδών). Η ανάπτυξη οφείλεται επίσης σε περιβαλλοντικά ζητήματα, όπου η εύκαμπτη συσκευασία γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής βάσει την αρχή της μείωσης της παραγωγής απορριμμάτων και από την ολοένα αυξανόμενη απαίτηση για ανακυκλώσιμες συσκευασίες. Η εύκαμπτη συσκευασία μπορεί να οριστεί ως συσκευασία που χρησιμοποιεί, εν μέρει ή συνολικά, φιλμ ή φύλλα αλουμινίου, που μπορεί να εκτυπωθεί ή να μην εκτυπωθεί, να λαμιναριστεί ή να μην λαμιναριστεί, καθώς και να επικαλυφθεί ή να μην επικαλυφθεί (Rolando, 2000).

Οι κύριες χρήσεις της εύκαμπτης συσκευασίας μπορούν να χωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Συσκευασία τροφίμων
- Ιατρική συσκευασία
- Βιομηχανική συσκευασία

Οι εύκαμπτες συσκευασίες τροφίμων αποτελούν περίπου το 50% της παγκόσμιας χρήσης εύκαμπτων συσκευασιών, ενώ οι ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές εύκαμπτων συσκευασιών αποτελούν περίπου το 25% η κάθε κατηγορία (Rolando, 2000).

Η εξέλιξη της ζήτησης συσκευασιών επηρεάζεται από ένα ευρύ φάσμα παραγόντων από έτος σε έτος, όπως επίσης και από παράγοντες με πιο μακροπρόθεσμη

επίδραση. Ενώ η οικονομία διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στην επίδραση του μεγέθους και την ανάπτυξη της αγοράς, υπάρχουν διάφοροι άλλοι παράγοντες που μπορούν να θεωρηθούν ότι έχουν είτε άμεση, είτε έμμεση επίδραση στη ζήτηση συσκευασίας, ανεξαρτήτως της ζήτησης αυτής από τις επιδόσεις της οικονομίας (WPO, 2008).

Αυτά περιλαμβάνουν:

- τη γήρανση του παγκόσμιου πληθυσμού
- την κοινωνική τάση προς τα μικρότερα νοικοκυριά
- την αυξανόμενη απαίτηση των καταναλωτών για ευκολία στην καθημερινότητα τους
- αύξηση της ευαισθητοποίησης των καταναλωτών σε θέματα υγείας
- την τάση προς τον τρόπο ζωής σε συνεχή κίνηση- on the go των καταναλωτών με περιορισμένο χρόνο στην καθημερινότητα τους
- τις αυξανόμενες απαιτήσεις μιας εταιρίας για την ενίσχυση / διαφοροποίηση του εμπορικού σήματος (brand name) της σε ένα συνεχώς αυξανόμενο ανταγωνιστικό περιβάλλον
- την ανάπτυξη νέων υλικών συσκευασίας
- την μετάβαση σε μικρότερα μεγέθη συσκευασίας, καθώς εξαλείφονται σταδιακά τα οικογενειακά γεύματα
- την αύξηση της ευαισθητοποίησης των καταναλωτών όσον αφορά περιβαλλοντικά ζητήματα και την έγκριση νέων κανονιστικών απαιτήσεων για την ανακύκλωση συσκευασιών (WPO, 2008)

Η χρήση εύκαμπτων υλικών συσκευασίας έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν απέναντι στις συμβατικές άκαμπτες συσκευασίες.

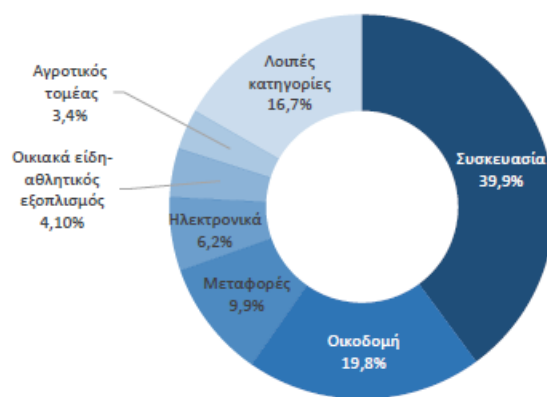
Πιο συγκεκριμένα οι εύκαμπτες συσκευασίες πλεονεκτούν ως προς τη λειτουργικότητα τους λόγω των ακόλουθων παραγόντων:

1. Χαμηλότερο βάρος της συσκευασίας
2. Μικρότερο όγκο που καταλαμβάνει η συσκευασία
 - από τους δύο παραπάνω παράγοντες συνεπάγεται χαμηλότερο κόστος μεταφοράς και κατά συνέπεια λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις-

3. Οι εύκαμπτες συσκευασίες είναι πιο ανθεκτικές στη φθορά σε σχέση με τις γυάλινες ή τις μεταλλικές συσκευασίες (θραύση, παραμόρφωση κ.α.)
4. Μπορούν να διαμορφωθούν σε απεριόριστα μεγέθη, σχήματα και μπορούν να τυπωθούν με πληθώρα γραφικών. Επίσης αναλόγως την τελική δομή μπορούν να έχουν παράθυρο ώστε να είναι ορατό το περιεχόμενο της συσκευασίας.
5. Εφαρμογές όπως reclosable, εύκολο άνοιγμα ή με dispenser καθιστούν τις εύκαμπτες συσκευασίες πιο εύχρηστες και κατά συνέπεια ανταγωνιστικές απέναντι στις υπόλοιπες συμβατικές συσκευασίες.

Παγκόσμια ζήτηση και χρήσεις πλαστικών

Ο ρόλος και η σημασία των πλαστικών στην οικονομία αποτυπώνεται στον ρυθμό αύξησης της ζήτησής τους. Η παγκόσμια παραγωγή έχει επταπλασιαστεί σε σχέση με τη δεκαετία του 1970 έχοντας ανέλθει σε 350 εκατ. τόνους το 2017 (από 50 εκατ. τόνοι το 1976). Στην Ευρώπη η παραγωγή πλαστικών υπήρξε σταθερή τα τελευταία χρόνια, με το μερίδιο στην παγκόσμια αγορά να υποχωρεί σε 18,5% το 2017 από 22,0% το 2009 και 27,5% το 2002. Σύμφωνα με στοιχεία του ευρωπαϊκού συνδέσμου της βιομηχανίας πλαστικών, εκτιμάται ότι στην Ευρώπη δραστηριοποιούνται περίπου 60 χιλιάδες επιχειρήσεις, στις οποίες απασχολούνται περισσότερα από 1,6 εκατ. άτομα, ενώ ο κύκλος εργασιών ξεπερνά τα €360 δισ. Σημαντικό μέρος της αύξησης της παγκόσμιας ζήτησης οφείλεται στις εύκαμπτες πλαστικές συσκευασίες, με τη βιομηχανία τροφίμων να καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της ζήτησης. Ειδικότερα, το 39,9% της ζήτησης για πλαστικά διεθνώς το 2018 αφορούσε προϊόντα συσκευασίας όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα 1 (Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών, 2019)



Σχήμα 1: Χρήσεις πλαστικών υλικών σε παγκόσμιο επίπεδο (2018), (Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών, 2019)

Εκτιμάται από τον Σύλλογο Βιομηχανιών Παραγωγής Υλικών & Συσκευασίας, με ακρωνύμιο ΣΥΒΠΥΣ ότι στην παραγωγή εύκαμπτης πλαστικής συσκευασίας δραστηριοποιούνται στην Ελλάδα 230 επιχειρήσεις με περίπου 980 εργαζομένους (Ίδρυμα Οικονομικών & Βιομηχανικών Ερευνών, 2019).

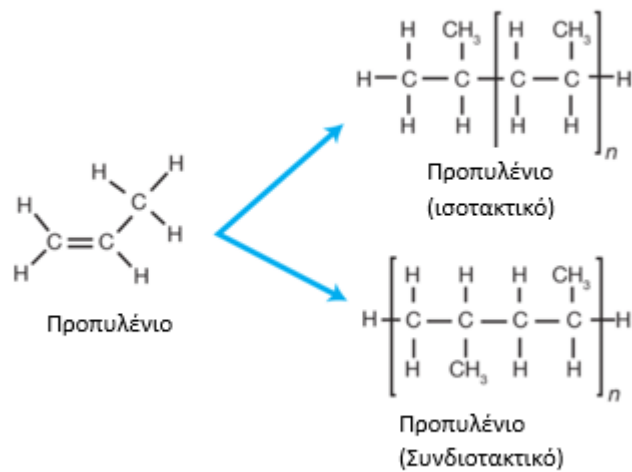
2. ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΦΙΛΜ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ

2.1 ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟ

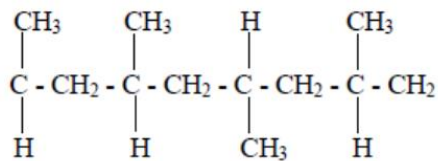
2.1.1. ΔΟΜΗ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ

Το πολυπροπυλένιο είναι μια γραμμική ρητίνη υδρογονανθράκων και ανήκει στην οικογένεια των πολυολεφινών με χημικό τύπο $(C_3H_6)_n$. Είναι ένα σκληρό, άκαμπτο, μερικώς κρυσταλλικό και μη πολικό θερμοπλαστικό που παράγεται από την ανόρθωση του διπλού δεσμού ενός μονομερούς, του προπυλενίου παρουσία καταλύτη, προς το σχηματισμό μακρών αλυσίδων. Ανάλογα με τη μεριά της αλυσίδας του πολυμερούς που θα βρεθεί η μεθυλομάδα (CH_3) στο τρίτο άτομο του άνθρακα, το πολυμερές που προκύπτει μπορεί να είναι ισοτακτικό, με όλες τις μεθυλομάδες στην ίδια πλευρά της αλυσίδας, συνδιοτακτικό με εναλλασσόμενες ομάδες μεθυλίου σε αντίθετες πλευρές της αλυσίδας (σχήμα 2) ή ατακτικό (σχήμα 3), με ομάδες μεθυλίου διευθετημένες τυχαία.

Το πολυπροπυλένιο είναι ένα από τα φθηνότερα πλαστικά που διατίθενται σήμερα.



Σχήμα 2. Δομή προπυλενίου και πολυπροπυλενίου ισοτακτικό και συνδιστακτικό (<https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2015/september/making-plastics-monomer-polymer>).



Σχήμα 3. Ατακτική δομή πολυπροπυλενίου (Ariff et al., 2014)

Η παρούσα εργασία, εστιάστηκε στην κινητική και τον μηχανισμό του πολυμερισμού των κολλών λαμιναρίσματος και χρησιμοποιήθηκαν ως υλικά είτε διαξονικά προσανατολισμένο φιλμ πολυπροπυλενίου, είτε φιλμ πολυπροπυλενίου συνεξωθημένο με πολυαιθυλένιο.

Πίνακας 1. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά πολυπροπυλενίου (Προσωπική επικοινωνία με HATZOPOULOS S.A.).

Φυσική κατάσταση	Στερεό
Εμφάνιση	Φιλμ
Πυκνότητα	0,9g/cm ³
Χρώμα	Άχρωμο, διαφανές
Οσμή	Άοσμο ή ελαφράς οσμής

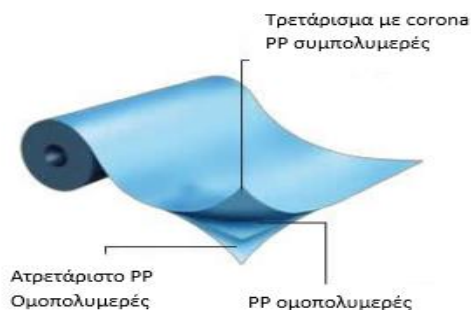
Σημείο τήξης	160-170°C
Διαλυτότητα σε νερό (20°C)	Αδιάλυτο
Διαλυτότητα σε οργανικούς διαλύτες (20°C)	Αδιάλυτο

2.1.2. ΦΙΛΜ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟΥ

Γενικά στοιχεία

Τα φιλμ πολυπροπυλενίου χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη βιομηχανία της εύκαμπτης συσκευασίας είτε ως υπόστρωμα εκτύπωσης, είτε ως υλικό λαμιναρίσματος. Υπάρχει ευρεία γκάμα φιλμ πολυπροπυλενίου, με πρόσθετες ουσίες-φραγμούς (barriers) οι οποίες προσδίδουν λειτουργικά χαρακτηριστικά στην τελική συσκευασία. Ένα παράδειγμα αποτελεί το επιμεταλλωμένο πολυπροπυλένιο το οποίο συνεισφέρει στην αδιαφάνεια της τελικής συσκευασίας και λειτουργεί ως φραγμός απέναντι στο φως, την υγρασία και το οξυγόνο.

Το φιλμ πολυπροπυλενίου έχει πολλές καλές ιδιότητες όπως υψηλή διαφάνεια, χαμηλό βάρος, θερμική σταθερότητα, χημική αντοχή, ευκολία στη χρήση και χαμηλό κόστος παραγωγής. Ένα φιλμ πολυπροπυλενίου έχει ευρεία γκάμα χρήσεων λόγω των πολλών καλών ιδιοτήτων του. Ωστόσο, έχει χαμηλή ικανότητα διαβροχής, εκτυπωσιμότητα και πρόσφυση, λόγω του υδρόφοβου χαρακτήρα του. Πολλές τεχνικές όπως το επιφανειακό τρετάρισμα με corona, η υπεριώδης ακτινοβολία και ο βομβαρδισμός με ηλεκτρόνια έχουν χρησιμοποιηθεί για να ξεπεραστούν αυτά τα προβλήματα τροποποιώντας τις επιφανειακές του ιδιότητες (Kwon et al., 2006)



Σχήμα 4. Φιλμ πολυπροπυλενίου σε τομή (<http://www.dalfilm.com.ar/en/img/productos/cintas-adhesivas.jpg>)

Επίσης τα φιλμ του προπυλενίου φέρουν και τα παρακάτω χαρακτηριστικά των οποίων η γνώση είναι απαραίτητη για την ορθή του χρήση σε διαδικασίες εκτύπωσης και λαμιναρίσματος.

Πίνακας 2. Τεχνικά χαρακτηριστικά φιλμ πολυπροπυλενίου που χρησιμοποιούνται στον τομέα της εύκαμπτης συσκευασίας (Προσωπική επικοινωνία με HATZOPOULOS S.A.)

Πάχος (μm)	15-50 (αναλόγως τις απαιτήσεις τις κάθε εφαρμογής)
Διαφάνεια (%)	2,5-3,5 (αναλόγως του πάχους του φιλμ)
Γυαλάδα (gloss) στις 45°	85 ± 5
Συντελεστής ολισθηρότητας (coefficient of friction -cof)	<0.30
Αντοχή στον εφελκυσμό MD / TD (tensile strength at break) (N/mm ²)	130 ± 20 / 280 ± 50
Επιμήκυνση μέχρι σπασίματος (elongation at break) MD / TD (N/mm ²)	190 ± 40 / 45 ± 10
Επιφανειακή τάση (mN/m)	≥38
Διαπερατότητα σε νερό (g/m ² /day)	3-8 (αναλόγως με το πάχος του φιλμ)

2.1.3. ΔΙΑΞΟΝΙΚΑ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΕΝΟ ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟ

Το διαξονικά προσανατολισμένο πολυπροπυλένιο (BOPP- Biaxially oriented polypropylene) είναι ένα σκληρό θερμοπλαστικό πολυμερές. Είναι μια εξαιρετική εναλλακτική λύση για το σελοφάν, το χαρτί και το αλουμίνιο στον τομέα της εύκαμπτης συσκευασίας. Διαξονικά προσανατολισμένο σημαίνει ότι τα μόρια του πολυπροπυλενίου έχουν τανυστεί/τεντωθεί σε δύο διαφορετικές κατευθύνσεις στο χώρο λαμβάνοντας υπόψη ως άξονα τη διάταξη της μηχανής λαμιναρίσματος. Τανύζετε/τεντώνετε κατά μήκος της μηχανής (TD-transverse direction) και κατά της φοράς της μηχανής (MD- machine direction). Αυτό επιτρέπει την επεξεργασία σε υψηλές ταχύτητες λόγω της εξαιρετικής αντοχής σε χαμηλά πάχη (low gauges). Ο προσανατολισμός των μορίων αυξάνει την αντοχή στον εφελκυσμό, τη σκληρότητα, βελτιώνει τις οπτικές ιδιότητες και αυξάνει ως ένα βαθμό την αδιαπερατότητα του φιλμ απέναντι στους υδρατμούς. Επιπλέον το διαξονικά προσανατολισμένο

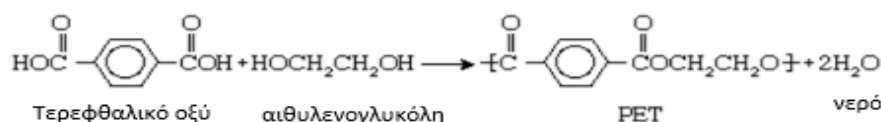
πολυπροπυλένιο μπορεί ευκολότερα να υποβληθεί σε διαδικασίες μεταποίησης όπως είναι η εκτύπωση, η επίστρωση της επιφάνειας του με λάκες και το λαμινάρισμα.

2.2 ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑΣ

2.2.1. ΔΟΜΗ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑ

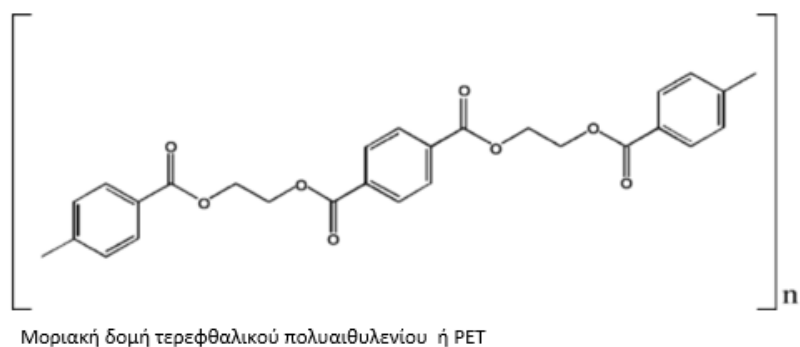
Πολυεστέρας ή το τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (polyethylene terephthalate) (PET) είναι ένα υψηλής απόδοσης, θερμοπλαστικό υλικό το οποίο παράγεται από τον πολυμερισμό αιθυλενογλυκόλης και τερεφθαλικού διμεθυλεστέρα (DMT) (<https://polymerdatabase.com/Films/PET%20Films.html>). Έχει χημικό τύπο C₁₂H₁₄O₄ και μοριακό βάρος 222,24g/mol (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Polyethylene-terephthalate>).

Η αιθυλενογλυκόλη είναι ένα άχρωμο υγρό που λαμβάνεται από αιθυλένιο, ενώ το τερεφθαλικό οξύ είναι ένα κρυσταλλικό στερεό που λαμβάνεται από το ξυλόλιο. Όταν θερμαίνονται μαζί υπό την επίδραση χημικών καταλυτών, η αιθυλενογλυκόλη και το τερεφθαλικό οξύ παράγουν τον πολυεστέρα με τη μορφή τηγμένης, ιξώδους μάζας που μπορεί να «υφανθεί» απευθείας σε ίνες ή να στερεοποιηθεί για μετέπειτα επεξεργασία ως πλαστικό. Με χημικούς όρους, η αιθυλενογλυκόλη είναι μια διόλη, μια αλκοόλη με μοριακή δομή που περιέχει δύο ομάδες υδροξυλίου (OH) και το τερεφθαλικό οξύ είναι ένα δικαρβοξυλικό αρωματικό οξύ, ένα οξύ με μοριακή δομή που περιέχει έναν βενζολικό (ή αρωματικό) δακτύλιο και δύο καρβοξυλικές ομάδες (COOH). Υπό την επίδραση της θερμότητας και των καταλυτών, οι ομάδες υδροξυλίου και καρβοξυλίου αντιδρούν σχηματίζοντας ομάδες εστέρα (CO-O), οι οποίες χρησιμεύουν ως οι χημικοί σύνδεσμοι που ενώνουν πολλές μονάδες PET μαζί σε πολυμερή μακράς αλυσίδας. Το νερό παράγεται επίσης ως υποπροϊόν. Η συνολική αντίδραση μπορεί να αναπαρασταθεί ως εξής:



Σχήμα 5. Χημική αντίδραση παραγωγής πολυεστέρα

(<https://www.britannica.com/science/polyethylene-terephthalate>)



Σχήμα 6. Μοριακή δομή τερεφθαλικού πολυαιθυλενίου ή PET (https://www.researchgate.net/figure/Molecular-structure-of-polyethylene-terephthalate-PET_fig1_228861441).

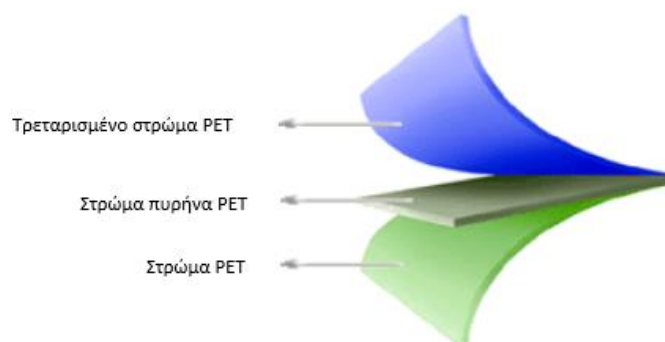
Πίνακας 3. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά πολυεστέρα (Προσωπική επικοινωνία με HATZOPOULOS S.A.).

Φυσική κατάσταση	Στερεό
Εμφάνιση	Φιλμ
Πυκνότητα	1,1 - 1,4g/cm ³
Χρώμα	Άχρωμο, διαφανές
Οσμή	Αμελητέα
Σημείο τήξης	>240°C
Διαλυτότητα σε νερό (20°C)	n/a

2.2.2 ΦΙΛΜ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΑ

Τα φιλμ PET είναι κατάλληλα για ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών, ηλεκτρονικών και αυτοκινητοβιομηχανικών εφαρμογών. Είναι πλήρως ανακυκλώσιμο και μπορεί εύκολα να επανεπεξεργαστεί σε πολλά άλλα προϊόντα και για πολλές διαφορετικές εφαρμογές. Επιπλέον, σε αντίθεση με το χαρτί και άλλα προϊόντα

κυτταρίνης, το PET δεν αποσυντίθεται εύκολα. Ωστόσο, διατίθενται βιοαποικοδομήσιμα πρόσθετα που ενισχύουν τη βιοαποικοδόμηση αυτού του πλαστικού χωρίς να επηρεάζουν τις φυσικές του ιδιότητες (<https://polymerdatabase.com/Films/PET%20Films.html>).



Σχήμα 7. Φιλμ πολυεστέρα σε τομή.

Σε σύγκριση με άλλα κοινά εύκαμπτα φιλμ, ο PET έχει μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό, εξαιρετική σταθερότητα διαστάσεων, χαμηλή απορρόφηση υγρασίας και καλή διατήρηση φυσικών ιδιοτήτων σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Έχει επίσης υψηλότερη αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία, εξαιρετικές ηλεκτρικές ιδιότητες, καλή οπτική διαύγεια, υψηλή στυλπνότητα και καλή φραγή απέναντι στα αέρια, αλλά περιορισμένες ιδιότητες φραγής στην υγρασία. (<https://polymerdatabase.com/Films/PET%20Films.html>). Τα φιλμ πολυεστέρα παράγονται με εξώθηση. Είναι η ιδανική μεμβράνη για ποιοτική εκτύπωση και πλαστικοποίηση και μια καλή επιλογή για πλαστικά φιλμ υψηλής απόδοσης. Έχει σχετικά υψηλό σημείο τήξης, το οποίο το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν αποστείρωση σε υψηλές θερμοκρασίες (<https://polymerdatabase.com/Films/PET%20Films.html>).

Ο πιο σημαντικός τύπος φιλμ πολυεστέρα είναι διαζονικά προσανατολισμένο PET ή BOPET. Κατά την παραγωγή αυτού του τύπου φιλμ PET, το υλικό τεντώνεται/τανύζεται προς δύο διαφορετικές κατευθύνσεις λαμβάνοντας υπόψη σαν άξονα την μηχανή λαμιναρίσματος. Τεντώνεται/τανύζεται κατά μήκος της μηχανής (TD-transverse direction) και κατά της φοράς της μηχανής (MD- machine direction), για να αυξηθεί η αντοχή και ο συντελεστής ελαστικότητας (χαμηλότερη επιμήκυνση και υψηλότερη ακαμψία). Σε σύγκριση με άλλες κοινές πλαστικές μεμβράνες, έχει

καλύτερη διατήρηση φυσικών ιδιοτήτων σε αρκετά μεγάλο εύρος θερμοκρασίας από περίπου -70°C έως 100°C. (<https://polymerdatabase.com/Films/PET%20Films.html>).

Λόγω της υψηλότερης τιμής του σε σχέση με τα φιλμ από PVC, PE και PP, θεωρείται γενικά ένα εξειδικευμένο φιλμ. Όμως παρά την υψηλότερη τιμή του, το BOPET βρίσκει χρήση σε μεγάλου όγκου εφαρμογές, που απαιτούν αυτό το ισχυρότερο και διαστατικά σταθερό φιλμ. Ένα σημαντικό μειονέκτημα του BOPET είναι το υψηλότερο κόστος κατασκευής και οι υψηλότερες επενδύσεις κεφαλαίου σε εξοπλισμό (<https://polymerdatabase.com/Films/PET%20Films.html>).

Πίνακας 4. Τεχνικά χαρακτηριστικά φιλμ πολυεστέρα που χρησιμοποιούνται στον τομέα της εύκαμπτης συσκευασίας (Προσωπική επικοινωνία με HATZOPOULOS S.A.).

Πάχος (μm)	9-75 (αναλόγως τις απαιτήσεις τις κάθε εφαρμογής)
Διαφάνεια (%)	1,5-4,5 (αναλόγως το πάχος του φιλμ)
Γυαλάδα (gloss) στις 45°	130 ± 5
Συντελεστής ολισθηρότητας (coefficient of friction -cof)	<0.40 ± 0.10
Αντοχή στον εφελκισμό (tensile strength at break) MD / TD (N/mm ²)	240 ± 40 / 260 ± 40
Επιμήκυνση μέχρι θραύσης (elongation at break) MD/TD (N/mm ²)	140 ± 30 / 110 ± 30
Επιφανειακή τάση (mN/m)	56 ± 2
Διαπερατότητα σε νερό (g/m ² /day)	<5 (αναλόγως και το πάχος του φιλμ)

2.2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

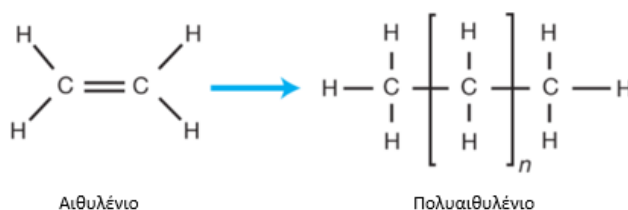
Το φιλμ PET είναι συχνά μια εξαιρετική επιλογή για απαιτητικές εφαρμογές, σε εφαρμογές τροφίμων και μη. Οι κύριες χρήσεις περιλαμβάνουν φούρνο μικροκυμάτων και ιατρικές συσκευασίες, πλαστικό περιτύλιγμα, υποστήριξη ταινιών, τυπωμένα φιλμ, πλαστικές κάρτες, προστατευτικές επιστρώσεις όπως μεμβράνες παραθύρων ηλιακής ενέργειας και ασφαλείας, φιλμ απελευθέρωσης, ταινίες μόνωσης μετασχηματιστή και εύκαμπτα τυπωμένα κυκλώματα. Το PET χρησιμοποιείται επίσης ως φιλμ φραγμού αρώματος (π.χ. συσκευασία καφέ και καπνού). Αυτός ο τύπος φιλμ μερικές φορές επιμεταλλώνεται με εναπόθεση ατμού μετάλλων, διαδικασία η οποία βελτιώνει περαιτέρω φραγή έναντι του οξυγόνου, των υδρατμών και της απώλειας αρώματος (<https://polymerdatabase.com/Films/PET%20Films.html>).

Λόγω της χαμηλής οσμής, της υψηλής χημικής αντοχής και της αδράνειας, πολλές ποιότητες PET είναι κατάλληλες για εφαρμογές συσκευασίας σύμφωνα με τους κανονισμούς της FDA. Το φιλμ πολυεστέρα πωλείται σε διάφορους τύπους, πάχη, πλάτη με ιδιότητες προσαρμοσμένες ώστε να πληρούν συγκεκριμένες απαιτήσεις συγκεκριμένων τελικών χρήσεων.

2.3 ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟ

2.3.1. ΔΟΜΗ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ

Το αιθυλένιο (C_2H_4) είναι ένα σταθερό μόριο με δύο άτομα άνθρακα τα οποία ενώνονται με έναν διπλό δεσμό. Το πολυαιθυλένιο (PE) κατασκευάζεται από την αντίδραση πολλαπλών μορίων αιθυλενίου παρουσία καταλύτη, ο οποίος σπάει τον διπλό δεσμό και να συνδέσει τα άτομα άνθρακα σε μια αλυσίδα (Σχήμα 8). Όσο μεγαλύτερη είναι η αλυσίδα, τόσο υψηλότερο είναι το μοριακό βάρος. (<https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2015/september/making-plastics-monomer-polymer>).



Σχήμα 8. Δομή αιθυλενίου και δομή πολυαιθυλενίου

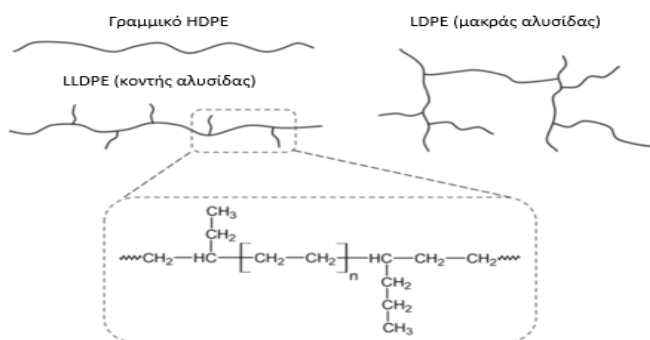
Το PE είναι ένα οικονομικό θερμοπλαστικό φιλμ συσκευασίας μεγάλου εμπορικού όγκου. Χρησιμοποιείται σε ευρεία γκάμα εφαρμογών. Είναι εύκολο να επεξεργαστεί και μπορεί να αναμειχθεί με μια ποικιλία υλικών, όπως EVA, άλλες πολυολεφίνες, πληρωτικά, χρωστικές ουσίες για να αλλάξει τις βασικές του ιδιότητες. Το PE είναι μαλακό, πολύ εύκαμπτο, διαυγές και έχει καλή αντοχή στο σχίσιμο και την υγρασία, αλλά και ικανοποιητικές ιδιότητες φραγής απέναντι στα αέρια. Οι δύο πιο σημαντικές κατηγορίες είναι το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LDPE - low density polyethylene) και το γραμμικό πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (LLDPE – linear low density polyethylene). Αυτές οι δύο ρητίνες συχνά θεωρούνται ότι είναι οι ίδιες επειδή έχουν παρόμοιες ιδιότητες. Για παράδειγμα, και οι δύο έχουν καλή έως ικανοποιητική διαύγεια, εξαιρετική χημική αντίσταση, καλή φραγή υγρασίας αλλά περιορισμένες ιδιότητες απέναντι στην φραγή αερίων. Και οι δύο τύποι μπορούν να σφραγιστούν με θέρμανση και είναι ισχυροί, σκληροί και εξαιρετικά ευέλικτοι. (<https://polymerdatabase.com/Films/PE%20Films.html>)

2.3.2. ΦΙΛΜ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΟΥ

Το LLDPE χρησιμοποιήθηκε αρχικά κυρίως για τη μείωση του κόστους, λόγω του χαμηλότερου κόστους κατασκευής του, πράγμα που ισχύει ως επί το πλείστο. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες διαφορές σε ορισμένες ιδιότητες που το καθιστούν προτιμητέο για διαφορετικές χρήσεις. Για παράδειγμα, το LDPE επιλέγεται συχνά για μεγαλύτερη διαύγεια, ευκολία επεξεργασίας και υψηλότερη στιλπνότητα, ενώ το LLDPE επιλέγεται για την υψηλότερη αντοχή εφελκυσμού και κρούσης (δηλ. υψηλότερη ανθεκτικότητα) και για καλύτερη θερμοσυγκόλληση. (<https://polymerdatabase.com/Films/PE%20Films.html>).

Επειδή είναι μέρος της οικογένειας πολυαιθυλενίου, το φιλμ πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE-high density polyethylene) βρίσκεται σε πολλές ίδιες εφαρμογές με τα LDPE και LLDPE. Για παράδειγμα, χρησιμοποιείται φιλμ HDPE σε σακούλες αρτοποιίας, χαρτοκιβώτια και κουτιά, συσκευασίες μειγμάτων δημητριακών και κέικ, σάκους αποστολής, βιομηχανικές επενδύσεις, τσάντες παντοπωλείων, συσκευασίες ρούχων, σακούλες απορριμμάτων και επενδύσεις, γεωργικά φιλμ, κατασκευαστικό φιλμ και υλικό φακέλου (όπως το Tyvek), καθώς και πολλά άλλα προϊόντα και πακέτα. Τα τελευταία χρόνια, έχει εισέλθει στην αγορά των ευκάμπτων φιλμ κυρίως λόγω των χαρακτηριστικών του, που επιτρέπουν στους κατασκευαστές να χρησιμοποιούν λιγότερο υλικό, για να κατασκευαστεί ένα πακέτο που μπορεί να εμπεριέχει ίση ποσότητα προϊόντος. Το HDPE τείνει επίσης να είναι πιο άκαμπτο από άλλα φιλμ πολυαιθυλενίου, που είναι σημαντικό χαρακτηριστικό για συσκευασίες που πρέπει διατηρούν το σχήμα τους. Επιπλέον, το HDPE είναι ισχυρό και ανθεκτικό στη διάτρηση, έχει καλές ιδιότητες ως φράγμα υγρασίας και είναι ανθεκτικό απέναντι στο λίπος και στα λάδια (American Plastic Council, 1997).

Μερικά μείζονα μειονεκτήματα και περιορισμοί των φιλμ πολυαιθυλενίου είναι η υψηλή θερμική διαστολή, οι περιορισμένες ιδιότητες φραγής απέναντι στα αέρια και στις καιρικές συνθήκες, η αντίσταση σε χαμηλές θερμοκρασίες και η δυσκολία στη δημιουργία δεσμών. Για το λόγο αυτό, οι ρητίνες πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας μερικές φορές αναμιγνύονται με άλλες ρητίνες για τη βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων ή, αντιστρόφως, προστίθενται σε άλλα φιλμ ρητινών για τη βελτίωση των ιδιοτήτων της μεμβράνης τους, όπως σκληρότητα και ευκαμπτότητα και μείωση του κόστους. (<https://polymerdatabase.com/Films/PE%20Films.html>)



Σχήμα 9. Γραφική απεικόνιση των διακλαδώσεων των κατηγοριών HDPE, LDPE και LLDPE του PE (<https://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polyolefin%20type.html>)

Πίνακας 5. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά πολυαιθυλενίου (Προσωπική επικοινωνία με HATZOPOULOS S.A.).

Φυσική κατάσταση	Στερεό
Εμφάνιση	Φιλμ
Πυκνότητα	0,923g/cm ³
Χρώμα	Άχρωμο, διαφανές
Οσμή	Αμελητέα
Σημείο τήξης	>240°C
Διαλυτότητα σε νερό (20°C)	n/a

2.3.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΙΛΜ PE

Τόσο τα φιλμ LDPE όσο και τα φιλμ LLDPE χρησιμοποιούνται για παρόμοιες εφαρμογές, όπως μεμβράνες τάνυσης και συρρίκνωσης, σακούλες, επενδύσεις και μεμβράνες συσκευασίας. Και τα δύο βρίσκουν χρήσεις για αμέτρητα προϊόντα και εφαρμογές, όπως τσάντες μεταφοράς, συσκευασίες καραμελών, συσκευασίες τροφίμων, απορριμμάτων και δοχείων, σακούλες παντοπωλείων, συσκευασίες με φουσαλίδες, ταινίες επικάλυψης και φακέλων, βιομηχανικές επενδύσεις, σάκοι αποστολής, σακούλες στρωμάτων και γεωργικά και κατασκευαστικά φιλμ. (<https://polymerdatabase.com/Films/PE%20Films.html>)

Λόγω της χαμηλής οσμής, της υψηλής χημικής αντοχής και της αδράνειας, πολλές ποιότητες PE είναι κατάλληλες για εφαρμογές συσκευασίας σύμφωνα με τους κανονισμούς της FDA. (<https://polymerdatabase.com/Films/PE%20Films.html>)

Πίνακας 6. Τεχνικά χαρακτηριστικά φιλμ πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιούνται στον τομέα της εύκαμπτης συσκευασίας (Προσωπική επικοινωνία με HATZOPOULOS S.A.).

Πάχος (μm)	30-140 (αναλόγως τις απαιτήσεις τις κάθε εφαρμογής)
Διαφάνεια %	<20 (αναλόγως το πάχος του φιλμ)
Συντελεστής ολισθηρότητας (coefficient of friction -cof)	<0,25 (διαφοροποιείται αναλόγως το πάχος του υλικού και την περίπτωση χρήσης εξειδικευμένου υλικού)
Αντοχή στον εφελκυσμό (tensile strength at break) MD / TD (N/mm ²)	22 / 24
Επιμήκυνση μέχρι σπασίματος (elongation at break) MD/TD (N/mm ²)	260 / 620
Επιφανειακή τάση mN/m	≥44

3. ΚΟΛΛΑ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΔΥΟ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΟΛΛΩΝ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ ΔΥΟ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ

Οι κόλλες πολυουρεθάνης (PUR) χρησιμοποιούνται ευρέως λόγω της καλής τους πρόσφυσης, της σκληρότητας, της χημικής αντοχή τους στο νερό και της ικανότητας προσαρμογής τους σε πολλές ειδικές χρήσεις. Η υψηλή δραστηριότητα των δισοκυανικών οδηγεί σε πολύ ανθεκτικούς δεσμούς (Wirtz et al., 2003). Οι κόλλες που χρησιμοποιούνται στον τομέα της εύκαμπτης συσκευασίας αποτελούνται από δύο συστατικά -την βάση και τον καταλύτη- προϊόν της αντίδρασης των οποίων είναι η

πολυουρεθάνη. Η βάση της κόλλας αποτελείται από ισοκυανικά (-NCO) και ο καταλύτης από υδροξύλια/πολυόλες (OH).

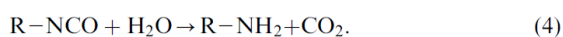
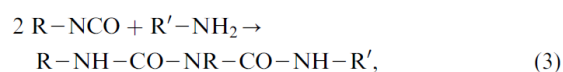
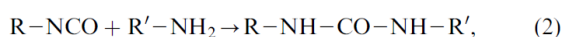
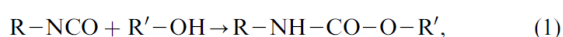
Η καλή πρόσφυση και άλλες εξαιρετικές ιδιότητες καθιστούν δυνατή την εκτεταμένη χρήση κολλών πολυουρεθάνης σε πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων όλων των τύπων σύνθετων πολυστρωματικών φύλλων, κατασκευών, συγκόλλησης ενισχυμένου πλαστικού και ως συστατικό χύτευσης φύλλων. Ως κόλλα, η πολυουρεθάνη μπορεί να διαβρέξει αποτελεσματικά την επιφάνεια πολλών υποστρωμάτων. Το χαμηλό ιξώδες της επιτρέπει να διασπαρεί μέσω πορωδών υποστρωμάτων. Επιπλέον, η πολυουρεθάνη δημιουργεί δεσμούς υδρογόνου με διάφορα υποστρώματα και σχηματίζει ομοιοπολικούς δεσμούς με υποστρώματα που περιέχουν ενεργό υδρογόνο. Επίσης, παρουσιάζει καλή αντοχή στο νερό και ένα ευρύ φάσμα χημικών (H.M.C.C Somarathna et al., 2018).

Οι κόλλες πολυουρεθάνης υπάγονται στις συνθετικές κόλλες λαμιναρίσματος και βρίσκονται σε μορφή οργανικού διαλύματος, σε υδατική διασπορά, θερμό τήγμα (hot melt) με 1-, 2- ή 3- μέρη υγρού. Βρίσκουν εφαρμογή σε λαμινάρισμα εύκαμπτων υλικών και σχηματίζουν την τελική δομή του υλικού συσκευασίας με συνδυασμό υποστρωμάτων. Είναι μία ευέλικτη γκάμα κολλών που προσφέρουν υψηλή θερμότητα και αντοχή στο προϊόν ανάλογα με το σύστημα που χρησιμοποιείται. Μπορεί να είναι θερμοπλαστικές ή να σχηματίζουν ένα δίκτυο διακλαδώσεων ώστε να αποδώσουν την μέγιστη δυνατή θερμική σταθερότητα (Ashley et al., 1995).

Οι κόλλες πολυουρεθάνης δύο συστατικών δημιουργούν κόλληση σχεδόν σε όλα τα υλικά, είτε στην εκάστοτε μορφή που παραλαμβάνονται, είτε κατόπιν απαιτούμενης προκατεργασίας, ώστε να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν για κολλήσεις σε βιομηχανικές εφαρμογές. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαδικασίες λαμιναρίσματος σε βιομηχανική κλίμακα με ποικίλους τρόπους, όπως εφαρμογή με ακροφύσια, ψεκασμό (κλειστή καμπίνα) ή ράουλο. Για το λόγο αυτό, οι κόλλες παρασκευάζονται με διαφορετικές ιδιότητες (σε μορφή υγρή ή πάστας, γρήγορου ή αργού πολυμερισμού), ώστε να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις των διαδικασιών λαμιναρίσματος. Ένα χαρακτηριστικό των κολλών πολυουρεθάνης δύο συστατικών είναι και η διάρκεια ζωής της κόλλας στο δοχείο αποθήκευσης (pot life), η οποία είναι περίπου διπλάσια του χρόνου εφαρμογής. Η κόλλα θα πρέπει να εφαρμοστεί στα προς λαμινάρισμα υλικά μέσα στο χρόνο εφαρμογής με ταυτόχρονη εφαρμογή πίεσης. Ο

χρόνος εφαρμογής είναι ίσος με τον χρόνο συμπίεσης. Ο πολυμερισμός χρειάζεται ημέρες ή εβδομάδες για να ολοκληρωθεί. Για κάθε 10 °C αύξηση της θερμοκρασίας κατά την εφαρμογή, ο χρόνος χειρισμού μειώνεται κατά περίπου στο μισό (Chr. Strdbeck, 1990).

Πιο συγκεκριμένα η χημεία των ισοκυανικών χαρακτηρίζεται από την ηλεκτρονιόφιλη ομάδα -NCO. Η αντίδραση μεταξύ ισοκυανικών και ενώσεων που περιέχουν υδροξύλιο (βλέπε αντίδραση (1)) είναι το πιο σημαντικό στάδιο για το σχηματισμό της πολυουρεθάνης. Οι αμίνες αντιδρούν επίσης με τα ισοκυανικά προς το σχηματισμό ενώσεων πολουρίας (βλέπε αντίδραση (2)). Όσον αφορά την αντίδραση με τις αμίνες, προκύπτει μια δομή διουρίας λόγω αντίδρασης δύο ισοκυανικών μοριών (βλέπε αντίδραση (3)). Αερομεταφερόμενα ισοκυανικά μπορούν να υποστούν υδρόλυση με νερό μέχρι το σχηματισμό πρωτοταγών αμινών (βλέπε αντίδραση (4)) οι οποίες ακολούθως αντιδρούν σύμφωνα με την αντίδραση (2), (Wirtz et al., 2003).



Οι κόλλες πολυουρεθάνης σχηματίζονται με αντίδραση ενός δισοκυανικού εστέρα σε στοιχειομετρική περίσσεια με ένα μείγμα δύο μακροδιόλων - μία κρυσταλλική και ένα άμορφο. Μακράς αλυσίδας και χαμηλής λειτουργικότητας πολυόλη παράγει μαλακά και ελαστομερή προϊόντα, ενώ η μικρής αλυσίδα και υψηλής λειτουργικότητας πολυόλη παράγει άκαμπτα, διακλαδισμένα προϊόντα πολυουρεθάνης σε σύγκριση με τα αλειφατικά. Γενικά προστίθενται καταλύτες για να προκύψει ένας ελεγχόμενος ρυθμός αντίδρασης σε χαμηλότερη θερμοκρασία επειδή η αντίδραση είναι εξώθερμη. Η παραγωγή πολυουρεθάνης μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας διαφορετικές μεθόδους, όπως προ-πολυμερισμός, πολυμερισμός ενός σταδίου, και μερικός προ-πολυμερισμός (H.M.C.C Somarathna et al., 2018).

3.2 ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΟΛΛΩΝ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ **ΔΥΟ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ**

Πίνακας 7. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά βάσης κόλλας (-NCO) (Προσωπική επικοινωνία με HATZOPOULOS S.A.)

Φυσική κατάσταση	Υγρό
Εμφάνιση	υγρό
Πυκνότητα (20°C)	1,16 +/- 0,02 g/cm ³
Χρώμα	Κίτρινο, υποκίτρινο
Οσμή	χαρακτηριστική
Διαλυτότητα σε νερό (20°C)	Αδιάλυτο στο νερό, αντιδρά με το νερό
Δυναμικό ιξώδες (25°C)	≈ 3300 mPa·s

Πίνακας 8. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά καταλύτη κόλλας (-OH) (Προσωπική επικοινωνία με HATZOPOULOS S.A.)

Φυσική κατάσταση	Υγρό
Εμφάνιση	Διάφανο
Πυκνότητα	0,97 +/- 0,01 g/cm ³
Χρώμα	Κίτρινο, υποκίτρινο
Οσμή	χαρακτηριστική
Διαλυτότητα σε νερό (20°C)	Αδιάλυτο
Δυναμικό ιξώδες (25°C)	≈ 600 mPa·s

Ειδικότερα για τεχνικές εφαρμογές, οι κόλλες δύο συστατικών αναμειγνύονται και αναδεύονται πριν από την εφαρμογή τους στο υπόστρωμα λαμιναρίσματος. Σκοπός της ανάμιξης / ανάδευσης είναι να σχηματίσουν ένα μίγμα αντίδρασης, το οποίο

ακολούθως σκληραίνει μετά την εφαρμογή στα υποστρώματα που πρόκειται να συνδεθούν.

Πίνακας 9. Φυσικοχημικά χαρακτηριστικά μίγματος κόλλας (Rolando, 2000)

Ιξώδες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος	Κυμαίνεται από 10 ως 100Pa·s
Θερμοκρασία εφαρμογής	Από 65-80°C
Χρόνος πολυμερισμού	2 έως 7 μέρες

4. ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το λαμινάρισμα είναι η διαδικασία μέσω της οποίας δύο ή περισσότερα εύκαμπτα υλικά συσκευασίας ενώνονται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ένα συνδετικό μέσο. Τα υποστρώματα που συνθέτουν τις τελικές δομές μπορεί να αποτελούνται από φιλμ, χαρτιά ή φύλλα αλουμινίου. Οι βασικοί λόγοι για τους οποίους συντελείται το λαμινάρισμα συμπεριλαμβάνουν την βελτίωση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων που δεν μπορεί να επιτευχθεί από μεμονωμένα φιλμ ή άλλα υλικά. Επιπλέον, άλλες ιδιότητες μπορούν να χειριστούν και να βελτιωθούν σε ένα πολυστρωματικό υλικό, συμπεριλαμβανομένων της διαπερατότητας σε υγρασία και αέρια, αντοχής στην τριβή, σκληρότητας, στιλπνότητας, προστασίας της εκτύπωσης και αντοχής σε εφελκυσμό. Λαμιναρισμένα υλικά χρησιμοποιούνται σε όλους τους κύριους κλάδους της εύκαμπτης συσκευασίας. Η διαδικασία του λαμινάρισματος περιλαμβάνει χειρισμό των υλικών, επεξεργασία επιφάνειας υλικών, εκτύπωση υλικών (τόσο in-line όσο και off-line), έλεγχο διαδρομής υλικού, ξήρανση κόλλας, χειρισμό κόλλας, έλεγχο βάρους επίστρωσης και τέλος σύνδεση υλικών και ψύξη αυτών (Rolando, 2000).

Η σύνθετη δομή πολλαπλών στρωμάτων μπορεί να επιτευχθεί είτε με τη χρήση κολλών, είτε με εξώθηση. Η επιλογή της καταλληλότερης διαδικασίας λαμινάρισματος υπαγορεύεται κυρίως από την τελική χρήση του προϊόντος. Διατίθενται διάφορες τεχνολογίες που καλύπτουν τη μεγάλη ποικιλία εφαρμογών στις βιομηχανίες συσκευασίας τροφίμων και άλλων προϊόντων.

Το λαμινάρισμα χρησιμοποιείται για να βελτιώσει τις ιδιότητες φραγμού του υλικού συσκευασίας, προκειμένου να προστατεύσει το συσκευασμένο προϊόν και να αυξήσει τη διάρκεια ζωής του. Τυπικά τα εύκαμπτα λαμιναρισμένα υλικά συσκευασίας έχουν τρεις κύριες ιδιότητες:

- μηχανικές ιδιότητες που βελτιώνουν την αντοχή του υλικού καθιστώντας το πιο ανθεκτικό σε σχίσσιμο, διάτρηση κ.λπ. που το προστατεύουν, ειδικά κατά τη συσκευασία, διανομή και αποθήκευση του τελικού πακέτου.
- τις ιδιότητες φραγμού που προστατεύουν από εξωτερικούς παράγοντες αλλοίωσης (δηλαδή φως, υγρασία, αέριο, οξυγόνο, παθογόνους μικροοργανισμούς) και επίσης αποτρέπουν την απώλεια των ιδιοτήτων του προϊόντος, όπως τη φρεσκάδα και το άρωμα στην περίπτωση των τροφίμων και

- τέλος, η στεγανότητα του υποστρώματος που κλείνει ερμητικά την εύκαμπτη συσκευασία.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σημαντικό για την επιτυχία οποιουδήποτε λαμιναρίσματος είναι η ικανότητα της κόλλας να προσροφάται σε ένα δεδομένο ζεύγος φιλμ. Η επιλογή των primer και των επιφανειακών επεξεργασιών είναι ιδιαίτερα κρίσιμη. Γενικά, εύκαμπτα υλικά όπως PP και PE, έχουν χαμηλή επιφανειακή τάση που προκαλεί τα φιλμ να είναι εγγενώς μη δεκτικά στο λαμινάρισμα με κόλλες, υλικά επιστρώσεων (coatings), primers και μελάνια εκτύπωσης. Το επιφανειακό τρετάρισμα των φιλμ μέσω επεξεργασίας με κορώνα (corona treatment) είναι η πιο κοινή μέθοδος για την ενίσχυση της πρόσφυσης της επιφάνειας των φιλμ (Rolando, 2000).

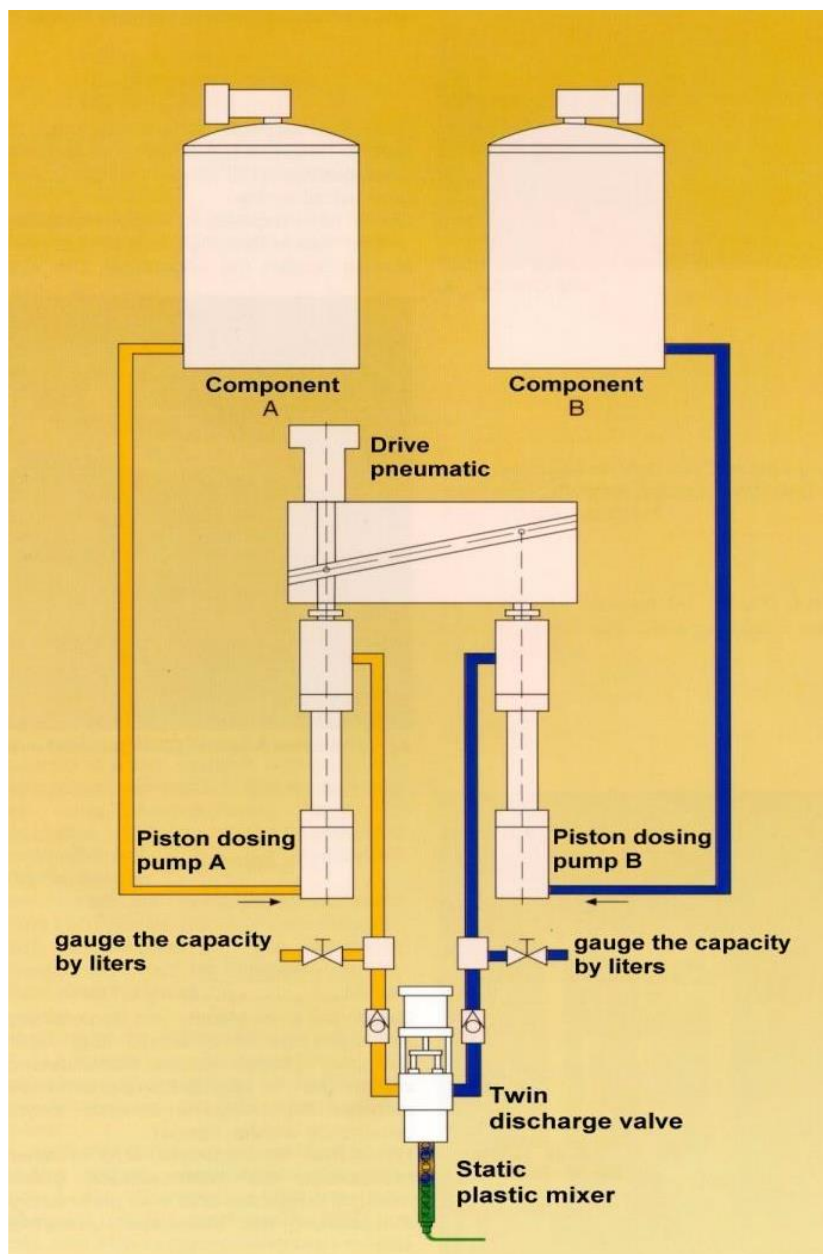
Ο κύριος στόχος της επιφανειακής επεξεργασίας με κορώνα είναι να ενισχύσει την ικανότητα διαβροχής της επιφάνειας και να βελτιώσει την ικανότητά της να συνδέεται με την κόλλα. Προκειμένου μια επιφάνεια να διαβραχεί σωστά από ένα υγρό, η επιφανειακή τάση του εύκαμπτου φιλμ πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την επιφανειακή τάση του υγρού. Ιδανικά, η επιφανειακή τάση του εύκαμπτου φιλμ πρέπει να είναι περίπου 10 dynes υψηλότερη από την επιφανειακή τάση του διαλύτη της υγρής κόλλας (Rolando, 2000). Περαιτέρω επεξήγηση αναφορικά με το μέγεθος της επιφανειακής τάσης (dynes) δίνεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε.

Υπάρχουν πολλές εικασίες και θεωρίες για το τι ακριβώς συμβαίνει φυσικά και χημικά όταν ένα φιλμ υποβάλλεται σε επιφανειακή επεξεργασία με κορώνα (corona treatment). Οι πιο κοινές θεωρίες αναφέρουν ότι πολικές ομάδες σχηματίζονται στην επιφάνεια του φιλμ κατά τη φάση της επιφανειακής του επεξεργασίας με κορώνα (corona treatment). Περαιτέρω επεξήγηση του τρεταρίσματος με corona δίνεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε.

Αυτές οι πολικές ομάδες επιτρέπουν στο φιλμ να έχει αυξημένη επιφανειακή τάση και αυξημένη δεκτικότητα στο λαμινάρισμα. Η επιφανειακή επεξεργασία με κορώνα (corona treatment) είναι γενικά πιο διαδεδομένη για χρήση με τεχνολογίες κόλλας χωρίς διαλύτη, επικαλύψεις και μελάνια εκτύπωσης, καθώς και 100% στερεά συγκολλητικά (Rolando, 2000).

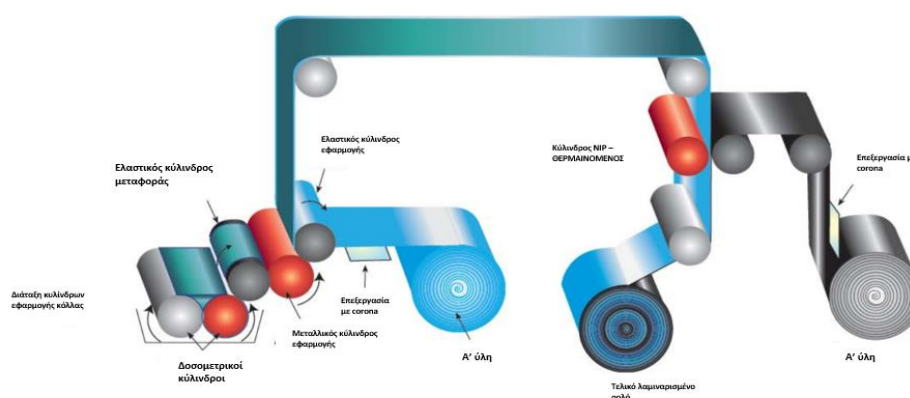
4.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ ΜΕ ΚΟΛΛΑ ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΛΥΤΗ

Κατά τη διαδικασία λαμινάρισματος, γίνεται μια προανάμιξη των δυο συστατικών της κόλλας βάσης (-NCO) και καταλύτη (OH^-) σε συγκεκριμένη αναλογία και θερμοκρασία με τη χρήση ενός στατικού πλαστικού αναμίκτη. Η κόλλα και ο καταλύτης προθερμαίνονται σε διαφορετικά δοχεία και μέσω πιστονιών οδηγούνται σε ένα στατικό ακροφύσιο ανάμιξης, στο οποίο γίνεται και η τελική τους ανάμιξη.



Σχήμα 10. Σύστημα ανάμιξης κόλλας χωρίς διαλύτη δυο συστατικών

Το μίγμα της κόλλας μετά την προανάμιξη του οδηγείται στην σκάφη της μηχανής, από όπου και θα γίνει η εφαρμογή της μέσω ενός συστήματος κυλίνδρων στο υλικό προς λαμινάρισμα. Μέσα στην σκάφη υπάρχουν δυο μεταλλικά ράουλα, το διάκενο που υπάρχει μεταξύ των δυο ορίζει και την ποσότητα της κόλλας που θα εφαρμοστεί πάνω στο υλικό. Οι κυλίνδροι αυτοί περιστρέφονται και θερμαίνονται, ώστε να διατηρείται η κόλλα στο επιθυμητό ιξώδες εφαρμογής και να μπορεί να εφαρμόζεται στο υλικό. Το ένα από τα δυο ράουλα της σκάφης έρχεται σε επαφή με έναν λαστιχένιο κύλινδρο στον οποίο μεταφέρεται η κόλλα. Το φάρδος του κυλίνδρου αυτού ορίζει και το λαμιναρισμένο φάρδος του τελικού διπλού υλικού. Από τον λαστιχένιο κύλινδρο η κόλλα μεταφέρεται σε έναν μεταλλικό κύλινδρο εξ επαφής και τέλος από τον μεταλλικό κύλινδρο μεταφέρεται πάνω στο υπόστρωμα λαμιναρίσματος. Υλικό με κόλλα μεταφέρεται μέχρι τους κυλίνδρους NIP, όπου έρχονται σε επαφή με το δευτερό υλικό λαμιναρίσματος δημιουργώντας το τελικό διπλό λαμιναρισμένο υλικό. Το τελικό διπλό υλικό τυλίγεται σε τελικό ρολό με πολύ καθορισμένες τάσεις περιτύλιξης οι οποίες καθορίζουν και ένα ομοιόμορφο προφίλ πολυμερισμού μέχρι το υλικό να αποκτήσει τις τελικές του ιδιότητες. Όλη η παραπάνω διαδικασία απεικονίζεται στο Σχήμα 11.



Σχήμα 11. Τυπική διάταξη λαμιναρίσματος χωρίς διαλύτη (solventless) κολλών πολυουρεθάνης δυο συστατικών (https://www.adhesives.org/docs/pdfs/biopolmer-film-lamination-hb-fuller-workshop.pdf?sfvrsn=3fba7bf0_0).

4.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ

Προβλήματα κατά τη διάρκεια του λαμιναρίσματος και η λύση τους

1. Ακριβής και αξιόπιστος έλεγχος της τάσης του φιλμ:

Η τάση του υποστρώματος – από την εκτύλιξη του 1^{ου} υλικού μέχρι και την ανατύλιξη του τελικού λαμιναρισμένου υλικού- ρυθμίζεται με ακρίβεια για την αποφυγή σχηματισμού ζαρών, νεύρων, curling κ.λπ., ώστε στο τέλος να παραληφθεί ένα καλό τελικό ρολό από λαμιναρισμένο υλικό. Η τάση της ανατύλιξης πρέπει επίσης να κατανέμεται ομοιόμορφα σε ολόκληρο το πλάτος του ρολού, διαφορετικά υπάρχει κίνδυνος telescoping.

2. Τακτική και ομοιόμορφη εφαρμογή κόλλας

Στη διαδικασία λαμιναρίσματος με διαλύτη, η ταχύτητα του λαμιναρίσματος, καθορίζει τη θερμοκρασία και την ποσότητα κόλλας που εισέρχεται στο διάκενο μεταξύ των κυλίνδρων ανάμιξης κόλλας. Αυτές οι μεταβλητές παρακολουθούνται και ελέγχονται με ακρίβεια, καθώς δεν επηρεάζουν μόνο τις συνολικές ιδιότητες του τελικού λαμιναρισμένου υλικού, αλλά επηρεάζουν επίσης και το κόστος της διαδικασίας.

3. Έλεγχος πίεσης και θερμοκρασίας του κυλίνδρου NIP

Το επικαλυμμένο με κόλλα φιλμ έρχεται σε επαφή με το κατεργασμένο με κορώνα φιλμ στους 50 έως 70 °C, με θέρμανση του κυλίνδρου NIP. Η πίεση του κυλίνδρου NIP πρέπει να κατανέμεται ομοιόμορφα στο λαμιναρισμένο υλικό. Εάν η πίεση είναι πολύ χαμηλή ο αέρας θα παγιδευτεί μέσα στο λαμιναρισμένο υλικό. Εάν η πίεση είναι πολύ υψηλή οδηγεί σε συμπίεση του υλικού.

4. Επεξεργασία με Corona

Ενώ ορισμένα φιλμ μπορεί να παράγονται με το σωστό επίπεδο τρεταρίσματος, άλλα φιλμ μπορεί να χρειάζονται επιπλέον επεξεργασία με corona κατά τη διάρκεια του λαμιναρίσματος πάνω στη μηχανή για τη βελτίωση της συγκόλλησης των δύο υλικών. Το πολυπροπυλένιο υπόκειται σε επεξεργασία με τάση πάνω από 38 dynes / cm. Σε περίπτωση πρόσθετης επεξεργασίας με απευθείας χρήση corona κατά το λαμιναρίσμα, θα πρέπει να αποφεύγεται η εφαρμογή της στην πίσω πλευρά του υλικού (αδυναμία στεγανοποίησης των τελικών πακέτων).

5. Διαχείριση τελικών ρολών

Τα ρολά αποθηκεύονται σε θερμούς χώρους (48°C) για να επιταχυνθεί ο πολυμερισμός της κόλλας, που έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη ισχύ λαμιναρίσματος και βελτίωση των οπτικών χαρακτηριστικών του τελικού υλικού. Τα τελικά λαμιναρισμένα υλικά θα πρέπει να τοποθετούνται οριζόντια και σε συγκεκριμένες θέσεις.

6. Speckling

Αυτό συμβαίνει όταν υπάρχουν κηλίδες στο πολυστρωματικό υλικό σε διάφορες θέσεις. Αυτό οφείλεται σε πιτσίλισμα της κόλλας που χρησιμοποιείται στη διαδικασία λαμιναρίσματος

7. Ντελαμινάρισμα

Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζεται όταν δυο φιλμ τα οποία έχουν ήδη λαμιναριστεί, με κάποιον τρόπο δεν έχουν συγκολληθεί επαρκώς. Το παραπάνω προκύπτει όποτε πρέπει να διακοπεί η λειτουργία της λαμιναριστικής μηχανής, λόγω κάποιου ελαττώματος ή κάποιον άλλο λόγο. Το λαμιναρισμένο αυτό κομμάτι θα πρέπει στη συνέχεια να αφαιρεθεί κατά τη κοπή.

8. Μπλοκάρισμα του λαμιναρισμένου υλικού

Το πρόβλημα του μπλοκαρίσματος στο λαμιναρισμένο υλικό προκύπτει λόγω αυξημένης ποσότητας κόλλας με αποτέλεσμα αυτή να μην παραμένει μέσα στο λαμιναρισμένο φιλμ. Έτσι το ένα φιλμ τείνει να κολλάει πάνω από το άλλο κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης για πάνω από μια χρονική περίοδο, με την πίεση του λαμιναρισμένου ρόλου τείνει να μπλοκάρει το λαμιναρισμένο υλικό.

9. Ζάρες λαμιναρίσματος

Μπορούν να εμφανιστούν δύο διαφορετικά ήδη ζαρών: αυτές που σχηματίζονται στο NIP κατά το στάδιο του λαμιναρίσματος, και αυτές που εμφανίζονται λίγο μετά από την ολοκλήρωση του λαμιναρίσματος. Αμφότερες οι ζάρες λαμβάνουν χώρα κυρίως σε υλικά πολυεστερικής βάσης που υποστηρίζουν το στρώμα φωτοπολυμερούς αλλά προκαλούνται από παράγοντες ανεξάρτητους από το βασικό φιλμ.

10. Γραμμή λαμιναρίσματος

Μπορεί να υπάρχουν ξένα σωματίδια όπως σκόνη, ρύποι ή κάποιο ανεπιθύμητο υλικό τα οποία μπορεί να κολλήσουν στον εγχαραγμένο κύλινδρο με αποτέλεσμα να αφήσουν ένα ίχνος γραμμή μέσα στο λαμιναρισμένο υλικό. Αυτό το πρόβλημα

προκύπτει κατά καιρούς και για να εξαλειφθεί θα πρέπει να καθαρίζεται ο κύλινδρος ανα τακτά χρονικά διαστήματα.

11. Curling

Η αιτία του curling κατά τη διάρκεια του στεγνώματος οφείλεται σε ανομοιόμορφες διαστατικές αλλαγές που λαμβάνουν χώρα όταν το υλικό εκτίθεται σε θερμοκρασία και υγρασία. Λόγω αυτής της συρρίκνωσης στην πλευρά που υπάρχει το στρώμα της κόλλας, δημιουργείται curling.

12. Tunnelling

Το πρόβλημα αυτό οφείλεται σε μη σωστή τάση των δύο υποστρωμάτων στο λαμιναρισμένο υλικό. Διαφορετικά μπορεί να οφείλεται σε διαφοροποίηση της αναλογίας ή της ποιότητας της κόλλας.

13. Φυσαλίδες και στίγματα

Μπορούν να σχηματιστούν κατά το στέγνωμα:

- λόγω παγίδευσης υγρών κάτω από το στρώμα της κόλλας, τα οποία εξατμίζονται όταν εκτίθενται σε υψηλότερη θερμοκρασία,
- λόγω παγίδευσης αέρα στο λαμιναρισμένο υλικό.

(Anjan & Annu, 2015)

5. ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΣ

Η βασική ρητίνη των κολλών πολυουρεθάνης δύο συστατικών αποτελείται συνήθως από πολυόλες, πληρωτικά και μικρές ποσότητες πρόσθετων ουσιών. Ο παράγοντας πολυμερισμού περιέχει το πολυμερές methylene diphenyl diisocyanate - MDI, ένα ισοκυανικό με πολύ χαμηλή τάση ατμών (Chr. Strdbeck, 1990).

Τα δισοκυανικά (επίσης κοινώς γνωστά ως ισοκυανικά) είναι εξαιρετικά δραστικές και ευπροσάρμοστες χημικές ουσίες με ευρεία εμπορική και καταναλωτική χρήση. Πάνω από το 90% των δισοκυανικών που κυριαρχούν στην αγορά και τα σχετικά πολυισοκυανικά τους είναι: το MDI (methylene diphenyl diisocyanate) και το τολουόλιο (TDI). Έχουν μοναδικές ιδιότητες και λειτουργική ευελιξία, και περιέχουν ελεύθερες χαρακτηριστικές ομάδες ισοκυανικού ($-N = C = O$). Όταν τα ισοκυανικά συνδυάζονται με άλλες ενώσεις που περιέχουν ελεύθερες λειτουργικές ομάδες υδροξυλίου (δηλαδή $-OH$) αντιδρούν και αρχίζουν να σχηματίζουν πολυμερή πολυουρεθάνης. Αυτή η χημική αντίδραση ολοκληρώνεται όταν όλες οι αρχικά ελεύθερες $-N = C = O$ ομάδες δεσμεύονται εντός του δικτύου του πολυμερούς. Αυτή η διαδικασία αναφέρεται συνήθως ως "πολυμερισμός". Προϊόντα που περιέχουν ελεύθερες ομάδες $-N = C = O$ προορίζονται να αντιδράσουν και να υποστούν "πολυμερισμό" κατά τη χρήση τους. Τα προϊόντα που έχουν υποστεί πλήρη επεξεργασία και έχουν αντιδράσει πλήρως θεωρούνται κατά συνέπεια αδρανή και μη τοξικά (U.S. Environmental Protection Agency, 2011).

Ο πολυμερισμός μιας κόλλας δύο συστατικών χωρίς διαλύτη, αρχίζει μόλις τα δύο μέρη που αποτελούν την κόλλα αναμειχθούν, δημιουργώντας αντίδραση μεταξύ των μορίων της βάσης και του καταλύτη. Το ιξώδες του μείγματος αυξάνει, αλλά καθώς η αντίδραση προχωράει, δημιουργείται εξώθερμη έκλυση θερμότητας η οποία διατηρεί το ιξώδες χαμηλά ή ακόμα και το μειώνει περαιτέρω για κάποιο χρονικό διάστημα σε προϊόντα ταχέως πολυμερισμού.

Η διάρκεια ζωής της κόλλας στο δοχείο (pot life), της οποίας τα δυο συστατικά έχουν αναμιχθεί μπορεί να οριστεί ως ο χρόνος πέραν του οποίου το μείγμα δεν μπορεί να αναδευτεί καθόλου. Το ιξώδες σε αυτό το στάδιο είναι περίπου $500Pa \cdot s$ (σε θερμοκρασία $22^{\circ}C$). Γενικά μπορεί να αναφερθεί ότι αν ένα μίγμα έχει διάρκεια ζωής δοχείου 70min ο χρόνος εφαρμογής ορίζεται περίπου 45-50min (παράδειγμα για μίγμα ποσότητας 200g). Καθώς ο πολυμερισμός συνεχίζεται, η κόλλα μετατρέπεται σιγά -

σιγά από υγρό σε ένα μαλακό, κολλώδες υλικό που σκληραίνει αργά. Κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού αναπτύσσονται και οι ιδιότητες πρόσφυσης και αντίστασης στο νερό. Ο πολυμερισμός μπορεί να επιταχυνθεί με την προσθήκη καταλυτών ή/και αύξηση της θερμοκρασίας εφαρμογής.

5.1 ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΧΡΗΣΗΣ ΛΑΝΘΑΣΜΕΝΩΝ ΑΝΑΛΟΓΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΚΟΛΛΑΣ

➤ Περίσσεια -OH ομάδων

Η κόλλα μπορεί να παραμείνει κολλώδης και σαν αποτέλεσμα θα έχει γίνει ατελής πολυμερισμός που θα εμφανίζεται με χαμηλή ισχύς λαμιναρίσματος και μειωμένη θερμο-αντοχή της τελικής συσκευασίας

➤ Περίσσεια -NCO ομάδων

Η κόλλα θα παραμείνει κολλώδης και ο χρόνος που θα χρειαστεί για να πολυμεριστεί πλήρως με τη βοήθεια της υγρασίας του αέρα μπορεί να είναι πολύ μεγάλος. Η τελική συσκευασία θα εμφανίζει προβλήματα συγκόλλησης ("Anti-sealing effect") (εκπαιδευτικές σημειώσεις, HATZOPOULOS S.A.)

Τα υλικά συσκευασίας που προκύπτουν από διαδικασία λαμιναρίσματος χωρίς διαλύτη, είναι κατάλληλα για κάθε τύπο συσκευασίας χυμών και για συσκευασίες όπου δεν απαιτείται αιθυλικό διάλυμα ως διαλυτικό μέσο. Επίσης το λαμινάρισμα χωρίς διαλύτη είναι κατάλληλο για προϊόντα έτοιμα προς κατανάλωση και για συσκευασία ελαφρών σε βάρος προϊόντων (Anjan & Annu, 2015). Παραδείγματα τελικών εφαρμογών συσκευασιών που παράγονται με λαμινάρισμα χωρίς διαλύτη παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 10. Τελικές εφαρμογές συσκευασιών σε σχέση με υλικά που λαμιναρίστηκαν με κόλλα χωρίς διαλύτη. (Anjan & Annu, 2015)

Εφαρμογή λαμιναρισμένης συσκευασίας	Λαμινάρισμα με κόλλα χωρίς διαλύτη
Σνακ	√
Ζαχαροπλαστική	√
Κρέας και γαλακτοκομικά	√

Stand up pouch	√
Λαμινάρισμα πολυμερών	√
Λαμινάρισμα πολυμερών με ιδιότητες φραγμού	√
Λαμινάρισμα με μέταλλα	√
Φρέσκα προϊόντα	√
Φαρμακευτικά	√
Θερμής πλήρωσης και παστερίωσης	√
Retort-προϊόντα που θα υποστούν θερμική επεξεργασία με τη συσκευασία	√
Χημικά γεωργικών εφαρμογών	√

6. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΕΝΩΝ ΔΙΠΛΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΚΟΛΛΑ ΧΩΡΙΣ ΔΙΑΛΥΤΗ

Οι δομές που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι οι παρακάτω:

- PP/PP (πολυπροπυλένιο / πολυπροπυλένιο)
- PET/PE (πολυεστέρας / πολυαιθυλένιο)
- PET/PP (πολυεστέρας / πολυπροπυλένιο)
- PP/PE (πολυπροπυλένιο / πολυαιθυλένιο)

Το λαμινάρισμα των παραπάνω υλικών έγινε με κόλλα πολυουρεθάνης δύο συστατικών χωρίς διαλύτη όπως έχει αναλυθεί παραπάνω, με αποτέλεσμα οι λαμιναρισμένες δομές να έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

6.1 PP/PP (πολυπροπυλένιο / πολυπροπυλένιο)

Το διπλό υλικό που αποτελείται από PP/PP προορίζεται για τη συσκευασία έτοιμων γευμάτων, αλμυρών σνακ, αφυδατωμένων προϊόντων, ξηρών καρπών, ψωμί, μπισκοτοειδή κ.α.. Οι τεχνικές προδιαγραφές του διπλού λαμιναρισμένου υλικού είναι οι παρακάτω:

Πίνακας 11. Τεχνικές προδιαγραφές, τιμές αναφοράς των προδιαγραφών και μέθοδοι ανίχνευσης για λαμιναρισμένο υλικό PP/PP (Προσωπική επικοινωνία με HATZOPOULOS S.A.).

Τεχνικό χαρακτηριστικό	Τεχνική προδιαγραφή	Μέθοδος ανίχνευσης
Ισχύς λαμιναρίσματος (bond strength)	>100g/15mm	ASTM F 904-98
Ισχύς συγκόλλησης (seal strength)	>200g/15mm	ASTM F 88
Συντελεστής ολίσθησης (coefficient of friction-cof)	0,20-0,45	ASTM D 1894
W.V.T.R.	<5g/m ² /24h	ASTM F 1249
O.T.R.	<1000cc/m ² / 24h	ASTM D 3985
Εναπομείναντες διαλύτες	<20mg/m ³	DIN 13628-2

Ως χρόνος πολυμερισμού σε συνθήκες βιομηχανικής παραγωγής ορίζονται οι 24 ώρες, όπου βάσει δεδομένων του προμηθευτή επιτυγχάνεται το 70-85% του συνολικού πολυμερισμού.

6.2 PET/PE (πολυεστέρας / πολυαιθυλένιο)

Το διπλό υλικό που αποτελείται από PET/PE προορίζεται για τη συσκευασία τυριών, προϊόντα κρέατος, αποξηραμένα προϊόντα, άνω φιλμ, καφέ σε κόκκους και αλεσμένο, στιγμιαία ροφήματα, γλυκά κ.α.. Οι τεχνικές προδιαγραφές του διπλού λαμιναρισμένου υλικού είναι οι παρακάτω:

Πίνακας 12. Τεχνικές προδιαγραφές, τιμές αναφοράς των προδιαγραφών και μέθοδοι ανίχνευσης για λαμιναρισμένο υλικό PET/PE (Προσωπική επικοινωνία με HATZOPOULOS S.A.)

Τεχνικό χαρακτηριστικό	Τεχνική προδιαγραφή	Μέθοδος ανίχνευσης
Ισχύς λαμιναρίσματος (bond strength)	>200g/15mm	ASTM F 904-98
Ισχύς συγκόλλησης (seal strength)	>300g/15mm	ASTM F 88

Συντελεστής ολίσθησης (coefficient of friction-cof)	>0,30 (η τιμή του cof μπορεί να διαφοροποιείται αναλόγως τον τύπο του πολυαιθυλενίου που θα χρησιμοποιηθεί)	ASTM D 1894
W.V.T.R.	<5g/m ² /24h	ASTM F 1249
O.T.R.	<150cc/m ² / 24h	ASTM D 3985
Υπολείμματα διαλυτών	<20mg/m ³	DIN 13628-2

Ως χρόνος πολυμερισμού της δομής PET/PE σε συνθήκες βιομηχανικής παραγωγής ορίζονται οι 24 με 48 ώρες αναλόγως της τελικής εφαρμογής της συσκευασίας, όπου βάσει δεδομένων του προμηθευτή επιτυγχάνεται το 70-85% του συνολικού πολυμερισμού.

6.3 PET/PP (πολυεστέρας / πολυπροπυλένιο)

Το διπλό υλικό που αποτελείται από PET/PP προορίζεται για τη συσκευασία δημητριακών, προϊόντων σιγαμίου, σοκολάτα, χρήση ως δευτερογενή συσκευασία κ.α.. Οι τεχνικές προδιαγραφές του διπλού λαμιναρισμένου υλικού είναι τα παρακάτω:

Πίνακας 13. Τεχνικές προδιαγραφές, τιμές αναφοράς των προδιαγραφών και μέθοδοι ανίχνευσης για λαμιναρισμένο υλικό PET/PP Προσωπική επικοινωνία με HATZOPOULOS S.A.).

Τεχνικό χαρακτηριστικό	Τεχνική προδιαγραφή	Μέθοδος ανίχνευσης
Ισχύς λαμιναρίσματος (bond strength)	>100g/15mm	ASTM F 904-98
Ισχύς συγκόλλησης (seal strength)	>200g/15mm	ASTM F 88

Συντελεστής ολίσθησης (coefficient of friction- cof)	>0,20-0,45	ASTM D 1894
W.V.T.R. (water vapor transmission rate)	<5g/m ² /24h	ASTM F 1249
O.T.R. (oxygen transmission rate)	<150cc/m ² / 24h	ASTM D 3985
Υπολείμματα διαλυτών	<20mg/m ³	DIN 13628-2

Ως χρόνος πολυμερισμού της δομής PET/PP σε συνθήκες βιομηχανικής παραγωγής ορίζονται οι 24 ώρες, όπου βάσει δεδομένων του προμηθευτή επιτυγχάνεται το 70-85% του συνολικού πολυμερισμού.

6.4 PP/PE (πολυπροπυλένιο / πολυαιθυλένιο)

Το διπλό υλικό που αποτελείται από PP/PE προορίζεται για τη συσκευασία ξηρών γευμάτων, κατεψυγμένων προϊόντων, προϊόντων ζάχαρης, αλάτι κ.α.. Οι τεχνικές προδιαγραφές του διπλού λαμιναρισμένου υλικού είναι τα παρακάτω:

Πίνακας 14. Τεχνικές προδιαγραφές, τιμές αναφοράς των προδιαγραφών και μέθοδοι ανίχνευσης για λαμιναρισμένο υλικό PP/PE (Προσωπική επικοινωνία με HATZOPOULOS S.A.).

Τεχνικό χαρακτηριστικό	Τεχνική προδιαγραφή	Μέθοδος ανίχνευσης
Ισχύς λαμιναρίσματος (bond strength)	> 200g/15mm	ASTM F 904-98
Ισχύς συγκόλλησης (seal strength)	>300g/15mm	ASTM F 88
Συντελεστής ολίσθησης (coefficient of friction- cof)	>0,30 (η τιμή του cof μπορεί να διαφοροποιείται)	ASTM D 1894

	αναλόγως με τον τύπο του πολυαιθυλενίου που θα χρησιμοποιηθεί)	
W.V.T.R.	<5g/m ² /24h	ASTM F 1249
O.T.R.	<2000cc/m ² / 24h	ASTM D 3985
Υπολείμματα διαλυτών	<20mg/m ³	DIN 13628-2

Ως χρόνος πολυμερισμού της δομής PET/PE σε συνθήκες βιομηχανικής παραγωγής ορίζονται οι 24 με 48 ώρες αναλόγως της τελικής εφαρμογής της συσκευασίας, όπου βάσει δεδομένων του προμηθευτή επιτυγχάνεται το 70-85% του συνολικού πολυμερισμού.

7. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ

Όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 5 – ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΣ η βασική ρητίνη των κολλών πολυουρεθάνης δύο συστατικών αποτελείται συνήθως από πολυόλες, πληρωτικά και μικρές ποσότητες πρόσθετων ουσιών. Ο παράγοντας πολυμερισμού περιέχει το πολυμερές methylene diphenyl diisocyanate - MDI, ένα ισοκυανικό με πολύ χαμηλή τάση ατμών (Chr. Strdbeck, 1990).

Το MDI είναι το λιγότερο επικίνδυνο από τα κοινά εμπορικά διαθέσιμα ισοκυανικά, αλλά δεν είναι καλοήθες. Η πολύ χαμηλή τάση ατμών του μειώνει τους κινδύνους που απειλούν την ασφάλεια εργασίας, κατά τη διάρκεια του χειρισμού σε σύγκριση με τα άλλα μεγάλα ισοκυανικά (TDI, HDI). Ωστόσο, όπως και τα άλλα ισοκυανικά, είναι αλλεργιογόνο και ερεθιστικό. Τα άτομα που αναπτύσσουν ευαισθησία στα ισοκυανικά μπορεί να έχουν επικίνδυνες συστηματικές αντιδράσεις σε εξαιρετικά μικρές εκθέσεις, συμπεριλαμβανομένης της αναπνευστικής ανεπάρκειας. Ο χειρισμός του MDI απαιτεί αυστηρούς μηχανικούς ελέγχους και εξοπλισμό ατομικής προστασίας. Σε σύγκριση με άλλα οργανικά κυανικά, το MDI έχει σχετικά χαμηλή ανθρώπινη τοξικότητα (https://en.wikipedia.org/wiki/Methylene_diphenyl_diisocyanate). Πολλές μετρήσεις σε πραγματική βιομηχανική χρήση, με εφαρμογή με το χέρι ή με ακροφύσιο, δείχνουν ότι το επίπεδο MDI στον αέρα είναι πολύ χαμηλότερο από το όριο των κατώτατων ορίων των 0,1% (U.S. Environmental Protection Agency, 2011), και κάτω από το όριο

ανίχνευσης. Αυτό σημαίνει ότι είναι ασφαλής η εργασία, σε χώρο εφαρμογής κολλών πολυουρεθάνης δύο συστατικών, σε θερμοκρασία δωματίου με επαρκή εξαερισμό του χώρου, για όσο διάστημα ακολουθούνται οι συνήθεις συνθήκες υγιεινής. Όταν γίνεται θερμαινόμενη εφαρμογή με πίεση ή ψεκασμό της κόλλας, θα πρέπει να λαμβάνονται ειδικές προφυλάξεις όπως χρήση ειδικού τύπου προστατευτικά γάντια, ειδικές προειδοποιήσεις/σημάνσεις στο χώρο εργασίας και οδηγίες χρήσης (U.S. Environmental Protection Agency, 2011). Τα βιομηχανικά δελτία δεδομένων ασφάλειας των υλικών πρέπει πάντα να λαμβάνονται υπόψη και να εφαρμόζονται.

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι όλες οι κόλλες που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία κατασκευής εύκαμπτων υλικών συσκευασίας, συνοδεύονται από όλα τα πιστοποιητικά καταλληλότητας όπως TDS - technical data sheet, MSDS - material safety data sheet .

8. ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Τα υλικά που προορίζονται να έρθουν σε επαφή με τρόφιμα θα πρέπει να παράγονται με τους κανόνες ορθής βιομηχανικής πρακτικής, όπως περιγράφεται στον κανονισμό του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου 2023/2006. Παράλληλα τα πλαστικά που θα έρθουν σε επαφή με τα τρόφιμα θα πρέπει να πληρούν τις προδιαγραφές του Ευρωπαϊκού Κανονισμού 10/2011. Οι νομοθετικές ρυθμίσεις ανά είδος υλικού περιγράφονται στον Ευρωπαϊκό κανονισμό 1935/2004. Πιο συγκεκριμένα:

Ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός 2023/2006 αναφέρεται στις ομάδες υλικών και αντικειμένων που περιλαμβάνονται στο παράρτημα I του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1935/2004 και στους συνδυασμούς αυτών των υλικών και αντικειμένων (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 2023/2006, εδάφιο 1) και ορίζει τους κανόνες ορθής πρακτικής παραγωγής (ΟΠΠ) για την παραγωγή αυτών (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 2023/2006, άρθρο 1). Το πεδίο εφαρμογής του είναι σε όλους τους κλάδους και σε όλα τα στάδια παραγωγής, μεταποίησης και διανομής υλικών και αντικειμένων έως τα υλικά εκκίνησης, αλλά εκτός από αυτά (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 2023/2006, άρθρο 2).

Η συμμόρφωση στην ορθή βιομηχανική πρακτική γίνεται βάσει των άρθρων 5, 6 και 7 του κανονισμού που αναφέρονται στο σύστημα διασφάλισης ποιότητας, τον έλεγχο ποιότητας και την τεκμηρίωση αντίστοιχα (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 2023/2006, άρθρο 5,6,7).

Άρθρο 5

Σύστημα διασφάλισης της ποιότητας

1. Ο υπεύθυνος της επιχείρησης θεσπίζει και εφαρμόζει ένα αποτελεσματικό και τεκμηριωμένο σύστημα διασφάλισης της ποιότητας και φροντίζει για την τήρησή του.

Το σύστημα αυτό:

α) λαμβάνει υπόψη το συνολικό αριθμό του προσωπικού, τις γνώσεις και τις δεξιότητές του καθώς και την οργάνωση και τον εξοπλισμό των εγκαταστάσεων, ώστε να εξασφαλίζεται ότι τα τελικά υλικά και αντικείμενα συμμορφώνονται με τους ισχύοντες γι' αυτά κανόνες·

β) εφαρμόζεται κατ' αναλογία προς το μέγεθος της επιχείρησης, ώστε να μην δημιουργείται αδικαιολόγητος φόρτος.

2. Τα υλικά εκκίνησης επιλέγονται και συμμορφώνονται με τις προκαθορισμένες προδιαγραφές, οι οποίες εξασφαλίζουν τη συμμόρφωση του υλικού ή του αντικειμένου με τους κανόνες που ισχύουν γι' αυτό.

3. Οι διάφορες λειτουργίες εκτελούνται σύμφωνα με προκαθορισμένες οδηγίες και διαδικασίες (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 2023/2006, άρθρο 5).

Άρθρο 6

Έλεγχος της ποιότητας

1. Ο υπεύθυνος της επιχείρησης θεσπίζει και τηρεί αποτελεσματικό σύστημα ελέγχου της ποιότητας.

2. Ο έλεγχος της ποιότητας περιλαμβάνει την παρακολούθηση της εφαρμογής και της επίτευξης της ΟΠΠ και προσδιορίζει τα μέτρα για τη διόρθωση τυχόν ελλείψεων στην ΟΠΠ. Τα διορθωτικά αυτά μέτρα εφαρμόζονται χωρίς καθυστέρηση και είναι διαθέσιμα στις αρμόδιες αρχές για επιθεωρήσεις (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 2023/2006, άρθρο 6).

Άρθρο 7

Τεκμηρίωση

1. Ο υπεύθυνος της επιχείρησης δημιουργεί και τηρεί κατάλληλη τεκμηρίωση σε έντυπη ή ηλεκτρονική μορφή σχετικά με τις προδιαγραφές, τους τύπους και τις διαδικασίες παρασκευής που αφορούν τη συμμόρφωση και την ασφάλεια του τελικού υλικού ή αντικειμένου.
2. Ο υπεύθυνος της επιχείρησης δημιουργεί και τηρεί κατάλληλη τεκμηρίωση σε έντυπη ή ηλεκτρονική μορφή σχετικά με τα αρχεία που καλύπτουν τους διάφορους τρόπους παρασκευής που αφορούν τη συμμόρφωση και την ασφάλεια του τελικού υλικού ή αντικειμένου και σχετικά με τα αποτελέσματα του συστήματος ελέγχου ποιότητας.
3. Ο υπεύθυνος της επιχείρησης θέτει στη διάθεση των αρμόδιων αρχών την τεκμηρίωση αυτή, εάν του ζητηθεί (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 2023/2006, άρθρο 7).

Βάσει του Ευρωπαϊκού Κανονισμού 10/2011 ορίζεται ότι:

Τα πλαστικά υλικά και αντικείμενα μπορεί να αποτελούνται από διαφορετικά στρώματα πλαστικής ύλης που συγκρατούνται μεταξύ τους με κόλλα. Τα πλαστικά υλικά και αντικείμενα μπορούν επίσης να εκτυπωθούν ή να επιστρωθούν με οργανικό ή ανόργανο επίχρισμα. Τα εκτυπωμένα ή επιστρωμένα πλαστικά υλικά και αντικείμενα, όπως επίσης και αυτά που συγκρατούνται μεταξύ τους με κόλλα, πρέπει να εμπίπτουν στο πεδίο εφαρμογής του κανονισμού. Οι κόλλες, τα επιχρίσματα και οι τυπογραφικές μελάνες δεν αποτελούνται κατ' ανάγκη από τις ίδιες ουσίες όπως τα πλαστικά. Ο κανονισμός (ΕΚ) αριθ. 1935/2004 προβλέπει ότι, για τις κόλλες, τα επιχρίσματα και τις τυπογραφικές μελάνες, μπορούν να θεσπιστούν ειδικά μέτρα. Επομένως, πλαστικά υλικά και αντικείμενα που εκτυπώνονται, επιστρώνονται ή συγκρατούνται μεταξύ τους με κόλλα πρέπει να επιτρέπεται να περιέχουν στο στρώμα εκτύπωσης, επίστρωσης ή συγκόλλησης άλλες ουσίες από αυτές που έχουν εγκριθεί σε επίπεδο ΕΕ για τα πλαστικά. Αυτά τα στρώματα μπορεί να υπόκεινται σε άλλους ενωσιακούς ή εθνικούς κανόνες (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 10/2011, εδάφιο 6).

Τα πλαστικά κατασκευάζονται από μονομερή και άλλες αρχικές ουσίες, οι οποίες αντιδρούν χημικά σχηματίζοντας μια μακρομοριακή δομή, το πολυμερές, που αποτελεί το κύριο δομικό στοιχείο των πλαστικών. Στο πολυμερές προστίθενται πρόσθετα ώστε να επιτυγχάνονται καθορισμένα τεχνολογικά αποτελέσματα. Το πολυμερές, ως έχει, είναι μια αδρανής υψιμοριακή δομή. Επειδή οι ουσίες με μοριακό βάρος άνω των 1000Da συνήθως δεν μπορούν να απορροφηθούν από το σώμα, ο

δυναμικός κίνδυνος για την υγεία από το ίδιο το πολυμερές είναι ελάχιστος. Ενδεχόμενος κίνδυνος για την υγεία μπορεί να προκύψει από μονομερή ή άλλες αρχικές ουσίες που δεν έχουν αντιδράσει ή έχουν αντιδράσει ατελώς ή από πρόσθετα χαμηλού μοριακού βάρους, τα οποία μεταφέρονται στα τρόφιμα με τη μετανάστευση από το πλαστικό υλικό που έρχεται σε επαφή με τα τρόφιμα. Επομένως τα μονομερή, οι άλλες αρχικές ουσίες και τα πρόσθετα πρέπει να υποβάλλονται σε αξιολόγηση κινδύνου και να εγκρίνονται, πριν χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή πλαστικών υλικών και αντικειμένων (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 10/2011, εδάφιο 8) .

Σύμφωνα με το άρθρο 3 παράγραφος 1 στοιχείο β) του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1935/2004, η ελευθέρωση ουσιών από υλικά και αντικείμενα που έρχονται σε επαφή με τρόφιμα δεν πρέπει να επιφέρει μη αποδεκτές αλλαγές στη σύσταση των τροφίμων. Σύμφωνα με την ορθή πρακτική παραγωγής, είναι εφικτή η κατασκευή πλαστικών υλικών κατά τρόπο ώστε να μην ελευθερώνονται πάνω από 10mg ουσιών ανά 1dm² εμβαδού της επιφάνειας του πλαστικού υλικού. Εάν από την αξιολόγηση κινδύνου μιας επιμέρους ουσίας δεν προκύπτει χαμηλότερο επίπεδο, το όριο συνολικής μετανάστευσης θα πρέπει να τίθεται ως γενικό όριο για την ένδειξη της αδράνειας του πλαστικού υλικού. Με σκοπό την επίτευξη συγκρίσιμων αποτελεσμάτων στην επαλήθευση της συμμόρφωσης με το όριο συνολικής μετανάστευσης, θα πρέπει να διενεργούνται δοκιμές κάτω από τυποποιημένες συνθήκες δοκιμής, συμπεριλαμβανομένων του χρόνου, της θερμοκρασίας και του μέσου δοκιμής (προσομοιωτής τροφίμων) που να αντιστοιχούν στις χειρότερες προβλέψιμες συνθήκες χρήσης του πλαστικού υλικού ή αντικειμένου (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 10/2011, εδάφιο 25).

Το όριο συνολικής μετανάστευσης των 10mg ανά 1 dm² συνεπάγεται, για συσκευασία κυβικού σχήματος που περιέχει 1kg τρόφιμου, μετανάστευση 60mg ανά kg τροφίμου. Για μικρές συσκευασίες, στις οποίες ο λόγος εμβαδού προς ποσότητα είναι υψηλότερος, η προκύπτουσα μετανάστευση στο τρόφιμο είναι υψηλότερη (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 10/2011, εδάφιο 26)

Στο άρθρο 15 του Ευρωπαϊκού κανονισμού 10/2011 αναφέρεται επίσης και η δήλωση συμμόρφωσης που αφορά

1. Στα στάδια της διάθεσης στην αγορά εκτός από το στάδιο της λιανικής πώλησης, τα πλαστικά υλικά και αντικείμενα, τα προϊόντα από ενδιάμεσα

στάδια της κατασκευής τους, καθώς και οι ουσίες που προορίζονται για την κατασκευή αυτών των πλαστικών υλικών και αντικειμένων συνοδεύονται από γραπτή δήλωση σύμφωνα με το άρθρο 16 του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 1935/2004 (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 10/2011, άρθρο 15, παράγραφος 1).

2. Η γραπτή δήλωση που αναφέρεται στην παράγραφο 1 εκδίδεται από τον υπεύθυνο της επιχείρησης και περιέχει τις πληροφορίες που καθορίζονται στο παράρτημα IV (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 10/2011, άρθρο 15, παράγραφος 2).
3. Η γραπτή δήλωση επιτρέπει την εύκολη αναγνώριση των υλικών, αντικειμένων ή προϊόντων από ενδιάμεσα στάδια της κατασκευής ή των ουσιών για τις οποίες εκδίδεται. Ανανεώνεται όταν επέρχονται ουσιώδεις μεταβολές στη σύσταση ή στην παραγωγή, οι οποίες επιφέρουν αλλαγές όσον αφορά τη μετανάστευση από τα υλικά ή αντικείμενα, ή όταν προκύπτουν νέα επιστημονικά στοιχεία (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 10/2011, άρθρο 15, παράγραφος 3).

Η γραπτή δήλωση που αναφέρεται στο άρθρο 15 πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

1. την ταυτότητα και τη διεύθυνση του υπευθύνου της επιχείρησης που εκδίδει τη δήλωση συμμόρφωσης·
2. την ταυτότητα και τη διεύθυνση του υπευθύνου της επιχείρησης που κατασκευάζει ή εισάγει τα πλαστικά υλικά και αντικείμενα ή προϊόντα από ενδιάμεσα στάδια της κατασκευής τους ή τις ουσίες οι οποίες προορίζονται για την κατασκευή αυτών των υλικών και αντικειμένων
3. την ταυτότητα των υλικών, των αντικειμένων, των προϊόντων από ενδιάμεσα στάδια της κατασκευής ή των ουσιών που προορίζονται για την κατασκευή αυτών των υλικών και αντικειμένων
4. την ημερομηνία της δήλωσης
5. επιβεβαίωση του ότι τα πλαστικά υλικά και αντικείμενα, τα προϊόντα από ενδιάμεσα στάδια της κατασκευής ή οι ουσίες πληρούν τις σχετικές απαιτήσεις που καθορίζονται στον παρόντα κανονισμό και στον κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 1935/200·
6. επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τις χρησιμοποιούμενες ουσίες ή τα προϊόντα αποικοδόμησής τους, για τα οποία καθορίζονται περιορισμοί και/ή προδιαγραφές στα παραρτήματα I και II του παρόντος κανονισμού, έτσι ώστε

οι υπεύθυνοι των επιχειρήσεων που προωθούν τα προϊόντα μετά την παραγωγή να είναι σε θέση να εξασφαλίζουν τη συμμόρφωση με τους εν λόγω περιορισμούς·

7. επαρκείς πληροφορίες σχετικά με τις ουσίες οι οποίες υπόκεινται σε περιορισμό στα τρόφιμα, που αποκτώνται με πειραματικά στοιχεία ή θεωρητικό υπολογισμό, σχετικά με το επίπεδο της ειδικής τους μετανάστευσης, και, εφόσον ενδείκνυται, κριτήρια καθαρότητας σύμφωνα με τις οδηγίες 2008/60/ΕΚ, 95/45/ΕΚ και 2008/84/ΕΚ, ώστε να διευκολύνεται η συμμόρφωση του χρήστη των υλικών και αντικειμένων με τις σχετικές διατάξεις της ΕΕ ή, ελλείψει αυτών, με τις εθνικές διατάξεις που εφαρμόζονται στα τρόφιμα

8. τις προδιαγραφές χρήσης του υλικού ή αντικειμένου, όπως:

i) τύπος ή τύποι τροφίμων με τα οποία αυτό προορίζεται να έρθει σε επαφή,

ii) χρονική διάρκεια και θερμοκρασία επεξεργασίας και αποθήκευσης κατά την οποία θα έρχεται σε επαφή με τα τρόφιμα

iii) Λόγος του εμβαδού της επιφάνειας επαφής με τα τρόφιμα προς την ποσότητα, που χρησιμοποιείται για να διαπιστωθεί η συμμόρφωση του υλικού ή αντικειμένου.

9. όταν χρησιμοποιείται λειτουργικός φραγμός σε πολυστρωματικό υλικό ή αντικείμενο, επιβεβαίωση του ότι το υλικό ή αντικείμενο ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του άρθρου 13 παράγραφοι 2, 3 και 4 ή του άρθρου 14 παράγραφοι 2 και 3 του παρόντος κανονισμού Ευρωπαϊκός Κανονισμός 10/2011, παράρτημα IV).

Ευρωπαϊκός κανονισμός 1935/2004

Στις γενικές απαιτήσεις του Ευρωπαϊκού Κανονισμού 1935/2004 ορίζεται ότι:

Κάθε υλικό και αντικείμενο που προορίζεται να έρθει σε επαφή με τρόφιμα και διατίθεται στην αγορά θα πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του παρόντος κανονισμού(Ευρωπαϊκός Κανονισμός 1935/2004, εδάφιο 8).

Η ιχνηλασιμότητα των υλικών και των αντικειμένων που προορίζονται να έρθουν σε επαφή με τρόφιμα θα πρέπει να εξασφαλίζεται σε όλα τα στάδια προκειμένου να διευκολύνεται ο έλεγχος, η ανάκληση των ελαττωματικών προϊόντων, η ενημέρωση των καταναλωτών και ο καταλογισμός ευθυνών. Οι υπεύθυνοι των επιχειρήσεων θα πρέπει να είναι σε θέση να ταυτοποιούν τουλάχιστον τις επιχειρήσεις από τις οποίες προμηθεύτηκαν και προς τις οποίες διοχετεύουν τέτοια υλικά και αντικείμενα (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 1935/2004, εδάφιο 18).

Είναι ανάγκη να καθιερωθούν διαδικασίες για τη λήψη μέτρων διασφάλισης σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ένα υλικό ή αντικείμενο ενδέχεται να αποτελέσει σοβαρό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 1935/2004, εδάφιο 20).

Σκοπός του Ευρωπαϊκού κανονισμού 1935/2004 είναι να εξασφαλίσει την αποτελεσματική λειτουργία της εσωτερικής αγοράς σε σχέση με τη διάθεση στην κοινοτική αγορά υλικών και αντικειμένων που προορίζονται να έρθουν σε επαφή, άμεσα ή έμμεσα, με τρόφιμα, παρέχοντας παράλληλα τη βάση για την εξασφάλιση υψηλού επιπέδου προστασίας της ανθρώπινης υγείας και των συμφερόντων των καταναλωτών (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 1935/2004, Άρθρο 1, εδάφιο 1).

Ο Ευρωπαϊκός Κανονισμός 1935/2004 εφαρμόζεται σε υλικά που προορίζονται να έρθουν σε επαφή με τρόφιμα, ή βρίσκονται ήδη σε επαφή με τρόφιμα σύμφωνα με τον προορισμό τους, ή μπορεί να αναμένεται ότι θα έρθουν σε επαφή με τρόφιμα ή συστατικά τους θα μεταφερθούν στα τρόφιμα υπό κανονικές ή προβλέψιμες συνθήκες χρήσης (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 1935/2004, Άρθρο 1, εδάφιο 2).

Οι γενικές απαιτήσεις του Ευρωπαϊκού Κανονισμού 1935/2004 ορίζουν ότι

1. τα υλικά και αντικείμενα, συμπεριλαμβανομένων των ενεργών και των νοημών υλικών και αντικειμένων, κατασκευάζονται σύμφωνα με τις ορθές πρακτικές κατασκευής ώστε, υπό τις κανονικές ή προβλεπόμενες συνθήκες χρησιμοποίησής τους, να μην μεταφέρουν στα τρόφιμα συστατικά σε ποσότητα που είναι δυνατόν:

- α) να θέσει σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία ή
- β) να επιφέρει απαράδεκτη τροποποίηση στη σύσταση των τροφίμων ή
- γ) να επιφέρει αλλοίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών τους.

2. Η επισήμανση, διαφήμιση και παρουσίαση ενός υλικού ή αντικειμένου δεν πρέπει να παραπλανούν τους καταναλωτές (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 1935/2004, Άρθρο 3).

Όσον αφορά τις συνδετικές ουσίες (κόλλες) λαμιναρίσματος που αναφέρονται στο παράρτημα I, σημείο 2 του Ευρωπαϊκού Κανονισμού 1935/2004 θεσπίζονται ή τροποποιούνται ειδικά μέτρα που μπορούν να περιλαμβάνουν:

α) κατάλογο των επιτρεπόμενων ουσιών προς χρήση στην παραγωγή υλικών και αντικειμένων

β) καταλόγους των επιτρεπόμενων ουσιών που ενσωματώνονται στα υλικά και αντικείμενα που έρχονται σε επαφή με τα τρόφιμα, ή κατάλογο(-ους) των ενεργών ή νοημόνων υλικών και αντικειμένων και, εφόσον απαιτείται, ειδικές προϋποθέσεις για τη χρήση των εν λόγω ουσιών ή/και υλικών και αντικειμένων στα οποία ενσωματώνονται·

γ) τα κριτήρια καθαρότητας των ουσιών που αναφέρονται στο στοιχείο α)·

δ) τους ιδιαίτερους όρους χρήσης των ουσιών που αναφέρονται στο στοιχείο α) ή/και των υλικών και αντικειμένων στα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί αυτές οι ουσίες

ε) ειδικά όρια μετανάστευσης, για ορισμένα συστατικά ή ομάδες συστατικών, εντός ή επί του τροφίμου, λαμβάνοντας υπόψη τυχόν άλλες πηγές έκθεσης στα συστατικά αυτά·

στ) καθολικό όριο μετανάστευσης των συστατικών εντός ή επί του τροφίμου·

ζ) διατάξεις που αποβλέπουν στην προστασία της ανθρώπινης υγείας έναντι κινδύνων που απορρέουν από την επαφή διά του στόματος με τα υλικά και αντικείμενα

η) άλλοι κανόνες που εξασφαλίζουν τη συμμόρφωση με τα άρθρα 3 και 4·

θ) βασικούς κανόνες για την επαλήθευση της συμμόρφωσης με τα στοιχεία α) έως η)·

ι) κανόνες που αφορούν τη δειγματοληψία καθώς και τις αναλυτικές μεθόδους που απαιτούνται για να ελέγχεται η συμμόρφωση με τα στοιχεία α) έως η)·

ια) ειδικές διατάξεις που εξασφαλίζουν την ιχνηλασιμότητα υλικών και αντικειμένων, στις οποίες περιλαμβάνονται διατάξεις για τη διάρκεια διατήρησης των αρχείων ή διατάξεις που επιτρέπουν, εφόσον απαιτείται, παρεκκλίσεις από τις απαιτήσεις του άρθρου 17·

ιβ) συμπληρωματικές διατάξεις για την επισήμανση των ενεργών και νοημόνων υλικών και αντικειμένων·

ιγ) διατάξεις που απαιτούν την κατάρτιση και διατήρηση από την Επιτροπή προσιτού στο κοινό μητρώου («μητρώο») επιτρεπόμενων ουσιών, διεργασιών ή υλικών ή αντικειμένων

ιδ) ειδικούς διαδικαστικούς κανόνες με τους οποίους προσαρμόζεται, κατά περίπτωση, η διαδικασία των άρθρων 8 έως 12, ή καθίσταται κατάλληλη για τη χορήγηση αδείας για ορισμένα υλικά και αντικείμενα ή/και διεργασίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή τους, συμπεριλαμβανομένης, οσάκις απαιτείται, της διαδικασίας για τη μεμονωμένη χορήγηση αδείας για ουσία, διεργασία ή υλικό ή αντικείμενο μέσω απόφασης που απευθύνεται στον αιτούντα (Ευρωπαϊκός Κανονισμός 1935/2004, Άρθρο 5).

B. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ:

1. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθεί ο χρόνος πολυμερισμού πολυστρωματικού υλικού, το οποίο λαμιναρίστηκε με κόλλα πολυουρεθάνης δυο συστατικών χωρίς διαλύτη. Μελετήθηκε η πορεία του πολυμερισμού μετά το λαμινάρισμα των υλικών μέχρι να επιτευχθεί ο πλήρης πολυμερισμός. Οι διπλές δομές που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία είναι οι εξής:

- PP/PP (πολυπροπυλένιο / πολυπροπυλένιο)
- PET/PE (πολυεστέρας / πολυαιθυλένιο)
- PET/PP (πολυεστέρας / πολυπροπυλένιο)
- PP/PE (πολυπροπυλένιο / πολυαιθυλένιο)

2. ΥΛΙΚΑ & ΜΕΘΟΔΟΙ

Χρησιμοποιήθηκαν α' ύλες πολυπροπυλενίου (PP), πολυεστέρα (PET) και πολυαιθυλενίου (PE) σε μορφή ρολών με τα παρακάτω χαρακτηριστικά.

PP: διάφανο συνεξωθημένο της εταιρίας DIAXON σε πάχος 20μm και φάρδος 780mm

PET: διάφανο το οποίο έχει παραχθεί με τρετάρισμα με corona της εταιρίας SUPERFILM με πάχος 12μm και φάρδος 800mm

PE: διάφανο γραμμικής διακλάδωσης και χαμηλής πυκνότητας της εταιρίας EUROFILM σε πάχος 30μm και φάρδος 765mm

Έγινε λαμινάρισμα των παραπάνω α' υλών σε βιομηχανική λαμιναριστική μηχανή COMEXI NEXUS EVO με κόλλες πολυουρεθάνης χωρίς διαλύτη. Ο έλεγχος της πορείας του πολυμερισμού παρακολούθηθηκε με τη λήψη φασμάτων στο FT-IR, ώστε να ελεγχθεί η ύπαρξη και το μέγεθος των κορυφών των ισοκυανικών (-NCO) και των υδροξυλίων (-OH). Παράλληλα με το φάσμα του FT-IR λαμβάνονταν και μετρήσεις ισχύος λαμιναρίσματος σε Newton, ώστε να ελεγχθεί η ισχύς του παραγόμενου λαμιναρίσματος σε σχέση με την πορεία του πολυμερισμού. Συγκεκριμένα, θεωρείται ότι έχει ολοκληρωθεί ο πολυμερισμός. Ιδανικά στον πλήρη πολυμερισμό η κορυφή των ισοκυανικό θα πρέπει να εξαφανίζεται. Σε πραγματικές συνθήκες όμως θεωρείται ότι ο πολυμερισμός έχει επιτευχθεί αμφοτέρως οι κορυφές των ισοκυανικών και των

υδροξυλίων δεν εμφανίζουν περαιτέρω μείωση στα φάσματα του FT-IR. Σε πλήρη πολυμερισμό η κορυφή των υδροξυλίων (OH) τείνει να εξαφανίζεται. Το φαινόμενο όμως μπορεί να ολοκληρωθεί και σε βάθος 7 ημερών.

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο εξής:

1. Λαμιναρική μηχανή COMEXI NEXUS EVO, η οποία κάνει λαμινάρισμα διπλού υλικού χωρίς διαλύτη.
Μέγιστο φάρδος α' ύλης: 1000mm
Μέγιστη ταχύτητα: 200m/min
2. FT-IR spectrum 100, Perkin-Elmer precisely
3. Testometric, 250-2.5CT
4. DSC-60 (Differential Scanning Calorimetry), SHIMADZU

Το λαμινάρισμα των υλικών έγινε με μίγματα κολλών πολυουρεθάνης δυο συστατικών, με διαφορετικές αναλογίες υδροξυλίων ως προς τα ισοκυανικά, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές τελικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν αναλογίες -NCO και OH 100/80 και 100/40. Η παρασκευή των κολλών έγινε σε αναμίκτη προανάμιξης και μετέπειτα έγινε εφαρμογή της κόλλας στο φιλμ με χρήση της λαμιναρικής μηχανής COMEXI.

Το λαμινάρισμα των υλικών στη μηχανή COMEXI πραγματοποιήθηκε με τις παρακάτω συνθήκες.

- Ποσότητα κόλλας M.O. 1,5g/m²
- Ταχύτητα λαμινάριματος: 200m/min

ΠΙΕΣΕΙΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΤΑ ΤΟ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΟΜΕΣ

- Πιεστικός κύλινδρος κόλλας: 2bar
- Μεταφορικός κύλινδρος κόλλας: 5bar
- Πιεστικός κύλινδρος λαμινάριματος: 2bar
- Πίεση ανατύλιξης: 3bar

Η μέτρηση της ποσότητας της κόλλας έγινε για κάθε δομή ξεχωριστά, για να διασφαλιστεί και η ποσότητα της κατά τη διαδικασία λαμιναρίσματος. Ο μέσος όρος της ποσότητας της κόλλας που μετρήθηκε σε όλες τις δομές είναι $1,5\text{g/m}^2$, καθώς το φιλμ λαμιναρίστηκε με σταθερές συνθήκες. Για να διασφαλιστεί η ομοιόμορφη κατανομή της κόλλας σε όλο το εύρος του λαμιναρισμένου υλικού, έγινε μέτρηση της κόλλας σε τρία σημεία κατά μήκος του υλικού, στις άκρες και στη μέση του και λήφθηκε μέσος όρος των τριών μετρήσεων

Οι κόλλες που χρησιμοποιήθηκαν διέφεραν μεταξύ τους ως προς την αναλογία τους σε ισοκυανικά και υδροξύλια, κριτήριο που τις καθιστά κατάλληλες για διαφορετικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν η κόλλα 275/64 της εταιρίας MORCHEM, της οποίας η αναλογία ισοκυανικών/ υδροξυλίων ορίζεται 100/80 και χρησιμοποιείται για εφαρμογές αλμυρών σνακ, μπισκότων και προϊόντων ζάχαρης. Βάσει του technical data sheet του προμηθευτή ορίζεται ότι μετά από 24 ώρες οι τιμές ισχύς λαμιναρίσματος που επιτυγχάνονται είναι πολύ κοντά στις τελικές τιμές. Ο ολικός πολυμερισμός της κόλλας επιτυγχάνεται μετά από περίπου 7 ημέρες σε θερμοκρασία δωματίου. Παρόλα αυτά η επεξεργασία του ρόλου προς κοπή μπορεί να πραγματοποιηθεί περίπου 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα.

Επίσης χρησιμοποιήθηκε η κόλλα 782/375 της εταιρίας NOVACOTE της οποίας η αναλογία ισοκυανικών/ υδροξυλίων ορίζεται 100/40 και χρησιμοποιείται για εφαρμογές αλμυρών σνακ, μπισκότων, προϊόντων ζάχαρης αλλά και για κατεψυγμένων προϊόντων και προϊόντων που προορίζονται για παστερίωση. Βάσει του technical data sheet του προμηθευτή ορίζεται ότι η αντίδραση πολυμερισμού ξεκινά αμέσως μετά την ανάμειξη. Μετά από αυτό είναι δυνατή η κοπή από 24 έως 72 ώρες. Η καλύτερη χημική αντοχή επιτυγχάνεται μετά από 7 έως 10 ημέρες πολυμερισμού σε θερμοκρασία δωματίου.

Για να μπορούν να επιτευχθούν αμφοτέρως οι μετρήσεις ισχύος λαμιναρίσματος αλλά και οι μετρήσεις του FT-IR, οι δομές λαμιναρίστηκαν σε φιλμ από τις τρεταρισμένες μεριές των υλικών και από τις ατρετάριστες πλευρές. Το λαμινάρισμα από τις τρεταρισμένες πλευρές των υλικών οδηγεί σε συγκόλληση των υλικών, όποτε και λαμβάνεται ένα τελικό λαμιναρισμένο φιλμ στο οποίο θα μετρηθούν τιμές ισχύος λαμιναρίσματος σε πραγματικές συνθήκες. Με το λαμινάρισμα των φιλμ από τις ατρετάριστες πλευρές των υλικών, ο πολυμερισμός του μίγματος της κόλλας

προχωράει κανονικά χωρίς να γίνεται συγκόλληση των υλικών. Αποτέλεσμα αυτού η δυνατότητα λήψης φασμάτων του μίγματος της κόλλας στο FT-IR.

Με τη χρήση των παραπάνω α' και β' υλών λαμιναρίστηκαν οι παρακάτω συνδυασμοί δομών σε φιλμ, οι οποίοι καθ' όλη τη διάρκεια των 24ωρών μέσα στις οποίες έγιναν και οι μετρήσεις παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Οι μετρήσεις που διενεργήθηκαν στα φιλμ είναι αυτές της ισχύς λαμιναρίσματος με το Testometric, 250-2.5CT ανά τακτά χρονικά διαστήματα και παράλληλη μέτρηση της κορυφής των ισοκυανικών με το FTIR για τον έλεγχο της πορείας του πολυμερισμού.

- PP/PP με κόλλα 275/64
- PET/PE με κόλλα 275/64
- PET/PP με κόλλα 275/64
- PP/PE με κόλλα 275/64
- PP/PP με κόλλα 782/375
- PET/PE με κόλλα 782/375
- PET/PP με κόλλα 782/375
- PP/PE με κόλλα 782/375

Τα φάσματα του FTIR έγιναν πάνω στον πολυεστέρα και στο πολυπροπυλένιο αναλόγως με τις δομές και της συνάφειας τους με την κόλλα. Σε ατρετάριστα υλικά η κόλλα παραμένει στο υλικό με την μεγαλύτερη συνάφεια, εφόσον δεν μπορεί να επιτευχθεί συγκόλληση των υλικών. Η κόλλες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία έχουν μεγαλύτερη συνάφεια με το πολυπροπυλένιο και τον πολυεστέρα. Με αυτόν τον τρόπο κατά το ντελαμινάρισμα των υλικών ήταν εύκολο να προσδιοριστεί οπτικά σε πιο υλικό παραμένει η κόλλα και αντίστοιχα γίνεται η λήψη του φάσματος. Όσον αφορά τα φάσματα λαμβάνεται υπόψη η κορυφή που εμφανίζεται στα 2278cm^{-1} , καθώς είναι το εύρος που δονούνται η ομάδα των ισοκυανικών της κόλλας. Ως πειραματικά αποτελέσματα λήφθηκαν το μέγεθος των κορυφών σε μονάδες απορρόφησης, καθώς βάσει του user's manual σε τιμές απορρόφησης είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα. Με την πρόοδο του πολυμερισμού αναμένεται και η μείωση του ύψους της κορυφής των ισοκυανικών.

Η μέτρηση της ισχύος λαμιναρίσματος γίνεται σύμφωνα με την ASTM F904-98 και πραγματοποιείται εφόσον είναι εφικτός ο διαχωρισμός των φιλμ (ντελαμινάρισμα) που απαρτίζουν το τελικό προϊόν. Οι μετρήσεις διενεργήθηκαν στο όργανο Testometric, 250-2.5CT με την παρακάτω διαδικασία:

Μηδενίζεται η τιμή της δύναμης που αναγράφεται στην οθόνη. Κόβεται στενόμακρη λωρίδα δείγματος υλικού, φάρδους 15mm, και τοποθετείται στις σιαγόνες με τρόπο ώστε κάθε ένα από τα δύο φύλλα του υλικού να κρατείται από μια σιαγόνα, χωρίς να τανύζει και να σχηματίζει ορθή γωνία με το μη ντελαμιναρμένο υλικό. Με επιλογή έναρξης μέτρησης, οι σιαγόνες απομακρύνονται και μετρείται η δύναμη που απαιτείται για το ντελαμινάρισμα του υλικού. Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της ισχύος λαμιναρίσματος ενός λαμιναρισμένου υλικού είναι οι εξής:

- Πλάτος λωρίδας λαμιναρισμένου υλικού : 15mm
- Αρχική απόσταση μεταξύ των σιαγόνων: 50mm
- Ταχύτητα εφελκυσμού δείγματος : 200mm/min

Η αποδεκτή τιμή ισχύος λαμιναρίσματος κάθε δομής είναι ανάλογη με την εφαρμογή της και αναγράφεται στις αντίστοιχες τεχνικές προδιαγραφές των δομών.

Επιπλέον έγινε έρευνα της επίπτωσης της αύξησης της θερμοκρασίας στον πολυμερισμό των κολλών ως μίγματα στο DSC -60 (Differential Scanning Calorimetry), SHIMADZU. Το μίγμα κόλλας υποβαλλόταν σε ακραίες θερμοκρασίες για μικρό χρονικό διάστημα. Δείγμα υγρής κόλλας από αμφότερες τις κόλλες 275-64 & 782/375, τοποθετήθηκε στη θήκη του οργάνου αμέσως μετά την ανάμιξή της κόλλας με τον καταλύτη. Η θερμοκρασία του DSC ρυθμίστηκε στους 20°C, 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C & 100°C. Από τη στιγμή που το όργανο έπιανε τη συγκεκριμένη θερμοκρασία ξεκινούσε η μέτρηση των 20 λεπτών.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

3.1.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΜΩΝ ΠΟΥ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕ ΚΟΛΛΑ 275/64

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της απορρόφησης και της ισχύος λαμιναρίσματος σε σχέση με τον χρόνο για τις δομές PP/PP, PET/PP, PET/PE και PP/PE που λαμιναρίστηκαν με κόλλα 275/64. Χρωματισμένα εμφανίζονται τα ζεύγη τιμών στα οποία εμφανίζεται η μέγιστη τιμή της ισχύος λαμιναρίσματος σε συνδυασμό με την μικρότερη απορρόφηση της ομάδας των ισοκυανικών στο FT-IR.

Πίνακας 15. Αποτελέσματα για τις δομές PP/PP, PET/PP, PET/PE και PP/PE, οι οποίες λαμιναρίστηκαν με κόλλα 275/64, με ποσότητα 1,6g/m² και ταχύτητα λαμιναρίσματος 200m/min. Η προδιαγραφή ισχύος της κάθε δομής είναι 2N/15mm.

ΔΟΜΗ	ΚΟΛΛΑ	ΧΡΟΝΟΣ (HOURS)	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	ΙΣΧΥΣ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ (N/15mm)	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΙΣΧΥΟΣ (N/15mm)	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΚΟΛΛΑΣ (g/m ²)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ m/min
pp/pp	275/64	0	0,0000	0,01	2	1,6	200
pp/pp	275/64	1	0,1579	0,205	2	1,6	200
pp/pp	275/64	2	0,1218	0,989	2	1,6	200
pp/pp	275/64	3	0,1361	1,354	2	1,6	200
pp/pp	275/64	4	0,1718	6	2	1,6	200
pp/pp	275/64	5	0,1678	6	2	1,6	200
pp/pp	275/64	9	0,1449	6	2	1,6	200
pp/pp	275/64	15	0,1192	6	2	1,6	200
pp/pp	275/64	24	0,1099	6	2	1,6	200
pet/pe	275/64	0	0,2070	0,009	2	1,6	200
pet/pe	275/64	1	0,1505	0,023	2	1,6	200
pet/pe	275/64	2	0,1387	0,069	2	1,6	200
pet/pe	275/64	3	0,2087	0,255	2	1,6	200
pet/pe	275/64	4	0,2006	1,018	2	1,6	200
pet/pe	275/64	5	0,1837	1,587	2	1,6	200
pet/pe	275/64	6	0,1764	1,903	2	1,6	200
pet/pe	275/64	11	0,1768	6	2	1,6	200
pet/pe	275/64	15	0,1351	6	2	1,6	200
pet/pe	275/64	24	0,1472	6	2	1,6	200
pp/pp	275/64	0	0,2346	0	2	1,6	200
pet/pp	275/64	1	0,1740	0,052	2	1,6	200
pet/pp	275/64	2	0,1327	0,157	2	1,6	200
pet/pp	275/64	3	0,1451	0,473	2	1,6	200
pet/pp	275/64	4	0,1358	1,057	2	1,6	200
pet/pp	275/64	5	0,1203	1,578	2	1,6	200
pet/pp	275/64	6	0,1357	1,815	2	1,6	200
pp/pe	275/64	0	0,0000	0,011	2	1,6	200
pp/pe	275/64	1	0,1394	0,068	2	1,6	200
pp/pe	275/64	2	0,1378	0,234	2	1,6	200
pp/pe	275/64	3	0,1503	0,971	2	1,6	200
pp/pe	275/64	4	0,1778	1,706	2	1,6	200
pp/pe	275/64	5	0,1813	2,009	2	1,6	200
pp/pe	275/64	9	0,1427	6	2	1,6	200
pp/pe	275/64	15	0,101	6	2	1,6	200
pp/pe	275/64	24	0,1230	6	2	1,6	200

Υποσημείωση 1: Όταν η τιμή της ισχύος λαμιναρίσματος είναι 6N/15mm, αναφέρεται στην μέγιστη ισχύ λαμιναρίσματος που αποκτά το υλικό κατά τον πολυμερισμό της κόλλας. Όταν φτάνει σε αυτήν την κατάσταση το πολυστρωματικό υλικό δεν ντελαμινάρει αλλά σχίζεται απευθείας.

Υποσημείωση 2: Οι χρωματικές επισημάνσεις συμβολίζουν τους ιδανικούς συνδυασμούς. Με μπλε χρώμα εμφανίζεται ο συνδυασμός κατά τον οποίο το υλικό δίνει τη μέγιστη ισχύ λαμιναρίσματος και με κόκκινο χρώμα είναι ο συνδυασμός της μέγιστης ισχύος λαμιναρίσματος σε συνδυασμό με την μικρότερη κορυφή ισοκυανικών.



Σχήμα 12: Γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων του Πίνακα 15. Γραφική απεικόνιση του χρόνου σε σχέση με την απορρόφηση για τις δομές pp/pp, pp/re, pet/re και pet/pp και που παράχθηκαν με την κολλά 275/64



Σχήμα 13: γραφική απεικόνιση της απορρόφησης σε σχέση με την ισχύ λαμιναρίσματος για τις δομές pp/pp, pet/pp, pet/re και pp/re που παραχθήκαν με την κολλά 275/64.



Σχήμα 14: γραφική απεικόνιση του χρόνου σε σχέση με την ισχύ λαμιναρίσματος για τις δομές pp/pp, pet/pe, pet/pp & pp/pe που λαμιναρίστηκαν με την κόλλα 275/64

Από τα παραπάνω γραφήματα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα για κάθε δομή.

Για τη δομή PP/PP με κόλλα 275/64, η μικρότερη απορρόφηση σε σχέση με τη μέγιστη ισχύ λαμιναρίσματος λαμβάνεται στις 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα του υλικού. Η ισχύς λαμιναρίσματος φτάνει τα μέγιστα επίπεδα των 6N/15mm, ήδη από την 4^η ώρα μετά το λαμινάρισμα. Άρα από την 4^η ώρα μετά το λαμινάρισμα, το υλικό έχει συγκολληθεί επαρκώς καθιστώντας δυνατή την περαιτέρω επεξεργασία του όπως κοπή ή και σακουλοποίηση. Η κορυφή των ισοκυανικών συνεχίζει να μειώνεται μέχρι και τις 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα. Σε αυτήν την περίπτωση δεν διασφαλίζεται η μικρότερη δυνατή μετανάστευση ουσιών στο προϊόν που θα συσκευαστεί. Κατά συνέπεια σε βιομηχανική κλίμακα το υλικό μπορεί να μεταποιηθεί περαιτέρω μετά το λαμινάρισμα αλλά δεν θα πρέπει να συσκευαστεί το προϊόν μέχρι να περάσουν τουλάχιστον 24 ώρες.

Για τη δομή PET/PE με κόλλα 275/64, η μικρότερη απορρόφηση σε σχέση με τη μέγιστη ισχύ λαμιναρίσματος λαμβάνεται στις 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα του υλικού. Η ισχύς λαμιναρίσματος φτάνει τα μέγιστα επίπεδα των 6N/15mm, ήδη από την 11^η ώρα μετά το λαμινάρισμα. Άρα από την 11^η ώρα μετά το λαμινάρισμα, το υλικό έχει συγκολληθεί επαρκώς καθιστώντας δυνατή την περαιτέρω επεξεργασία του όπως κοπή ή/και σακουλοποίηση.

Για τη δομή PET/PP με κόλλα 275/64, λαμβάνεται η τελευταία μέτρηση της απορρόφησης καθώς και της ισχύς λαμιναρίσματος την 6^η ώρα μετά το λαμινάρισμα. Το ενδιαφέρον σε αυτή τη δομή παρουσιάζεται στο γεγονός ότι πλέον των 6 ωρών μετά

το λαμινάρισμα δεν ήταν δυνατός ο διαχωρισμός του φιλμ στα δυο επιμέρους υλικά ακόμα και από τις ατρετάριστες πλευρές τους ώστε να ληφθεί φάσμα απορρόφησης. Το φαινόμενο αυτό πιθανόν να οφείλεται στο γεγονός ότι ο PET εκ φύσης του ως υλικό έχει τρετάρισμα >44 dynes. Κατά συνέπεια έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί δεσμούς με την κόλλα λαμιναρίσματος ανάλογα και με την συνάφεια που έχει με αυτήν. Η κόλλα 275/64 έχει μεγαλύτερο ποσοστό υδροξυλίων κατά τα οποία κάνουν σύνδεση με τον PET και επιτυγχάνεται η συγκόλληση των υλικών. Ομοίως και το PP είχε λαμιναριστεί από την ατρετάριστη πλευρά, αλλά πιθανόν λόγω «φρέσκου» υλικού ήταν ενεργό ένα υποτυπώδες τρετάρισμα που το υλικό έχει εκ φύσεως, που οδήγησε στην συγκόλληση των υλικών. Κατά την διεξαγωγή του πειράματος έγινε έλεγχος με τρεταριστικά διαλύματα. Επιβεβαιώθηκε ότι το υλικό είχε λαμιναριστεί από τις ατρετάριστες πλευρές, ώστε να επιτευχθεί ο έλεγχος του στο FT-IR..

Για τη δομή PP/PE με κόλλα 275/64, η μικρότερη απορρόφηση σε σχέση με τη μέγιστη ισχύ λαμιναρίσματος λαμβάνεται στις 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα του υλικού. Η ισχύς λαμιναρίσματος φτάνει τα μέγιστα επίπεδα των 6N/15mm, ήδη από την 9^η ώρα μετά το λαμινάρισμα. Άρα από την 4^η ώρα μετά το λαμινάρισμα, το υλικό έχει συγκολληθεί επαρκώς καθιστώντας δυνατή την περαιτέρω επεξεργασία του όπως κοπή ή/ και σακουλοποίηση.

Παρακάτω παρατίθενται τα συνδυαστικά φάσματα σε συγκεκριμένες ώρες μετά το λαμινάρισμα, όλων των δομών που λαμιναρίστηκαν με την κόλλα 275/64. Το φάσμα της 1^{ης} ώρας αφορά την έναρξη του λαμιναρίσματος και λαμβάνεται η αρχική κορυφή των ισοκυανικών. Στην 9^η ή 11^η ώρα μετά το λαμινάρισμα μετριέται στο διπλό υλικό η μέγιστη τιμή λαμιναρίσματος, όπου κατά συνέπεια έχει επιτευχθεί συγκόλληση των υλικών- τα υλικά δεν μπορούν να διαχωριστούν. Η μέτρηση στην 24^η ώρα λαμβάνεται για να ελεγχθεί η περαιτέρω μείωση της κορυφής των ισοκυανικών, όπου βάσει του technical data sheet της κόλλας μπορεί πλέον το λαμιναρισμένο υλικό να επεξεργαστεί.

Κατ' εξαίρεση για την δομή PET-PP, έγιναν μετρήσεις ισχύος λαμιναρίσματος και φασμάτων μέχρι και την 6^η ώρα μετά το λαμινάρισμα. Πέραν αυτού του χρονικού ορίου δεν έγινε εφικτός ο διαχωρισμός των υλικών, όταν αυτά λαμιναρίστηκαν από τις ατρετάριστες πλευρές τους. Γεγονός το οποίο μπορεί να οφείλεται στην φύση της κόλλας, στην δομή των υλικών και την σύνδεση που κάνουν μεταξύ τους. Όλα τα φάσματα των δομών που λαμιναρίστηκαν με κόλλα 275/64 παρατίθενται στο

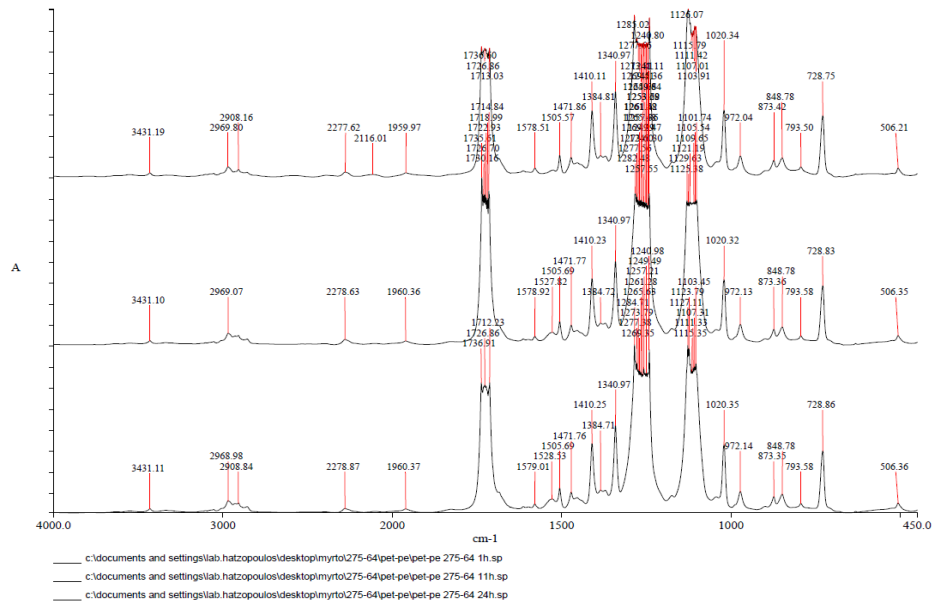
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι λήφθηκαν φάσματα και των α' υλών που χρησιμοποιήθηκαν και τα οποία παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ.

Η λήψη των FT-IR φασμάτων έγινε βάσει της διαπερατότητας του υλικού (transmittance), όμως έγινε μετατροπή των φασμάτων σε φάσματα απορρόφησης (absorbance), για την ορθότερη ποσοτικοποίηση των κορυφών.

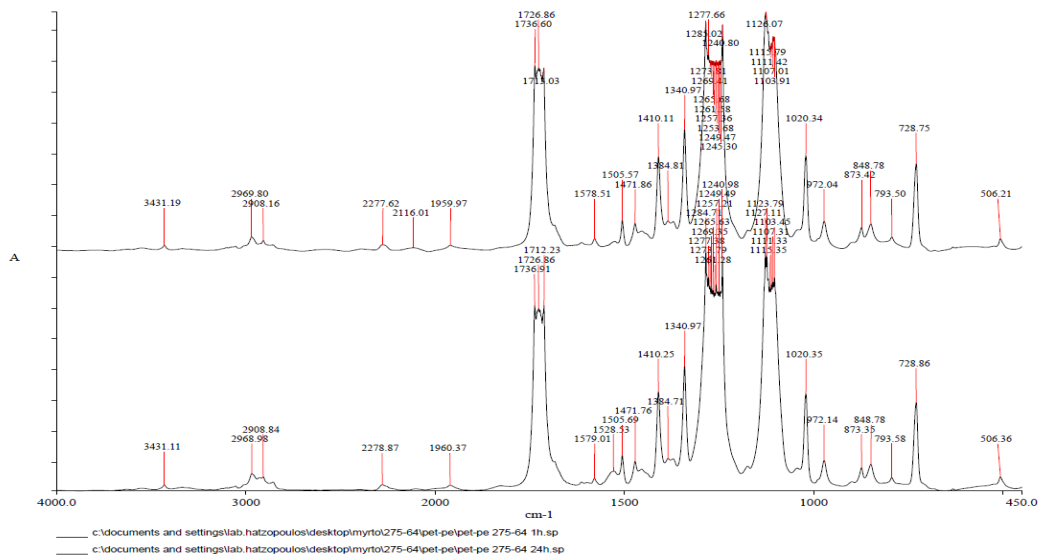
Βάσει του SPECTRUM SOFTWARE USER'S GUIDE, του PerkinElmer Inc. FT-IR, p.53, όταν γίνεται μέτρηση της διαπερατότητας ενός υλικού μειώνεται ο θόρυβος του οργάνου και γίνονται ευκολότερα αντιληπτές οι μεταβολές της συγκέντρωσης του προς μελέτη υλικού. Παρόλα αυτά οι μονάδες της απορρόφησης δίνουν καλύτερη δυνατότητα ποσοτικοποίησης των αποτελεσμάτων. Κατά συνέπεια, έγινε η λήψη των φασμάτων διαπερατότητας των υλικών και στη συνέχεια έγινε η μετατροπή τους σε φάσματα απορρόφησης. Ως αποτελέσματα λήφθηκε το υψηλότερο σημείο της κορυφής των ισοκυανικών των φασμάτων απορρόφησης της κάθε μέτρησης.

3.1.2 ΦΑΣΜΑΤΑ FT-IR ΔΟΜΩΝ ΜΕ ΚΟΛΛΑ 275/64

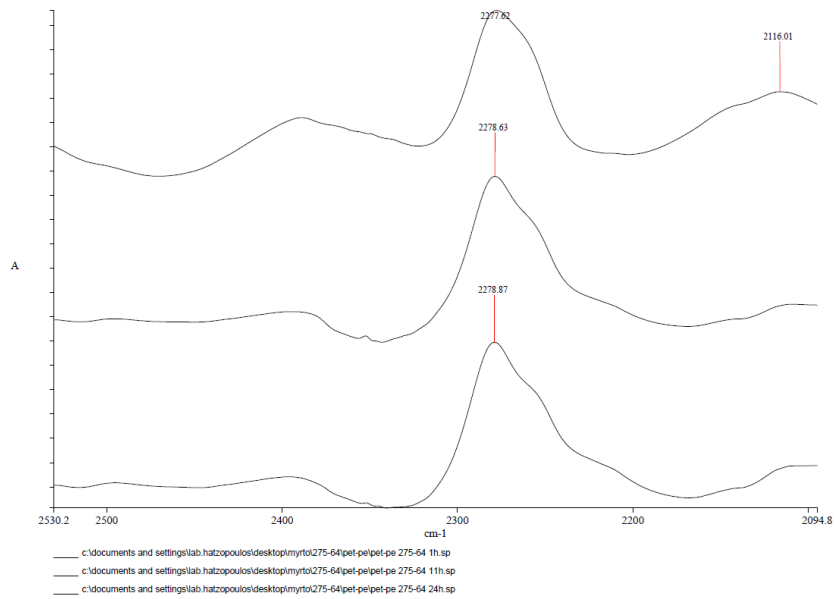
ΔΟΜΗ PET-PE (275/64)



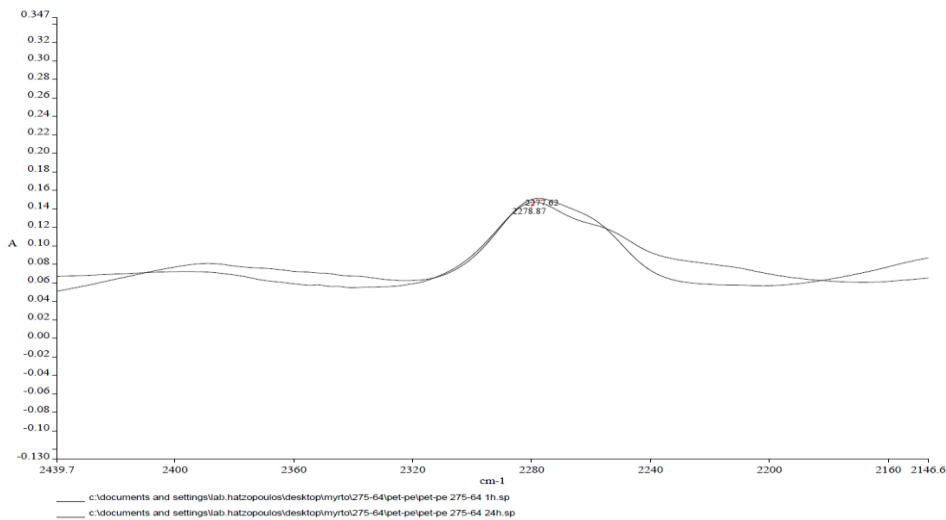
Σχήμα 15: Συνολικό φάσμα FT-IR, δομής PET-PE που λαμιναρίστηκε με κόλλα 275/64 στη 1^η (1ο διάγραμμα από τον άξονα x), 11^η (μεσαίο διάγραμμα) και 24^η ώρα (1^ο διάγραμμα από πάνω).



Σχήμα 16: Συνολικό φάσμα FT-IR, δομής PET-PE που λαμιναρίστηκε με κόλλα 275/64 στη 1^η (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (2ο διάγραμμα από τον άξονα x).

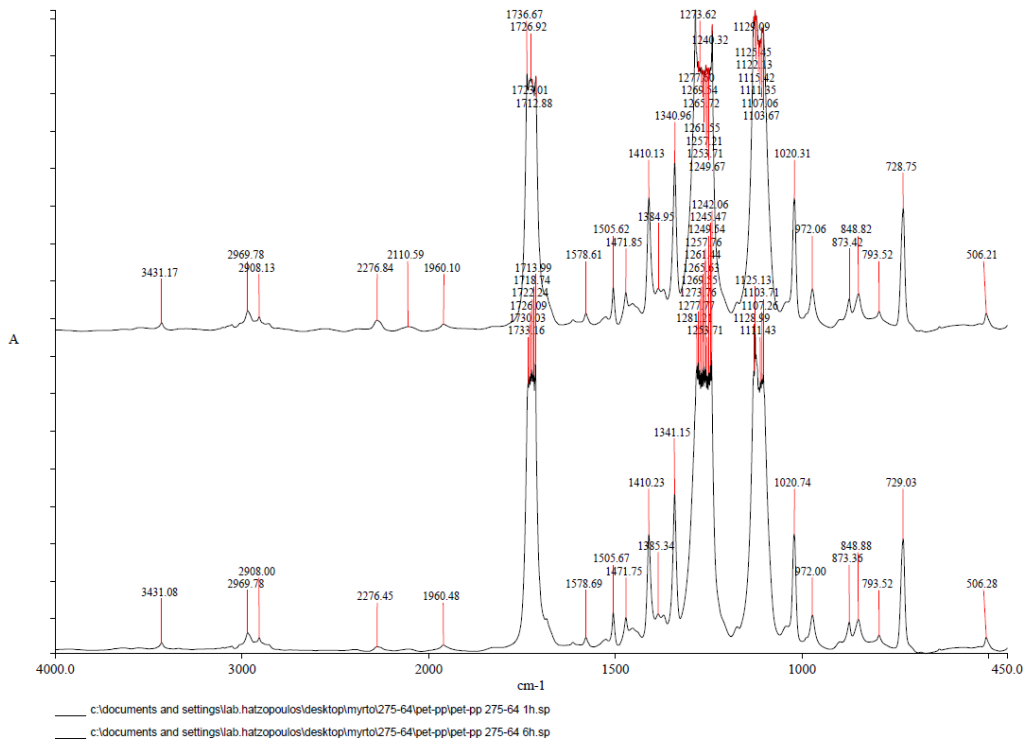


Σχήμα 17: Φάσματα FT-IR για την κορυφή των –NCO δομής PET-PE που λαμιναρίστηκε με κόλλα 275/64 στη 1^η (1ο διάγραμμα από τον άξονα x), 11^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (3ο διάγραμμα από τον άξονα x).

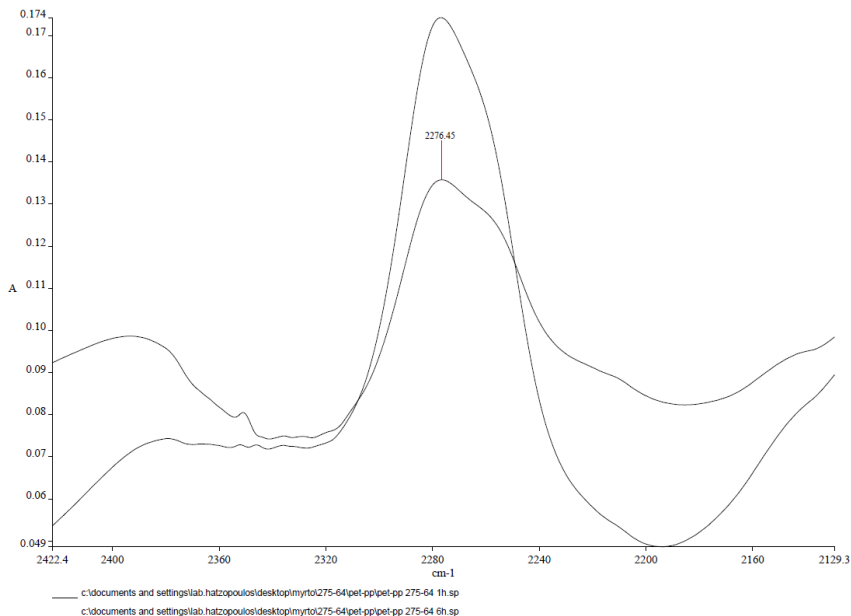


Σχήμα 18: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των –NCO δομής PET-PE που λαμιναρίστηκε με κόλλα 275/64 στη 1^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x).

ΔΟΜΗ PET-PP (275/64)

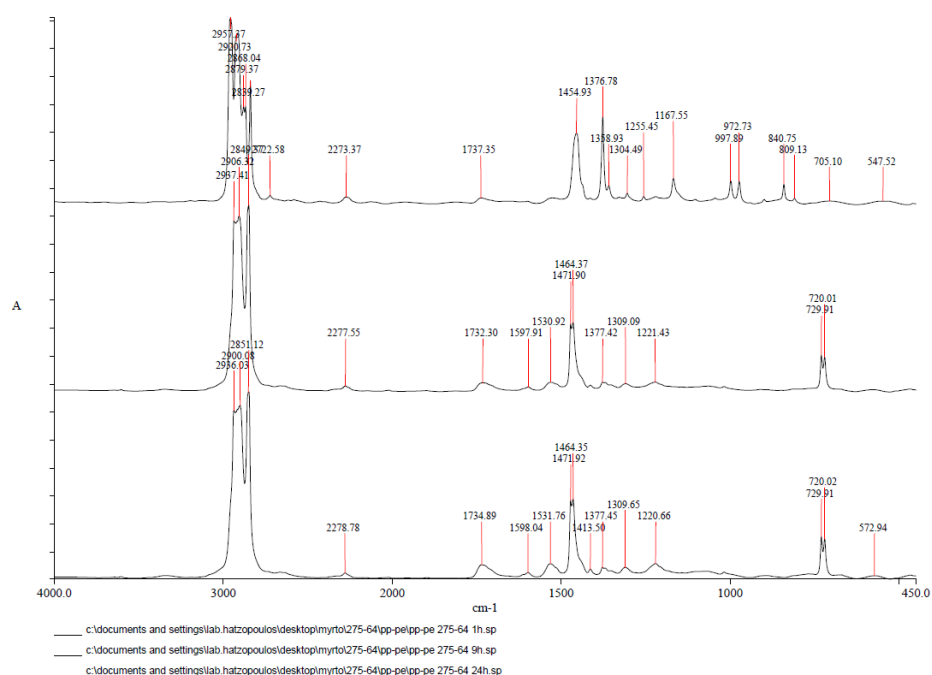


Σχήμα 19: Συνολικό φάσμα FT-IR, δομής PET-PP που λαμιναρίστηκε με κόλλα 275/64 στη 1^η (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 6^η ώρα (2ο διάγραμμα από τον άξονα x).

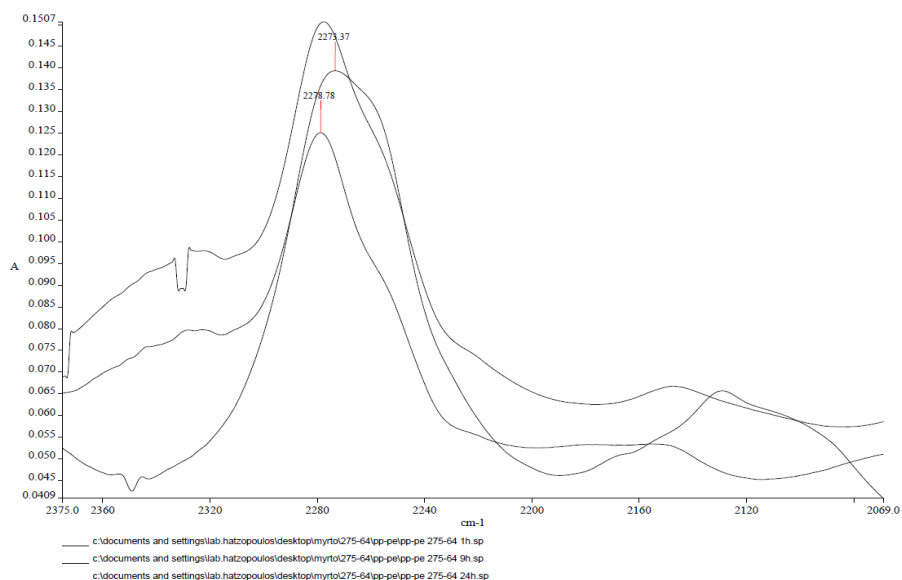


Σχήμα 20: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των -NCO, δομής PET-PP που λαμιναρίστηκε με κόλλα 275/64 στη 1^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 6^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x)

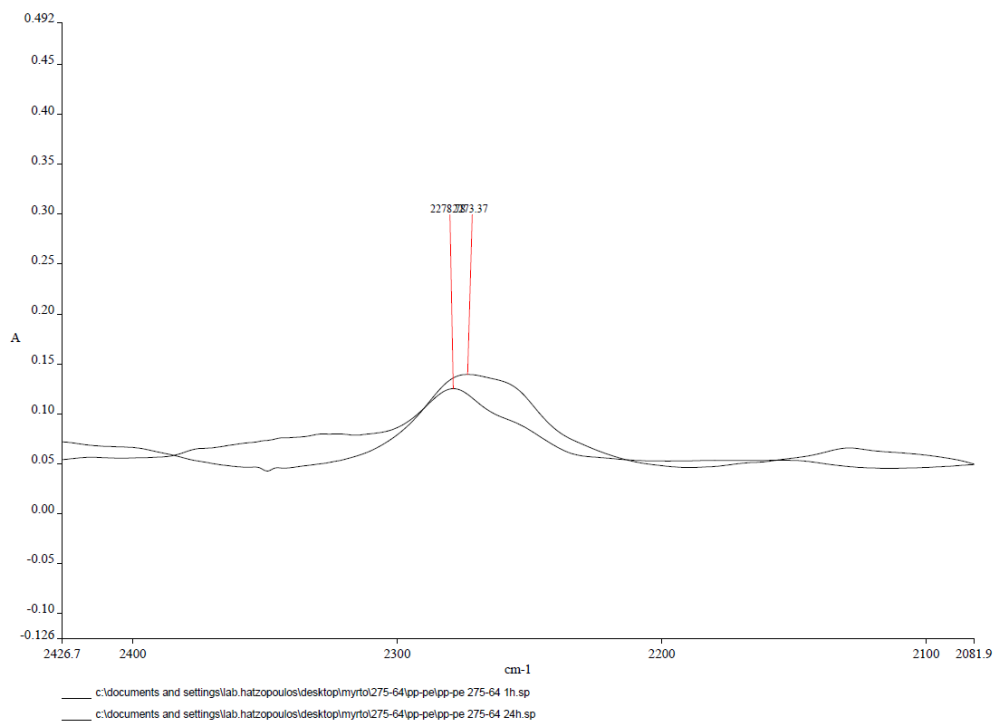
ΔΟΜΗ PP-PE (275/64)



Σχήμα 21: Συνολικό φάσμα FT-IR, δομής PP-PE που λαμιναρίστηκε με κόλλα 275/64 στη 1^η (1ο διάγραμμα από τον άξονα x), 9^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (3ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα

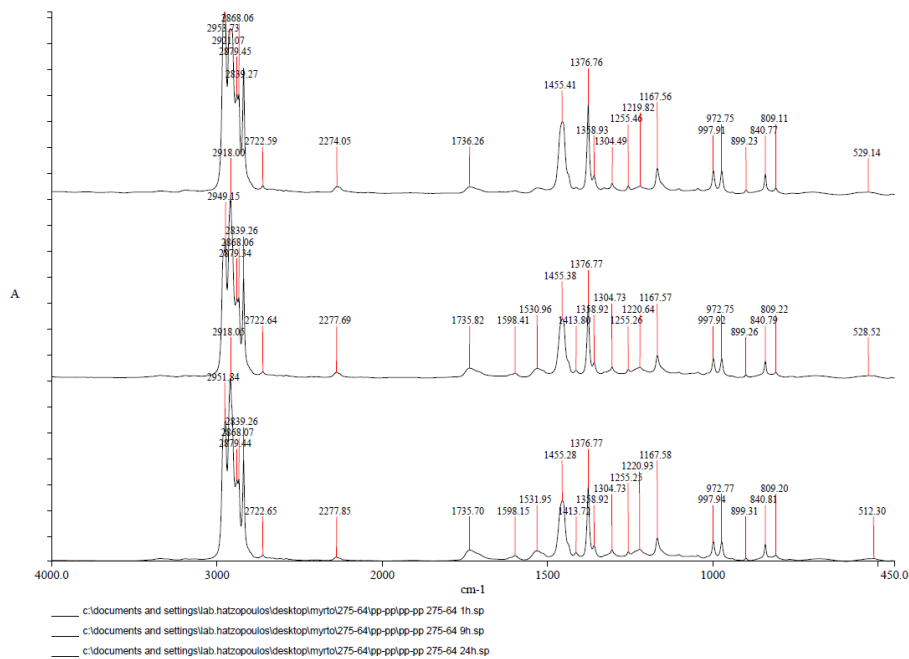


Σχήμα 22: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των –NCO, δομής PP-PE που λαμιναρίστηκε με κόλλα 275/64 στη 1^η (3ο διάγραμμα από τον άξονα x), 9^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) ώρα μετά το λαμινάρισμα

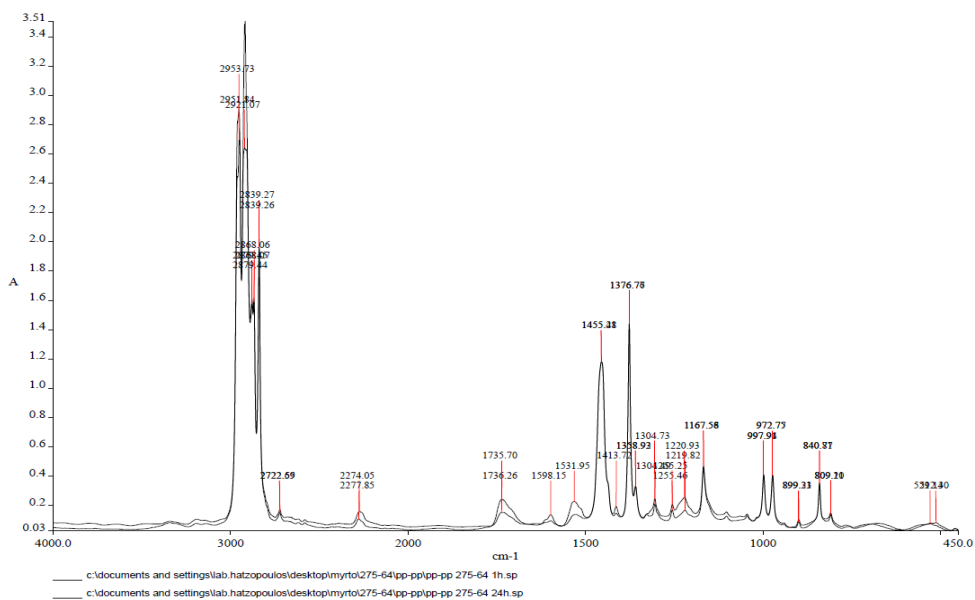


Σχήμα 23: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των $-NCO$, δομής PP-PE που λαμιναρίστηκε με κόλλα 275/64 στη 1^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα

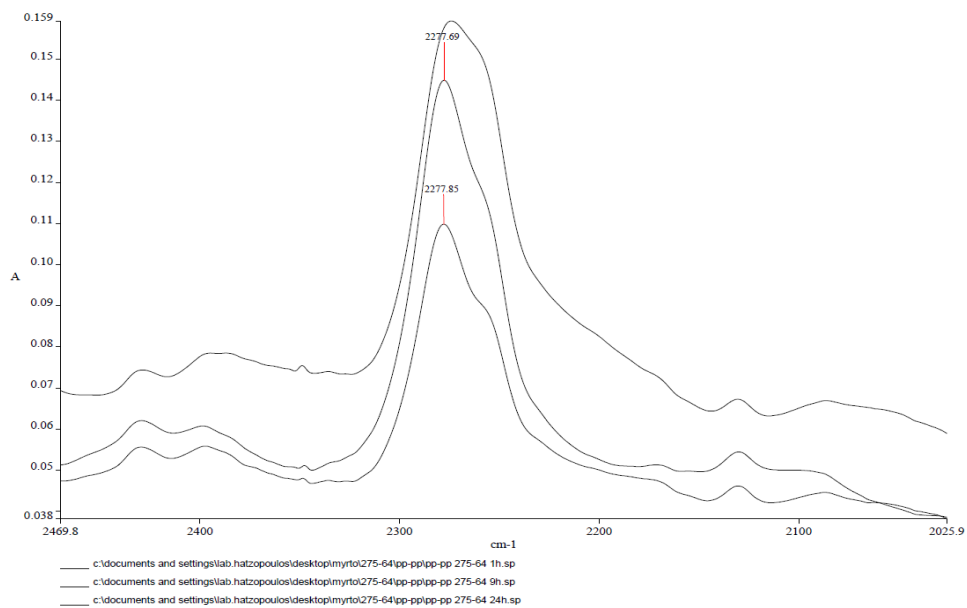
ΔΟΜΗ PP-PP (275/64)



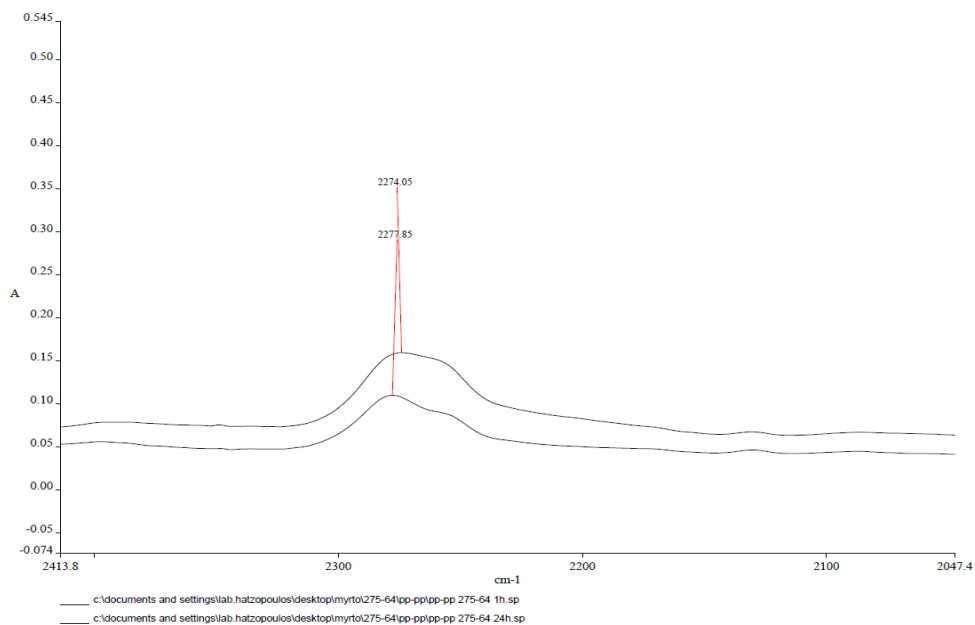
Σχήμα 24: Συνολικό φάσμα FT-IR, δομής PP-PP που λαμιναρίστηκε με κόλλα 275/64 στη 1^η (3ο διάγραμμα από τον άξονα x), 9^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα



Σχήμα 25: Συνολικό φάσμα FT-IR, δομής PP-PP που λαμιναρίστηκε με κόλλα 275/64 στη 1^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα



Σχήμα 26: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των $-NCO$ για τη δομή PP-PP που λαминаρίστηκε με κόλλα 275/64 στη 1^η (3ο διάγραμμα από τον άξονα x), 9^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα



Σχήμα 27: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των $-NCO$ για τη δομή PP-PP που λαминаρίστηκε με κόλλα 275/64 στη 1^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα

3.1.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΙΣΧΥΟΣ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΛΛΑ 275/64.

Σημείωση: το κάθε τεστ κάτω από κάθε διάγραμμα ισχύος λαμιναρίσματος TESTOMETRIC απαντά στις ώρες μετρήσεις της κάθε δομής και εμφανίζεται στον πίνακα των αποτελεσμάτων πάνω από τα διαγράμματα.

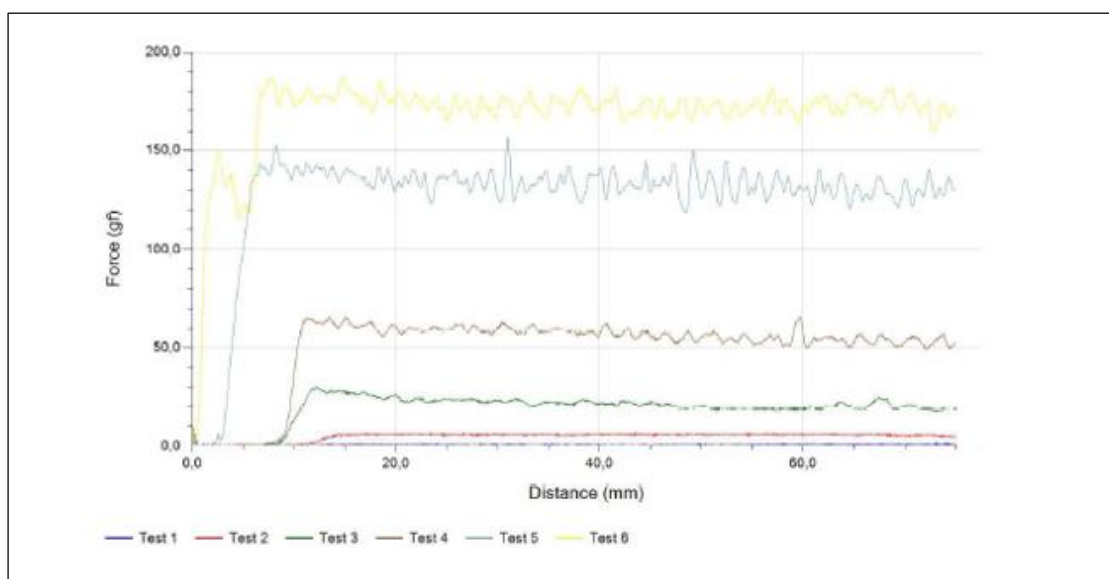


R&D Department

Operator Name : MYRTO
 Sample Identification : 146480
 Customer : DOKIMES DIPLOMATIKHS
 Product :
 Materials : PP/PP
 Adhesive : 275 0h

Machine No. : X250-2119
 Test Name : Bond Strength (ASTM F 904/03)
 Test Type : Peel
 Test Date : 3/11/2021 12:59 μμ
 Test Speed : 200.000 mm/min
 Width : 15.000 mm

Test No	Roll number	Lamination	Nominal		
			Lower Limit	Upper Limit	Lower Limit
			Lowest Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Average Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Force @ Peak / Width (Selected Region) (N/15mm)
1	PP/PP	275/64	-0,002	0,009	0,018
2	1h		0,049	0,06	0,07
3	2h		0,175	0,212	0,259
4	3h		0,503	0,564	0,622
5	4h		1,163	1,309	1,538
6	5h		1,617	1,692	1,781
Min			-0,002	0,009	0,018
Mean			0,584	0,641	0,715
Max			1,617	1,692	1,781
S.D.			0,664	0,704	0,766
C. of V.			113,692	109,829	107,164
L.C.L.			-0,113	-0,098	-0,089
U.C.L.			1,281	1,38	1,518



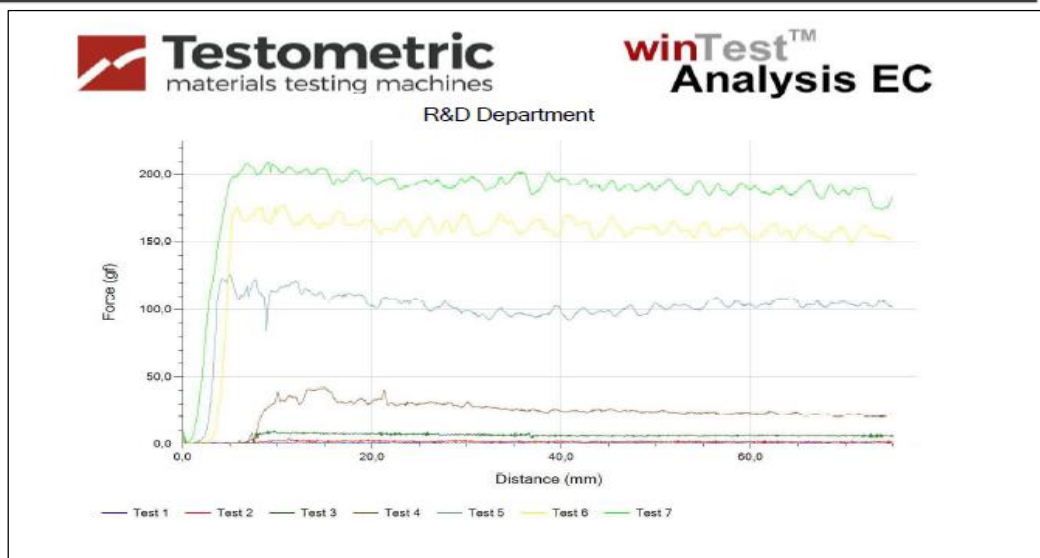
Σχήμα 28. Διαγράμματα των μετρήσεων ισχύος για τη δομή PP/PP, με κόλλα 275/64

R&D Department

Operator Name : MYRTO
Sample Identification : 146480
Customer : DOKIMES DIPLOMATIKHS
Product :
Materials : PET/PE
Adhesive : 275 0h

Machine No. : X250-2119
Test Name : Bond Strength (ASTM F 904/03)
Test Type : Peel
Test Date : 3/11/2021 12:16 μμ
Test Speed : 200.000 mm/min
Width : 15.000 mm

Test No	Roll number	Lamination	Nominal			Upper Limit	Lower Limit
			Lowest Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Average Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Force @ Peak / Width (Selected Region) (N/15mm)		
1	PET/PE	275/64 0h	-0,001	0,009	0,022		
2	1h		-0,001	0,023	0,047		
3	2h		0,0	0,069	0,102		
4	3h		-0,034	0,255	0,411		
5	4h		0,825	1,018	1,199		
6	5h		1,478	1,587	1,742		
7	6h		1,785	1,903	2,052		
Min			-0,034	0,009	0,022		
Mean			0,579	0,695	0,796		
Max			1,785	1,903	2,052		
S.D.			0,786	0,803	0,859		
C. of V.			135,775	115,572	107,86		
L.C.L.			-0,148	-0,048	0,002		
U.C.L.			1,306	1,437	1,591		



Page 1 of 2

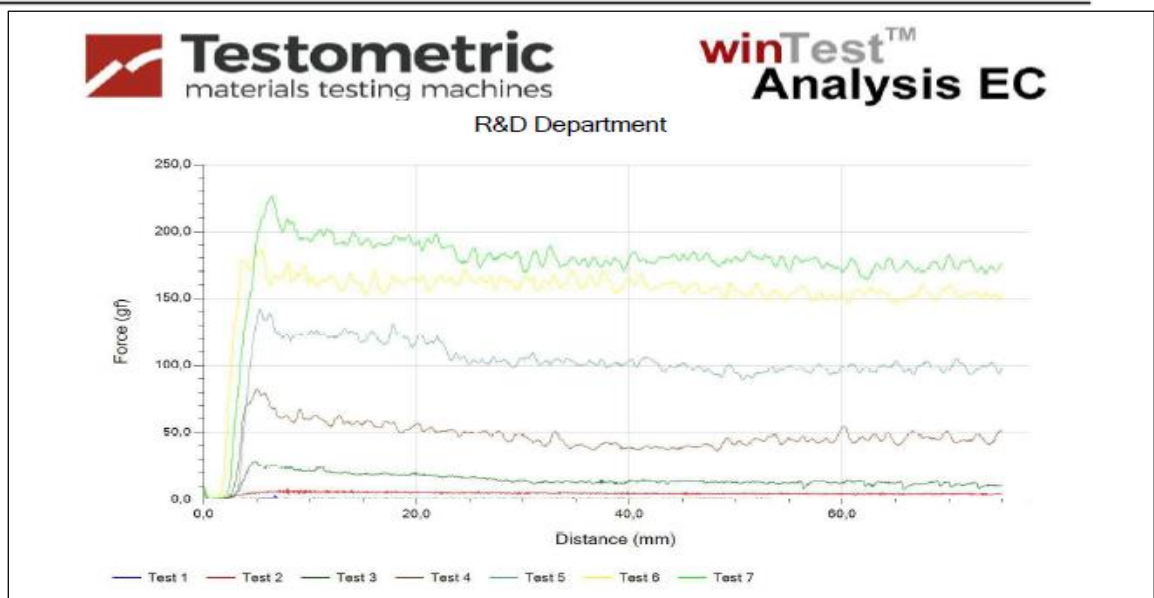
Σχήμα 29. Διαγράμματα των μετρήσεων ισχύος για τη δομή PET/PE με κόλλα 275/64

R&D Department

Operator Name : MYRTO
Sample Identification : 146480
Customer : DOKIMES DIPLOMATIKHS
Product :
Materials : PET/PP
Adhesive : 275 0h

Machine No. : X250-2119
Test Name : Bond Strength (ASTM F 904/03)
Test Type : Peel
Test Date : 3/11/2021 12:05 μμ
Test Speed : 200,000 mm/min
Width : 15,000 mm

Test No	Roll number	Lamination	Nominal		
			Lower Limit	Upper Limit	
			Lowest Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Average Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Force @ Peak / Width (Selected Region) (N/15mm)
1					
2	1h		0,038	0,052	0,079
3	2h		0,086	0,157	0,249
4	3h		0,352	0,473	0,783
5	4h		0,877	1,057	1,362
6	5h		1,456	1,578	1,799
7	6h		1,655	1,815	2,217
Min			0,038	0,052	0,079
Mean			0,744	0,855	1,082
Max			1,655	1,815	2,217
S.D.			0,699	0,743	0,857
C. of V.			93,888	86,925	79,234
L.C.L.			0,011	0,075	0,182
U.C.L.			1,477	1,635	1,981



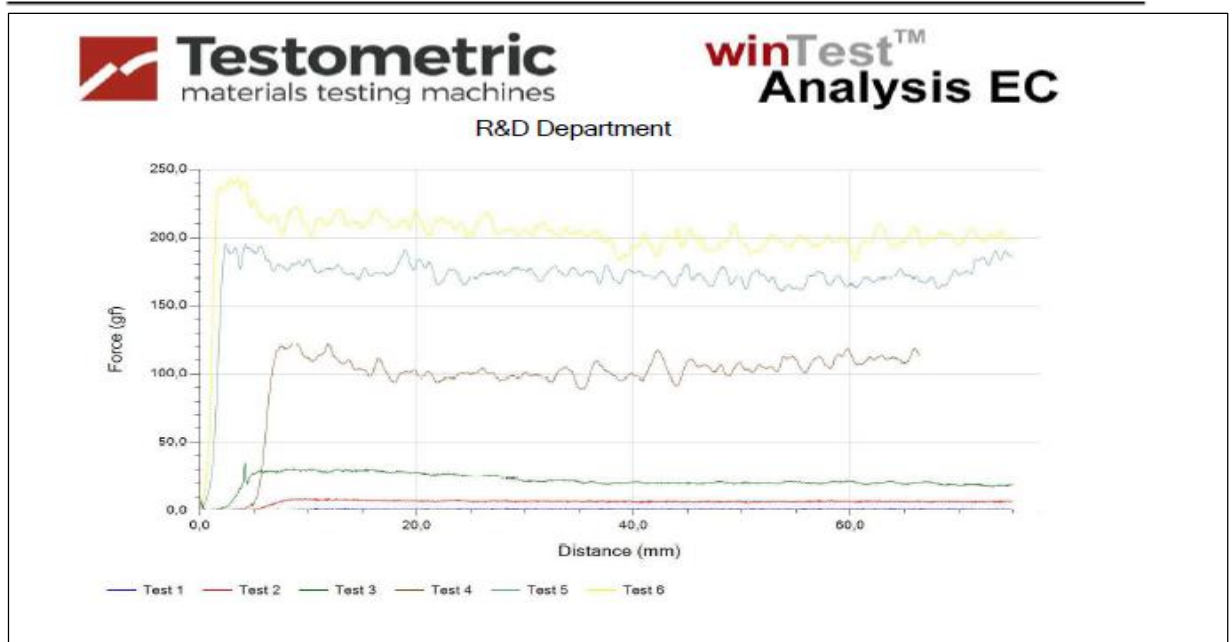
Σχήμα 30. Διαγράμματα των μετρήσεων ισχύος για τη δομή PET/PP με κόλλα 275/64

R&D Department

Operator Name : MYRTO
Sample Identification : 146480
Customer : DOKIMES DIPLOMATIKHS
Product :
Materials : PP/PE
Adhesive : 275 0h

Machine No. : X250-2119
Test Name : Bond Strength (ASTM F 904/03)
Test Type : Peel
Test Date : 3/11/2021 12:35 μμ
Test Speed : 200,000 mm/min
Width : 15,000 mm

Test No	Roll number	Lamination	Nominal		Upper Limit	Lower Limit
			Lowest Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Average Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Force @ Peak / Width (Selected Region) (N/15mm)	
1	PP/PE	275/64 0h	-0,005	0,011	0,022	
2	1h		0,001	0,068	0,089	
3	2h		0,155	0,234	0,341	
4	3h		0,01	0,971	1,203	
5	4h		1,571	1,706	1,903	
6	5h		1,795	2,009	2,368	
Min			-0,005	0,011	0,022	
Mean			0,588	0,833	0,988	
Max			1,795	2,009	2,368	
S.D.			0,854	0,87	0,995	
C. of V.			145,156	104,433	100,725	
L.C.L.			-0,308	-0,08	-0,056	
U.C.L.			1,484	1,746	2,032	



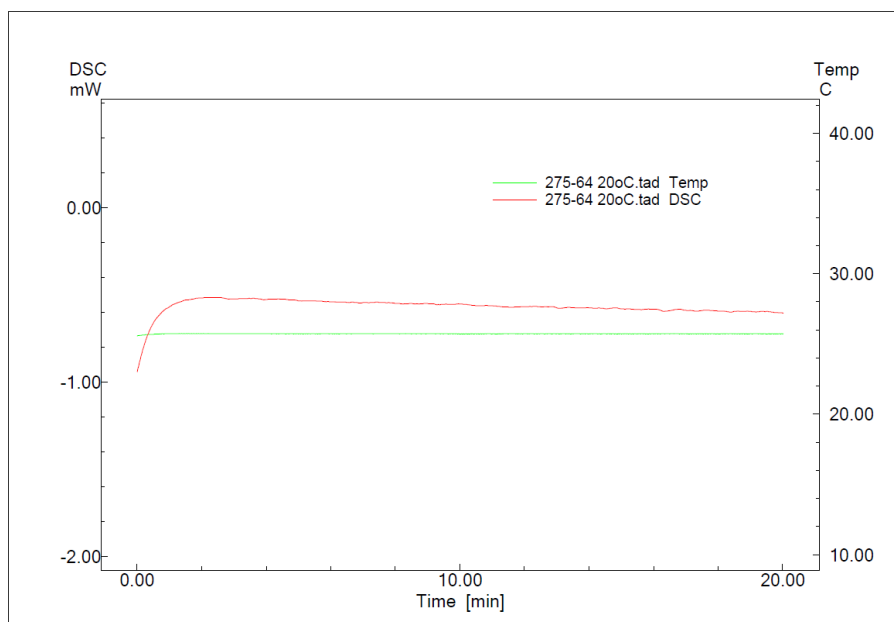
Page 1 of 2

Σχήμα 31. Διαγράμματα των μετρήσεων ισχύος για τη δομή PP/PE με κόλλα 275/64

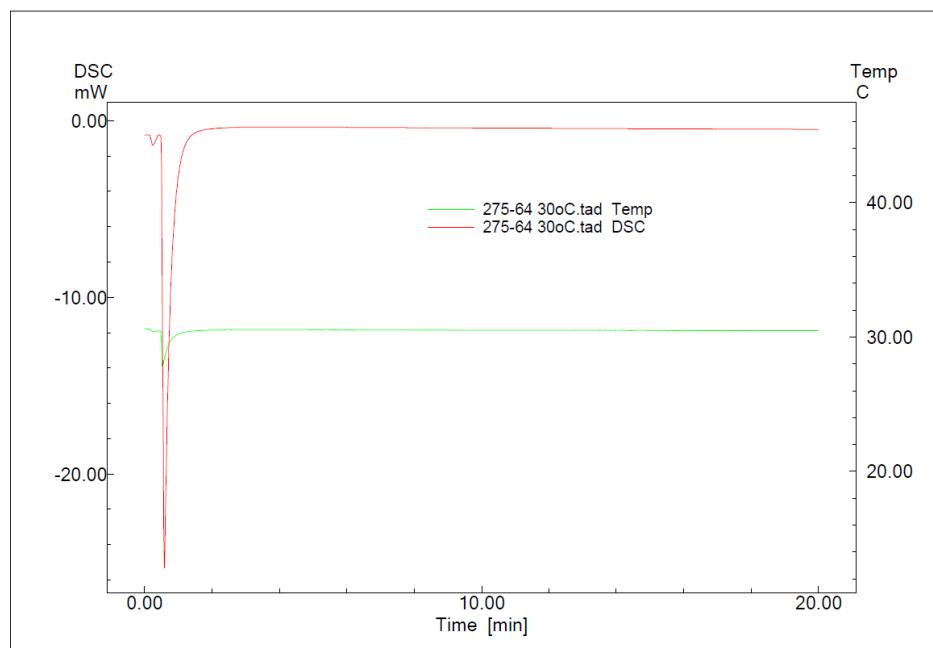
3.1.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ DSC ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΛΛΑ 275/64.

Πραγματοποιήθηκε έρευνα σχετικά με την επίδραση της θερμοκρασίας στην πορεία του πολυμερισμού σε επιταχυνόμενο χρονικό πλαίσιο των 20 λεπτών.

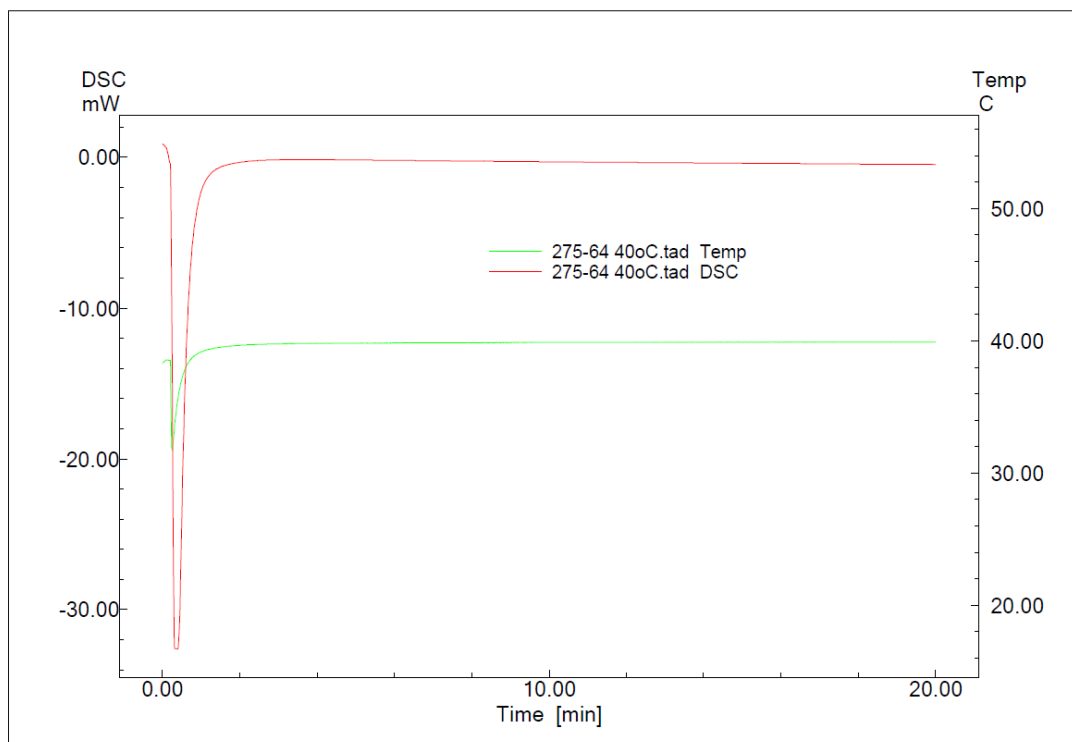
Παρακάτω παρατίθενται τα θερμογραφήματα των μετρήσεων.



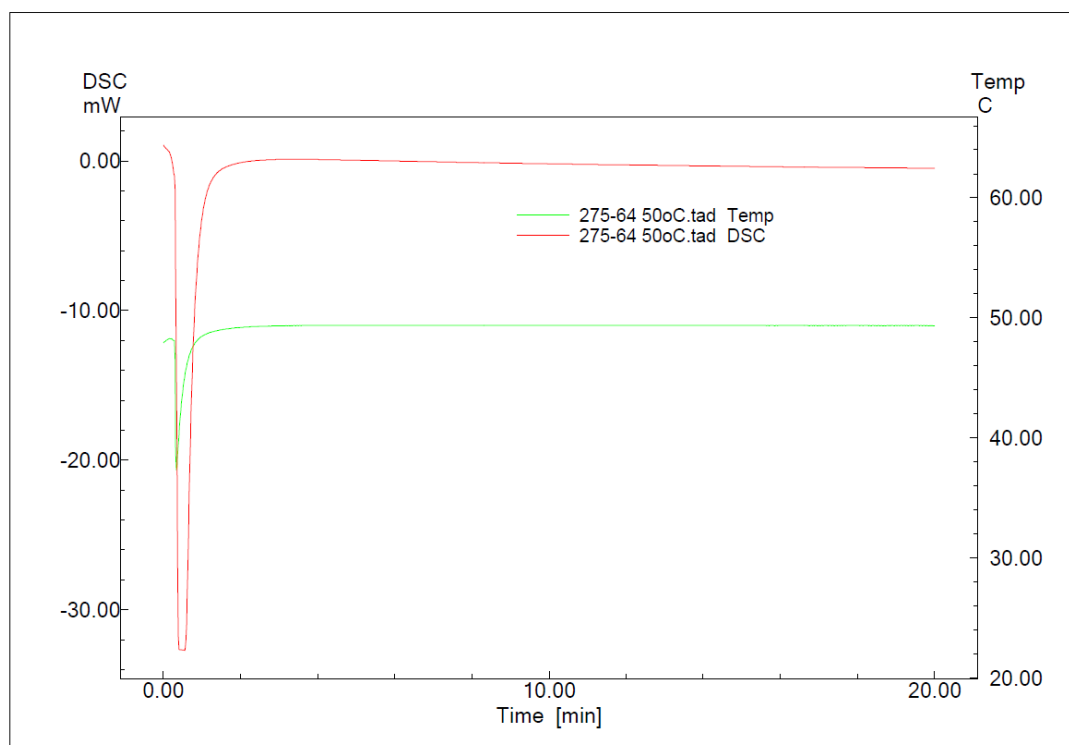
Σχήμα 32. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 275/64 στους 20 °C.



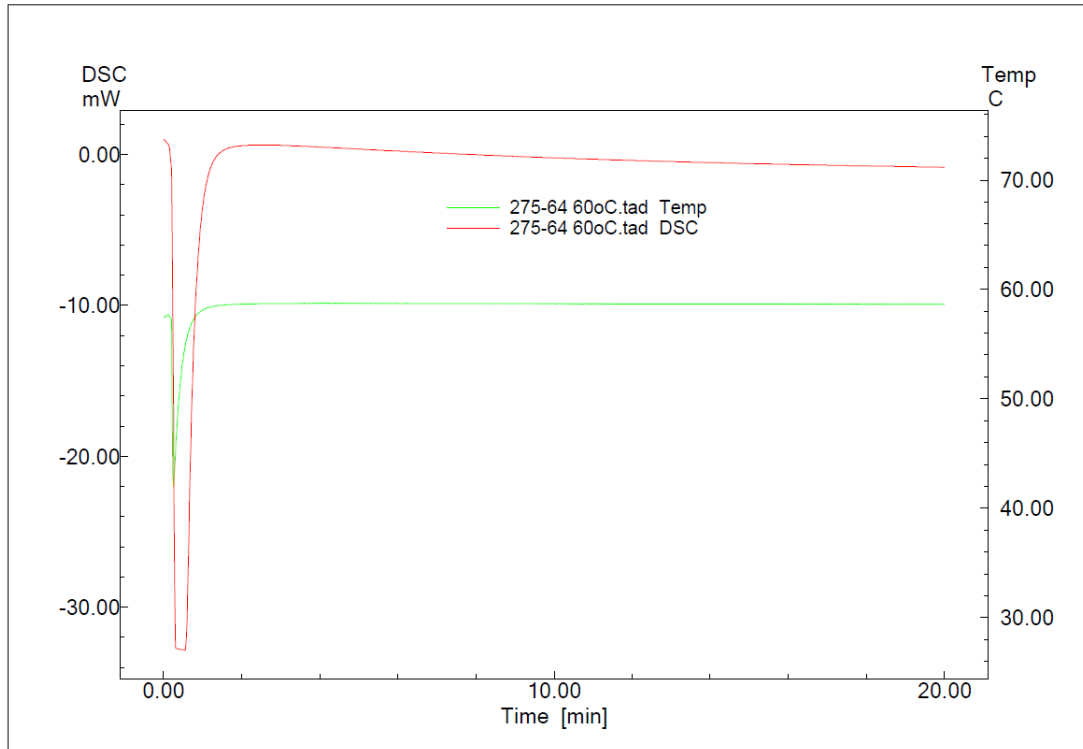
Σχήμα 33. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 275/64 στους 30 °C.



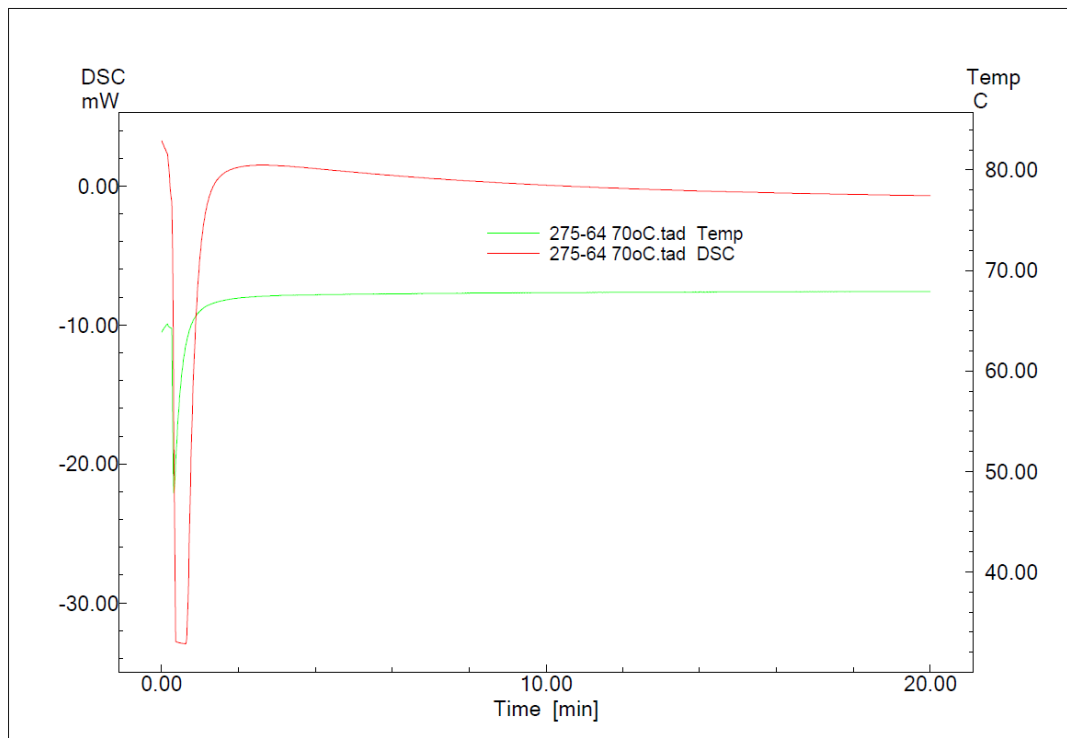
Σχήμα 34. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 275/64 στους 40 °C.



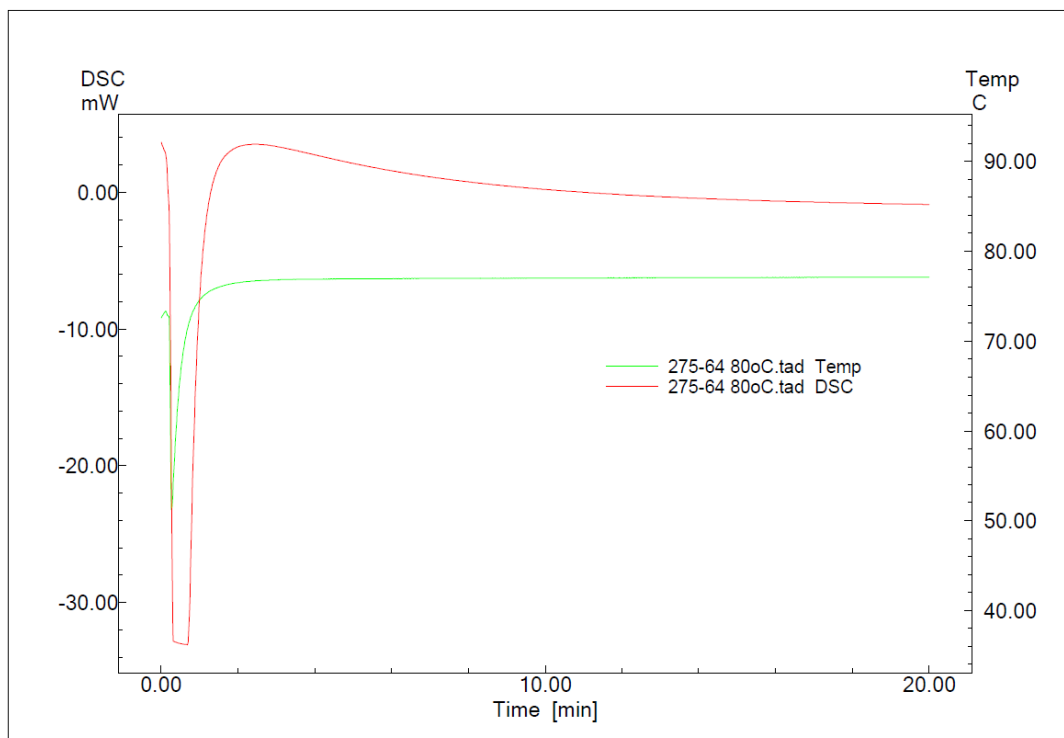
Σχήμα 35. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 275/64 στους 50 °C.



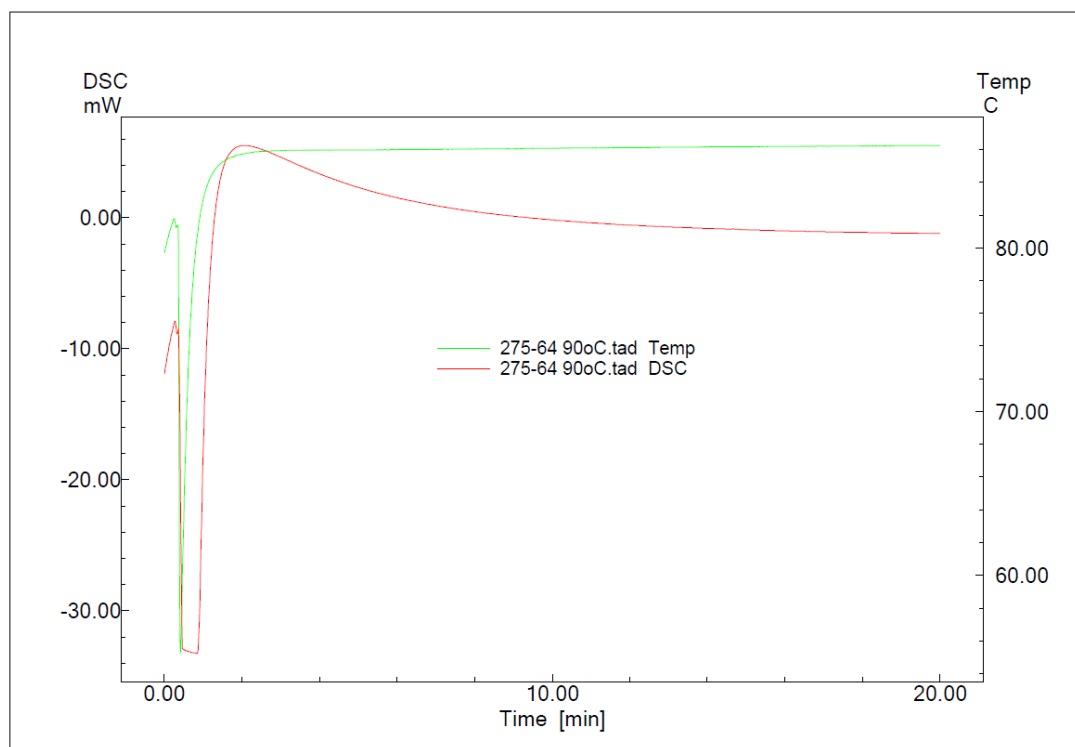
Σχήμα 36. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 275/64 στους 60 °C.



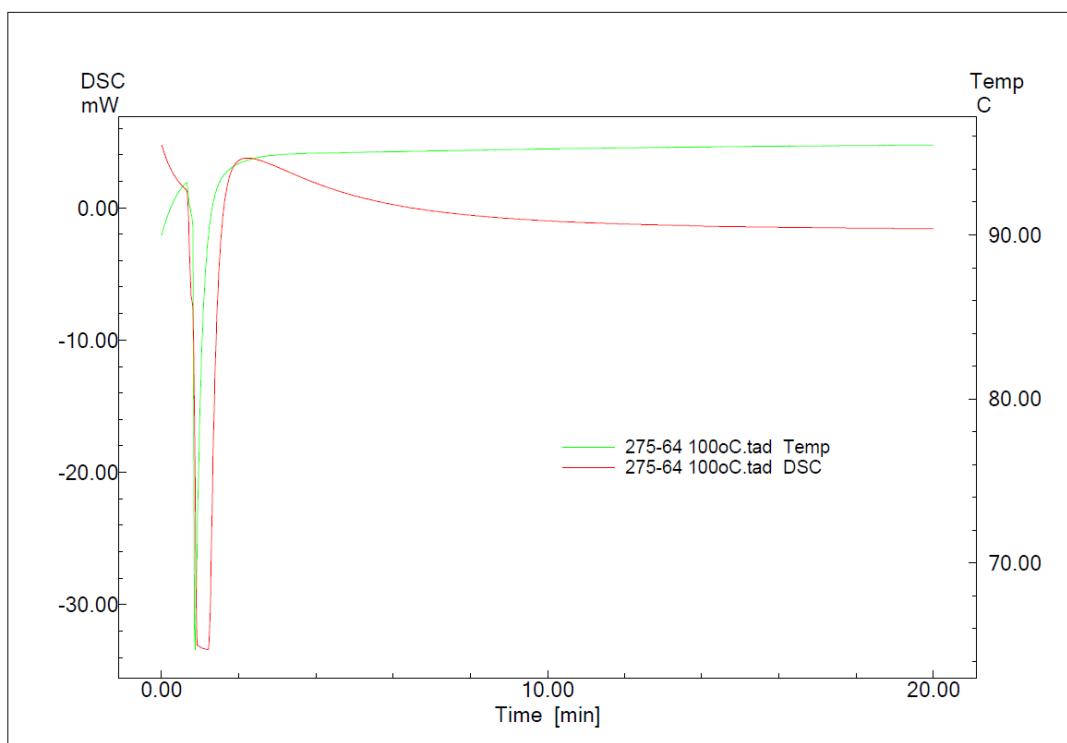
Σχήμα 37. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 275/64 στους 70 °C.



Σχήμα 38. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 275/64 στους 80 °C.



Σχήμα 39. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 275/64 στους 90 °C.



Σχήμα 40. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 275/64 στους 100 °C.

Τα θερμογραφήματα του DSC για τα δείγματα κόλλας 275/64, δεν παρουσιάζουν καμία μεταβολή ή μετάπτωση φάσης του υλικού. Η βύθιση της θερμοκρασίας αποτελεί ψευδοφαινόμενο που προκύπτει από το άνοιγμα του του καπακιού του δειγματοφορέα για την εισαγωγή του δείγματος της κόλλας. Παρατηρήθηκε μια εξέλιξη της μετάπτωσης η οποία ξεκινά από τους 80°C και συνεχίζεται στους 90 °C και στους 100 °C. Δεν είναι έντονη ούτε αποτελεί ένδειξη της μετάπτωσης φάσης της κόλλας, απλά υπάρχει σαν φαινόμενο. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι κόλλες όταν προορίζονται για λαμινάρισμα, δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες καθώς έχουν επίπτωση στην ποιότητα των υλικών λαμινάριματος και της ποιότητας της τελικής λαμιναρισμένης δομής.

3.2.1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΜΩΝ ΠΟΥ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕ ΚΟΛΛΑ 782/375

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της απορρόφησης και της ισχύς λαμιναρίσματος σε σχέση με τον χρόνο για τις δομές PP/PP, PET/PP, PET/PE και PP/PE που λαμιναρίστηκαν με κόλλα 782/375. Χρωματισμένα εμφανίζονται τα ζεύγη τιμών στα οποία έχουμε την μέγιστη τιμή της ισχύς λαμιναρίσματος σε συνδυασμό με την μικρότερη απορρόφηση της ομάδας των ισοκυανικών στο FT-IR.

Πίνακας 16. Αποτελέσματα για τις δομές PP/PP, PET/PP, PET/PE και PP/PE, οι οποίες λαμιναρίστηκαν με κόλλα 782/375. με ποσότητα 1,6g/m² και ταχύτητα λαμιναρίσματος 200m/min. Η προδιαγραφή ισχύος της κάθε δομής είναι 2N/15mm.

ΔΟΜΗ	ΚΟΛΛΑ	ΧΡΟΝΟΣ (HOURS)	ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ	ΙΣΧΥΣ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ (N/15mm)	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΙΣΧΥΟΣ (N/15mm)	ΠΟΣΟΣΤΗΤΑ ΚΟΛΛΑΣ (g/m ²)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ 200 (m/min)
pp/pp	782/375	0	0,1612	0,01	2	1,6	200
pp/pp	782/375	2	0,1519	0,205	2	1,6	200
pp/pp	782/375	3	0,1818	0,989	2	1,6	200
pp/pp	782/375	4	0,1081	1,354	2	1,6	200
pp/pp	782/375	8	0,1177	6	2	1,6	200
pp/pp	782/375	11	0,0919	6	2	1,6	200
pp/pp	782/375	18	0,0910	6	2	1,6	200
pp/pp	782/375	24	0,1096	6	2	1,6	200
pp/pe	782/375	0	0,0000	0,04	2	1,6	200
pp/pe	782/375	1	0,1983	0,086	2	1,6	200
pp/pe	782/375	2	0,1804	0,672	2	1,6	200
pp/pe	782/375	3	0,1825	1,084	2	1,6	200
pp/pe	782/375	4	0,1854	1,744	2	1,6	200
pp/pe	782/375	8	0,1312	6	2	1,6	200
pp/pe	782/375	11	0,1165	6	2	1,6	200
pp/pe	782/375	18	0,0962	6	2	1,6	200
pp/pe	782/375	24	0,0930	6	2	1,6	200
pet/pe	782/375	0	0,2036	0,01	2	1,6	200
pet/pe	782/375	1	0,1722	0,057	2	1,6	200
pet/pe	782/375	2	0,2034	0,419	2	1,6	200
pet/pe	782/375	3	0,1904	0,562	2	1,6	200
pet/pe	782/375	4	0,1750	1,133	2	1,6	200
pet/pe	782/375	5	0,1678	1,589	2	1,6	200
pet/pe	782/375	9	0,1434	6	2	1,6	200
pet/pe	782/375	12	0,1402	6	2	1,6	200
pet/pe	782/375	19	0,0986	6	2	1,6	200
pet/pe	782/375	24	0,0965	6	2	1,6	200
pet/pp	782/375	0	0,1862	0,017	2	1,6	200
pet/pp	782/375	1	0,1932	0,083	2	1,6	200
pet/pp	782/375	2	0,2168	0,297	2	1,6	200
pet/pp	782/375	3	0,1972	0,764	2	1,6	200
pet/pp	782/375	4	0,1753	1,248	2	1,6	200
pet/pp	782/375	8	0,1381	6	2	1,6	200
pet/pp	782/375	11	0,1244	6	2	1,6	200
pet/pp	782/375	18	0,1118	6	2	1,6	200
pet/pp	782/375	24	0,1075	6	2	1,6	200

Υποσημείωση 1: Όταν η τιμή της ισχύς λαμιναρίσματος είναι 6N/15mm, αναφέρεται στην μέγιστη ισχύ λαμιναρίσματος που αποκτά το υλικό κατά τον πολυμερισμό της κόλλας. Όταν φτάνει σε αυτήν την κατάσταση το πολυστρωματικό υλικό δεν ντελαμινάρεται, αλλά σχίζεται απευθείας.

Υποσημείωση 2: Οι χρωματικές επισημάνσεις συμβολίζουν τους ιδανικούς συνδυασμούς. Με μπλε χρώμα εμφανίζεται ο συνδυασμός κατά τον οποίο το υλικό δίνει τη μέγιστη ισχύ λαμιναρίσματος και με κόκκινο χρώμα είναι ο συνδυασμός της μέγιστης ισχύς λαμιναρίσματος σε συνδυασμό με την μικρότερη κορυφή ισοκυανικών

Από τον Πίνακα 16 παρατηρούμε ότι για την κόλλα 782/375 η μέγιστη τιμή ισχύς λαμιναρίσματος σε συνδυασμό με την μικρότερη κορυφή του φάσματος των ισοκυανικών προκύπτει στις 24 ώρες για τις δομές PET-PP, PET-PE και PP-PE, ενώ για τη δομή PP-PP είναι στις 18 ώρες.

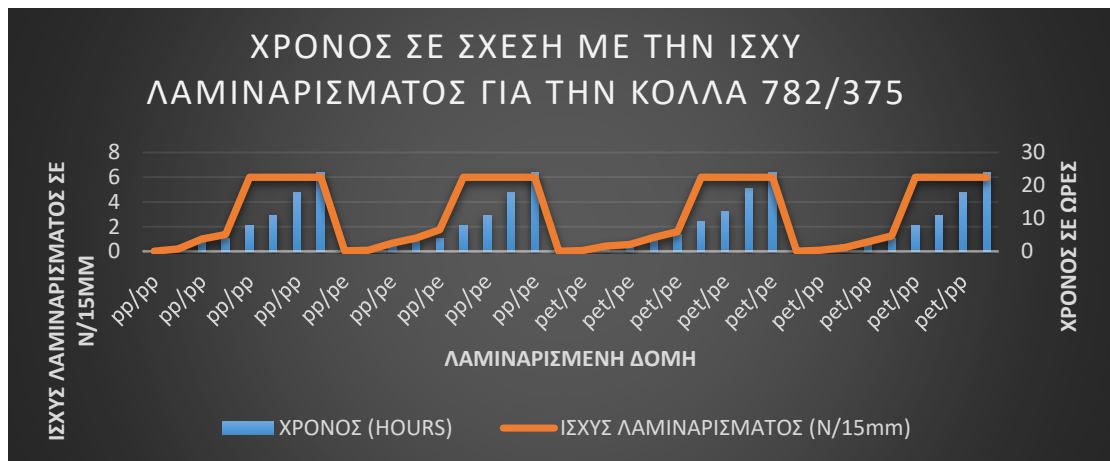
Παρακάτω παρατίθενται τα συνδυαστικά φάσματα σε συγκεκριμένες ώρες μετά το λαμινάρισμα, όλων των δομών που λαμιναρίστηκαν με την κόλλα 275/64. Το φάσμα της 1^{ης} ώρας αφορά την έναρξη του λαμιναρίσματος και λαμβάνεται η αρχική κορυφή των ισοκυανικών. Στην 9^η ή 11^η ώρα μετά το λαμινάρισμα μετριέται στο διπλό υλικό η μέγιστη τιμή λαμιναρίσματος, όπου κατά συνέπεια έχει επιτευχθεί συγκόλληση των υλικών- τα υλικά δεν μπορούν να διαχωριστούν. Η μέτρηση στην 24^η ώρα λαμβάνεται για να ελεγχθεί η περαιτέρω μείωση της κορυφής των ισοκυανικών, όπου βάσει του technical data sheet της κόλλας μπορεί πλέον το λαμιναρισμένο υλικό να επεξεργαστεί περαιτέρω.



Σχήμα 41: Γραφική απεικόνιση του χρόνου σε σχέση με την απορρόφηση για τις δομές PP/PP, PP/PE, PET/PE και PET/PP και που παράχθηκαν με την κόλλα 782/375.



Σχήμα 42: Γραφική απεικόνιση της απορρόφησης σε σχέση με την ισχύ λαμιναρίσματος για τις δομές PP/PP, PET/PP, PET/PE και PP/PE που παραχθήκαν με την κόλλα 782/375.



Σχήμα 43: Γραφική απεικόνιση του χρόνου σε σχέση με την ισχύ λαμιναρίσματος για τις δομές PP/PP, PP/PE, PET/PE και PET/PP και που παράχθηκαν με την κόλλα 782/375.

Παραπάνω παρατίθενται τα συνδυαστικά φάσματα σε συγκεκριμένες ώρες μετά το λαμινάρισμα, όλων των δομών που λαμιναρίστηκαν με την κόλλα 782/375. Το φάσμα της 1^{ης} ώρας αφορά την έναρξη του λαμιναρίσματος και λαμβάνεται η αρχική κορυφή των ισοκυανικών. Στην 11^η ή 12^η ώρα μετά το λαμινάρισμα μετριέται στο διπλό υλικό η μέγιστη τιμή λαμιναρίσματος, όπου κατά συνέπεια έχει επιτευχθεί συγκόλληση των υλικών- τα υλικά δεν μπορούν να διαχωριστούν. Η μέτρηση στην 24^η ώρα λαμβάνεται για να ελεγχθεί η περαιτέρω μείωση της κορυφής των ισοκυανικών, όπου βάσει του technical data sheet της κόλλας μπορεί πλέον το λαμιναρισμένο υλικό να επεξεργαστεί. Όλα τα φάσματα των δομών που λαμιναρίστηκαν με κόλλα 782/375 παρατίθενται στο

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι λήφθηκαν φάσματα και των α' υλών που χρησιμοποιήθηκαν και τα οποία παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.

Η λήψη των FT-IR φασμάτων έγινε βάσει της διαπερατότητας του υλικού (transmittance), όμως έγινε μετατροπή των φασμάτων σε φάσματα απορρόφησης (absorbance), για την ορθότερη ποσοτικοποίηση των κορυφών.

Βάσει του SPECTRUM SOFTWARE USER'S GUIDE, του PerkinElmer Inc. FT-IR, p.53, όταν γίνεται μέτρηση της διαπερατότητας ενός υλικού μειώνεται ο θόρυβος του οργάνου και γίνονται ευκολότερα αντιληπτές οι μεταβολές της συγκέντρωσης του προς μελέτη υλικού. Παρόλα αυτά οι μονάδες της απορρόφησης δίνουν καλύτερη δυνατότητα ποσοτικοποίησης των αποτελεσμάτων. Κατά συνέπεια, έγινε η λήψη των φασμάτων διαπερατότητας των υλικών και στη συνέχεια έγινε η μετατροπή τους σε φάσματα απορρόφησης. Ως αποτελέσματα λήφθηκε το υψηλότερο σημείο της κορυφής των ισοκυανικών των φασμάτων απορρόφησης της κάθε μέτρησης.

Από το γράφημα του Σχήματος 39 λαμβάνονται τα εξής συμπεράσματα για κάθε δομή.

Για τη δομή PP/PP με κόλλα 782/375, η μικρότερη απορρόφηση σε σχέση με τη μέγιστη ισχύ λαμιναρίσματος λαμβάνεται στις 18 ώρες μετά το λαμινάρισμα του υλικού. Η ισχύς λαμιναρίσματος φτάνει τα μέγιστα επίπεδα των 6N/15mm, ήδη από την 8^η ώρα μετά το λαμινάρισμα. Άρα από την 8^η ώρα μετά το λαμινάρισμα, το υλικό έχει συγκολληθεί επαρκώς καθιστώντας δυνατή την περαιτέρω επεξεργασία του όπως κοπή ή/ και σακουλοποίηση. Η κορυφή των ισοκυανικών παρουσιάζει μια μικρή αύξηση στις 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα, για την επεξήγηση της οποίας θα αποσταλεί σχετικό ερώτημα στον προμηθευτή της αντίστοιχης κόλλας.

Για τη δομή PET/PE με κόλλα 782/375, η μικρότερη απορρόφηση σε σχέση με τη μέγιστη ισχύ λαμιναρίσματος λαμβάνεται στις 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα του υλικού. Η ισχύς λαμιναρίσματος φτάνει τα μέγιστα επίπεδα των 6N/15mm, ήδη από την 9^η ώρα μετά το λαμινάρισμα. Άρα από την 9^η ώρα μετά το λαμινάρισμα, το υλικό έχει συγκολληθεί επαρκώς καθιστώντας δυνατή την περαιτέρω επεξεργασία του όπως κοπή ή/ και σακουλοποίηση.

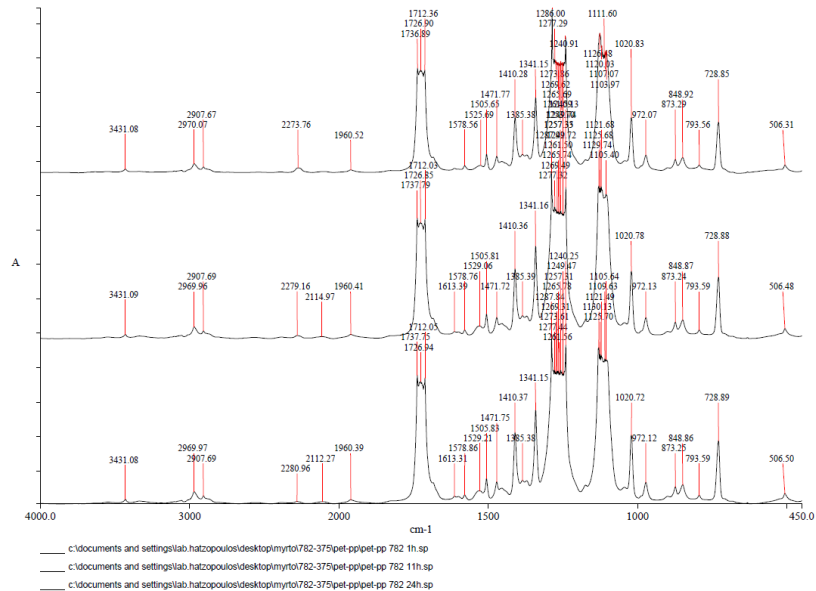
Για τη δομή PET/PP με κόλλα 782/375, η μικρότερη απορρόφηση σε σχέση με τη μέγιστη ισχύ λαμιναρίσματος λαμβάνεται στις 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα του υλικού. Η ισχύς λαμιναρίσματος φτάνει τα μέγιστα επίπεδα των 6N/15mm, ήδη από

την 8^η ώρα μετά το λαμινάρισμα. Άρα από την 8^η ώρα μετά το λαμινάρισμα, το υλικό έχει συγκολληθεί επαρκώς καθιστώντας δυνατή την περαιτέρω επεξεργασία του όπως κοπή ή/ και σακουλοποίηση.

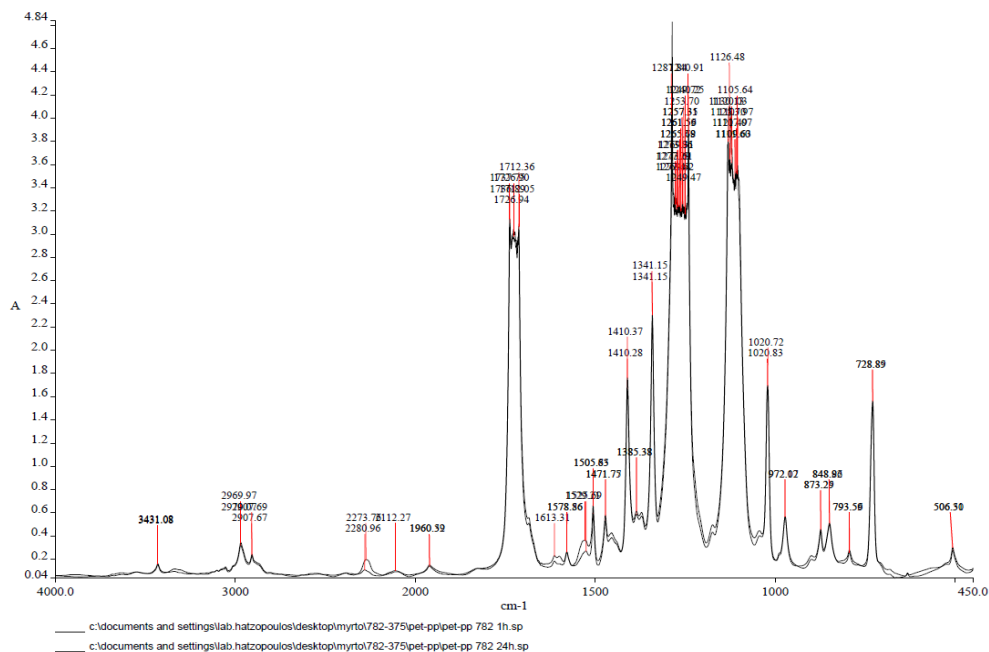
Για τη δομή PP/PE με κόλλα 782/375, η μικρότερη απορρόφηση σε σχέση με τη μέγιστη ισχύ λαμινάρισματος λαμβάνεται στις 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα του υλικού. Η ισχύς λαμινάρισματος φτάνει τα μέγιστα επίπεδα των 6N/15mm, ήδη από την 8^η ώρα μετά το λαμινάρισμα. Άρα από την 8^η ώρα μετά το λαμινάρισμα, το υλικό έχει συγκολληθεί επαρκώς καθιστώντας δυνατή την περαιτέρω επεξεργασία του όπως κοπή ή/ και σακουλοποίηση.

3.2.2 ΦΑΣΜΑΤΑ FT-IR ΔΟΜΩΝ ΠΟΥ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕ ΤΗΝ ΚΟΛΛΑ 275/64

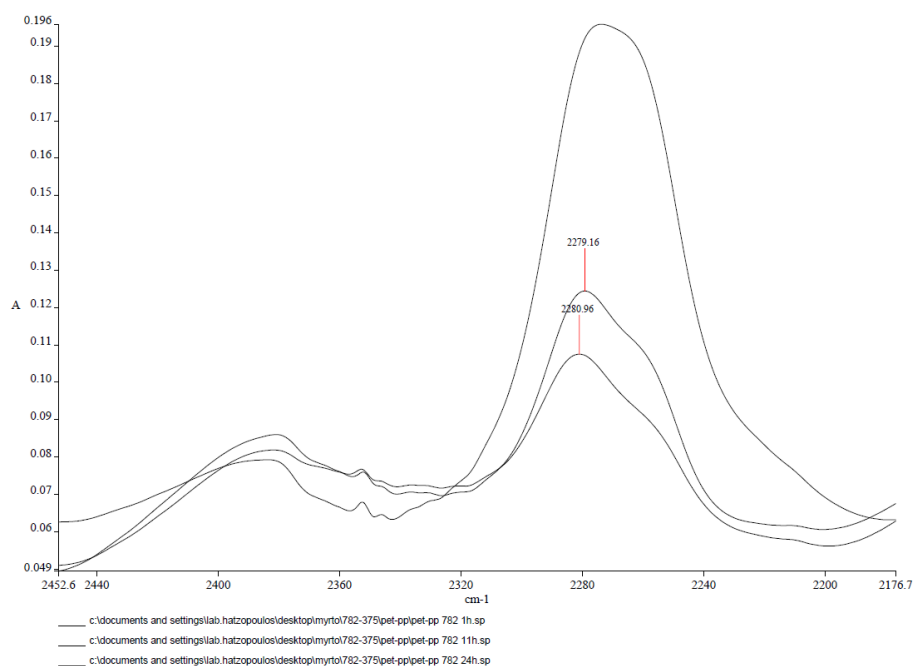
ΔΟΜΗ PET-PP (782/375)



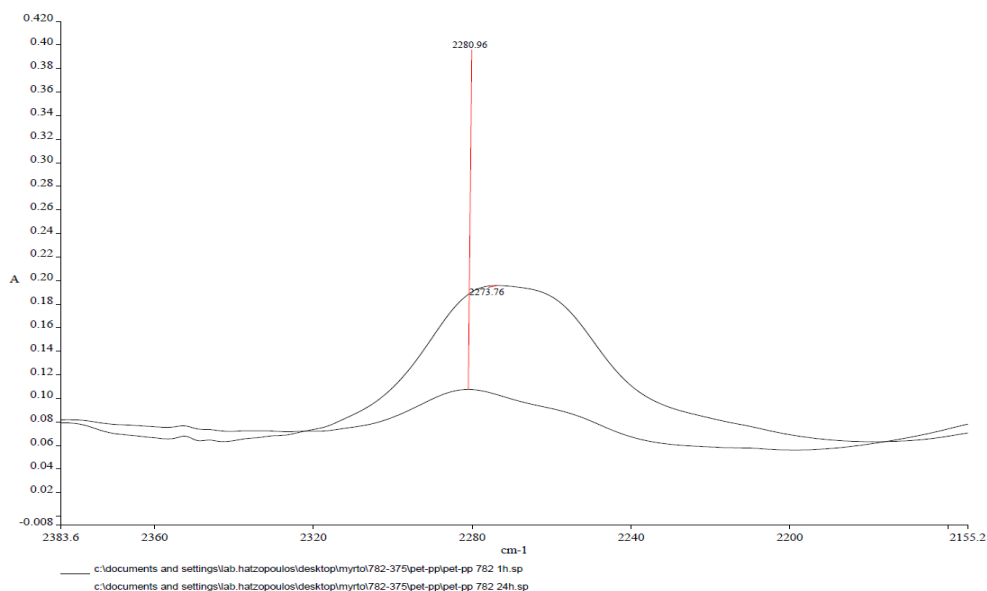
Σχήμα 44: Συνολικό φάσμα FT-IR δομής PET-PP που λαμινάριστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (1ο διάγραμμα από τον άξονα x), 11^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (3ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα



Σχήμα 45: Συνολικό φάσμα FT-IR δομής PET-PP που λαμινάριστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) ώρα μετά το λαμινάρισμα

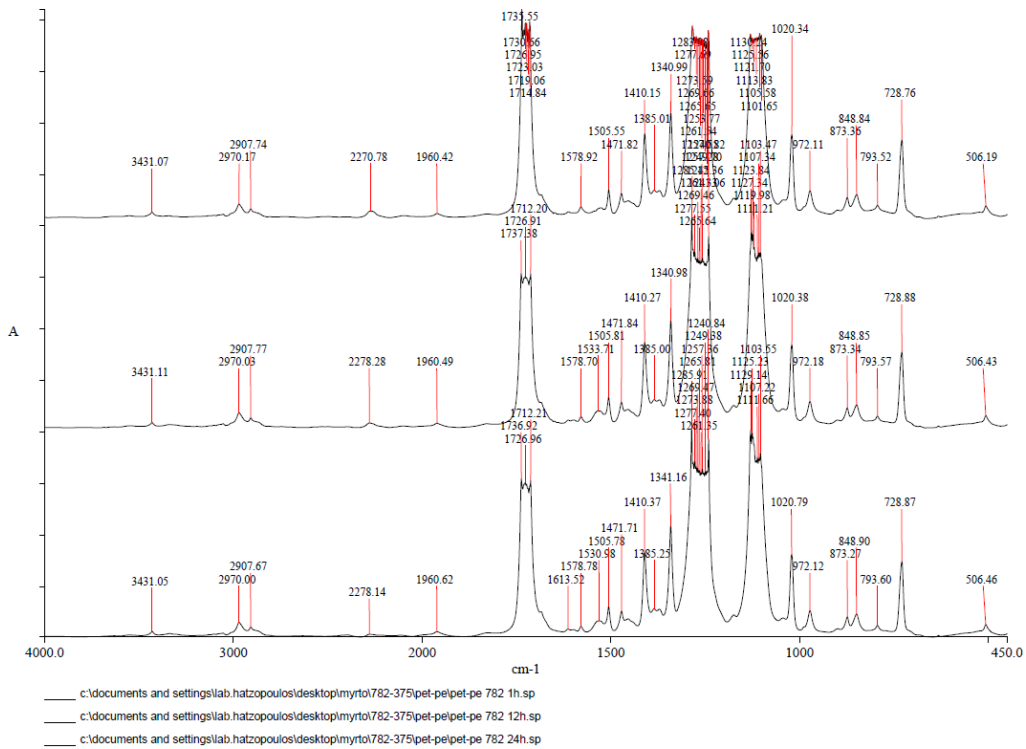


Σχήμα 46: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των $-NCO$ για τη δομή PET-PP που λαμινάριστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (3ο διάγραμμα από τον άξονα x), 11^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα

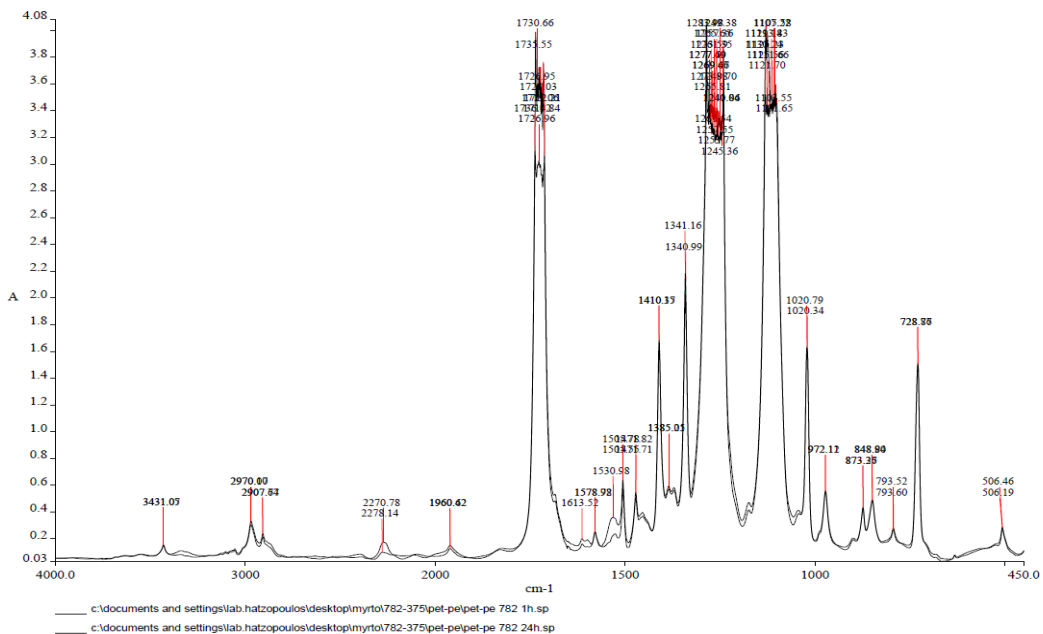


Σχήμα 47: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των $-NCO$ για τη δομή PET-PP που λαμινάριστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα

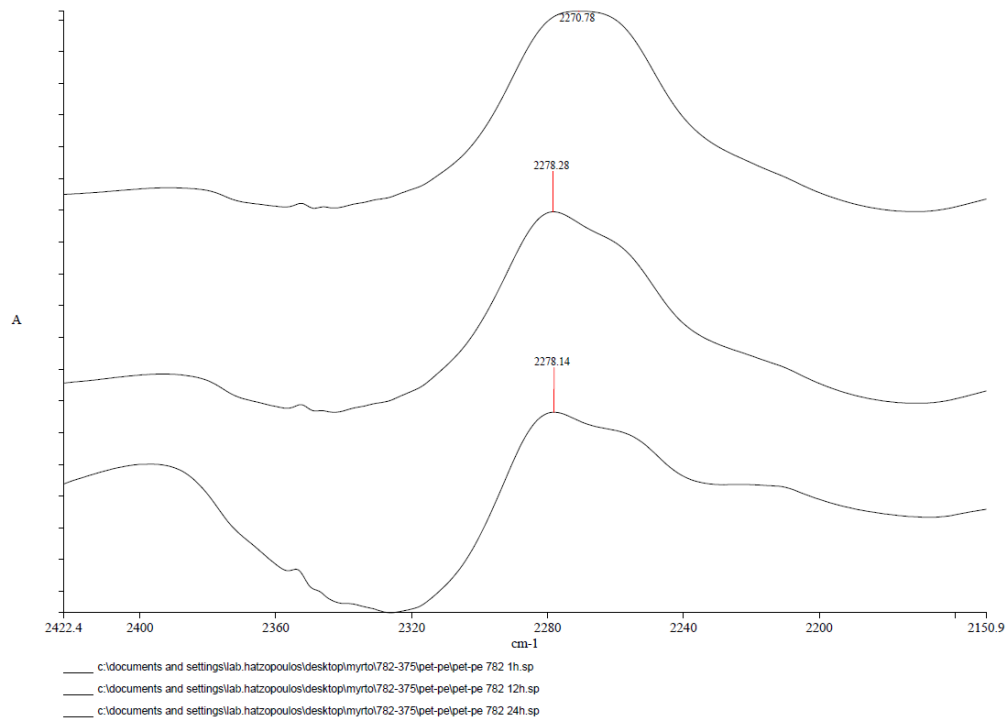
ΔΟΜΗ PET-PE (782/375)



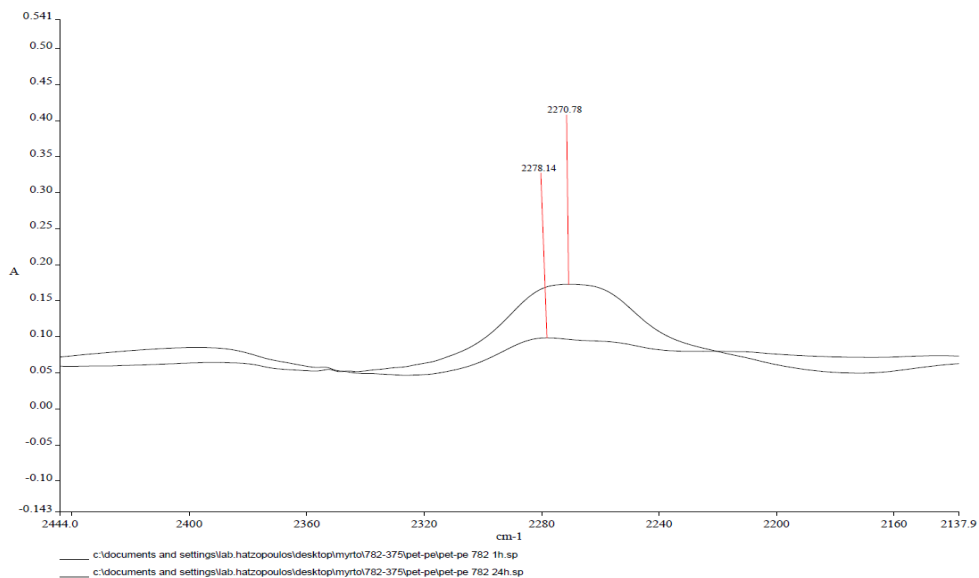
Σχήμα 48: Συνολικό φάσμα FT-IR της δομής PET-PE που λαμινάριστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (1ο διάγραμμα από τον άξονα x), 12^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (3ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα



Σχήμα 49: Συνολικό φάσμα FT-IR της δομής PET-PE που λαμινάριστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα

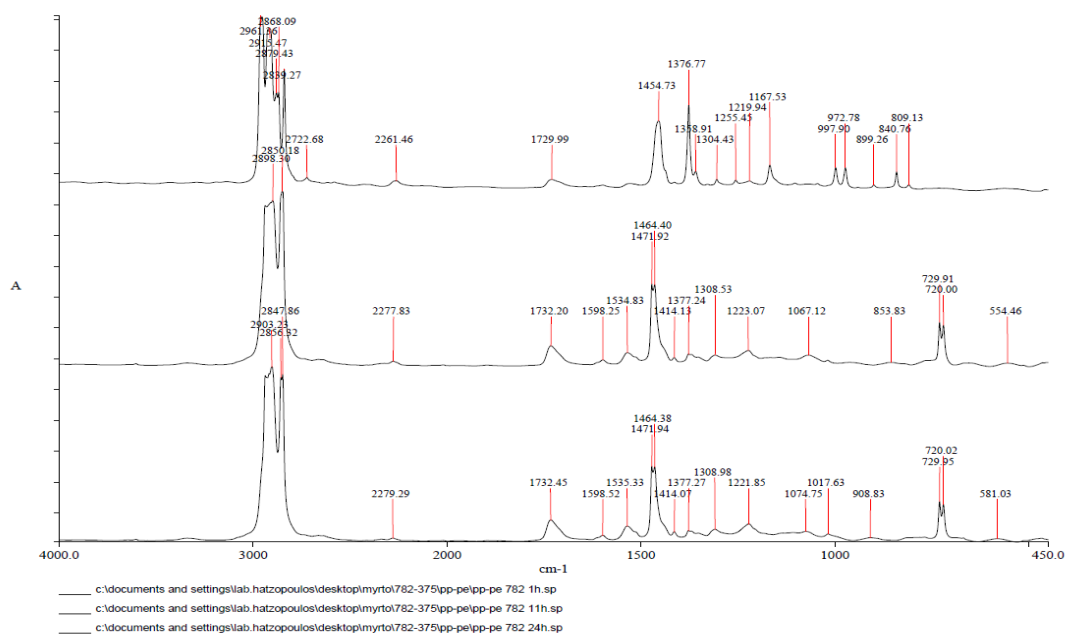


Σχήμα 50: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των –NCO για τη δομή PET-PE που λαμιναρίστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (3ο διάγραμμα από τον άξονα x), 12^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα

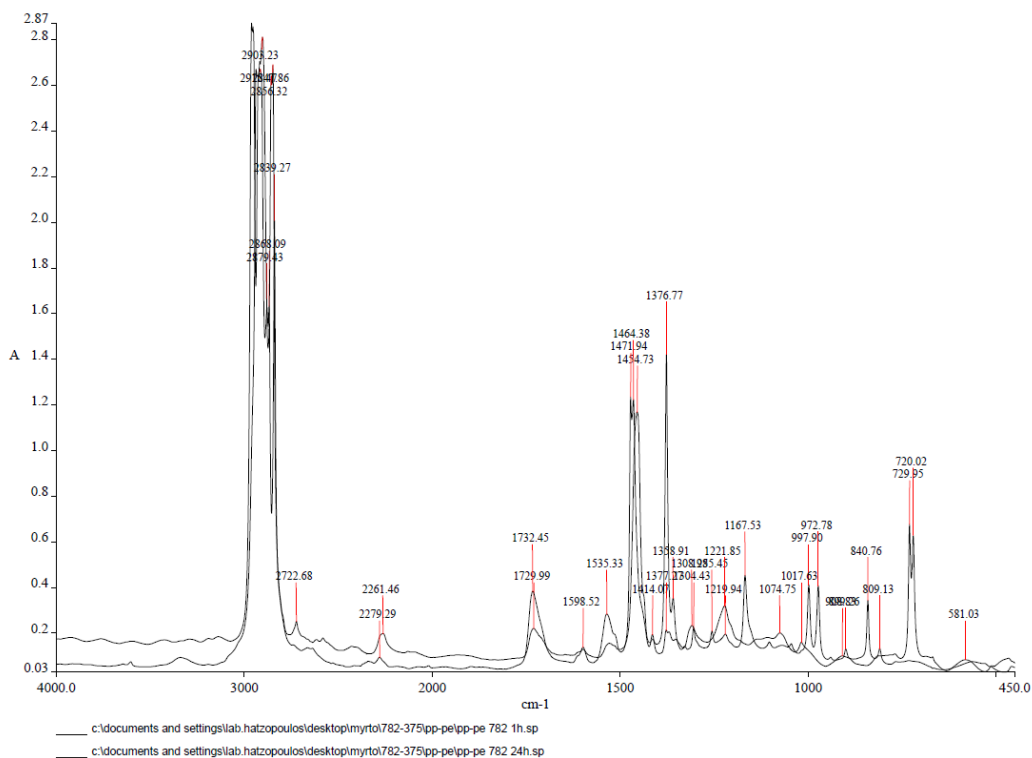


Σχήμα 51: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των –NCO για τη δομή PET-PE που λαμιναρίστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα

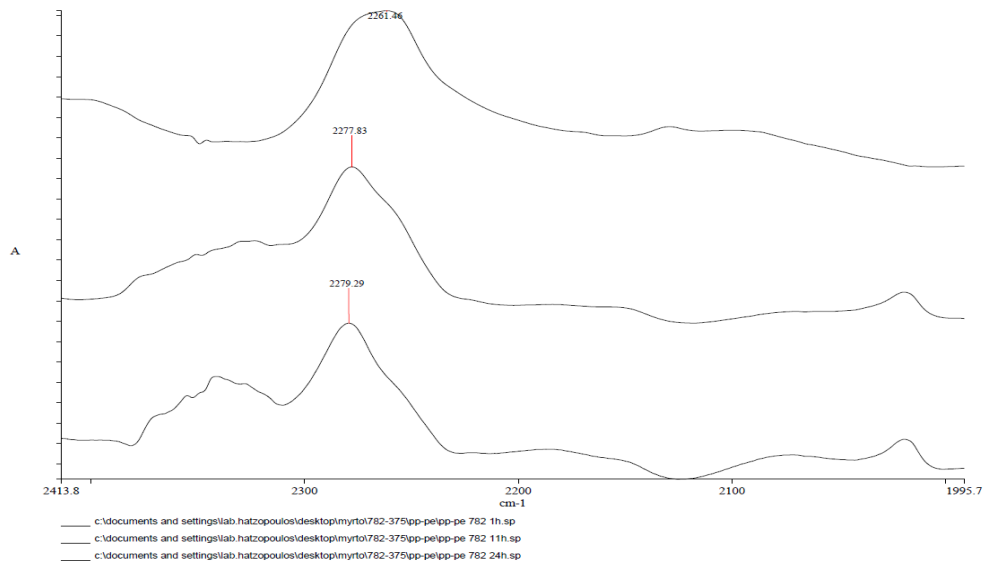
ΔΟΜΗ PP-PE (782/375)



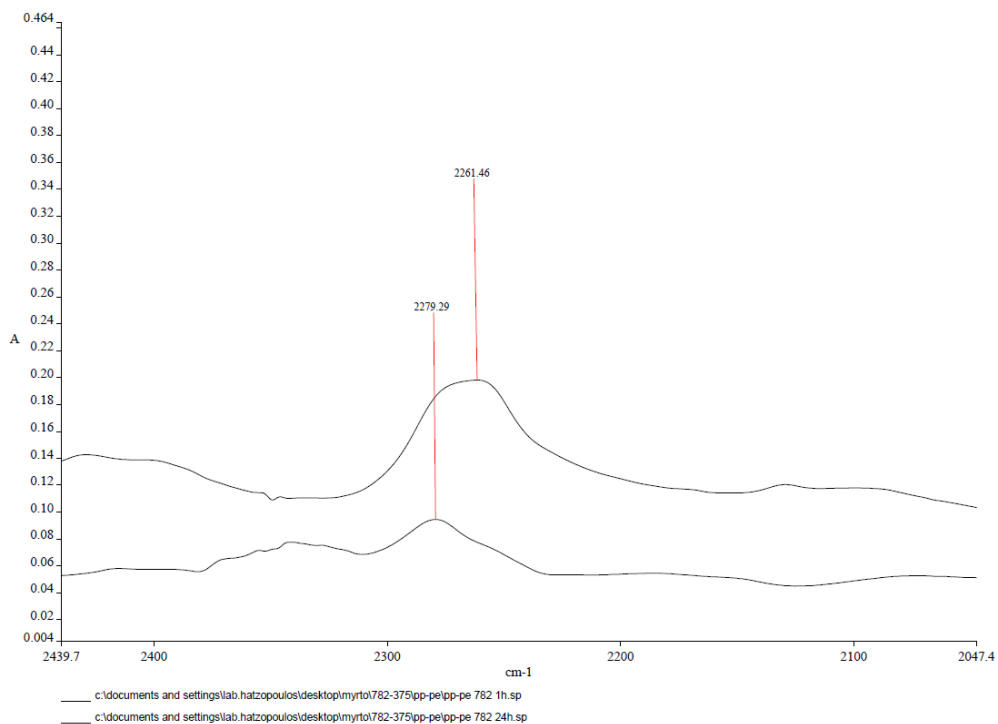
Σχήμα 52: Συνολικό φάσμα FT-IR της δομής PP-PE που λαμινάριστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (3ο διάγραμμα από τον άξονα x), 11^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα



Σχήμα 53: Συνολικό φάσμα FT-IR της δομής PP-PE που λαμινάριστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα

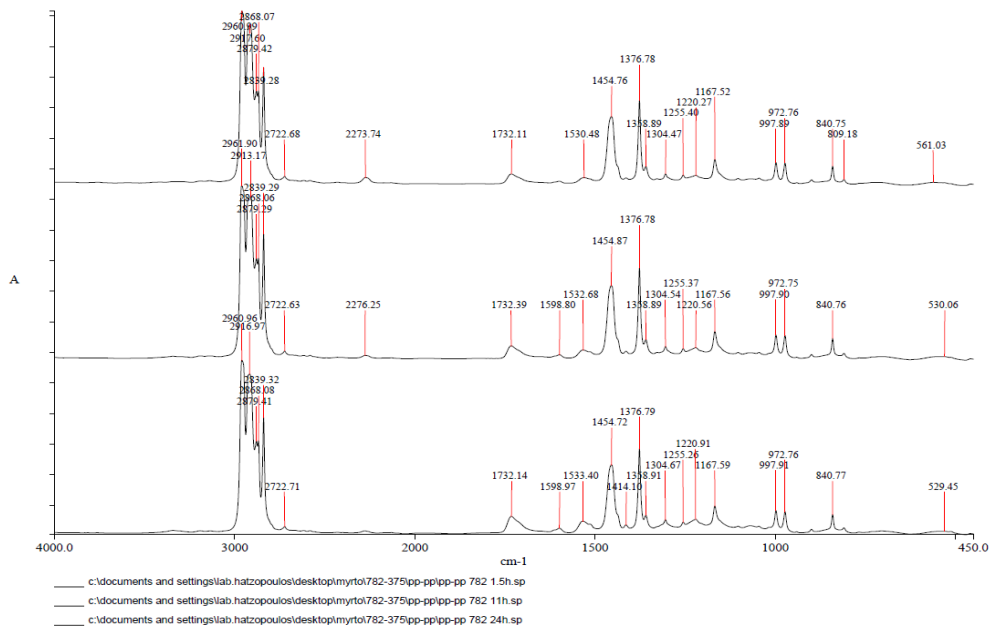


Σχήμα 54: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των $-NCO$ για τη δομή PP-PE που λαμινάριστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (3ο διάγραμμα από τον άξονα x), 11^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα

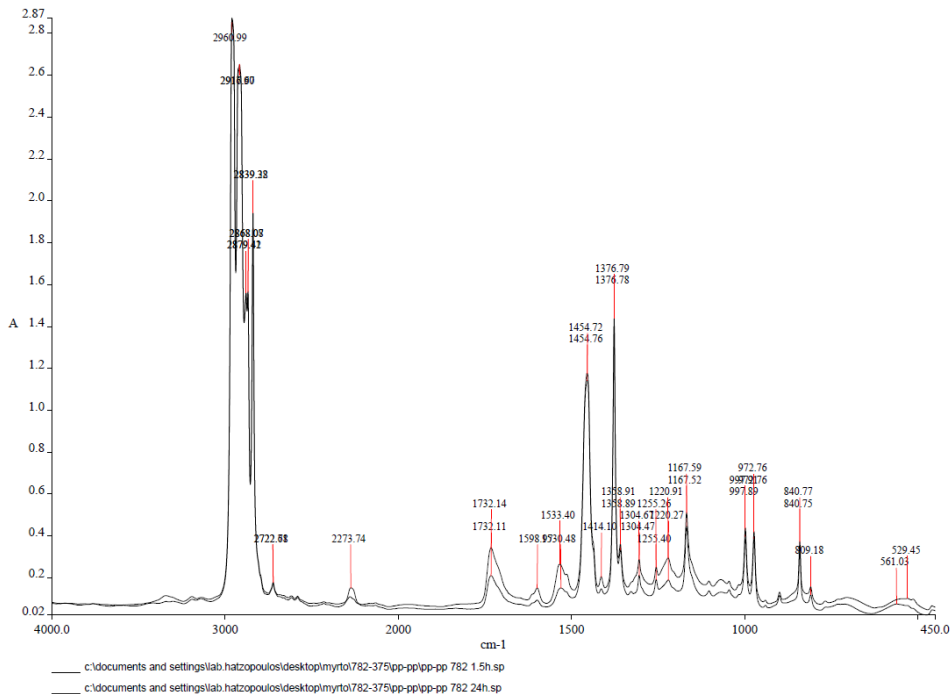


Σχήμα 55: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των $-NCO$ για τη δομή PP-PE που λαμινάριστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα

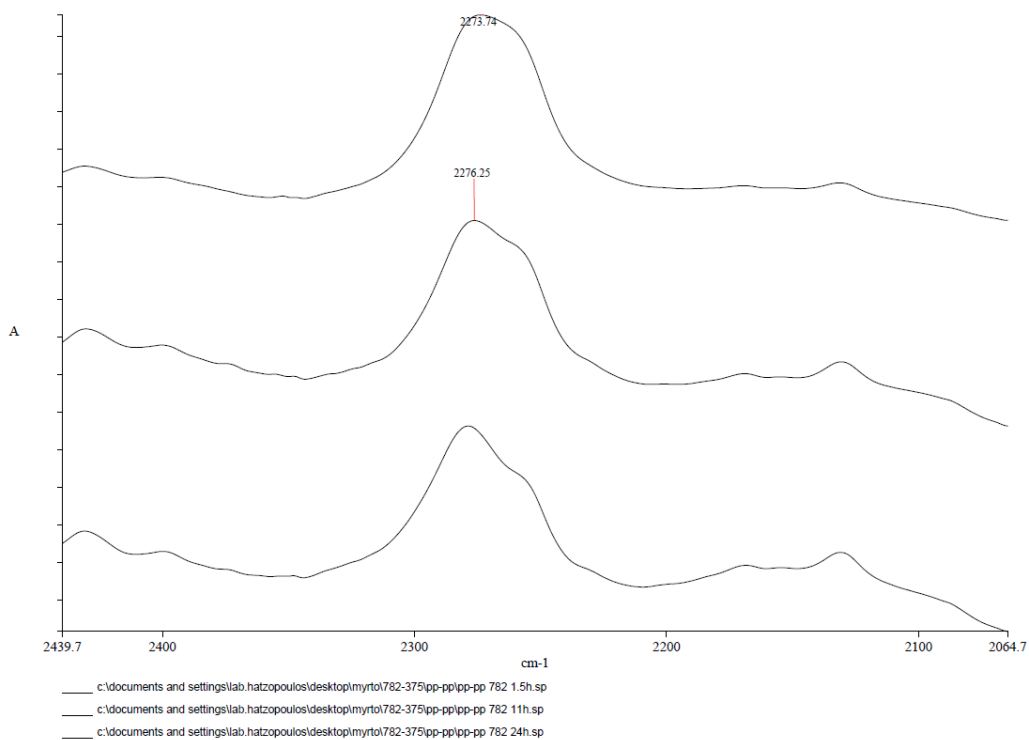
ΔΟΜΗ PP-PP (782/375)



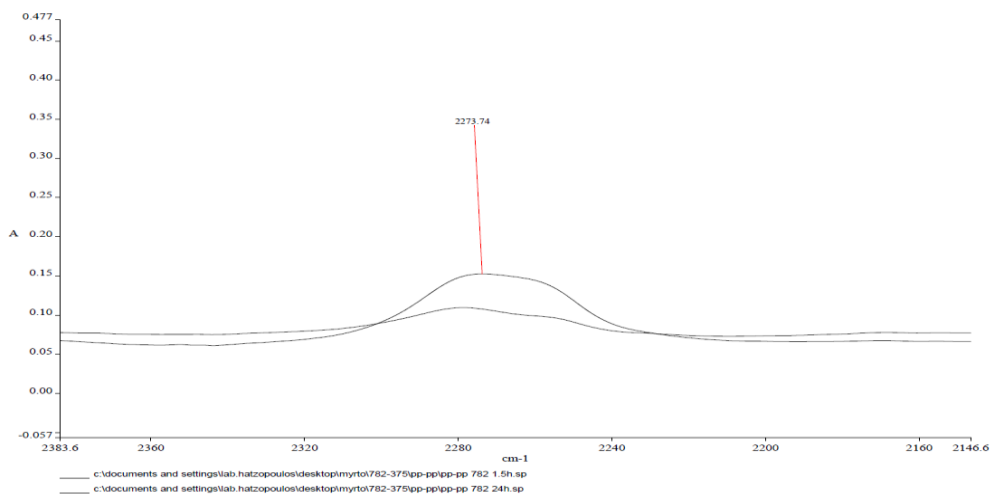
Σχήμα 56: Συνολικό φάσμα FT-IR της δομής PP-PP που λαμιναρίστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (3ο διάγραμμα από τον άξονα x), 11^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα



Σχήμα 57: Συνολικό φάσμα FT-IR της δομής PP-PP, που λαμιναρίστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) ώρα μετά το λαμινάρισμα



Σχήμα 58: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των $-NCO$ για τη δομή PP-PP που λαμινάριστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (3ο διάγραμμα από τον άξονα x), 11^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα



Σχήμα 59: Φάσμα FT-IR για την κορυφή των $-NCO$ για τη δομή PP-PP που λαμινάριστηκε με κόλλα 782/375 στη 1^η (2ο διάγραμμα από τον άξονα x) και 24^η ώρα (1ο διάγραμμα από τον άξονα x) μετά το λαμινάρισμα.

3.2.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΙΣΧΥΣ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ C ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΛΛΑ 782/375.

Σημείωση: το κάθε τεστ κάτω από κάθε διάγραμμα ισχύος λαμιναρίσματος TESTOMETRIC απαντά στις ώρες μετρήσεις της κάθε δομής και εμφανίζονται στον πίνακα των αποτελεσμάτων πάνω από τα διαγράμματα.

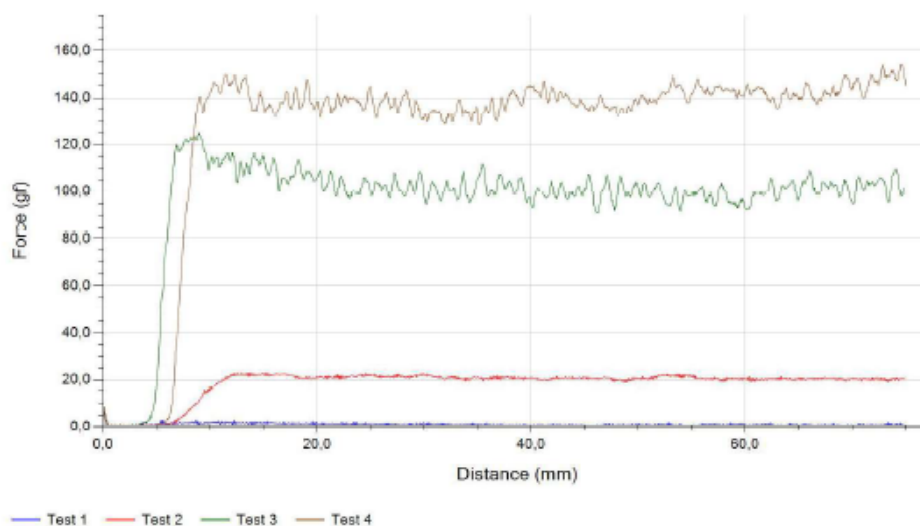


R&D Department

Operator Name : MYRTO
 Sample Identification : 146480
 Customer : DEIGMA DIPLOMATIKIS
 Product : PP/PP
 Materials :
 Adhesive :

Machine No. : X250-2119
 Test Name : Bond Strength (ASTM F 904/03)
 Test Type : Peel
 Test Date : 11/11/2021 1:07 μμ
 Test Speed : 200,000 mm/min
 Width : 15,000 mm

Test No	Roll number	Lamination	Nominal			Upper Limit	Lower Limit
			Lowest Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Average Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Force @ Peak / Width (Selected Region) (N/15mm)		
1	0h		-0,003	0,01	0,024		
2	1,5h		0,186	0,205	0,223		
3	3h		0,893	0,989	1,096		
4	4h		1,263	1,354	1,459		
Min			-0,003	0,01	0,024		
Mean			0,585	0,639	0,701		
Max			1,263	1,354	1,459		
S.D.			0,594	0,637	0,688		
C. of V.			101,677	99,669	98,141		
L.C.L.			-0,361	-0,375	-0,393		
U.C.L.			1,531	1,654	1,795		



Page 1 of 1

Unit 1 Lincoln Business Park Lincoln Close,
 Rochdale, Lancashire, England OL11 1NR

Tel: (44) (0)1706 654039 Fax: (44) (0)1706 646089
 Email: info@testometric.co.uk website: www.testometric.co.uk

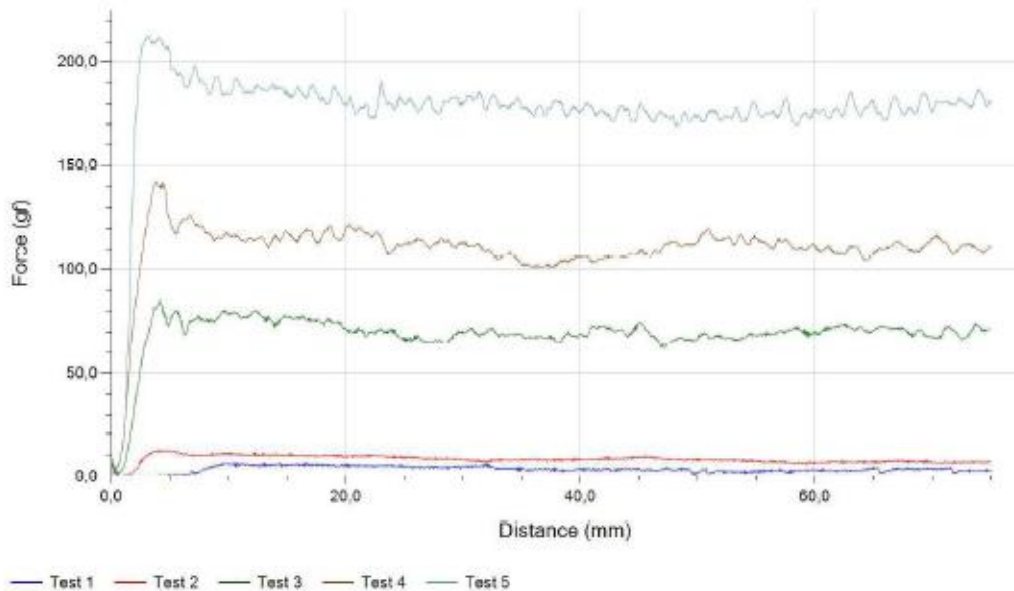
Σχήμα 60. Διαγράμματα των μετρήσεων ισχύος για τη δομή PP/PP με κόλλα 782/375

R&D Department

Operator Name : MYRTO
Sample Identification : 146480
Customer : DEIGMA DIPLOMATIKIS
Product : PP/PE
Materials :
Adhesive :

Machine No. : X250-2119
Test Name : Bond Strength (ASTM F 904/03)
Test Type : Peel
Test Date : 11/11/2021 1:26 μμ
Test Speed : 200,000 mm/min
Width : 15,000 mm

Test No	Roll number	Lamination	Nominal			Upper Limit	Lower Limit
			Lowest Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Average Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Force @ Peak / Width (Selected Region) (N/15mm)		
1	0h		0,009	0,04	0,067		
2	1h		0,068	0,086	0,107		
3	2h		0,611	0,672	0,736		
4	3h		0,989	1,084	1,195		
5	4h		1,656	1,744	1,868		
Min			0,009	0,04	0,067		
Mean			0,667	0,725	0,795		
Max			1,656	1,744	1,868		
S.D.			0,685	0,715	0,761		
C. of V.			102,743	98,601	95,797		
L.C.L.			-0,184	-0,163	-0,151		
U.C.L.			1,517	1,614	1,74		



Page 1 of 1

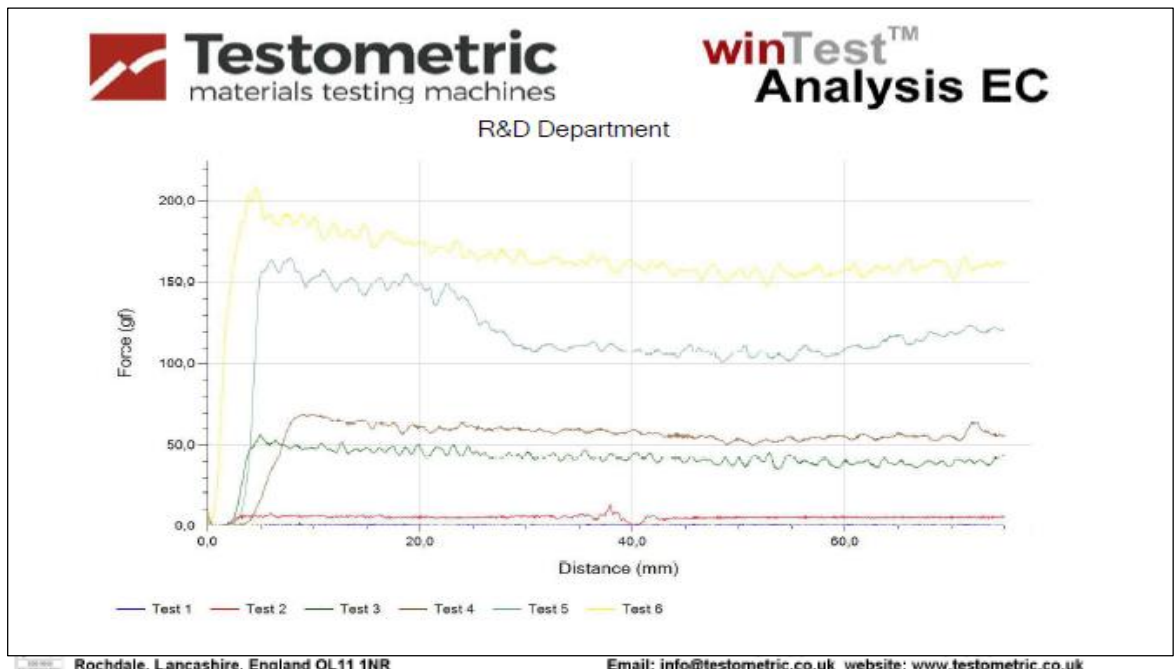
Σχήμα 61. Διαγράμματα των μετρήσεων ισχύος για τη δομή PP/PE με κόλλα 782/375

R&D Department

Operator Name : MYRTO
Sample Identification : 146480
Customer : DEIGMA DIPLOMATIKIS
Product : PET/PE
Materials :
Adhesive :

Machine No. : X250-2119
Test Name : Bond Strength (ASTM F 904/03)
Test Type : Peel
Test Date : 11/11/2021 12:36 μμ
Test Speed : 200,000 mm/min
Width : 15,000 mm

Test No	Roll number	Lamination	Nominal			Upper Limit	Lower Limit
			Lowest Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Average Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Force @ Peak / Width (Selected Region) (N/15mm)		
1	PET/PE	0h	0,0	0,01	0,019		
2	1h		0,005	0,057	0,132		
3	2h		0,341	0,419	0,496		
4	3h		0,49	0,562	0,624		
5	4h		0,988	1,133	1,521		
6	5h		1,446	1,589	1,733		
Min			0,0	0,01	0,019		
Mean			0,545	0,628	0,754		
Max			1,446	1,589	1,733		
S.D.			0,573	0,622	0,715		
C. of V.			105,14	98,977	94,81		
L.C.L.			-0,056	-0,024	0,004		
U.C.L.			1,146	1,281	1,505		



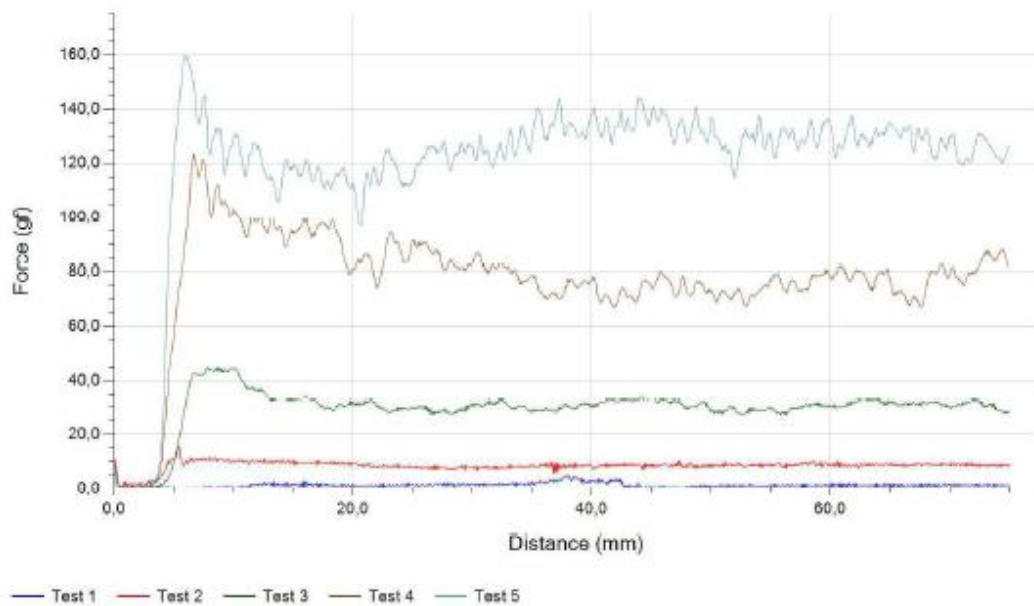
Σχήμα 62. Διαγράμματα των μετρήσεων ισχύος για τη δομή PET/PE με κόλλα 782/375

R&D Department

Operator Name : MYRTO
Sample Identification : 146480
Customer : DEIGMA DIPLOMATIKIS
Product : PET/PP
Materials :
Adhesive :

Machine No. : X250-2119
Test Name : Bond Strength (ASTM F 904/03)
Test Type : Peel
Test Date : 11/11/2021 12:54 μμ
Test Speed : 200.000 mm/min
Width : 15.000 mm

Test No	Roll number	Lamination	Nominal			Upper Limit	Lower Limit
			Lowest Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Average Force / Width (Selected Region) (N/15mm)	Force @ Peak / Width (Selected Region) (N/15mm)		
1	0h		-0,002	0,017	0,05		
2	1h		0,056	0,083	0,101		
3	2h		0,265	0,297	0,335		
4	3h		0,654	0,764	0,929		
5	4h		0,953	1,248	1,414		
Min			-0,002	0,017	0,05		
Mean			0,385	0,482	0,566		
Max			0,953	1,248	1,414		
S.D.			0,409	0,519	0,589		
C. of V.			106,197	107,69	104,073		
L.C.L.			-0,123	-0,162	-0,165		
U.C.L.			0,893	1,126	1,297		



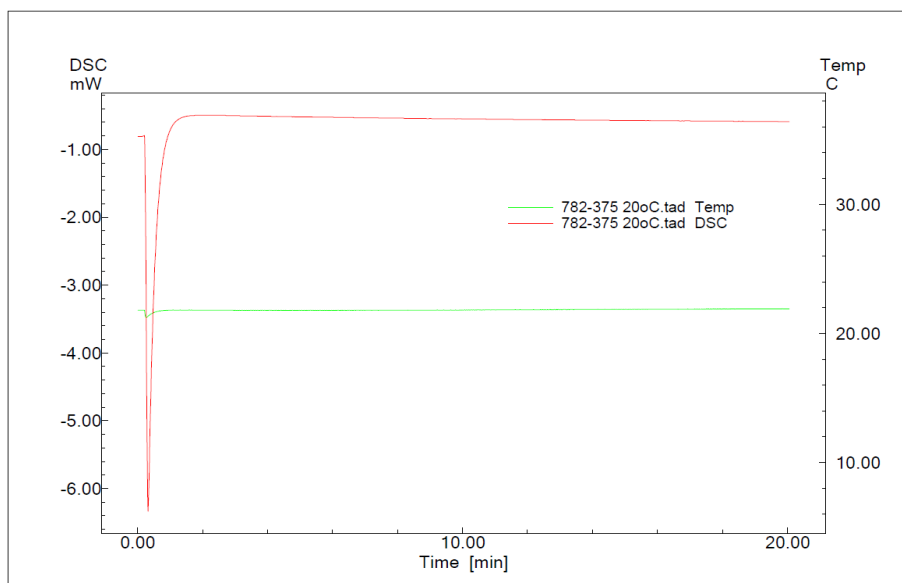
Σχήμα 63. Διαγράμματα των μετρήσεων ισχύος για τη δομή PET/PP με κόλλα 782/375

3.2.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ DSC ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΛΛΑ 782/375.

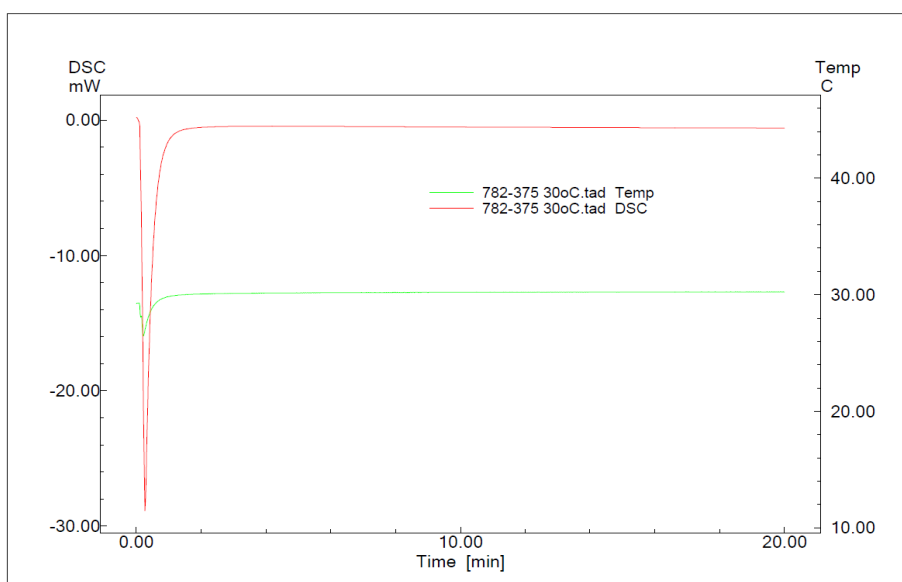
Πραγματοποιήθηκε έρευνα σχετικά με την επίδραση της θερμοκρασίας στην πορεία του πολυμερισμού σε επιταχυνόμενο χρονικό πλαίσιο των 20 λεπτών.

Παρακάτω παρατίθενται τα θερμογραφήματα των μετρήσεων.

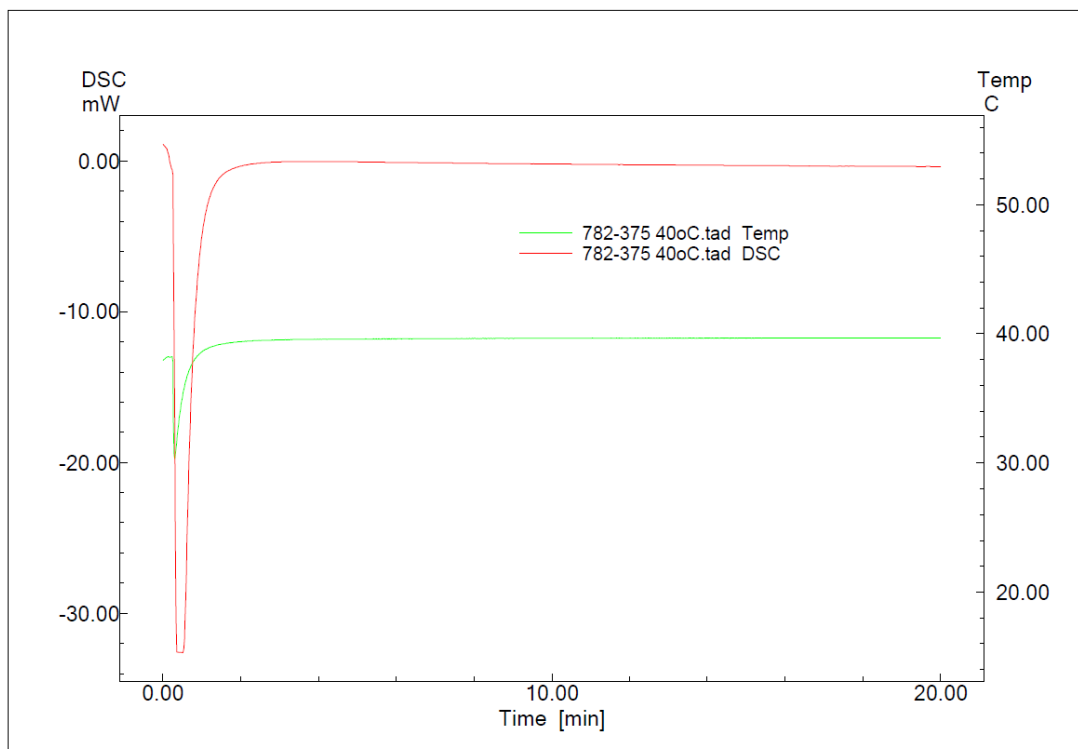
ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ ΚΟΛΛΑΣ 782/375.



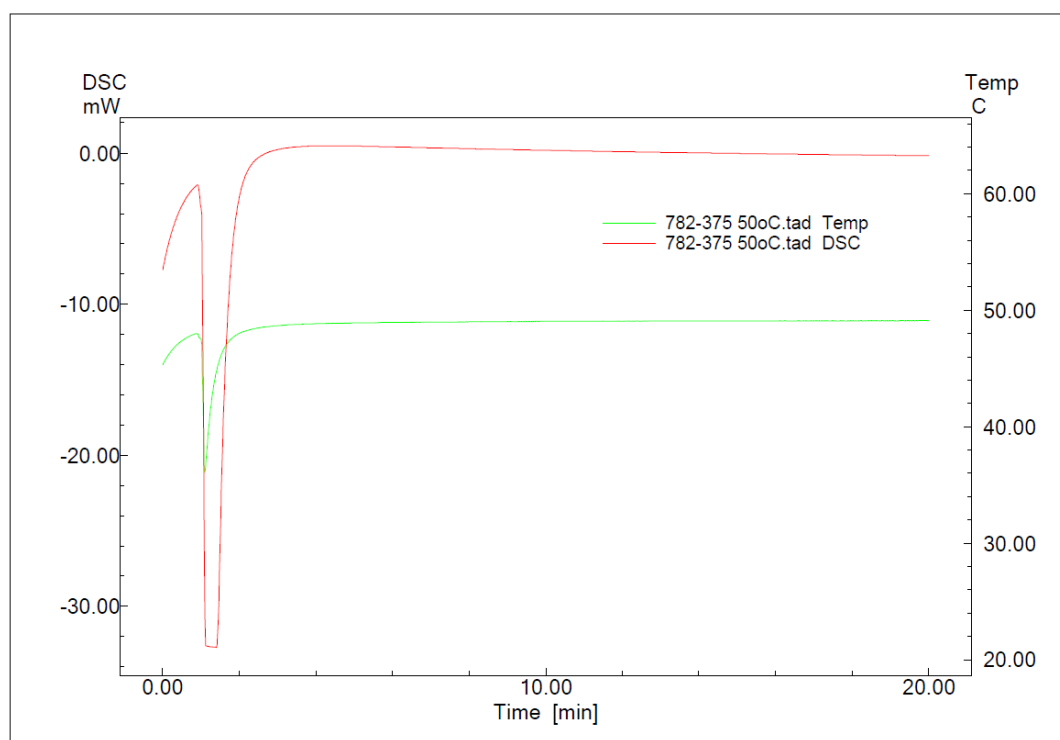
Σχήμα 64. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 782/375 στους 20 °C



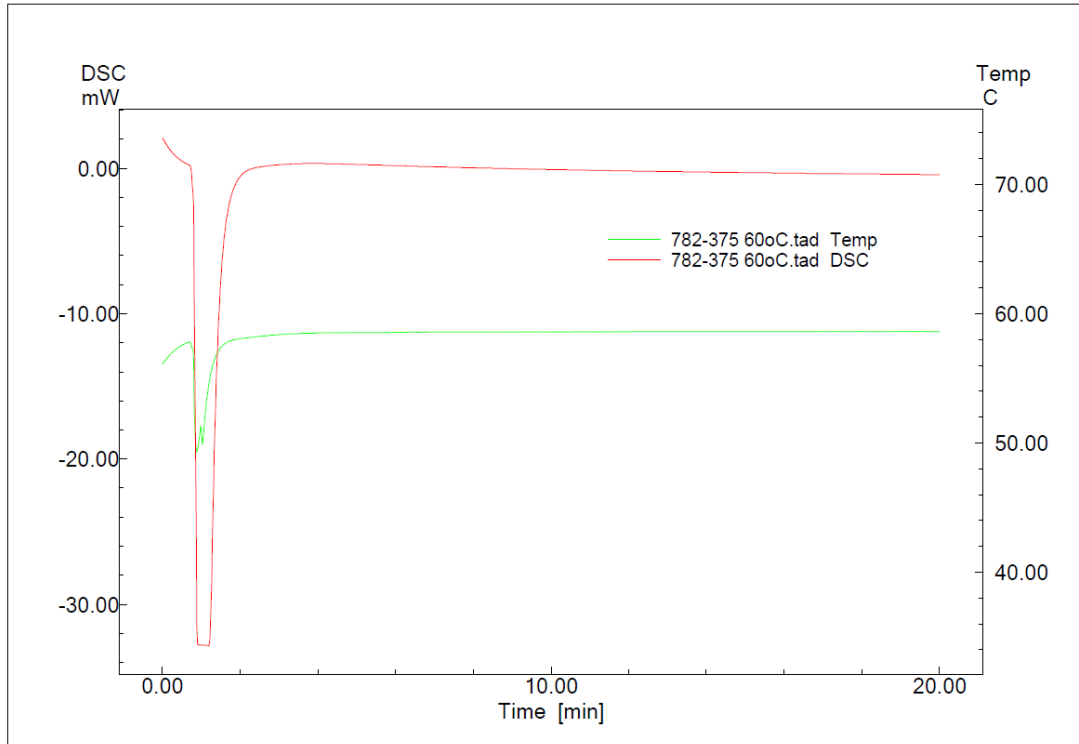
Σχήμα 65. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 782/375 στους 30 °C



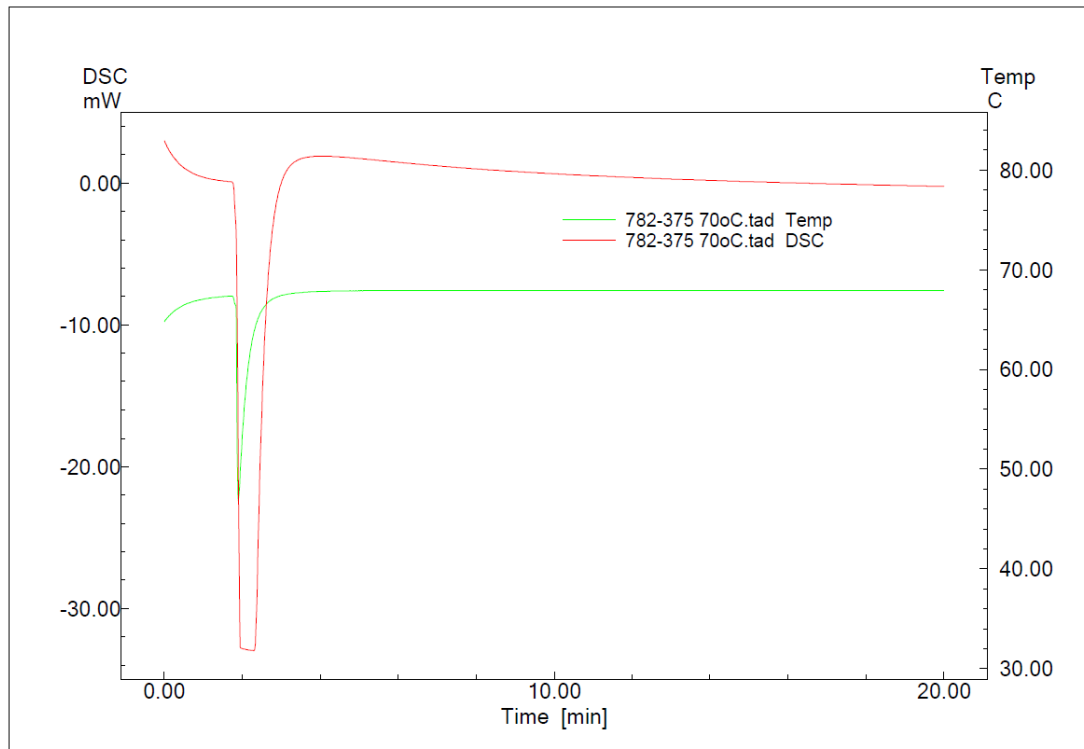
Σχήμα 66. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 782/375 στους 40 °C



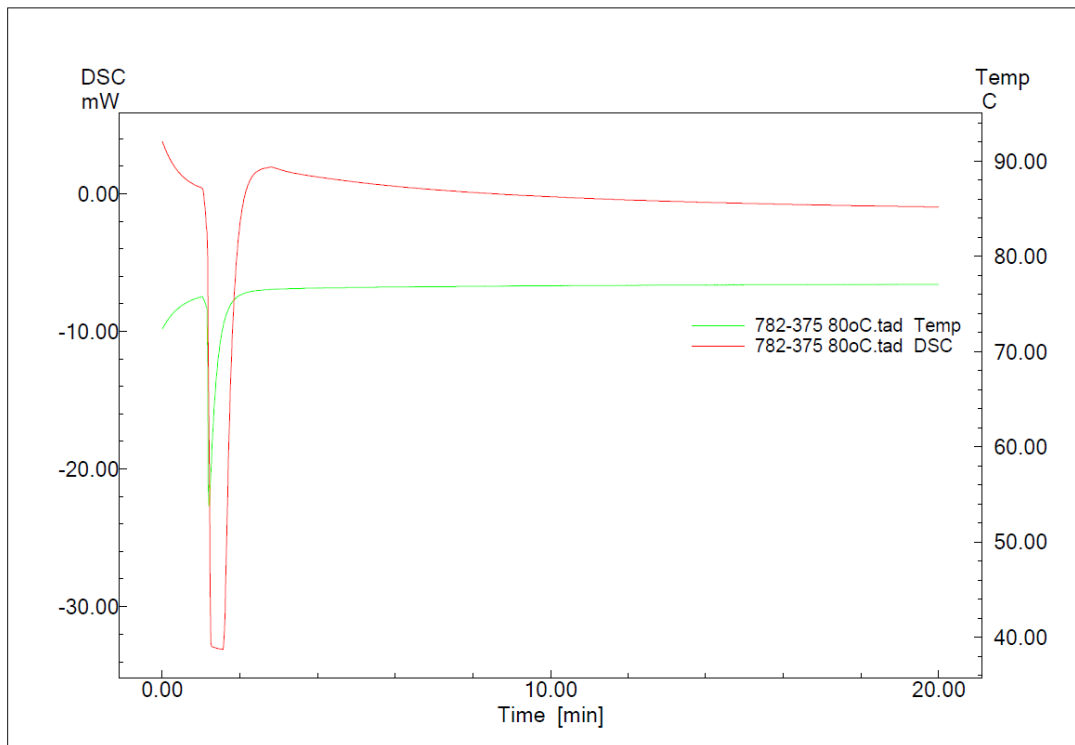
Σχήμα 67. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 782/375 στους 50 °C



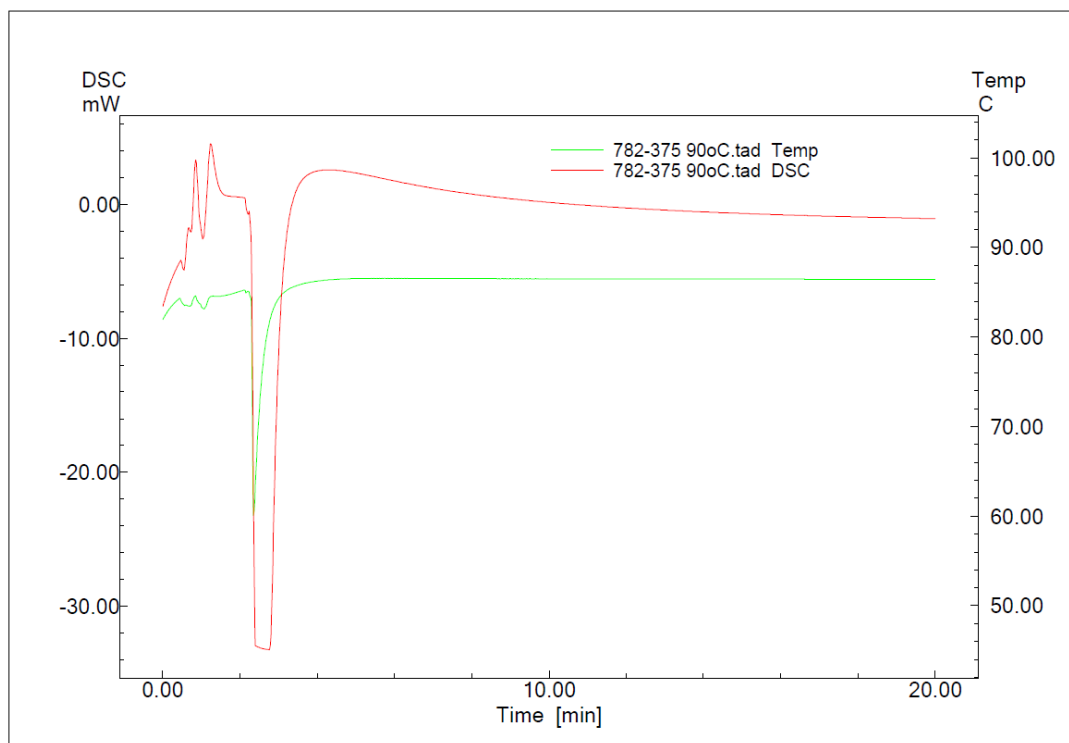
Σχήμα 68. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 782/375 στους 60 °C



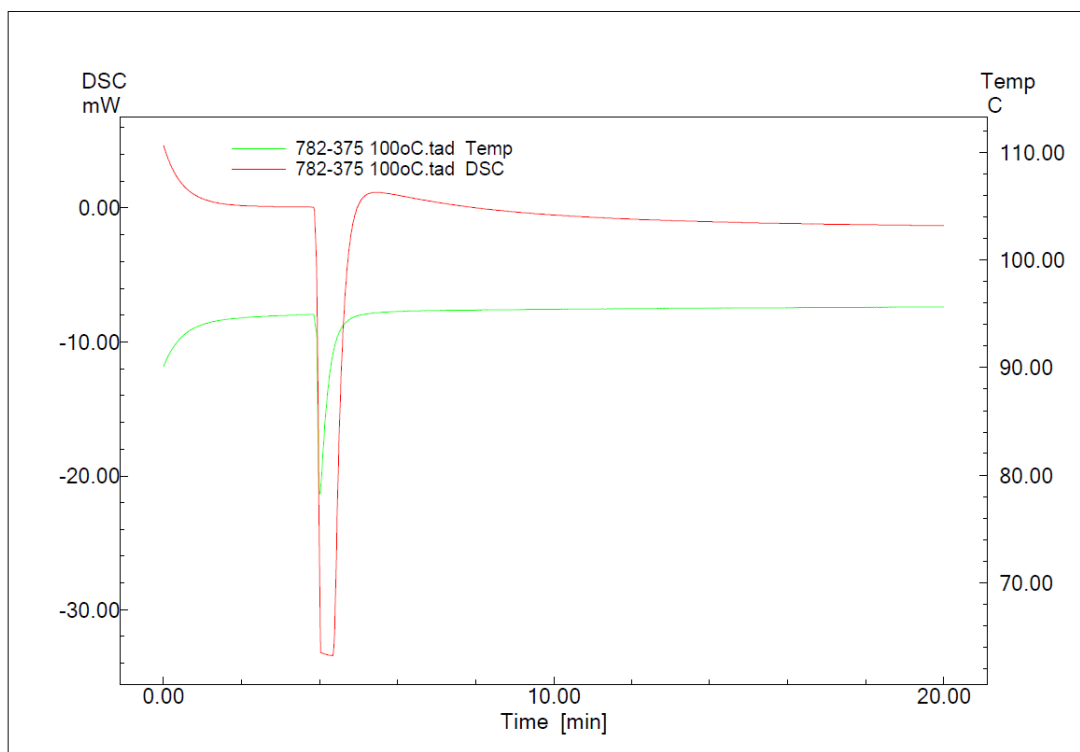
Σχήμα 69. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 782/375 στους 70 °C



Σχήμα 70. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 782/375 στους 80 °C



Σχήμα 71. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 782/375 στους 90 °C



Σχήμα 72. Θερμογράφημα DSC για κόλλα 782/375 στους 100 °C

Ομοίως με τα αποτελέσματα της κόλλας 275/64, τα θερμογραφήματα του DSC για τα δείγματα κόλλας 782/375, δεν παρουσιάζουν καμία μεταβολή ή μετάπτωση φάσης του υλικού. Η βύθιση της θερμοκρασίας αποτελεί ψευδοφαινόμενο που προκύπτει από το άνοιγμα του εξοπλισμού για την εισαγωγή του δείγματος. Παρατηρήθηκε μια εξέλιξη της μετάπτωσης η οποία ξεκινά από τους 70°C και συνεχίζεται στους 80 °C, 90 °C και στους 100 °C. Δεν είναι έντονη ούτε αποτελεί ένδειξη της μετάπτωσης φάσης της κόλλας, απλά υπάρχει σαν φαινόμενο. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι κόλλες όταν προορίζονται για λαμινάρισμα, δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες καθώς έχουν επίπτωση στην ποιότητα των υλικών λαμινάρισματος και της ποιότητας της τελικής λαμιναρμένης δομής.

4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συγκεντρωτικά παρουσιάζονται οι χρόνοι συγκόλλησης των υλικών σε σχέση με τις κόλλες στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 17: Συγκεντρωτικός πίνακας χρόνων συγκόλλησης όλων των δομών με αμφότερες τις κόλλες 275/64 & 782/375.

	275/654		782/375	
	MAX ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ	ΙΣΧΥΣ MIN ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΙΣΟΚΥΑΝΙΚΩΝ	MAX ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΜΑΤΟΣ	ΙΣΧΥΣ MIN ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ ΙΣΟΚΥΑΝΙΚΩΝ
PP / PP	4 ώρες	24 ώρες	8 ώρες	18 ώρες
PET / PE	11 ώρες	15 ώρες	8 ώρες	24 ώρες
PET / PP	-	-	9 ώρες	24 ώρες
PP / PE	9 ώρες	15 ώρες	8 ώρες	24 ώρες

Από τον πίνακα προκύπτει συμπερασματικά ότι για την κόλλα 275/64, η οποία έχει μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε υδροξύλια, ο χρόνος που λαμβάνουμε τη μέγιστη ισχύς λαμιναρίσματος επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό και από το υλικό. Η παρουσία PET και PP, ιδιαίτερα ο συνδυασμός των δύο στην δομή επιταχύνει τη συγκόλληση των υλικών σε σύντομο χρονικό διάστημα. Παρόλα αυτά από τις μετρήσεις του FT-IR έχουμε μια ξεκάθαρη εικόνα ότι σε μοριακή δομή δεν έχει επιτευχθεί ο πλήρης πολυμερισμός της κόλλας, καθώς φαίνεται να συνεχίζει η μείωση της κορυφής των ισοκυανικών, όπως είναι και αναμενόμενο. Η παρούσα εργασία έγινε σε πραγματικό βιομηχανικό περιβάλλον με πραγματικές βιομηχανικές συνθήκες. Κατά συνέπεια το χρονικό πλαίσιο των 24 ωρών ορίζεται από τον προμηθευτή της κόλλας ως χρονικό όριο για την ασφαλή συσκευασία τροφίμων. Εφόσον όμως επιτυγχάνεται η επαρκής συγκόλληση των υλικών, μπορεί να γίνει νωρίτερα η κοπή/σακουλοποίηση τους πριν διατεθούν προς τελική συσκευασία.

Ομοίως και με την κόλλα 782/375, η οποία έχει χαμηλότερη περιεκτικότητα σε υδροξύλια σε σχέση με την κόλλα 275/64, επιτυγχάνεται η μέγιστη ισχύς λαμιναρίσματος πολύ νωρίτερα από τις 24 ώρες. Η διαφορά είναι ότι η κόλλα 782/375 δεν επηρεάζεται από την δομή και μας δίνει τη μέγιστη ισχύ λαμιναρίσματος σταθερά στις 8 με 9 ώρες μετά το λαμινάρισμα. Κατά συνέπεια και στις δομές που

λαμιναρίστηκαν με την κόλλα 782/375, μπορεί να γίνει περαιτέρω κοπή /σακουλοποίηση χωρίς να γίνει συσκευασία τροφίμου καθώς όπως και στην κόλλα 275/64 έχουμε μείωση της κορυφής των ισοκυανικών μέχρι και τις 24 ώρες.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα πειραματικά δεδομένα της εργασίας αυτής είναι ότι η χρήση κόλλας δύο συστατικών που βρίσκονται σε συγκεκριμένες αναλογίες διαφορετικές ανάλογα με τα είδη των πολυμερών που απαρτίζουν τα φιλμ που επιζητείται να συγκολληθούν επιτυγχάνουν την αποτελεσματική συγκόλληση πολύ πιο νωρίς από το χρόνο που απαιτείται σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές τους. Οπότε, τα διπλά φιλμ που προκύπτουν μπορούν να υποστούν περαιτέρω κατεργασίες όπως, κοπή, χωρίς να αναμένεται να περάσει ο χρόνος πλήρους πολυμερισμού της κόλλας που απαιτείται για να καταστεί ασφαλής για χρήση σε συσκευασίες τροφίμων. Ο χρόνος πλήρους πολυμερισμού που μπορεί να είναι και διπλάσιος του χρόνου που απαιτείται για την αποτελεσματική συγκόλληση των φιλμ των δύο υλικών με προφανή οικονομικά οφέλη αναφορικά με την αύξηση της παραγωγής και την συνεπαγόμενη μείωση του κόστους παραγωγής των πολυστρωματικών υλικών

5.ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

- Μελέτη του πολυμερισμού λαμιναρισμένων υλικών με παράλληλη έρευνα των υπολειμματικών πρωτοταγών αρωματικών αμινών.
- Μελέτη της πορείας πολυμερισμού ενός εκτυπωμένου λαμιναρισμένου υλικού. Επίπτωση των μελανιών στην διαδικασία πολυμερισμού.
- Μελέτη της πορείας του πολυμερισμού σε τριπλές δομές.
- Μελέτη της πορείας του πολυμερισμού σε ανακυκλώσιμες δομές ατύπωτες και εκτυπωμένες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

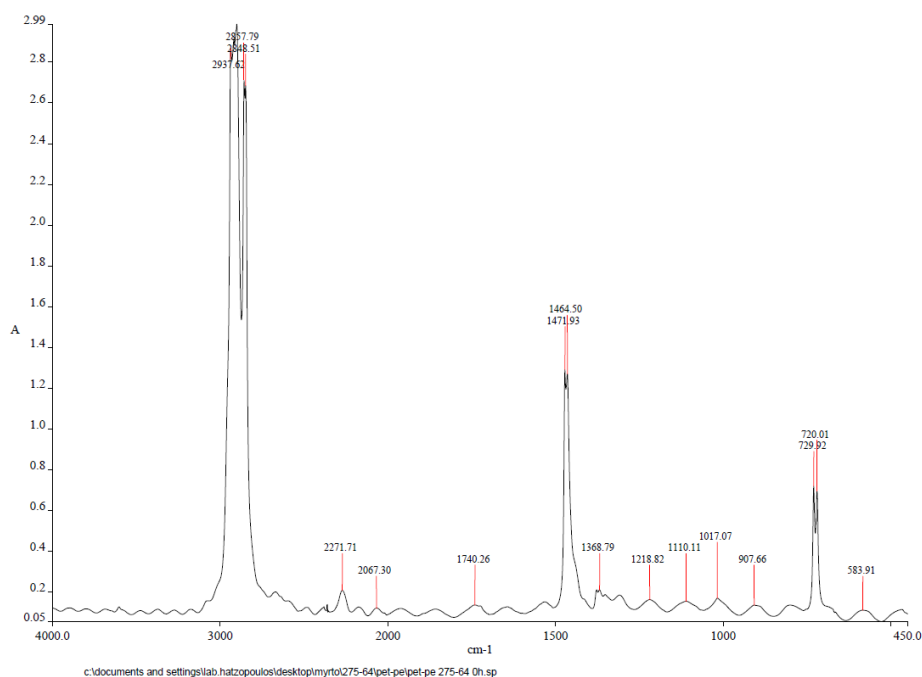
- American Plastic Council (1997), UNDERSTANDING PLASTIC FILM: Its Uses, Benefits and Waste Management Options, Headley Pratt Consulting,
- Anjan* Baral & Annu Rani (2015), Lamination Suitability for Flexible Packaging Application (A Case Study Of “UFLEX Ltd”, Noida), International Journal of Engineering Research, Volume No.4, Issue No.5, pp : 228-230
- Ariff Z.M., Ariffin A., Jikan S.S & Rahim N.A.A,(2012), Rheological Behaviour of Polypropylene Through Extrusion and Capillary Rheometry, *Polypropylene*, In tech, Croatia
- Ashley R.J, Cochran M.A. & Allen K.W. (1995), Adhesives in packaging, Int. J. Adhesion and Adhesives, Volume 15, Number 2, Elsevier
- Kwon Oh-June, Myung Sung-Woon, Lee Chang-Soo & Choi Ho-Suk (2006). Comparison of the surface characteristics of polypropylene films treated by Ar and mixed gas (Ar/O₂) atmospheric pressure plasma. *Journal of Colloid and Interface Science*, 295, pp 409-416
- Lindner Martina, Rodler Norbert, Jesdinski Marius, Schmid Markus, Sangerlaub Sven (2018), Surface energy of corona treated PP, PE and PET films, its alteration as function of storage time and the effect of various corona dosages on their bond strength after lamination, *Journal of Applied Polymer Science*, A45842, pp 1-2
- Market Statistics and Future Trends in Global Packaging WPO – World Packaging Organisation / PIRA International Ltda. Download file published by WPO – World Packaging Organisation – 2008 –
- Polyethylene Terephthalate, Encyclopaedia Britannica Inc., 2020,
- Rolando T.E. (2000), Flexible Packaging-Adhesives, Coatings and Processes, Rapra Technology LTD
- Somarathna H.M.C.C., Raman S.N., Mohotti D., Mutalib A.A. & Badri K.H. (2018), The use of polyurethane for structural and infrastructural engineering applications: A state-of-the-art review, *Construction and Building Materials* 190, pp 994-1014
- Strobec Chr. (1990). Polyurethane adhesives, INT.J.ADHESION AND ADHESIVES, Butterworth – Heinmann Ltd, pp 225-228
- U.S. Environmental Protection Agency, (2011), Methylene Diphenyl Diisocyanate (MDI) And Related Compounds Action Plan [RIN 2070-ZA15]
- Wirts M., Grunwald D., Schulze D., Udhe E. & Salthammer T. (2003), Time course of isocyanate emission from curing polyurethane adhesives, *Atmospheric environment*, 37, pp 5467-5475
- Προσωπική επικοινωνία με εταιρεία HATZOPOULOS S.A.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

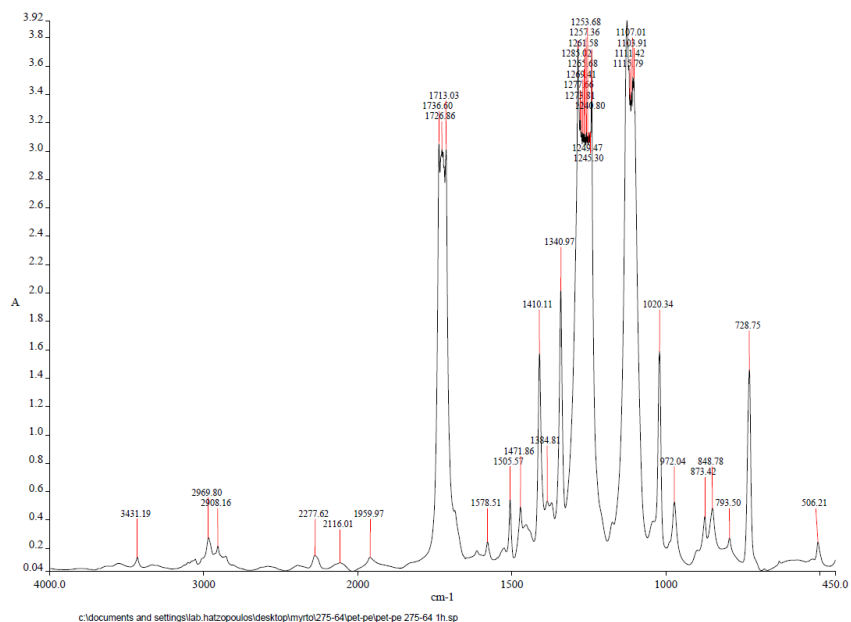
- <https://polymerdatabase.com/Films/PET%20Films.html>
- <https://www.flexpackmag.com/articles/86903-the-role-of-laminating-in-the-flexible-packaging-film-process> (λαμινάρισμα)

- <http://www.dalfilm.com.ar/en/films-polipropileno.php> (ΕΙΚΟΝΑ PP)
- <http://polymerdatabase.com/Films/PP%20Films.html> (BOPP)
- https://www.researchgate.net/figure/Molecular-structure-of-polyethylene-terephthalate-PET_fig1_228861441 (εικόνα 2- μοριακή δομή PET)
- <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Polyethylene-terephthalate>
- <https://www.britannica.com/science/polyethylene-terephthalate>
- <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polyethylene-plastic> (εικόνα 6- δομή πολυαιθυλενίου)
- <https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2015/september/making-plastics-monomer-polymer>
- <https://www.dupont.com/tyvekdesign/design-with-tyvek/why-tyvek.html>
- <https://3dtllc.com/what-is-a-dyne-level/>
- <https://www.thierry-corp.com/manufacturers-surface-activation-guide-for-improved-adhesion?hsLang=en>
- <https://www.britannica.com/science/dyne>
- <https://3dtllc.com/what-is-a-dyne-level/>
- <http://www.pnpfilm.com/index.php/ThermalLaminationFilm/WhatIsCoronaTreatmentofaPlasticFilm-21.html>

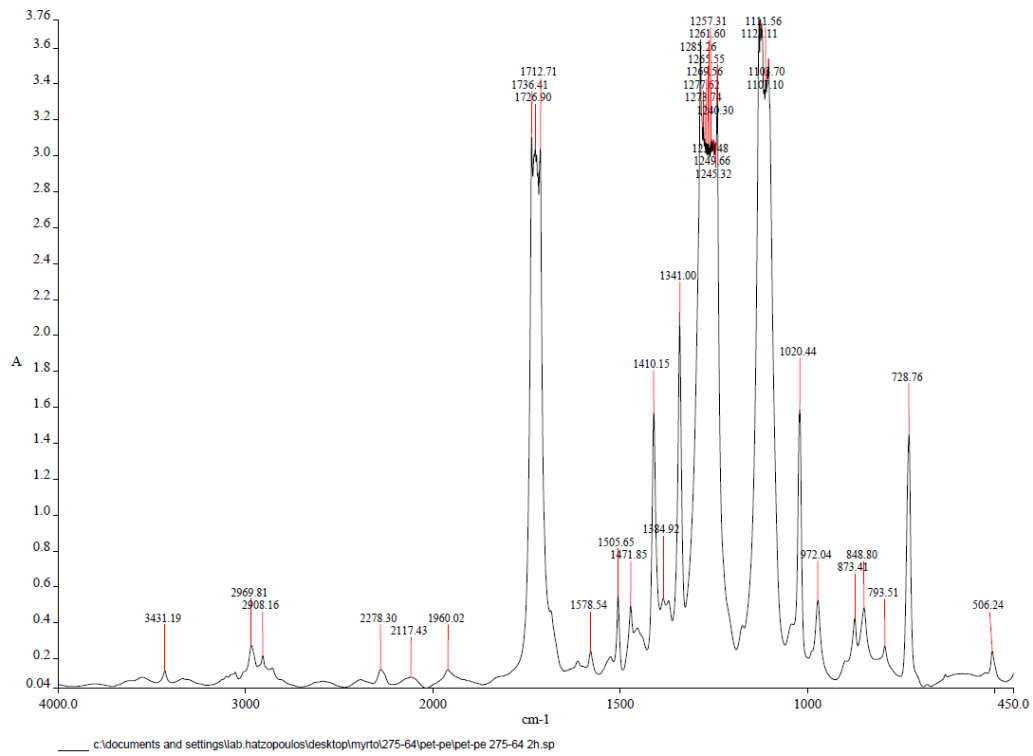
Φάσματα FT-IR δομών που λαμιναρίστηκαν με κόλλα 275-64.



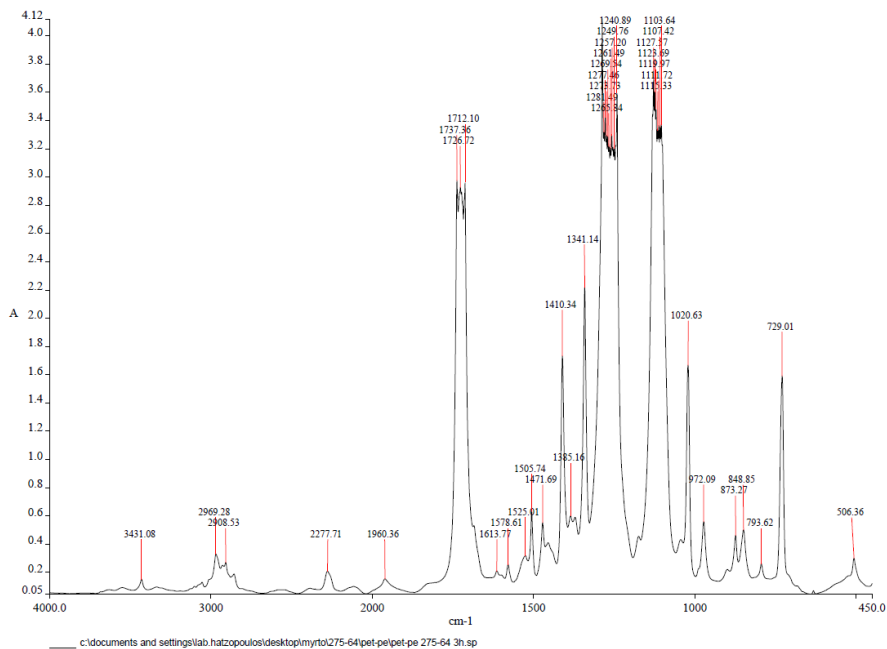
Σχήμα 73. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμιναρισμένο με 275-64 σε 0 ώρες μετά το λαμινάρισμα



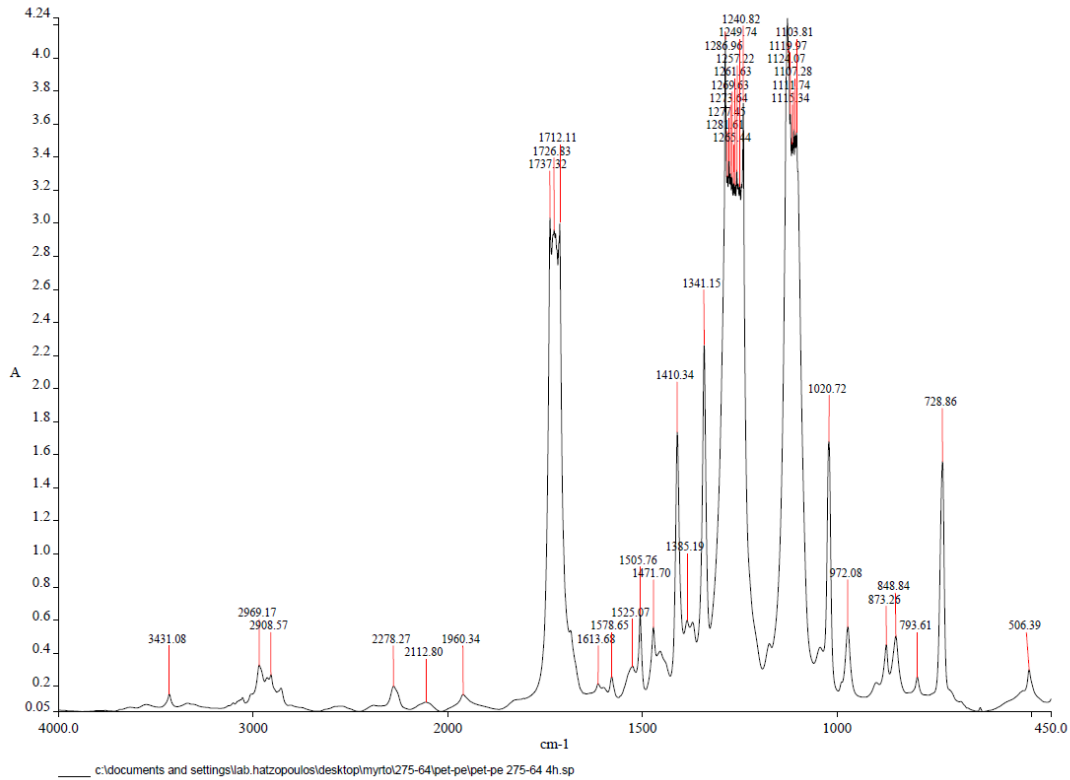
Σχήμα 74. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμιναρισμένο με 275-64 σε 1 ώρες μετά το λαμινάρισμα



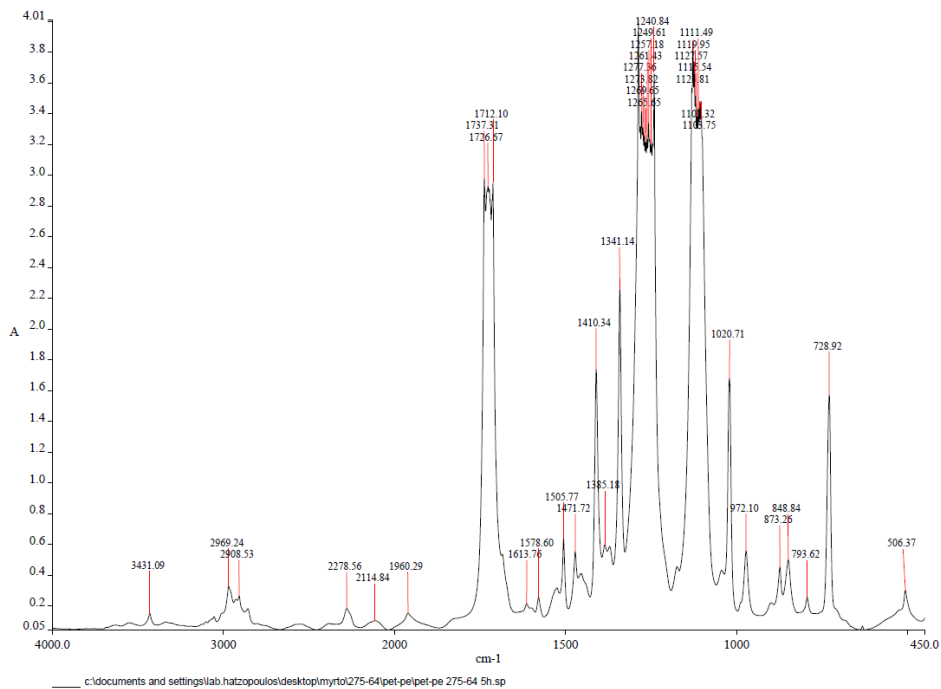
Σχήμα 75. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμιναρισμένο με 275-64 σε 2 ώρες μετά το λαμινάρισμα



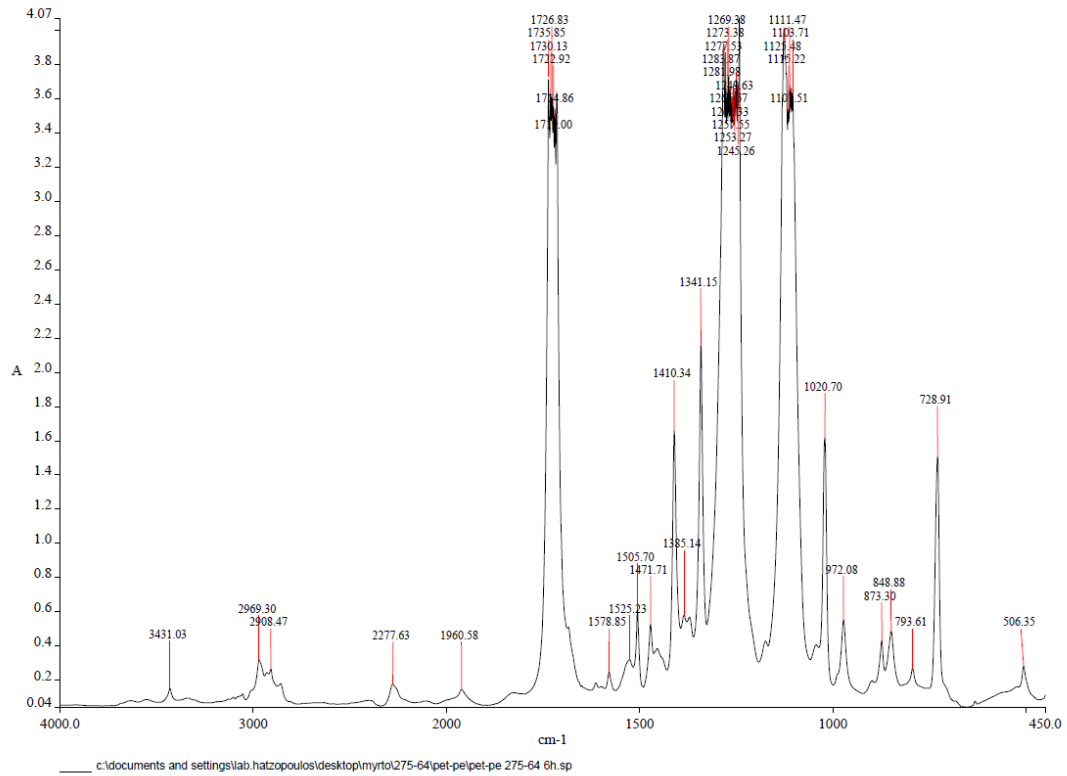
Σχήμα 76. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμιναρισμένο με 275-64 σε 3 ώρες μετά το λαμινάρισμα



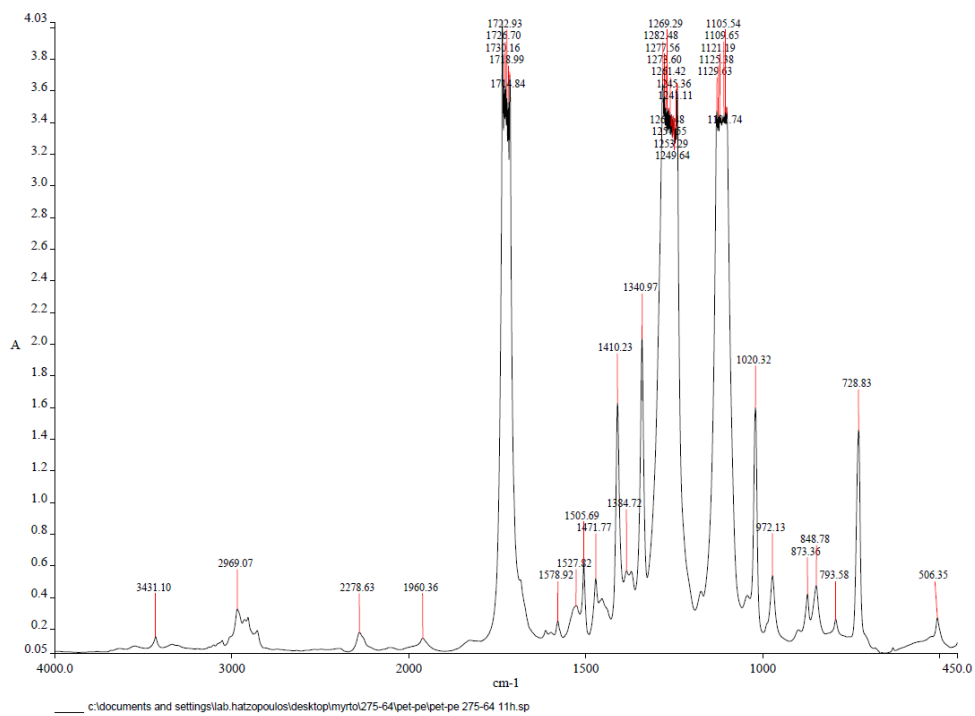
Σχήμα 77. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμιναρισμένο με 275-64 σε 4 ώρες μετά το λαμινάρισμα



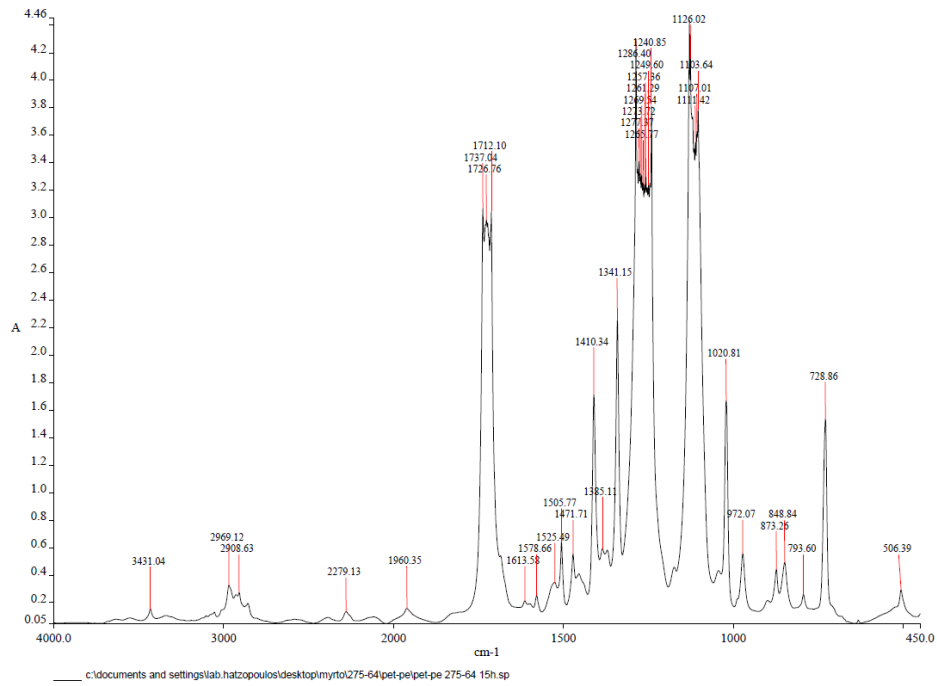
Σχήμα 78. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμιναρισμένο με 275-64 σε 5 ώρες μετά το λαμινάρισμα



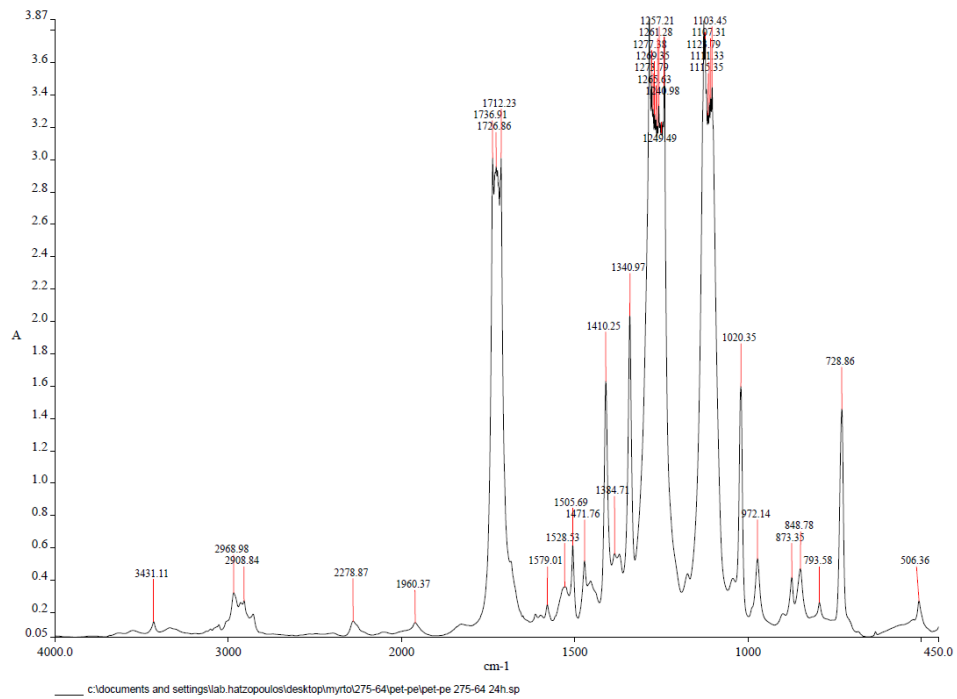
Σχήμα 79. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμιναρισμένο με 275-64 σε 6 ώρες μετά το λαμινάρισμα



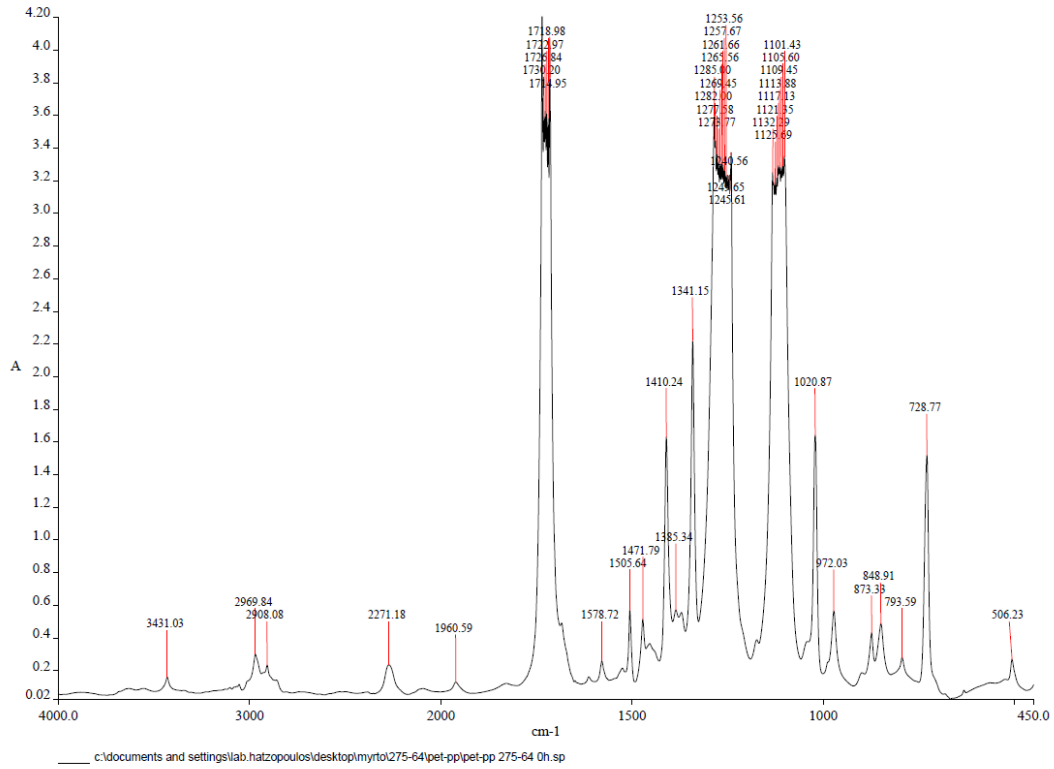
Σχήμα 80. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμιναρισμένο με 275-64 σε 11 ώρες μετά το λαμινάρισμα



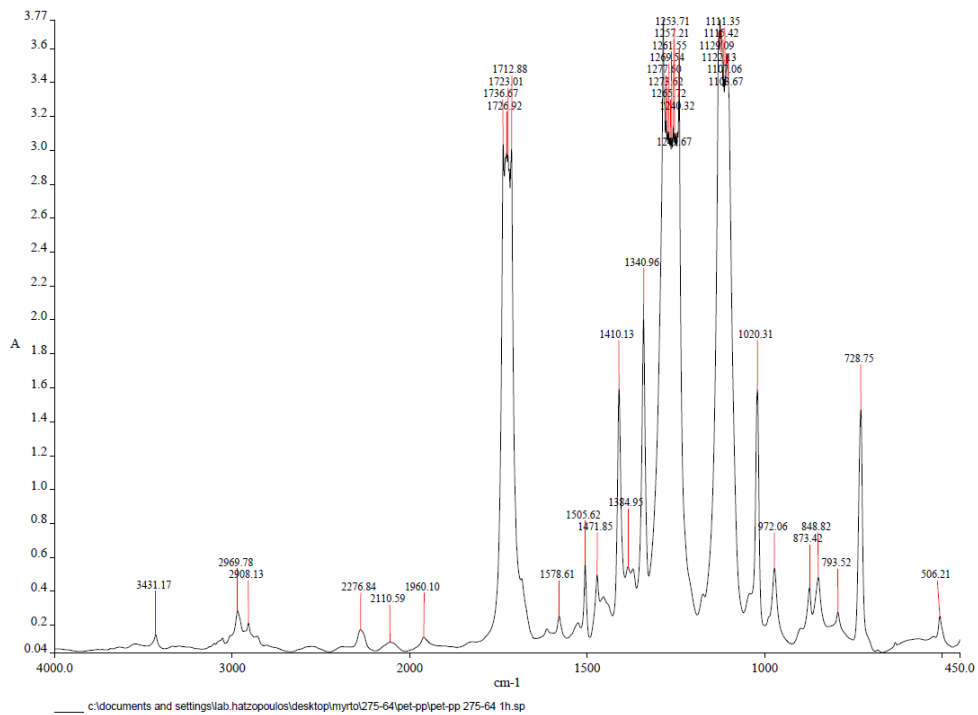
Σχήμα 81. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμινάρισμα με 275-64 σε 15 ώρες μετά το λαμινάρισμα



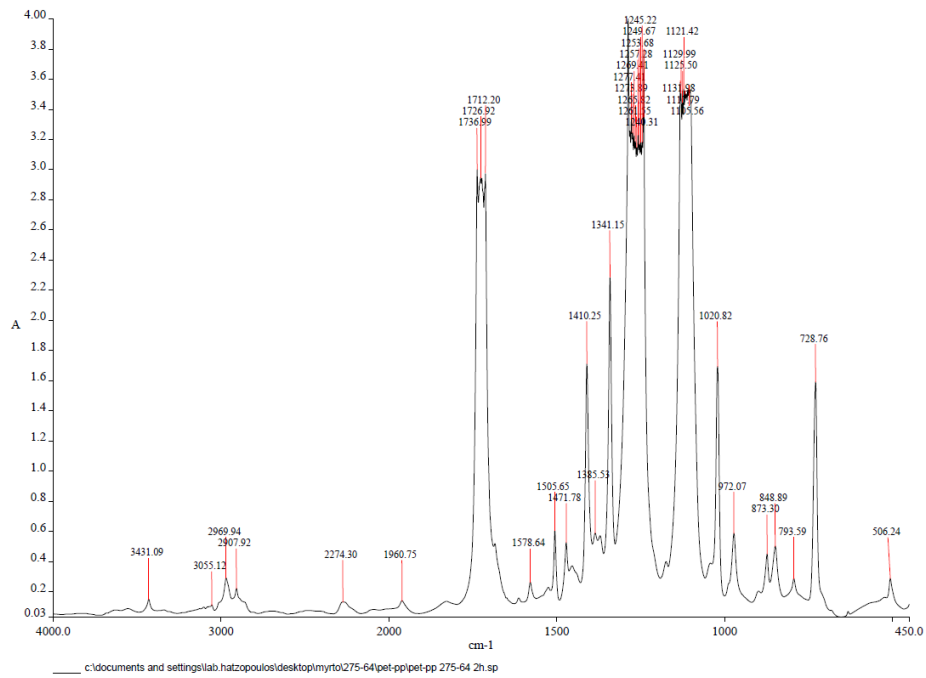
Σχήμα 82. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμινάρισμα με 275-64 σε 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα



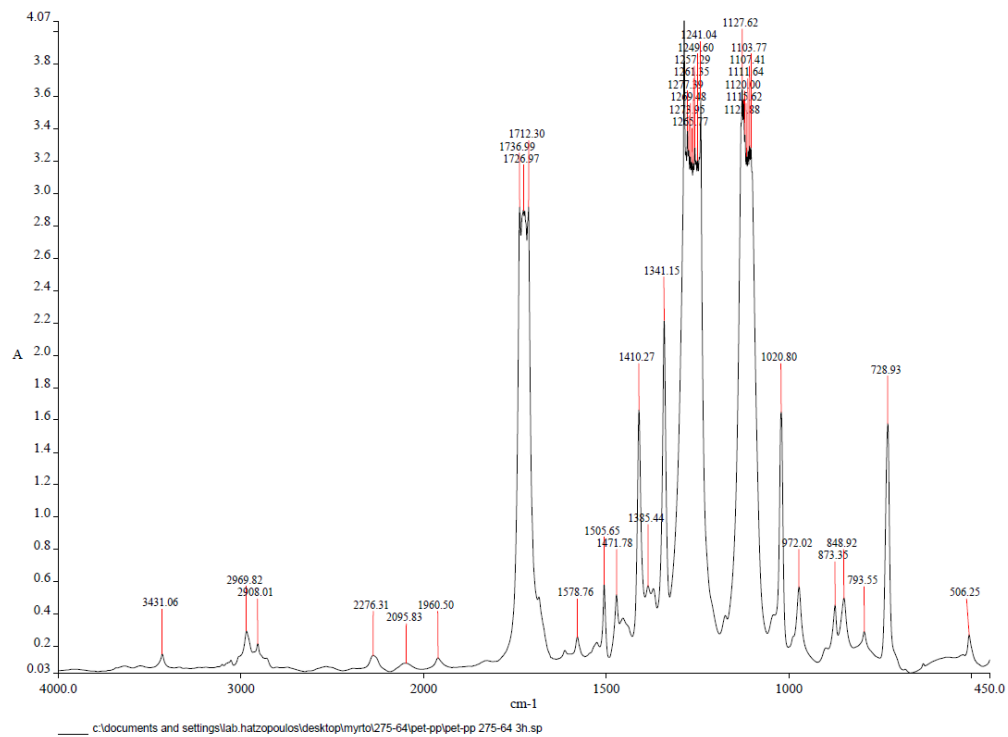
Σχήμα 83. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμιναρισμένο με 275-64 σε 0 ώρες μετά το λαμινάρισμα



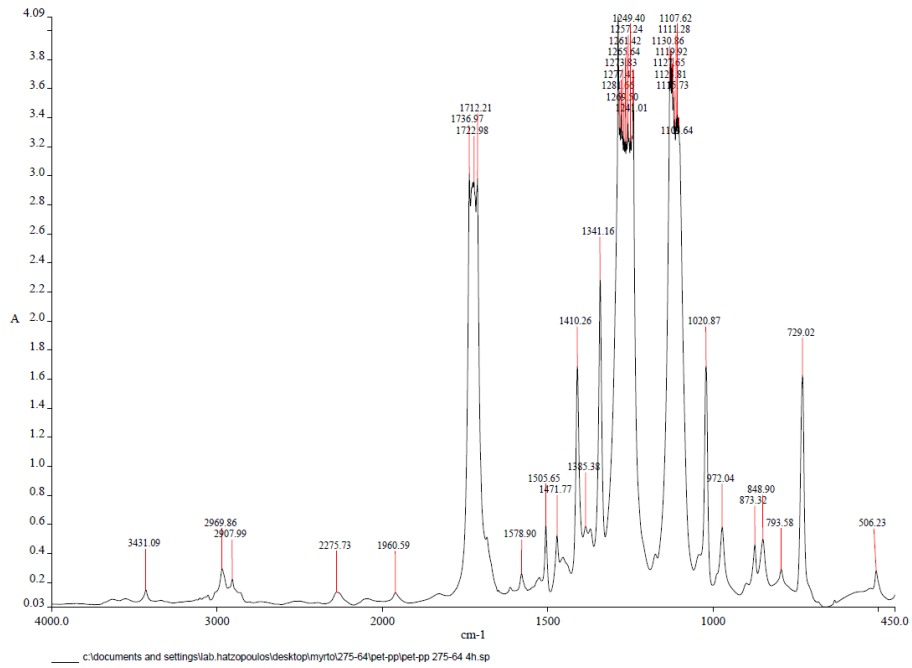
Σχήμα 84. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμιναρισμένο με 275-64 σε 1 ώρες μετά το λαμινάρισμα



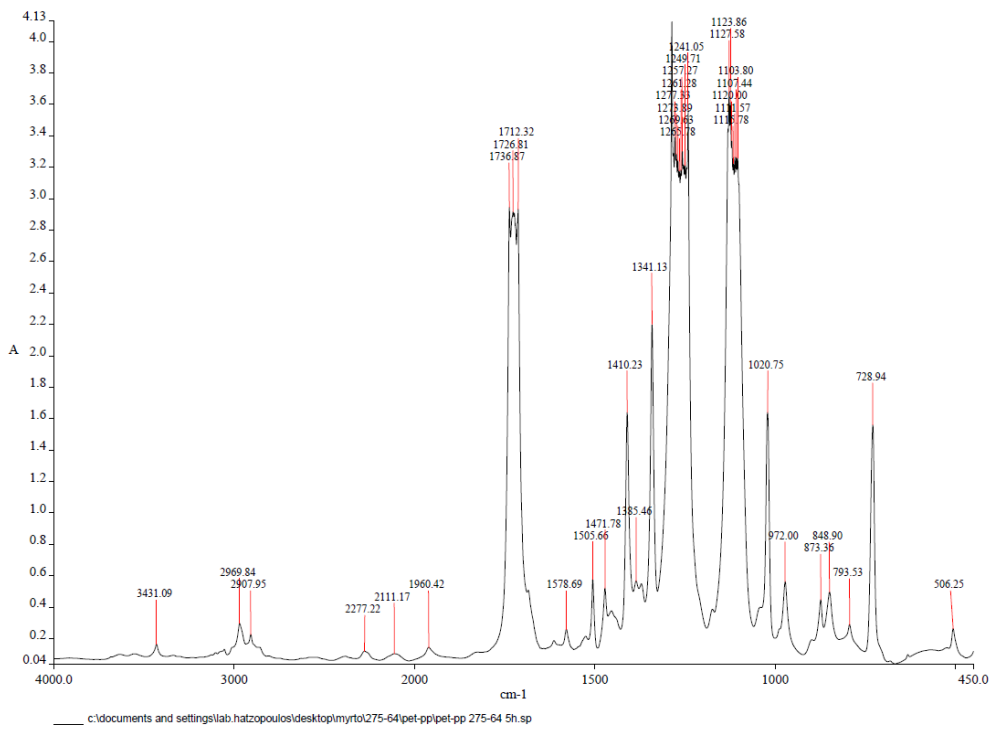
Σχήμα 85. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμινάρισμένο με 275-64 σε 2 ώρες μετά το λαμινάρισμα



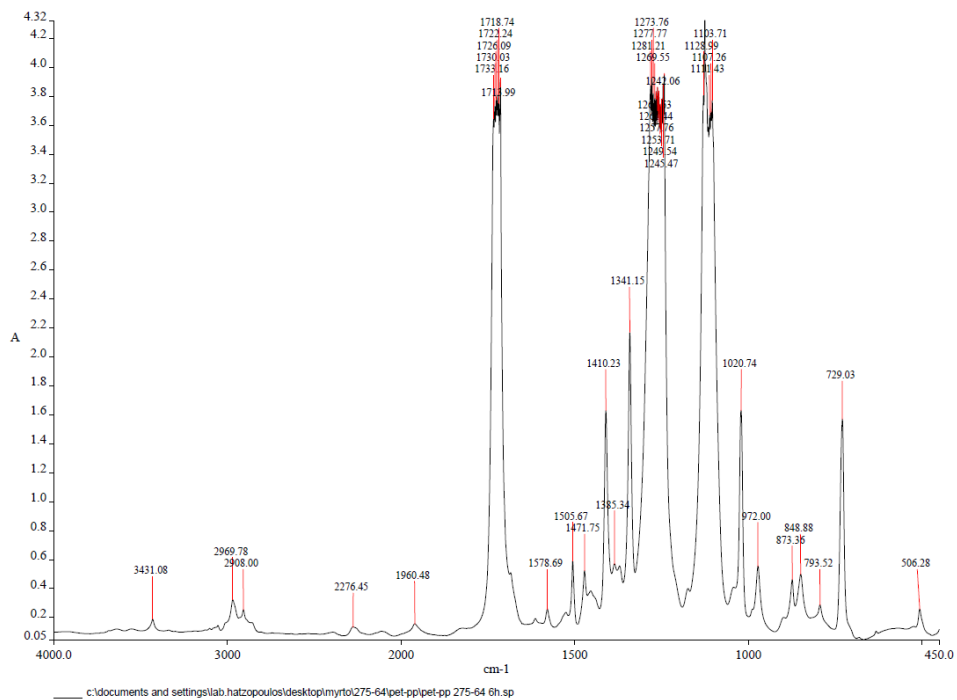
Σχήμα 86. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμινάρισμένο με 275-64 σε 3 ώρες μετά το λαμινάρισμα



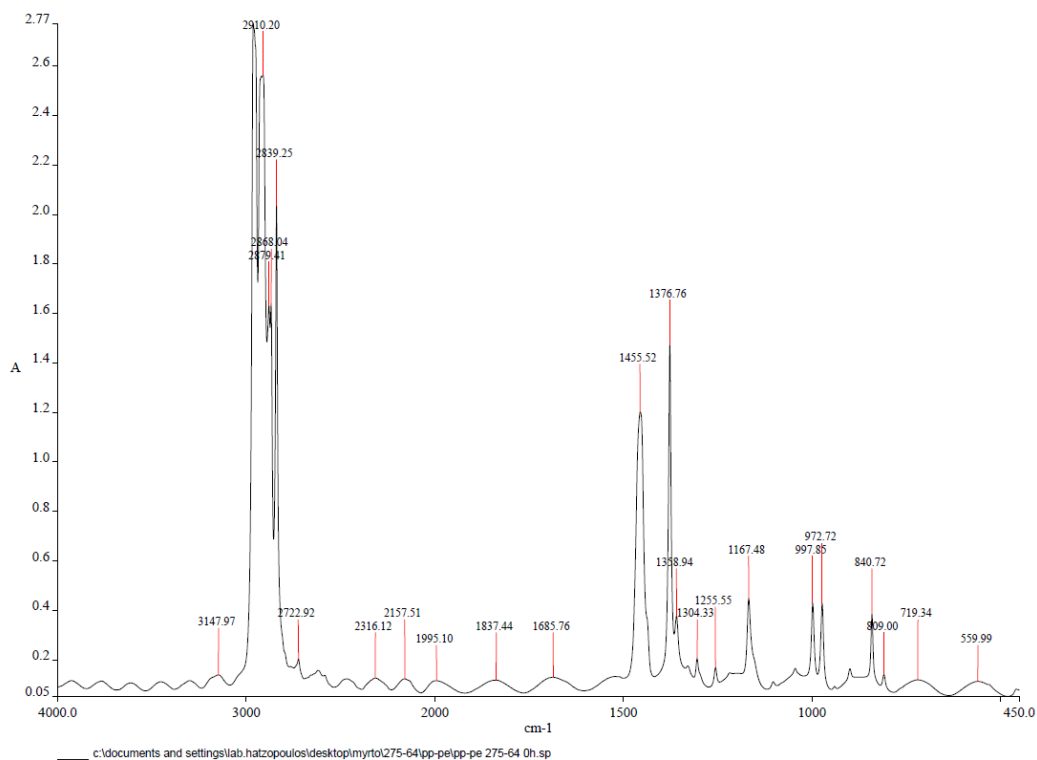
Σχήμα 87. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμιναρισμένο με 275-64 σε 4 ώρες μετά το λαμινάρισμα



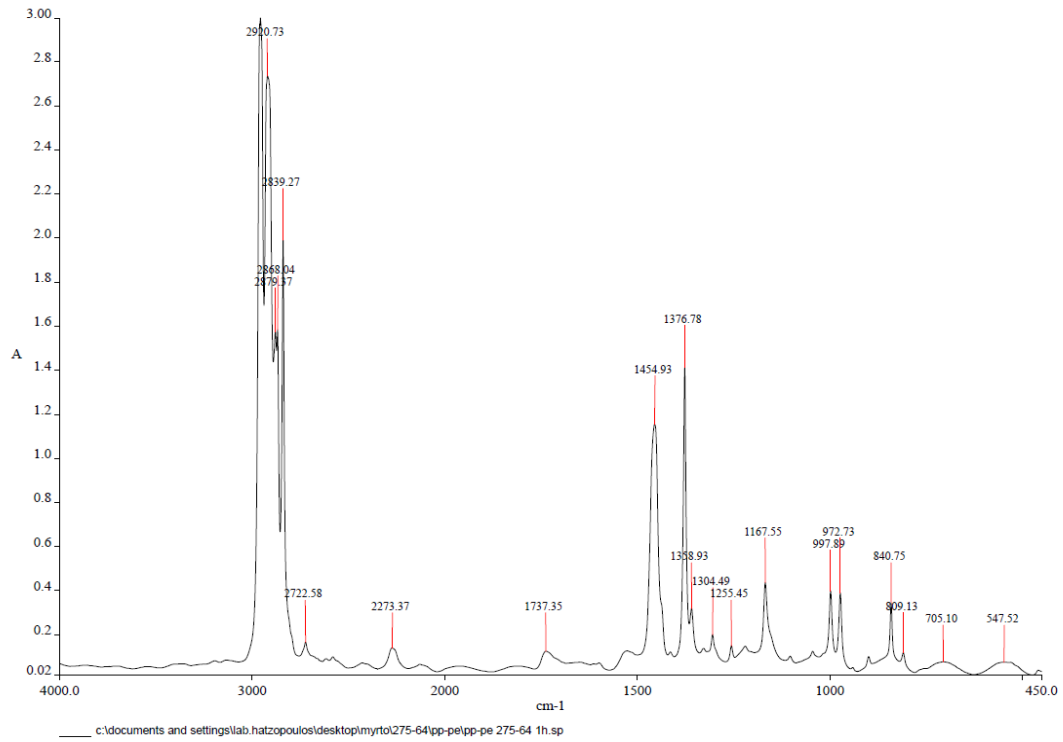
Σχήμα 88. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμιναρισμένο με 275-64 σε 5 ώρες μετά το λαμινάρισμα



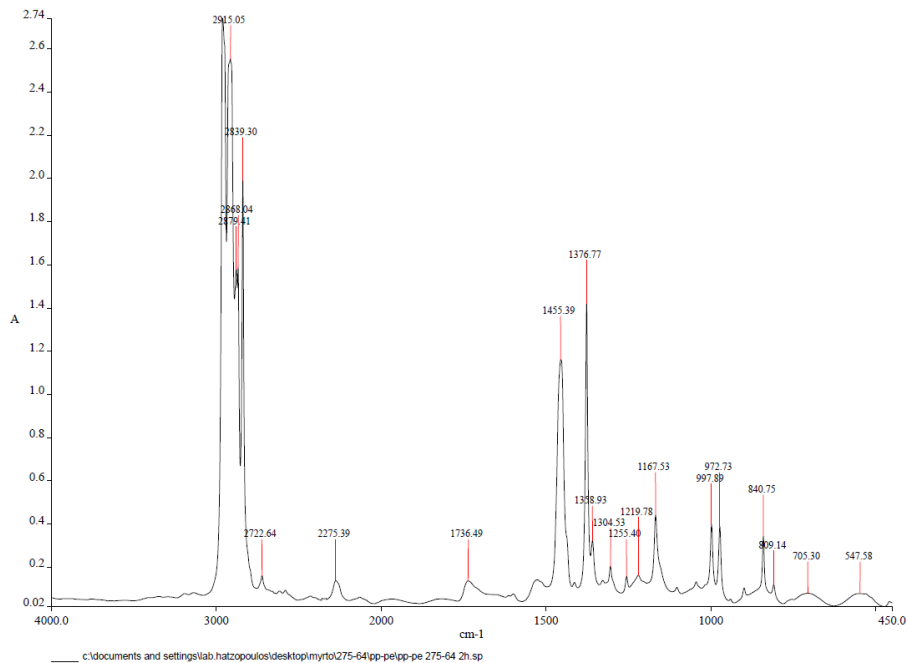
Σχήμα 89. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμινάρισμένο με 275-64 σε 6 ώρες μετά το λαμινάρισμα



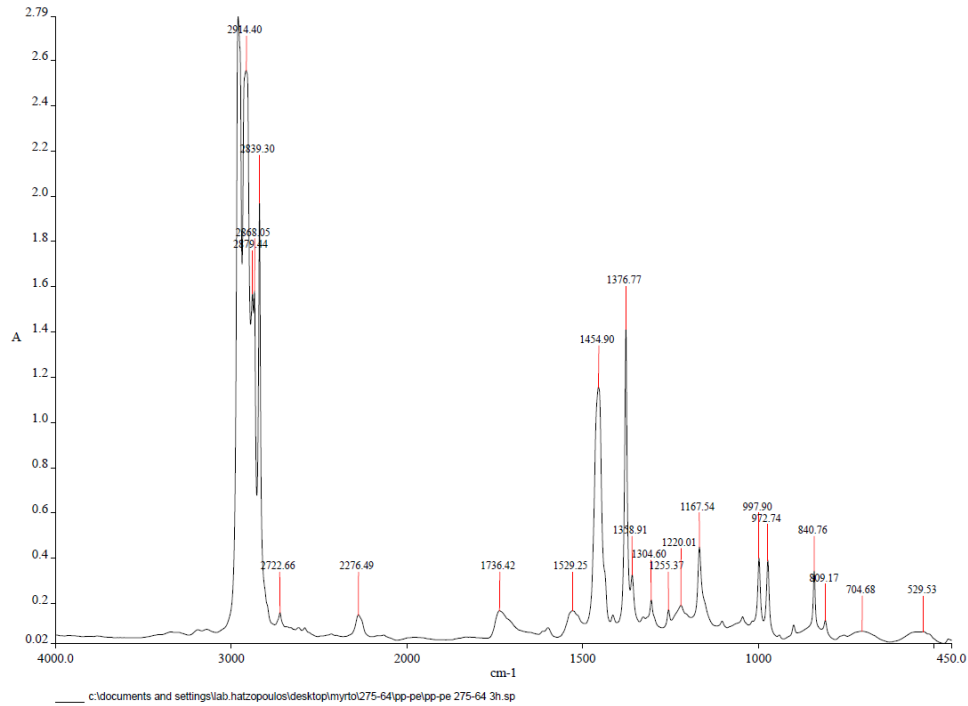
Σχήμα 90. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 275-64 σε 0 ώρες μετά το λαμινάρισμα



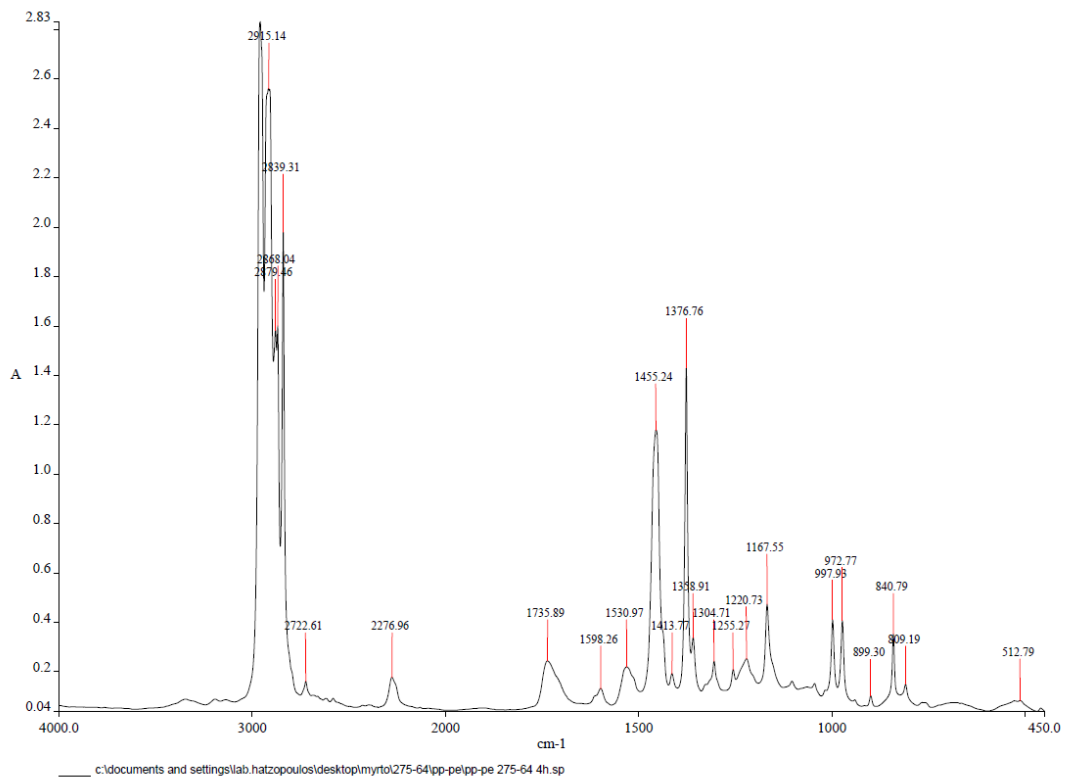
Σχήμα 91. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 275-64 σε 1 ώρες μετά το λαμινάρισμα



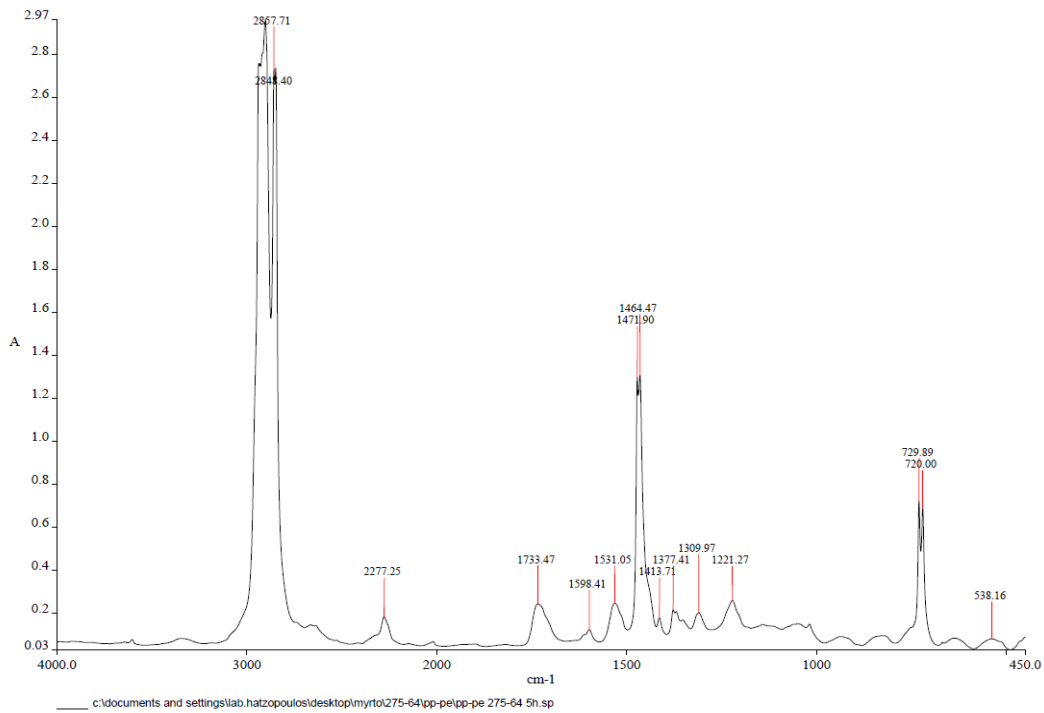
Σχήμα 92. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 275-64 σε 2 ώρες μετά το λαμινάρισμα



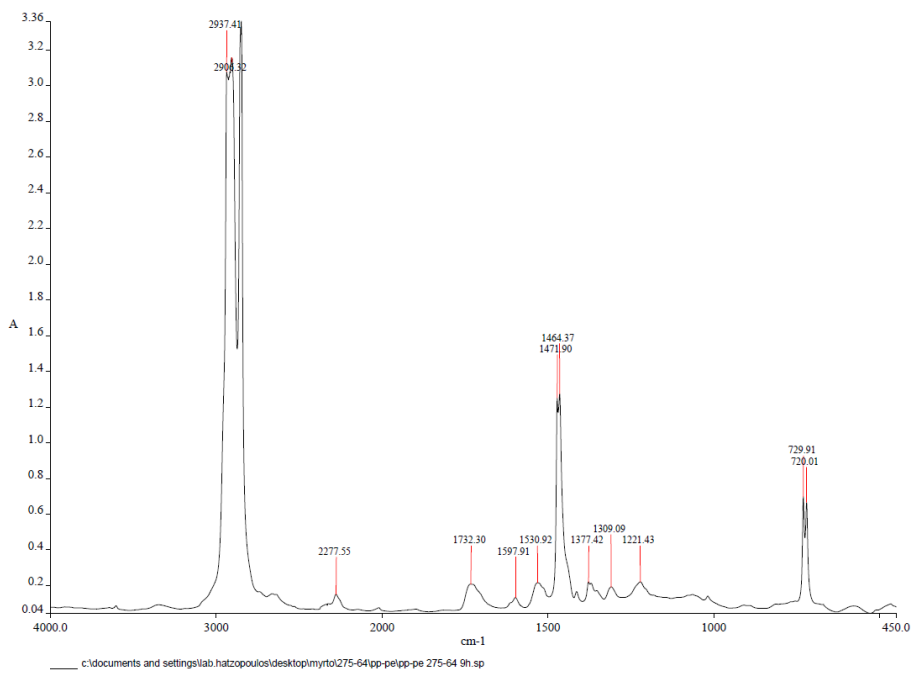
Σχήμα 93. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 275-64 σε 3 ώρες μετά το λαμινάρισμα



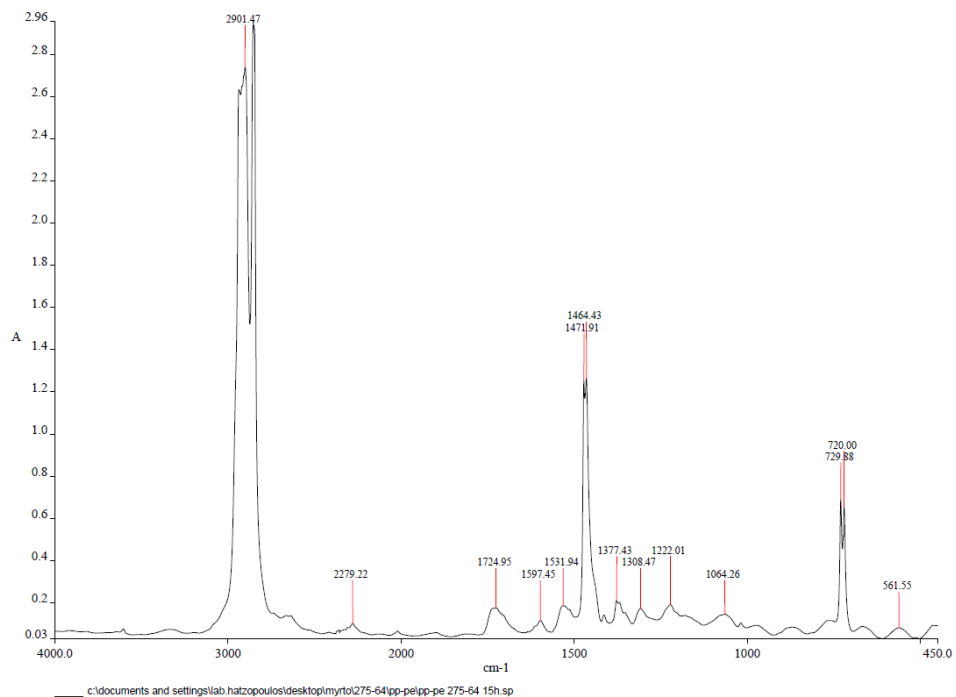
Σχήμα 94. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 275-64 σε 4 ώρες μετά το λαμινάρισμα



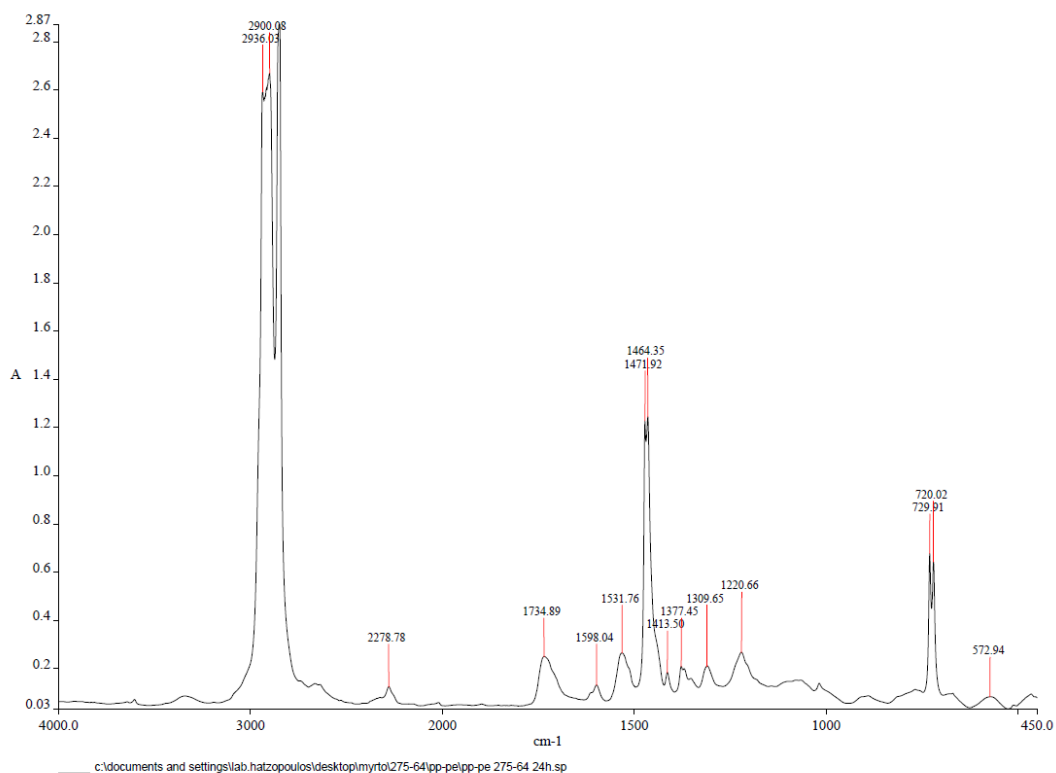
Σχήμα 95. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 275-64 σε 5 ώρες μετά το λαμινάρισμα



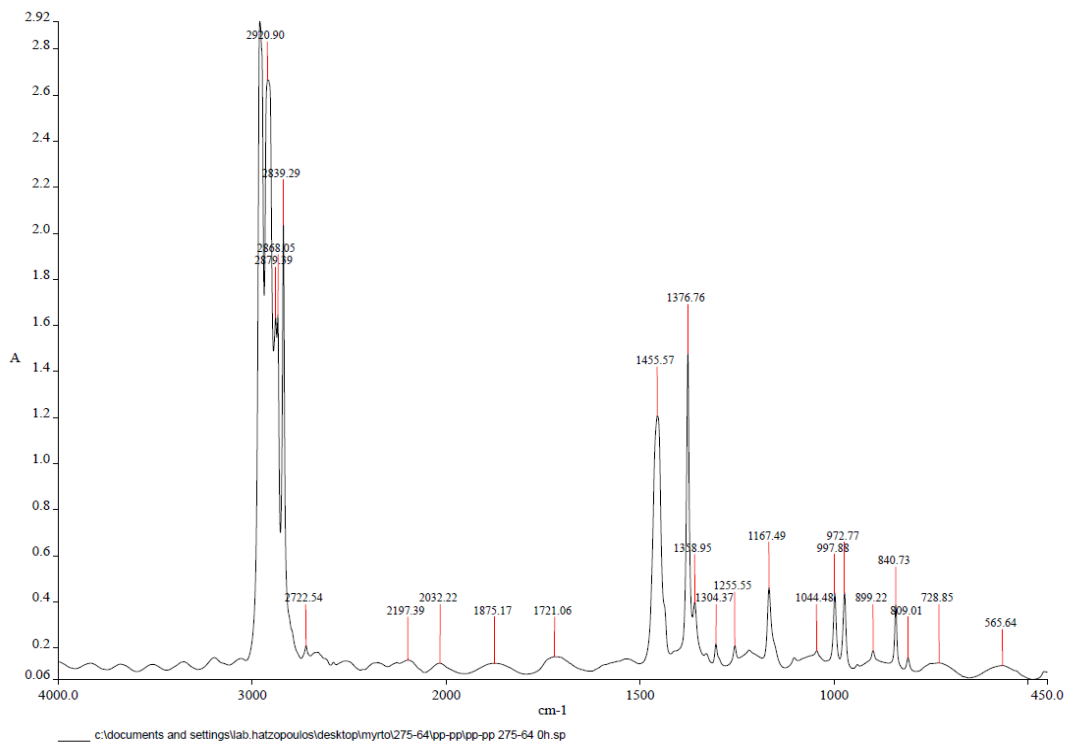
Σχήμα 96. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 275-64 σε 9 ώρες μετά το λαμινάρισμα



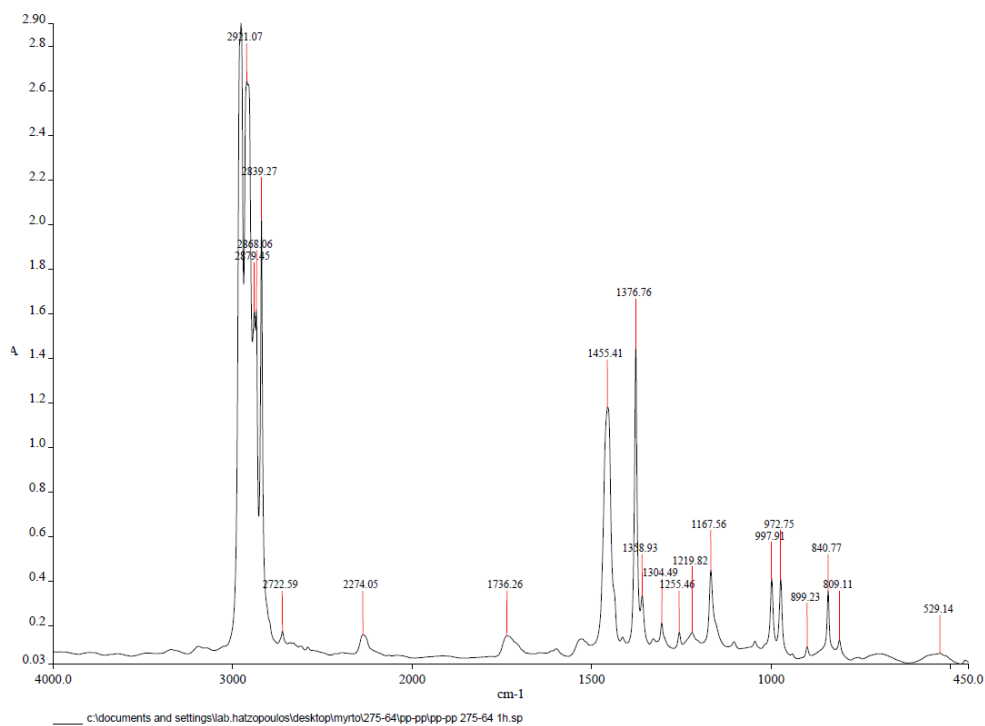
Σχήμα 97. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 275-64 σε 15 ώρες μετά το λαμινάρισμα



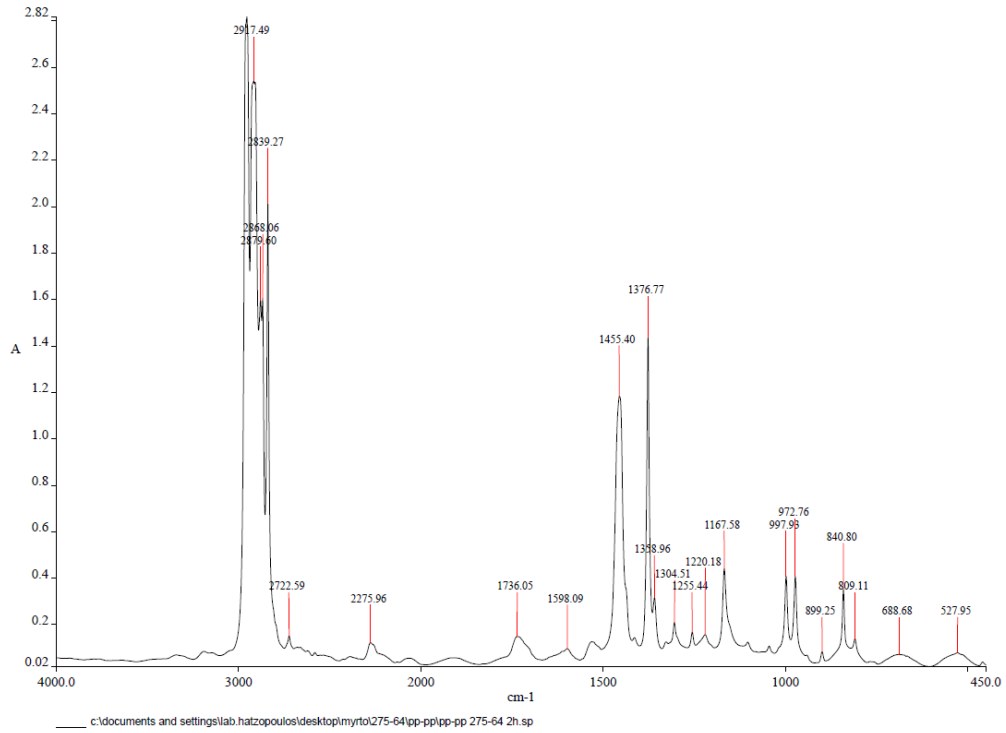
Σχήμα 98. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 275-64 σε 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα



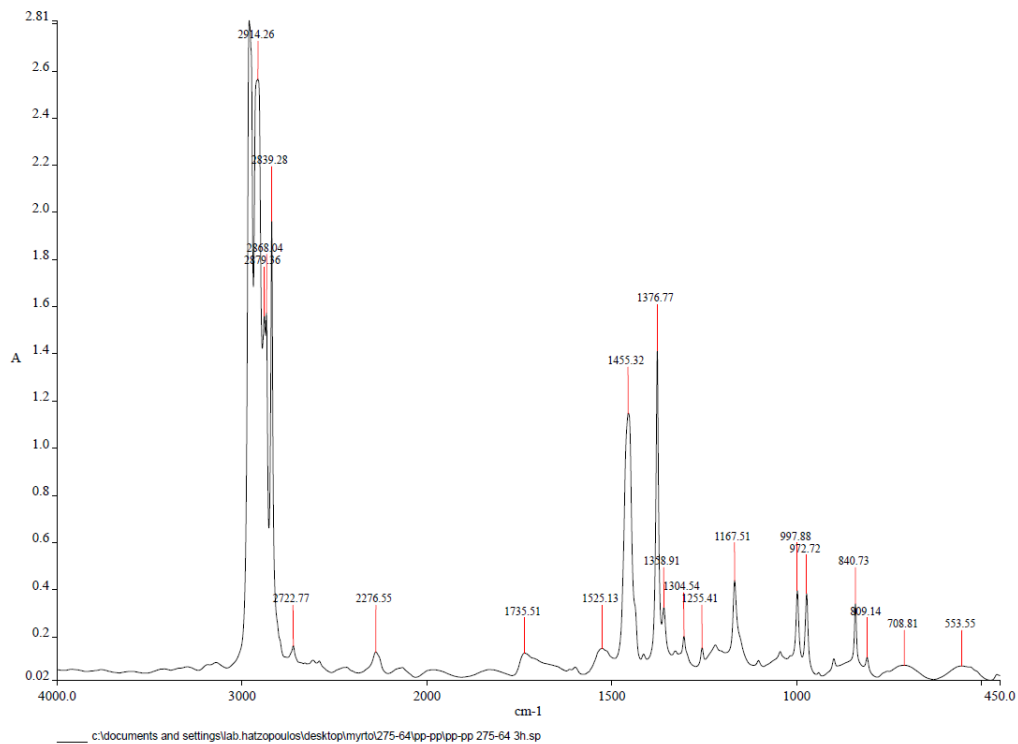
Σχήμα 99. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμιναρισμένο με 275-64 σε 0 ώρες μετά το λαμινάρισμα



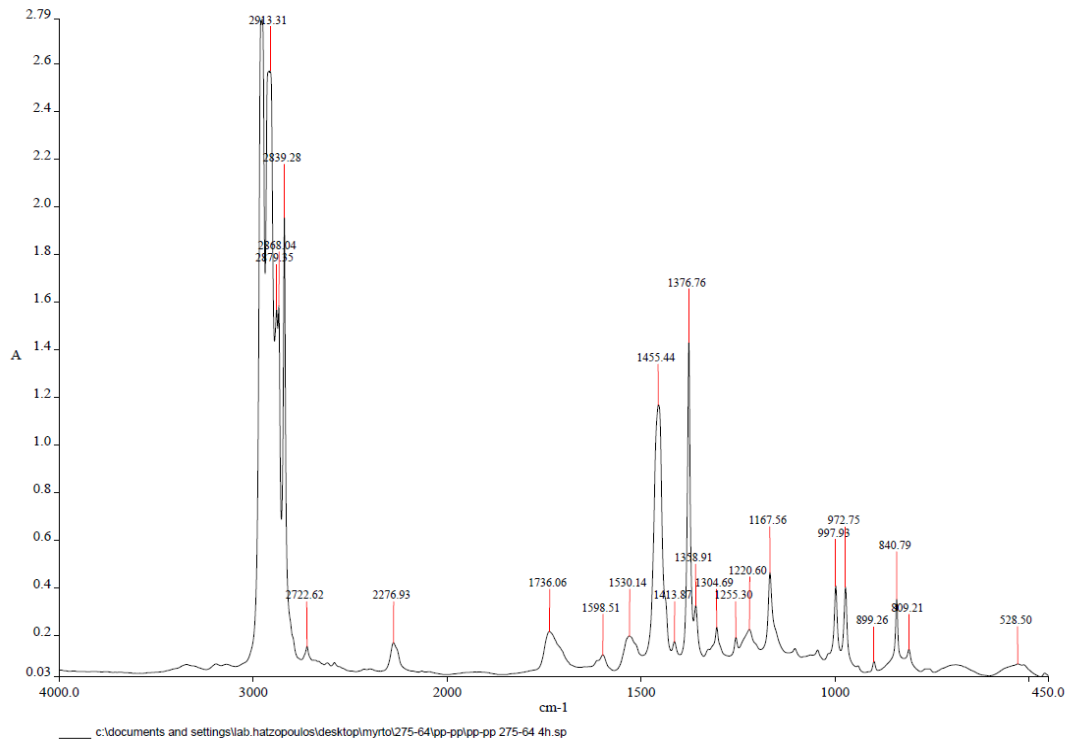
Σχήμα 100. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμιναρισμένο με 275-64 σε 1 ώρες μετά το λαμινάρισμα



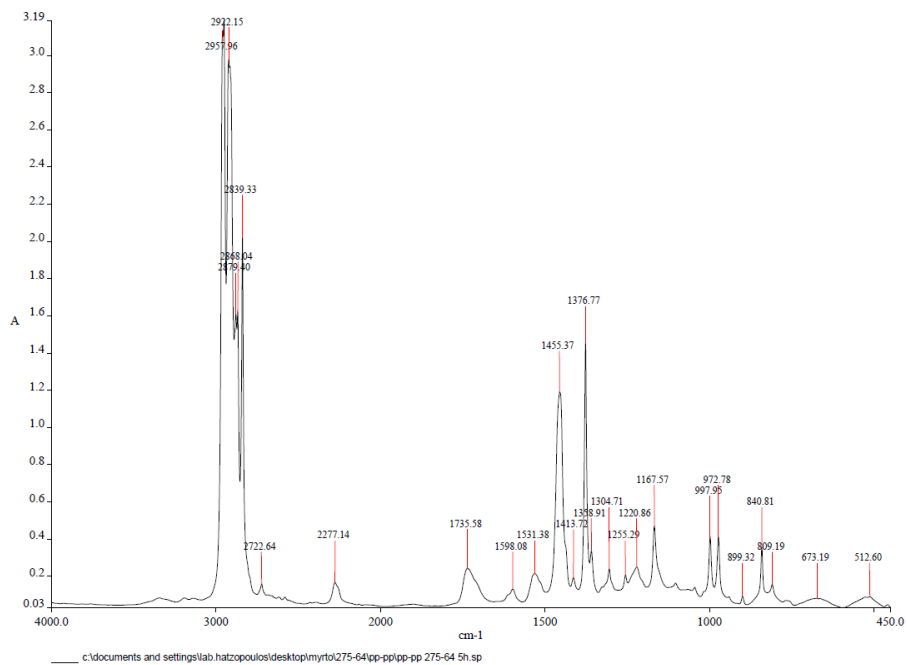
Σχήμα 101. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμινάρισμένο με 275-64 σε 2 ώρες μετά το λαμινάρισμα



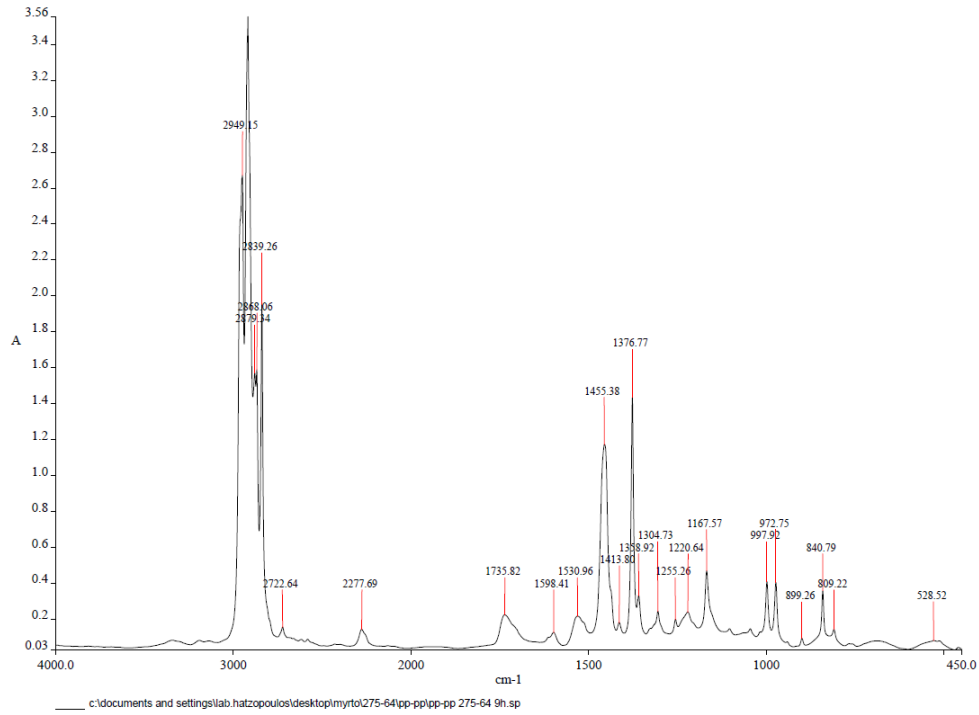
Σχήμα 102. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμινάρισμένο με 275-64 σε 3 ώρες μετά το λαμινάρισμα



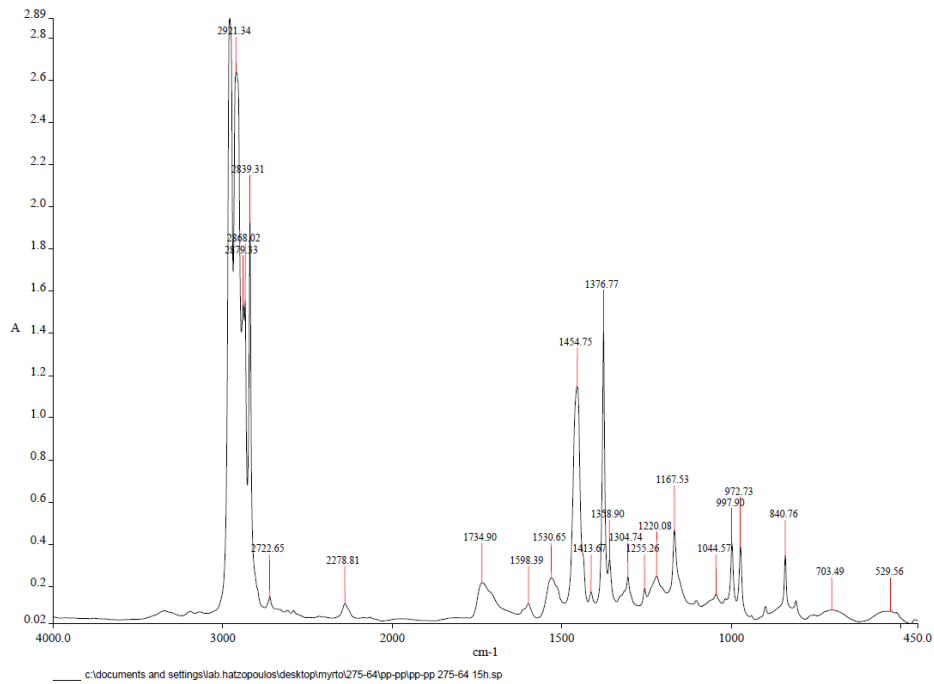
Σχήμα 103. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμινάρισμένο με 275-64 σε 4 ώρες μετά το λαμινάρισμα



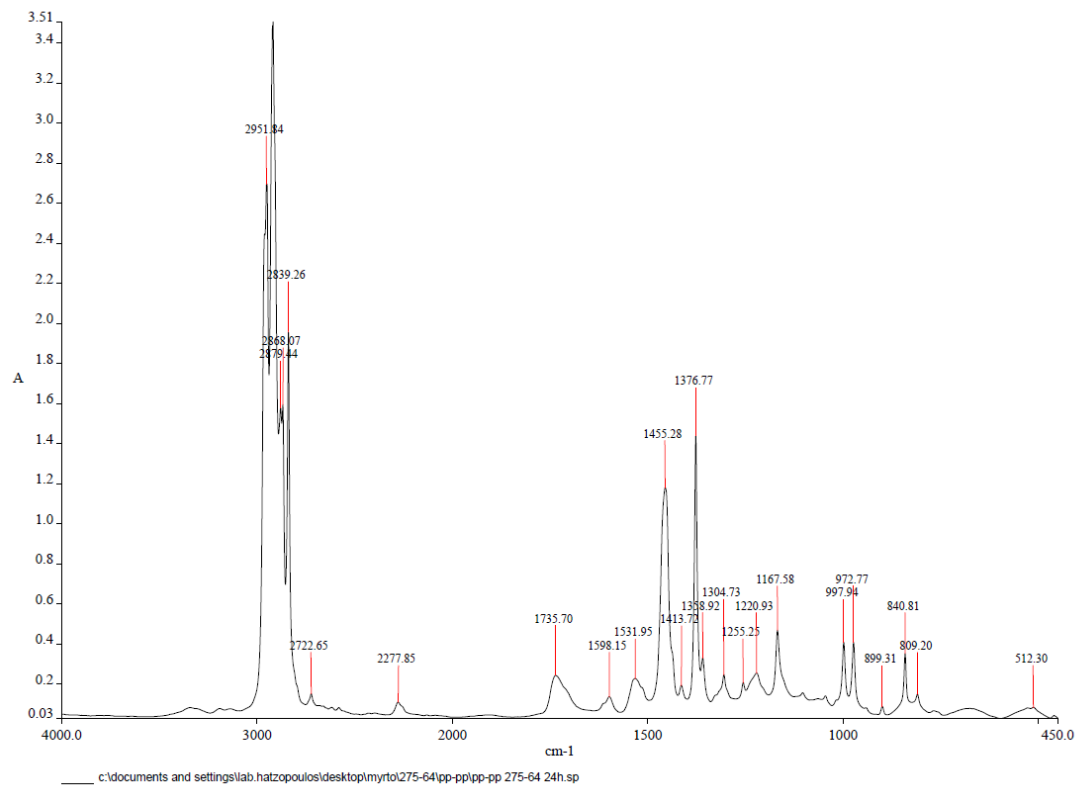
Σχήμα 104. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμινάρισμένο με 275-64 σε 5 ώρες μετά το λαμινάρισμα



Σχήμα 105. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμινάρισμένο με 275-64 σε 9 ώρες μετά το λαμινάρισμα



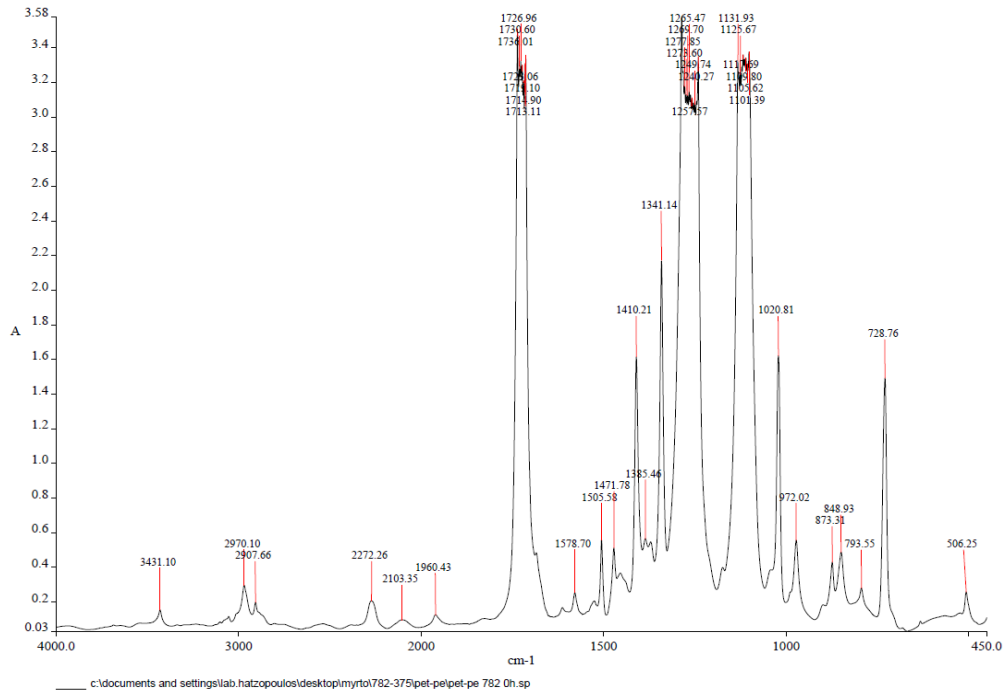
Σχήμα 106. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμινάρισμένο με 275-64 σε 15 ώρες μετά το λαμινάρισμα



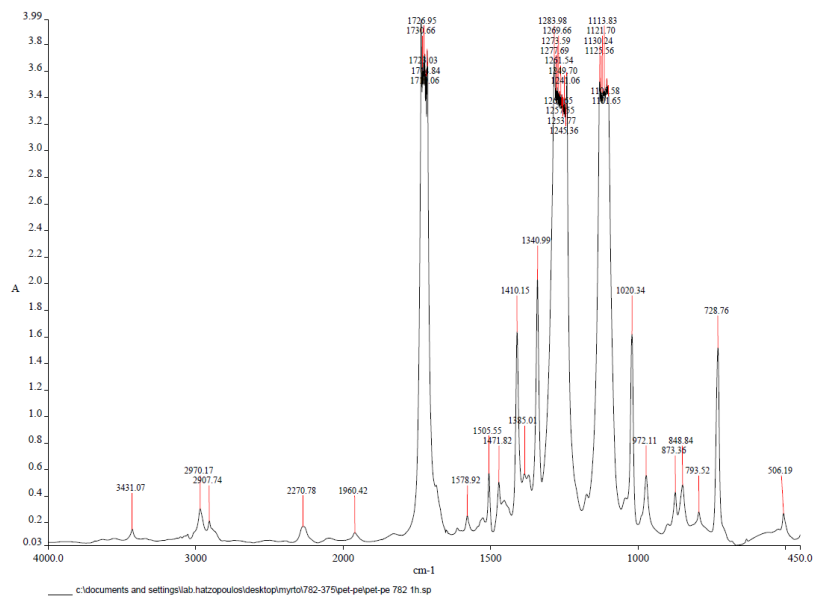
Σχήμα 107. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμιναρισμένο με 275-64 σε 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

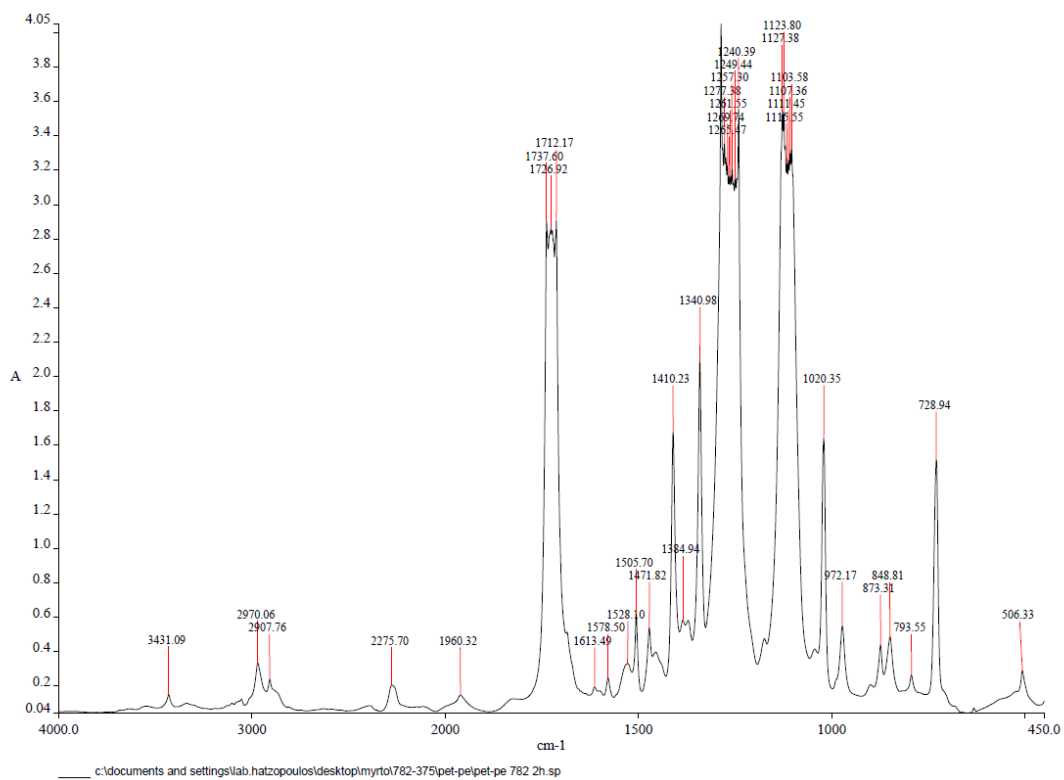
Φάσματα FT-IR δομών που λαμινάστηκαν με κόλλα 782/375.



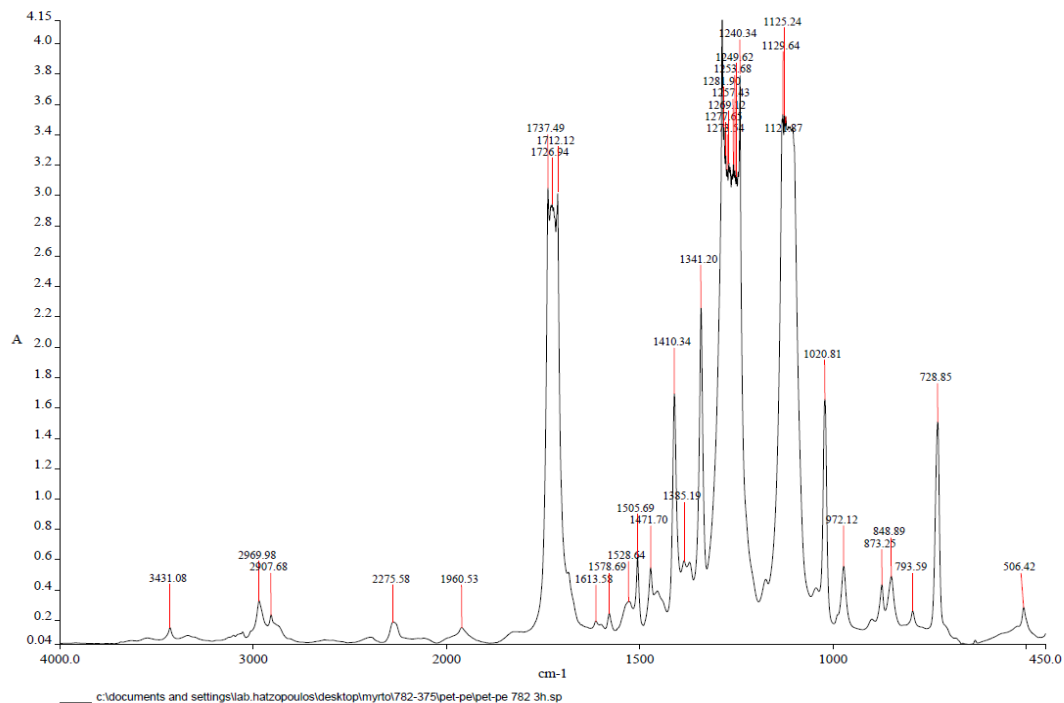
Σχήμα 108. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 0 ώρες μετά το λαμινάρισμα



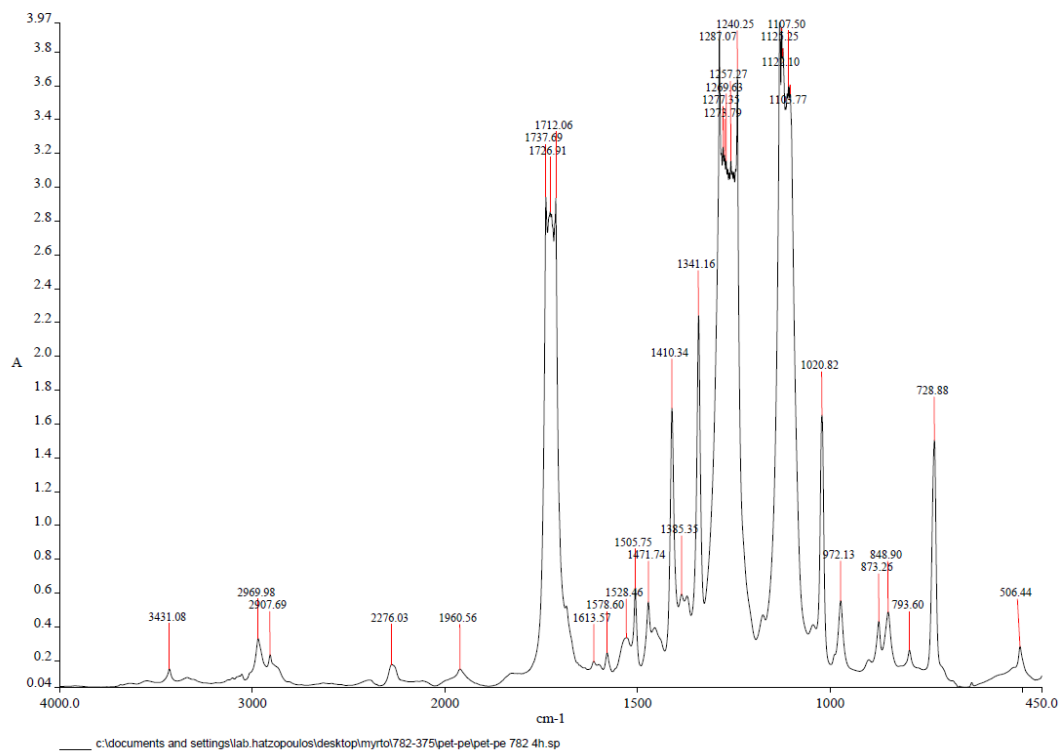
Σχήμα 109. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 1 ώρες μετά το λαμινάρισμα



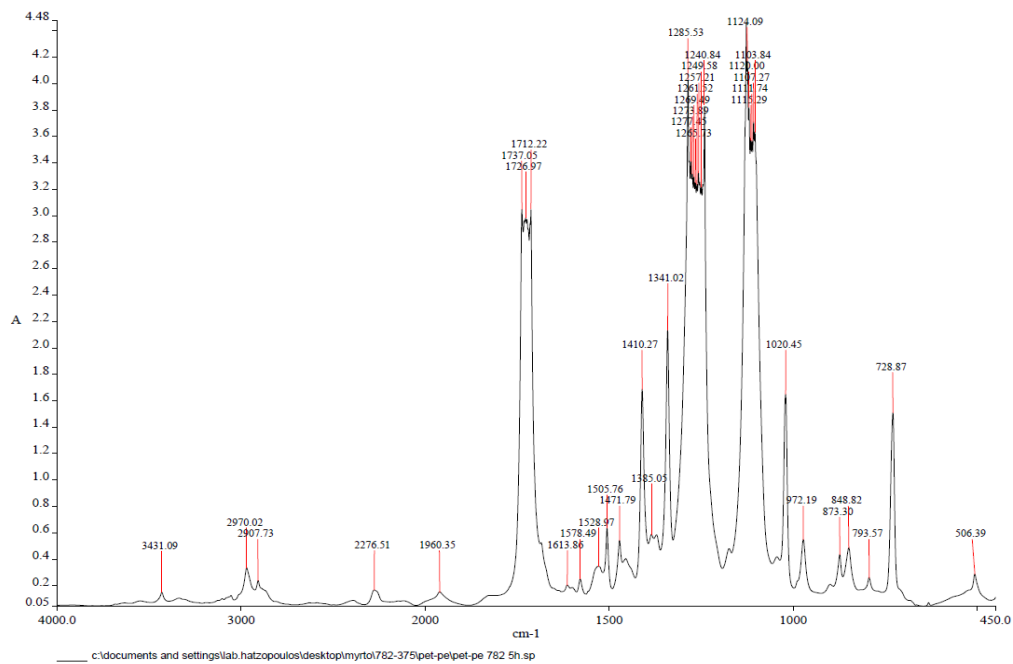
Σχήμα 110. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 2 ώρες μετά το λαμινάρισμα



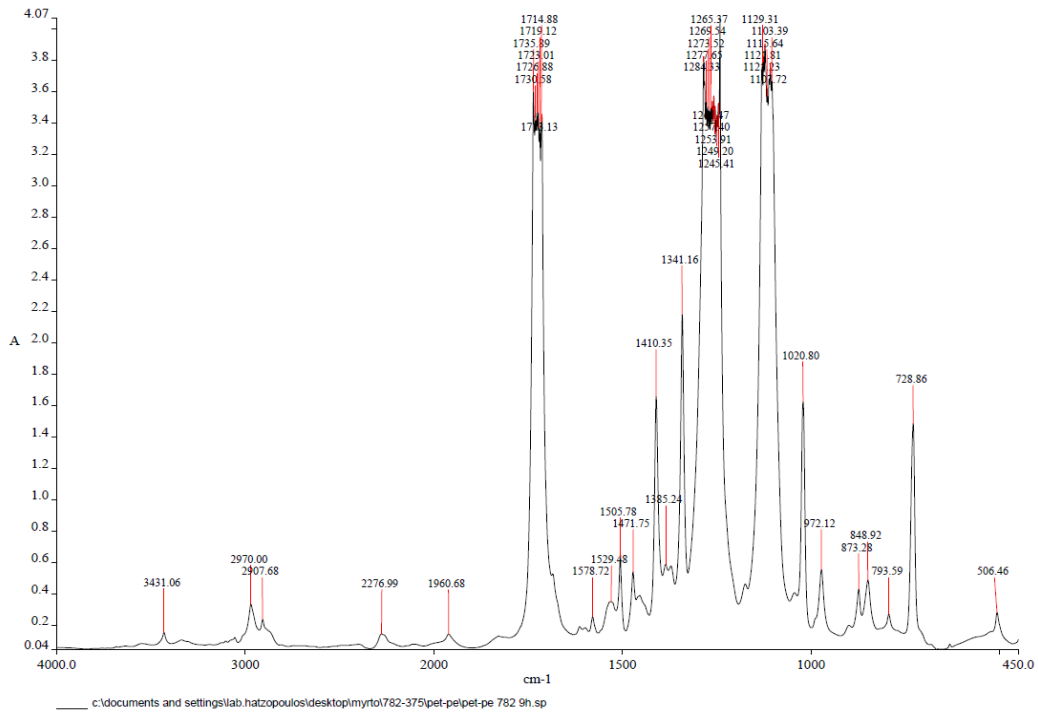
Σχήμα 111. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 3 ώρες μετά το λαμινάρισμα



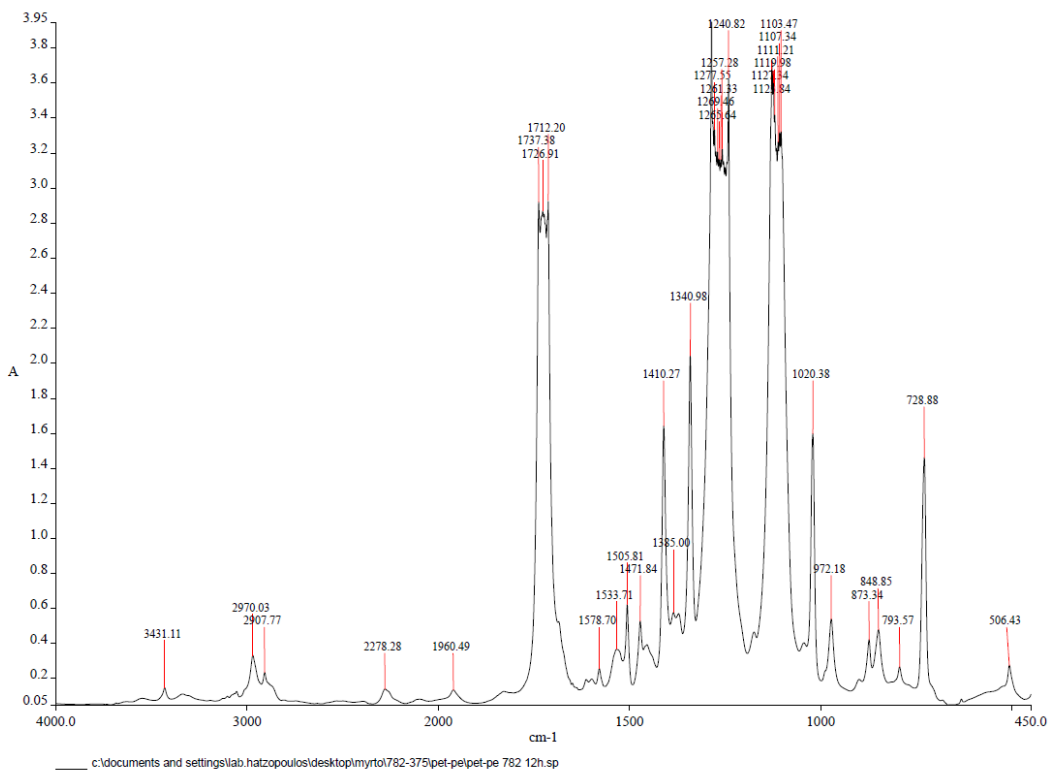
Σχήμα 112. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 4 ώρες μετά το λαμινάρισμα



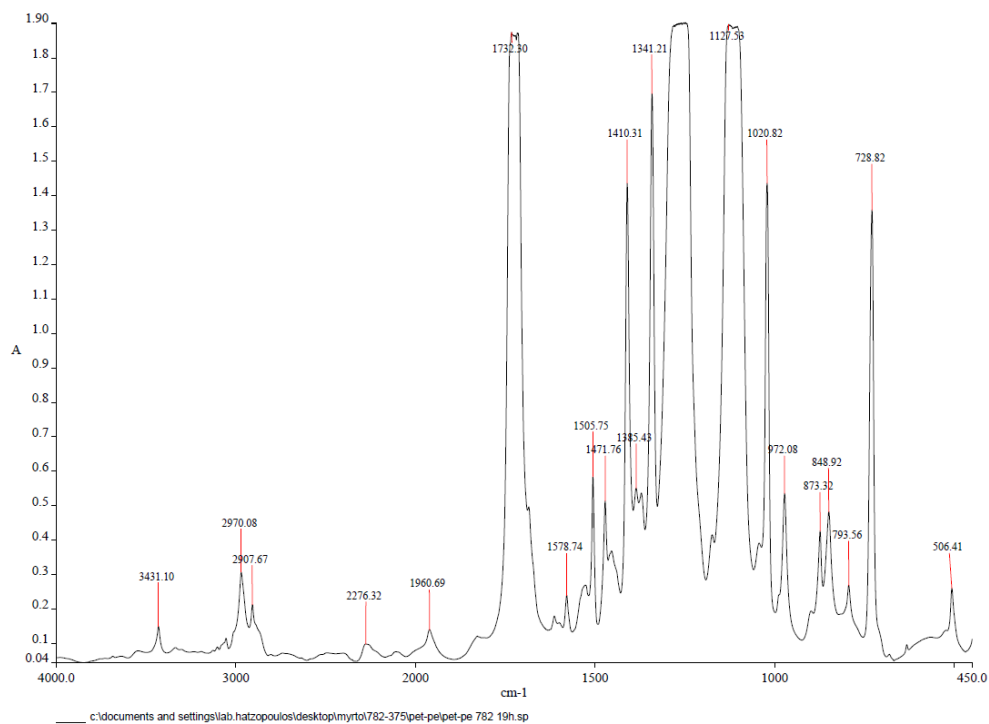
Σχήμα 113. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 5 ώρες μετά το λαμινάρισμα



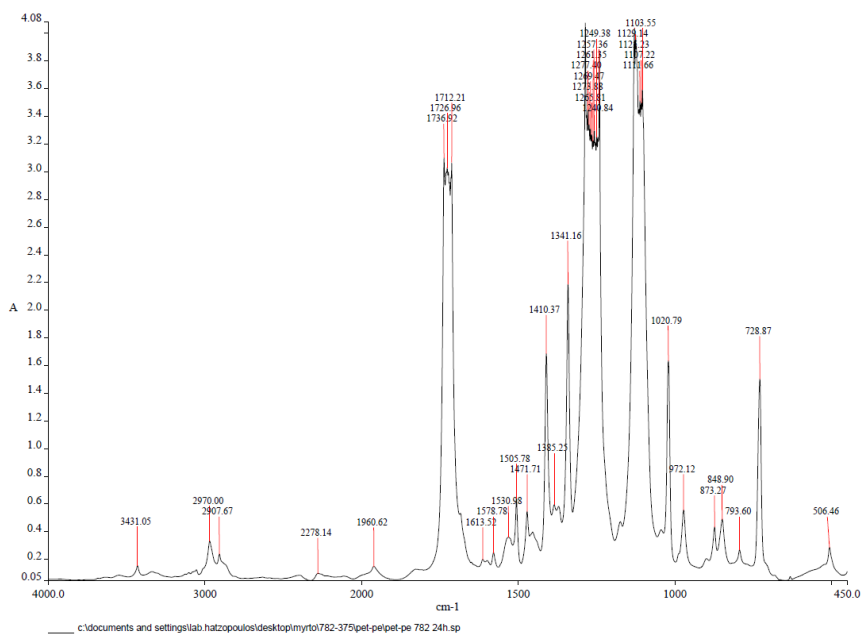
Σχήμα 114. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 9 ώρες μετά το λαμινάρισμα



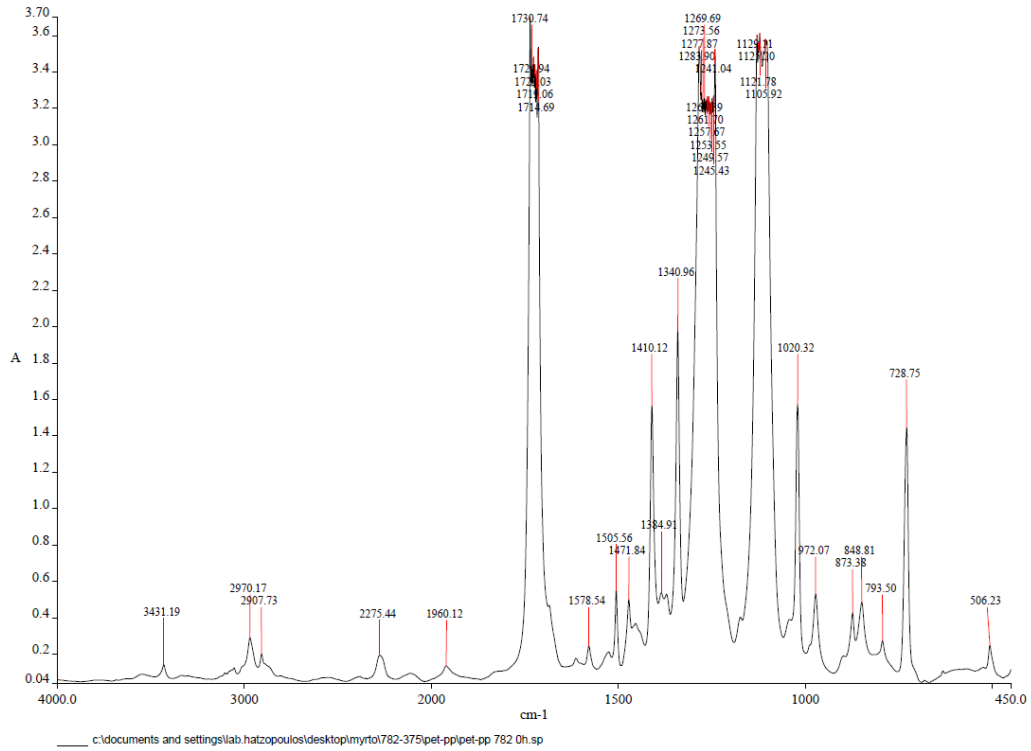
Σχήμα 115. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 12 ώρες μετά το λαμινάρισμα



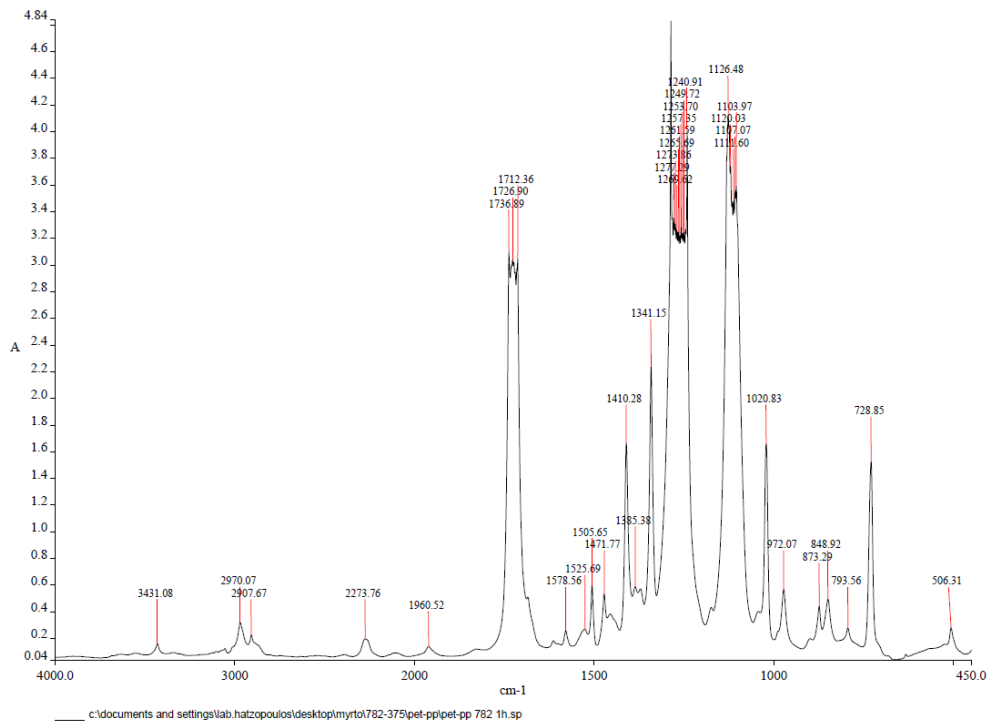
Σχήμα 116. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 19 ώρες μετά το λαμινάρισμα



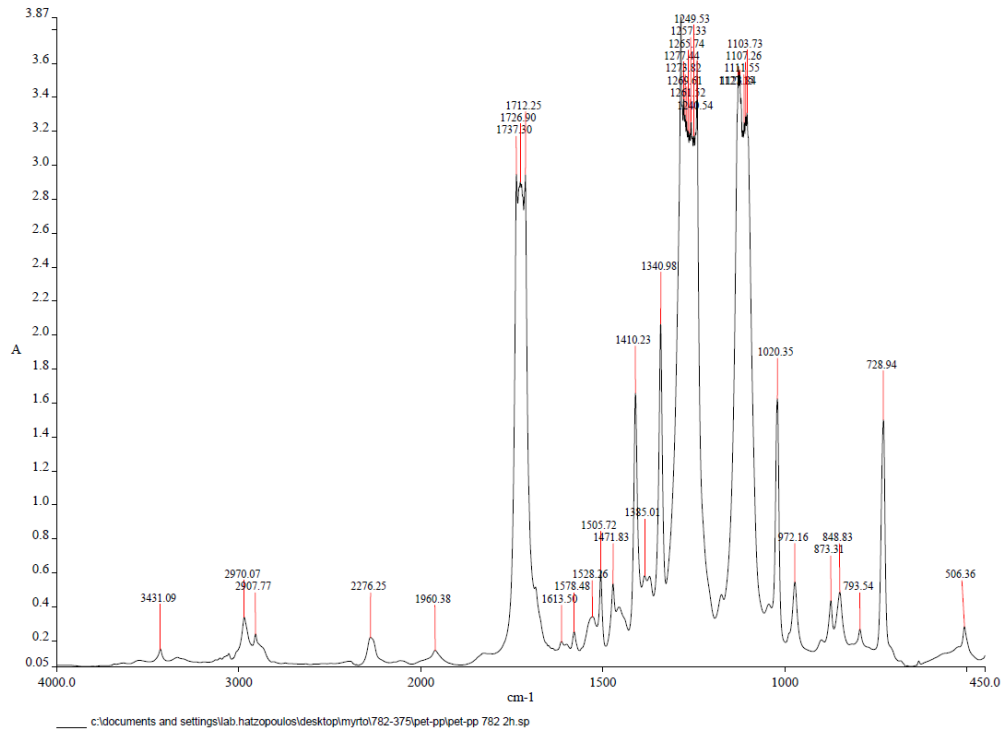
Σχήμα 117. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα



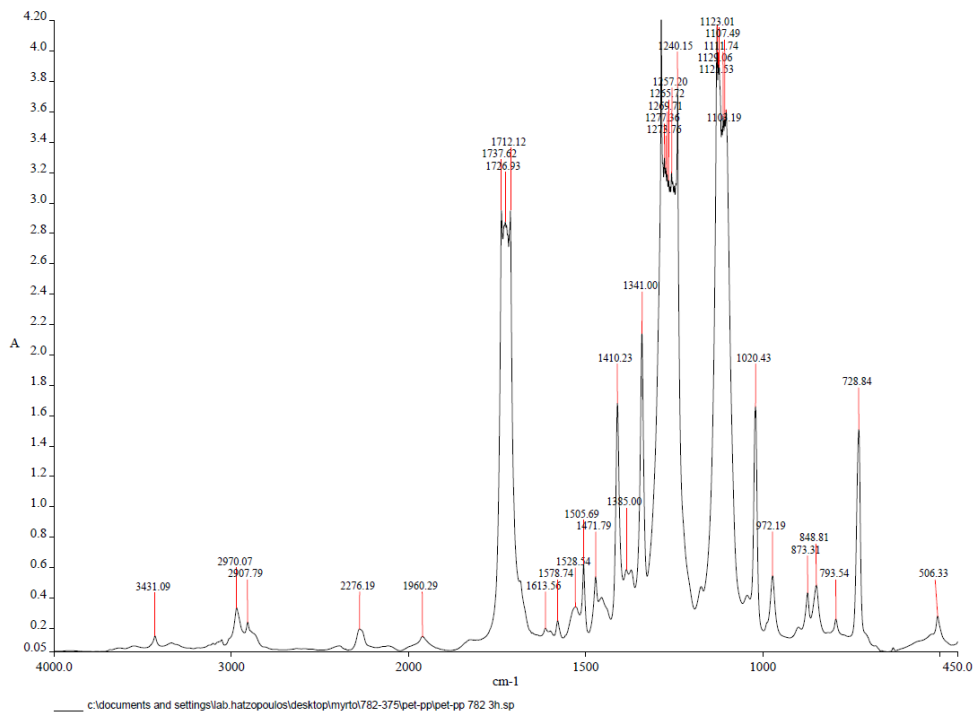
Σχήμα 118. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμινάρισμένο με 782/375 σε 0 ώρες μετά το λαμινάρισμα



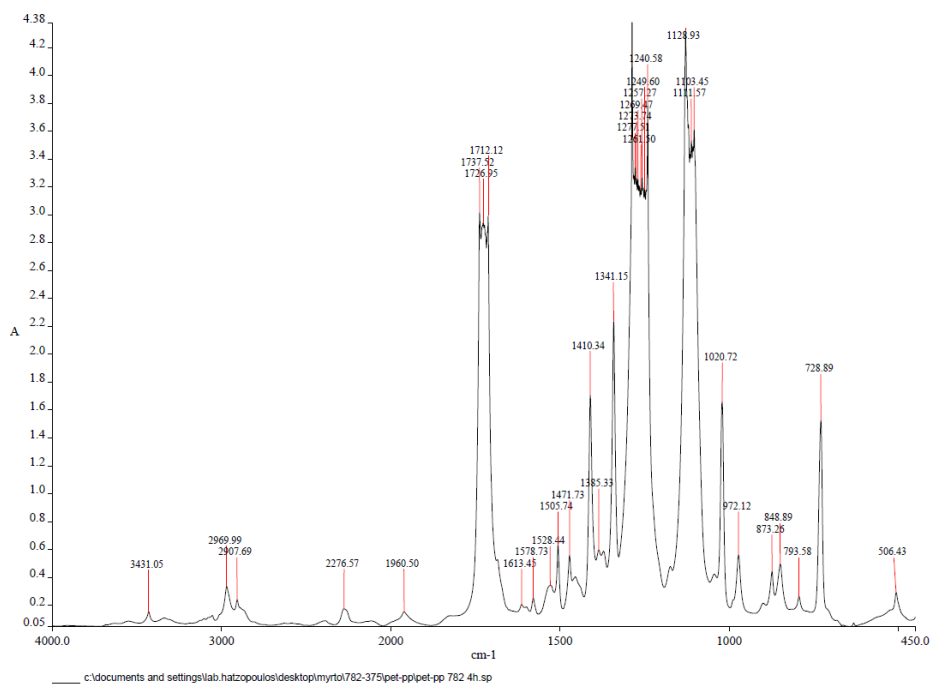
Σχήμα 119. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμινάρισμένο με 782/375 σε 1 ώρες μετά το λαμινάρισμα



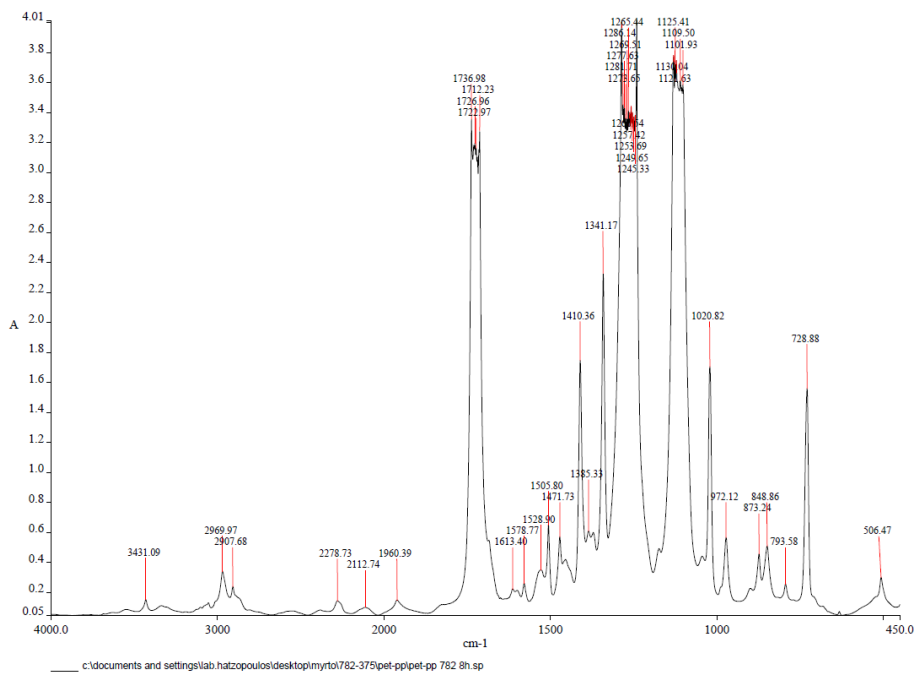
Σχήμα 120. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμινάρισμένο με 782/375 σε 2 ώρες μετά το λαμινάρισμα



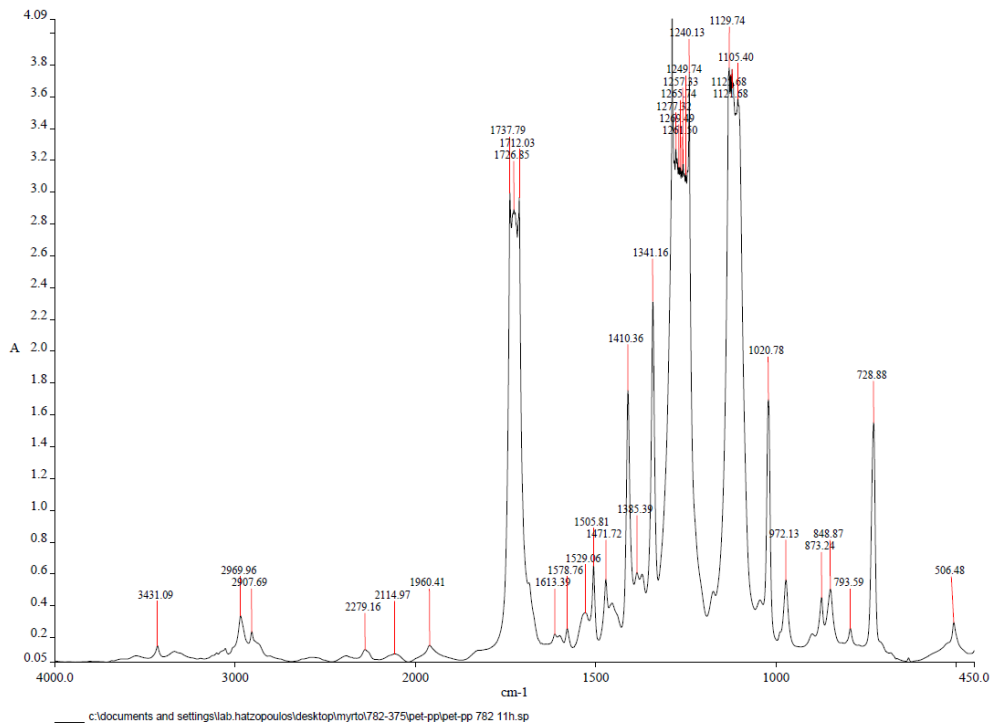
Σχήμα 121. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμινάρισμένο με 782/375 σε 3 ώρες μετά το λαμινάρισμα



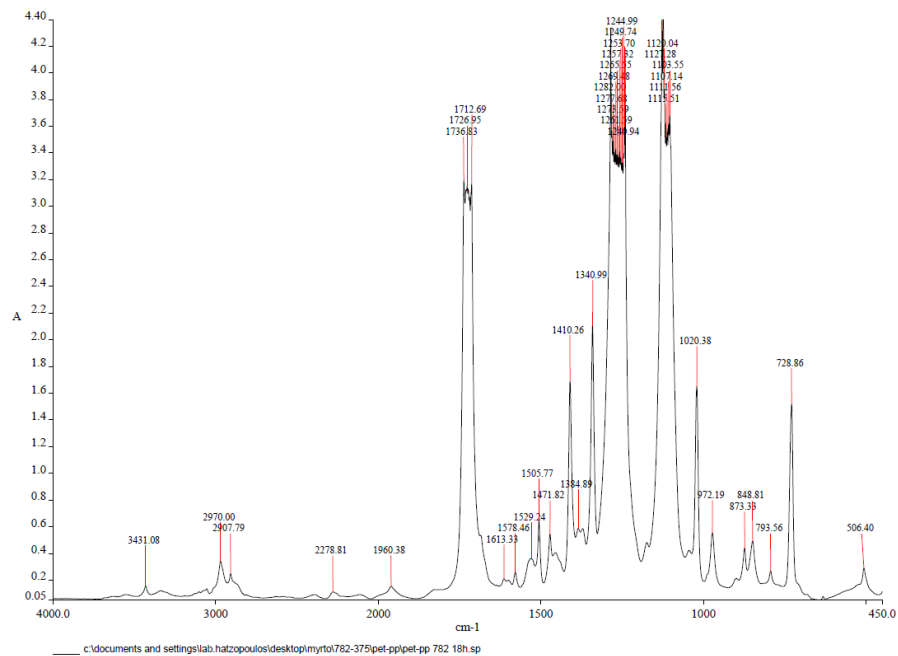
Σχήμα 122. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμιναρισμένο με 782/375 σε 4 ώρες μετά το λαμινάρισμα



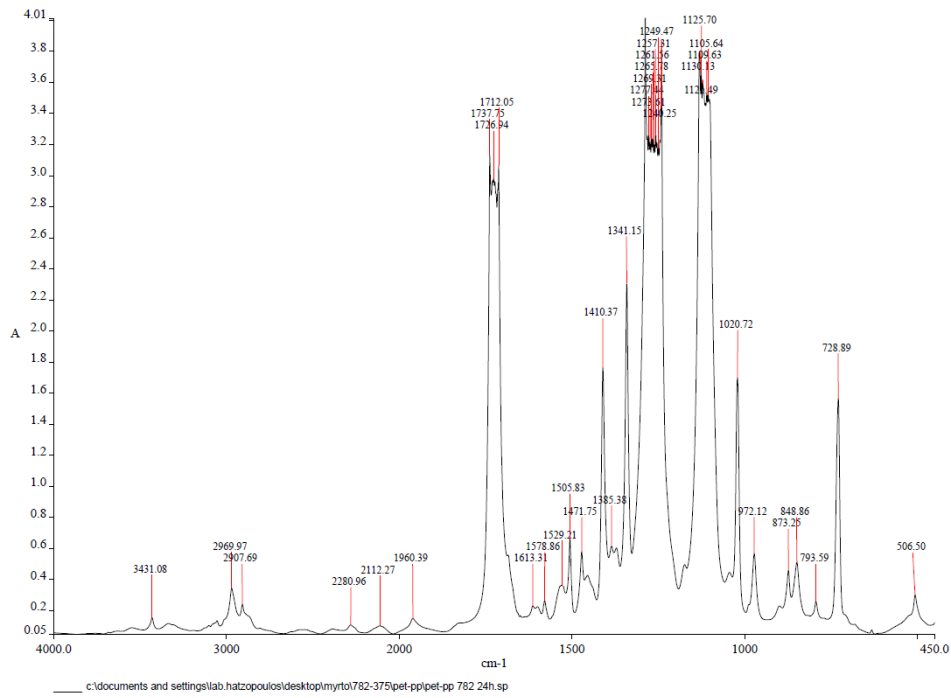
Σχήμα 123. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμιναρισμένο με 782/375 σε 8 ώρες μετά το λαμινάρισμα



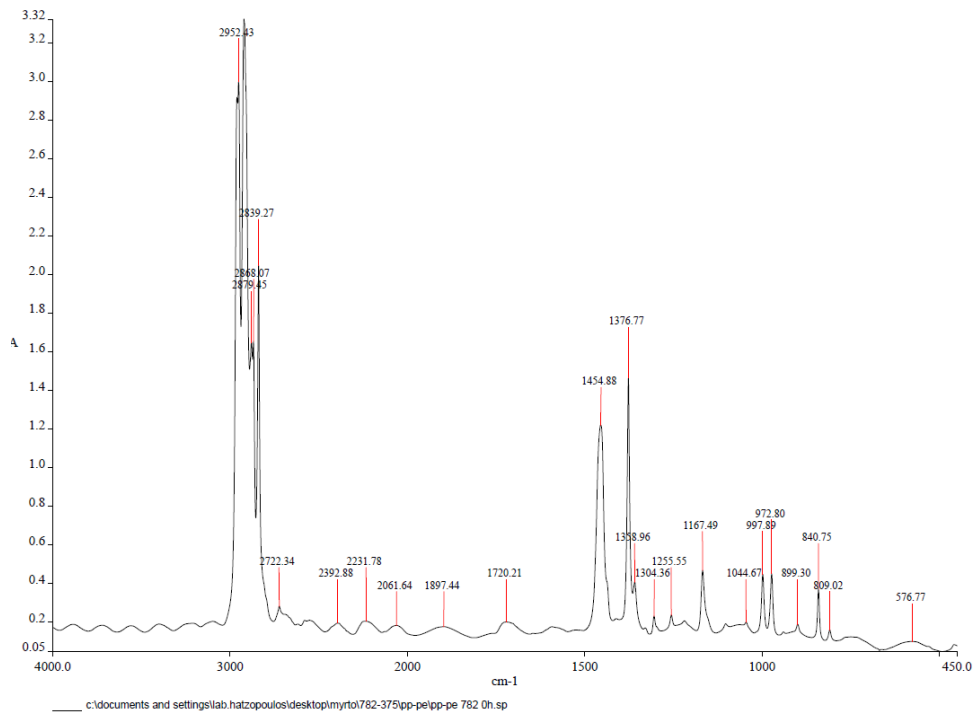
Σχήμα 124. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμινάρισμένο με 782/375 σε 11 ώρες μετά το λαμινάρισμα



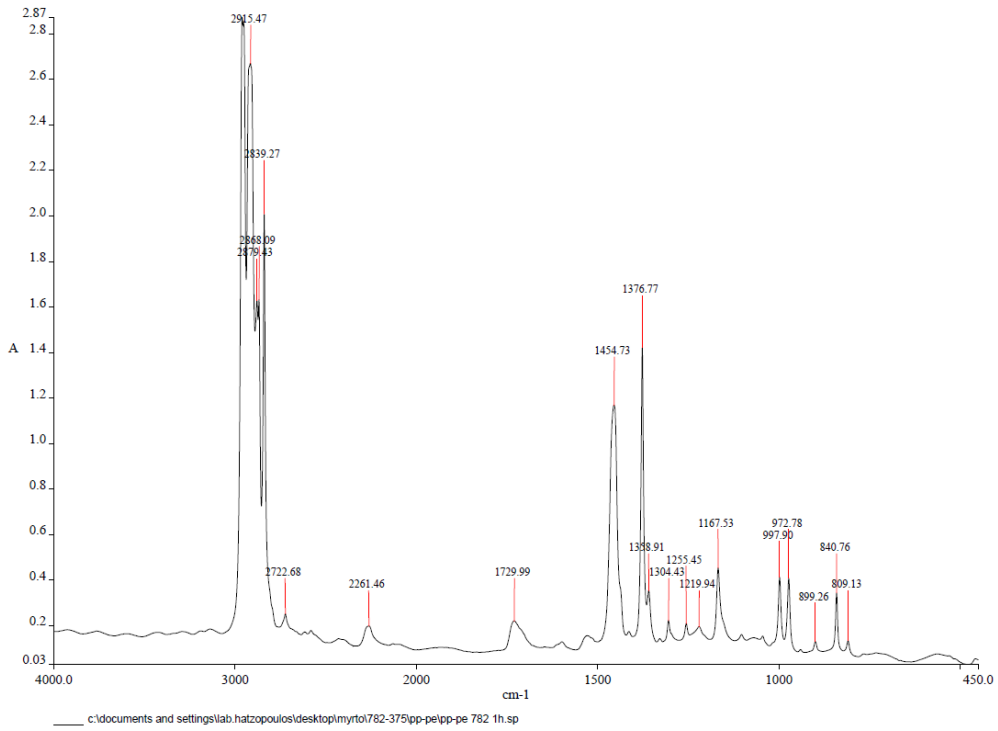
Σχήμα 125. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμινάρισμένο με 782/375 σε 18 ώρες μετά το λαμινάρισμα



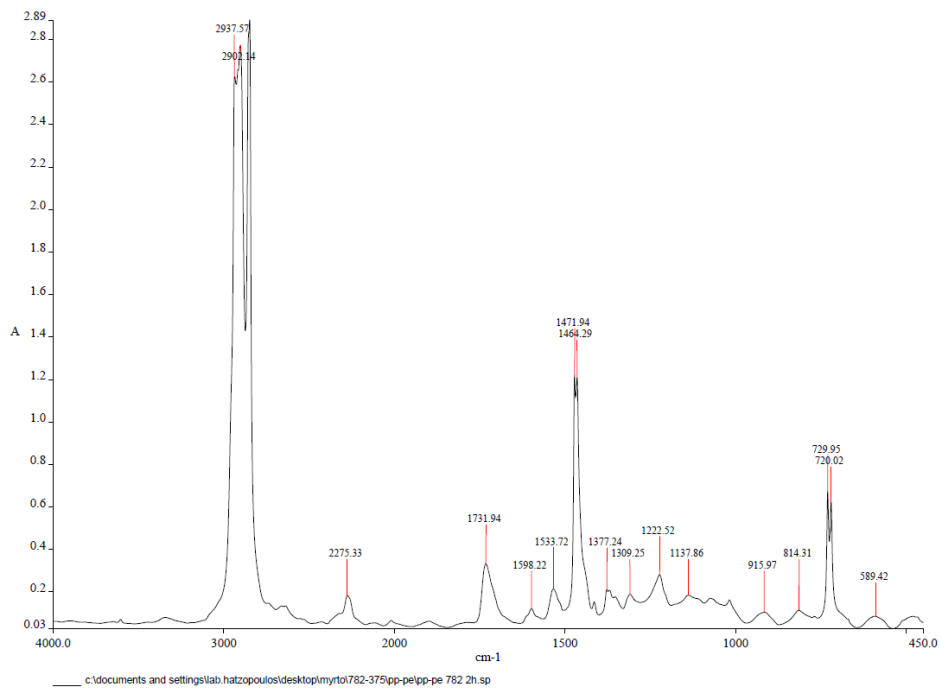
Σχήμα 126. Φάσμα FT-IR της δομής PET-PP λαμιναρισμένο με 782/375 σε 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα



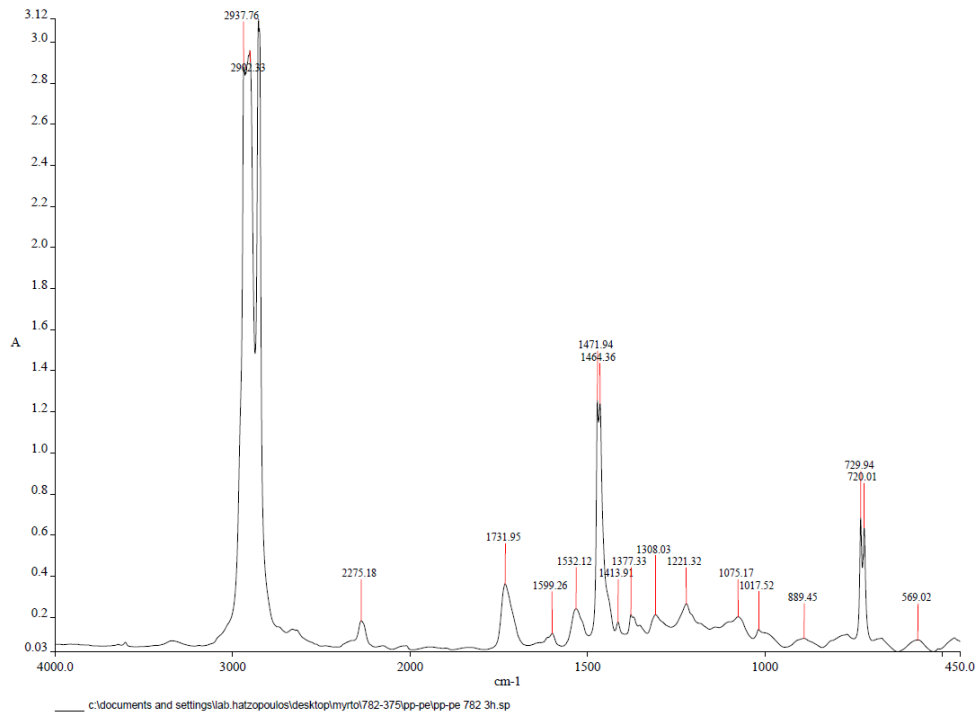
Σχήμα 127. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμιναρισμένο με 782/375 σε 0 ώρες μετά το λαμινάρισμα



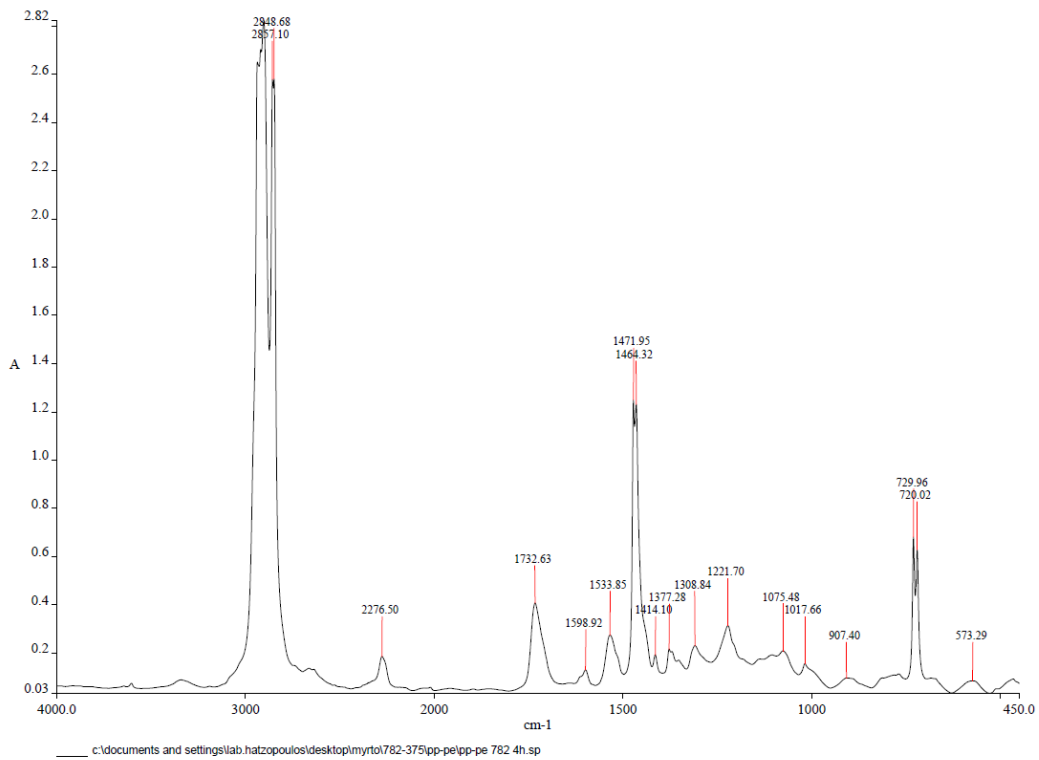
Σχήμα 128. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 1 ώρες μετά το λαμινάρισμα



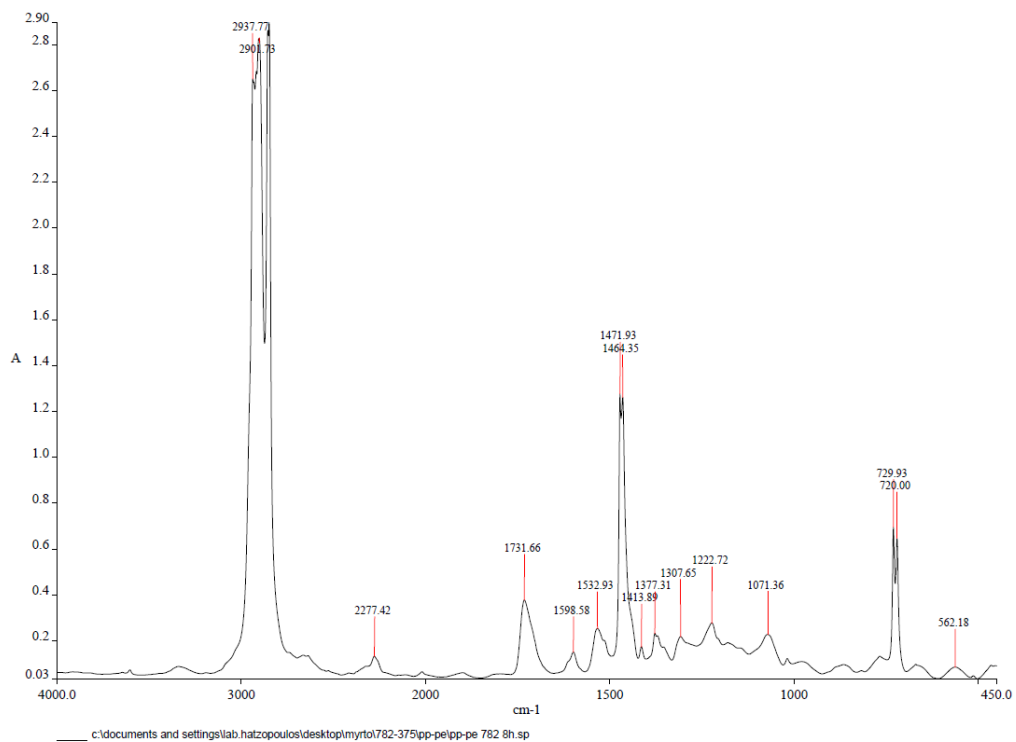
Σχήμα 129. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 2 ώρες μετά το λαμινάρισμα



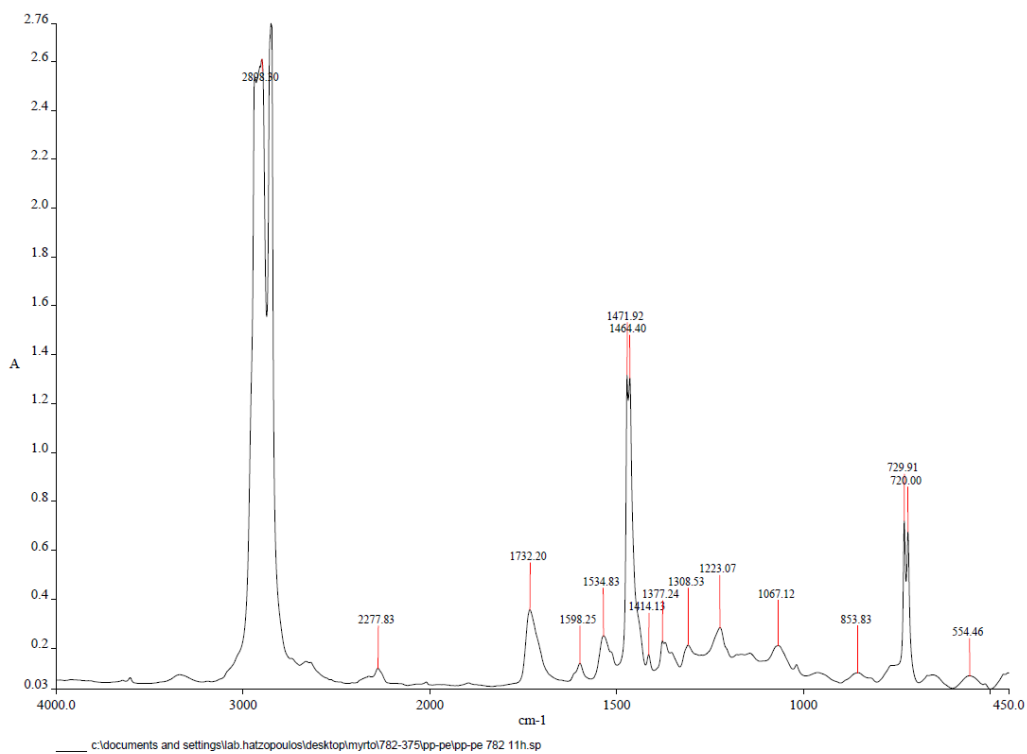
Σχήμα 130. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 3 ώρες μετά το λαμινάρισμα



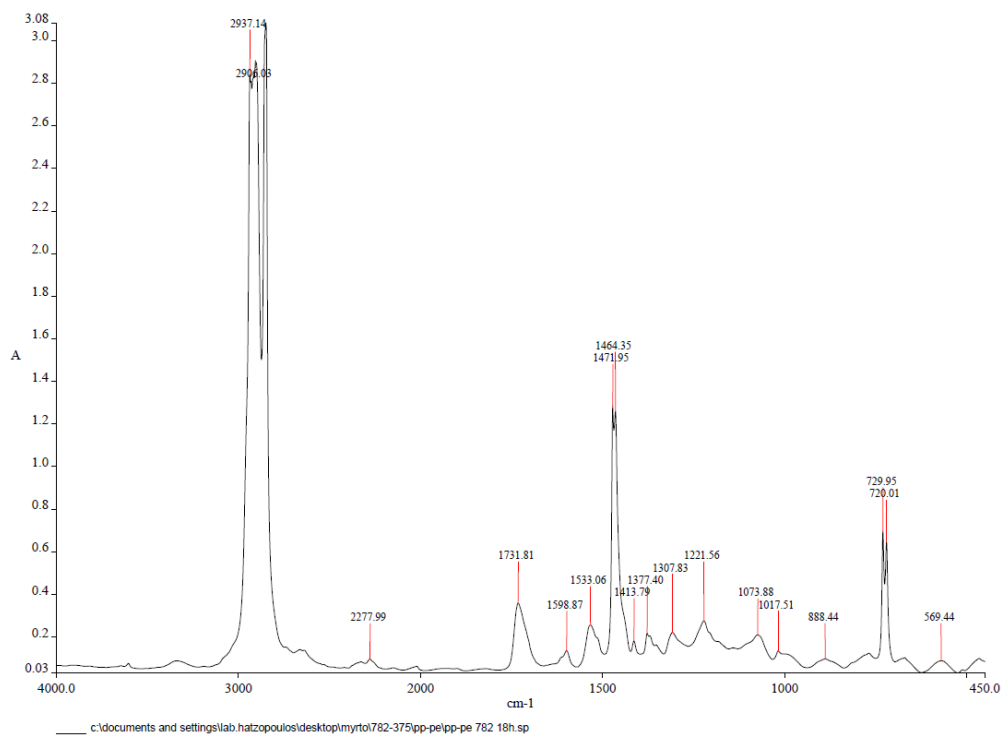
Σχήμα 131. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 4 ώρες μετά το λαμινάρισμα



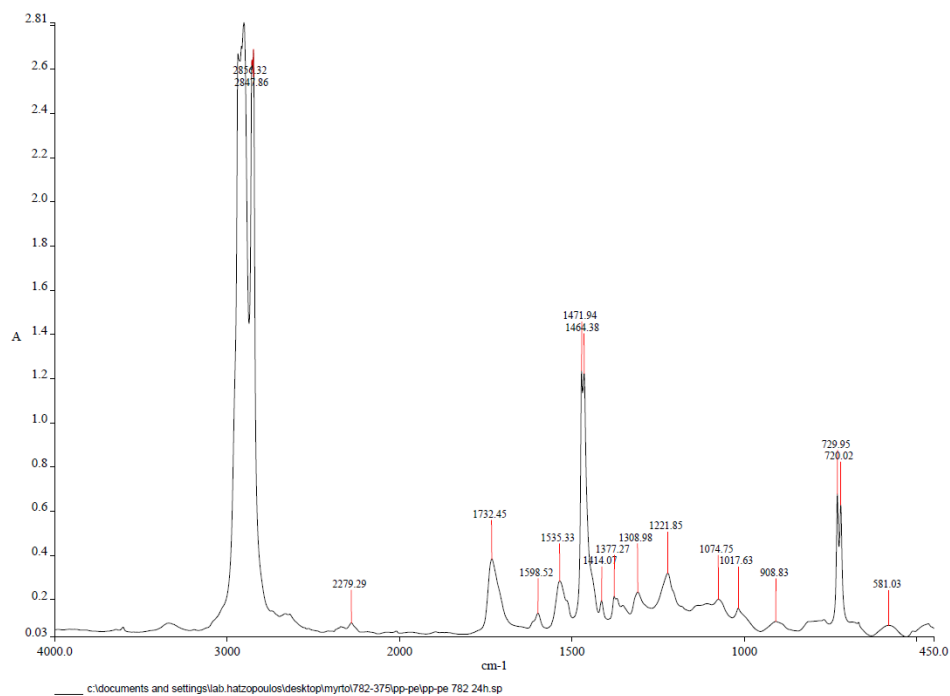
Σχήμα 132. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 8 ώρες μετά το λαμινάρισμα



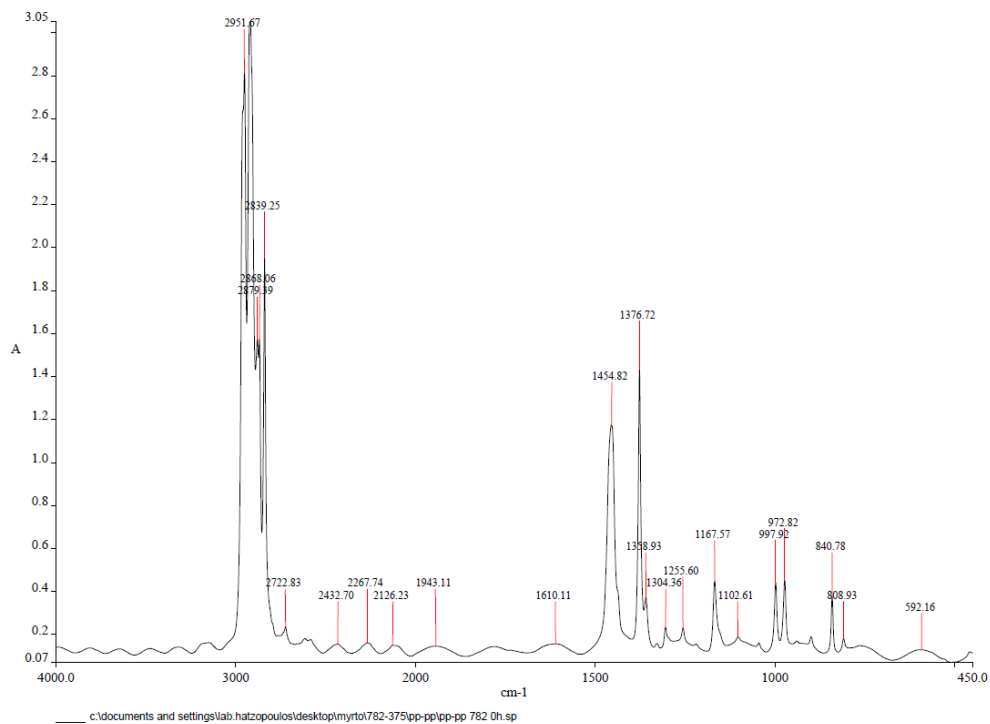
Σχήμα 133. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 11 ώρες μετά το λαμινάρισμα



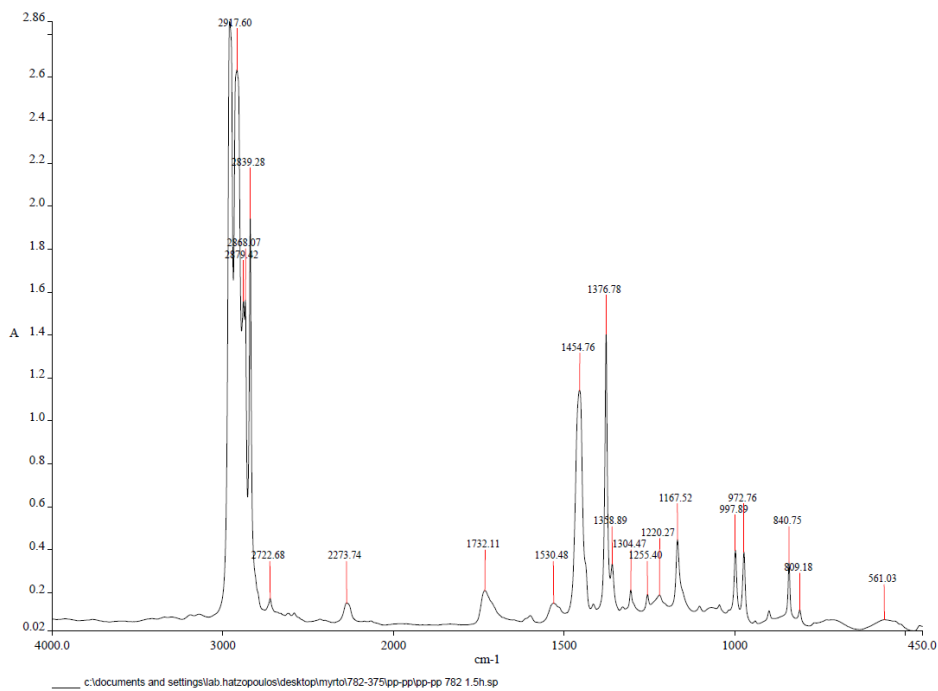
Σχήμα 134. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 18 ώρες μετά το λαμινάρισμα



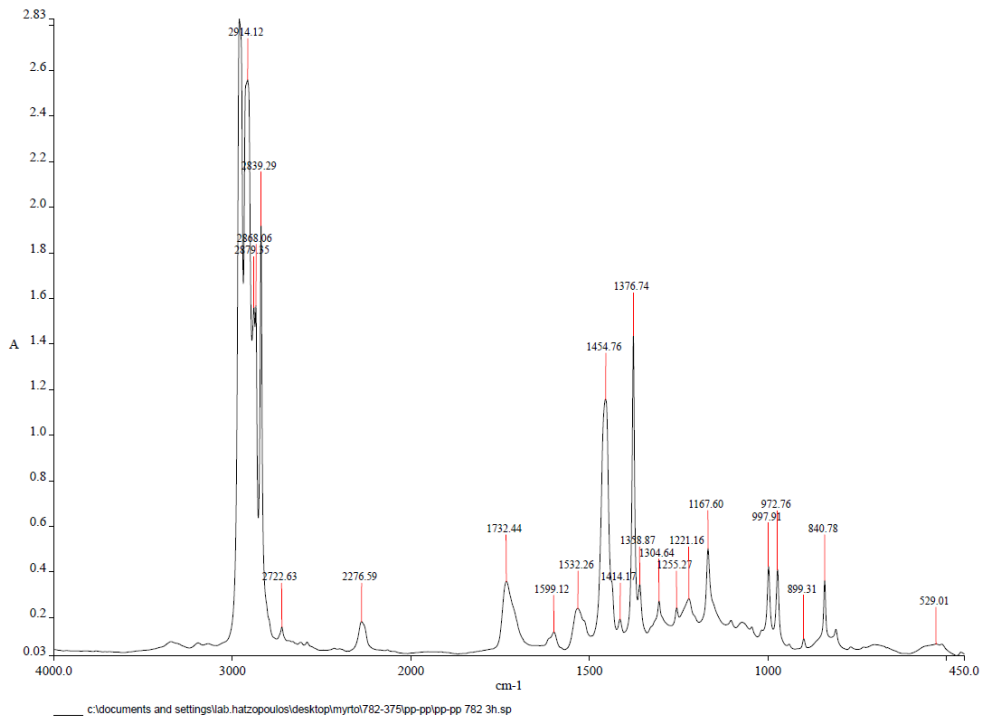
Σχήμα 135. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PE λαμινάρισμένο με 782/375 σε 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα



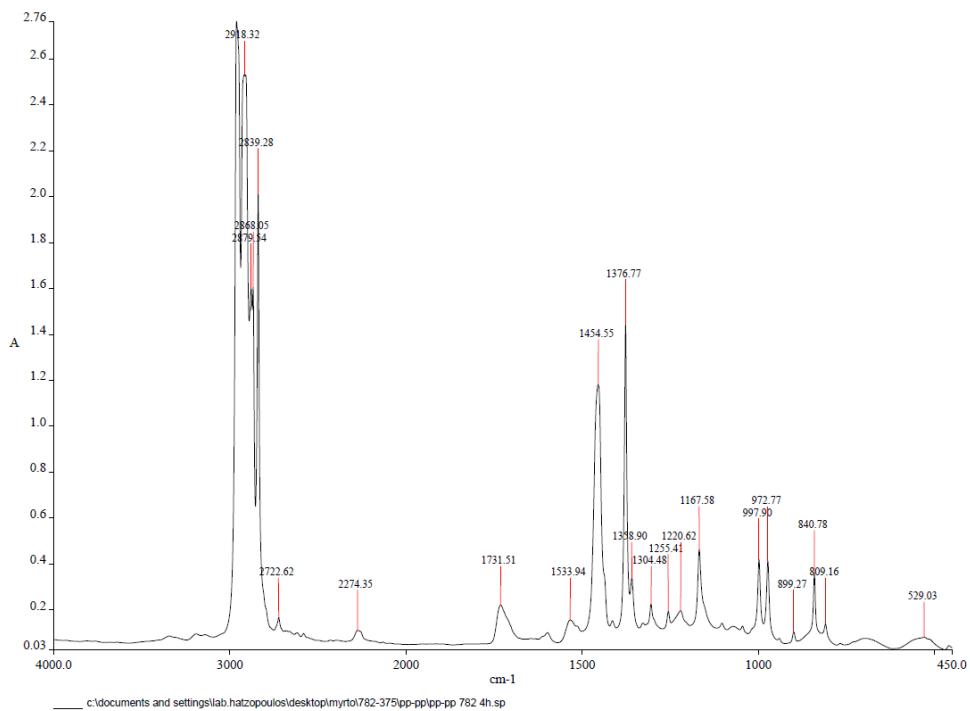
Σχήμα 136. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμινारीσμένο με 782/375 σε 0 ώρες μετά το λαμινάρισμα



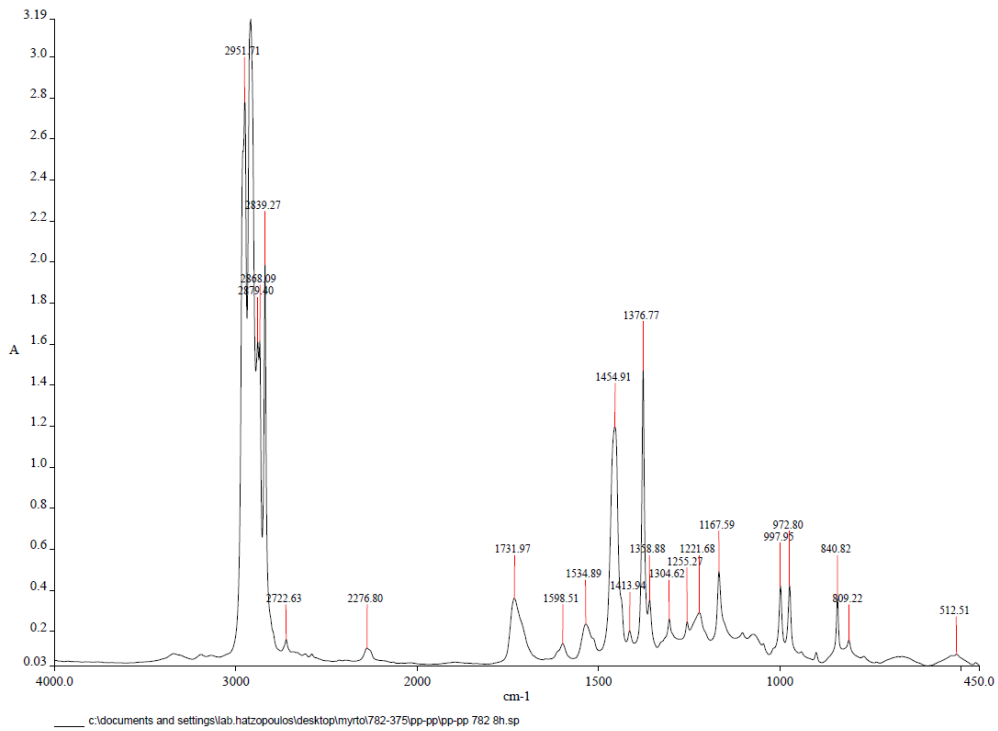
Σχήμα 137. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμινारीσμένο με 782/375 σε 1,5 ώρες μετά το λαμινάρισμα



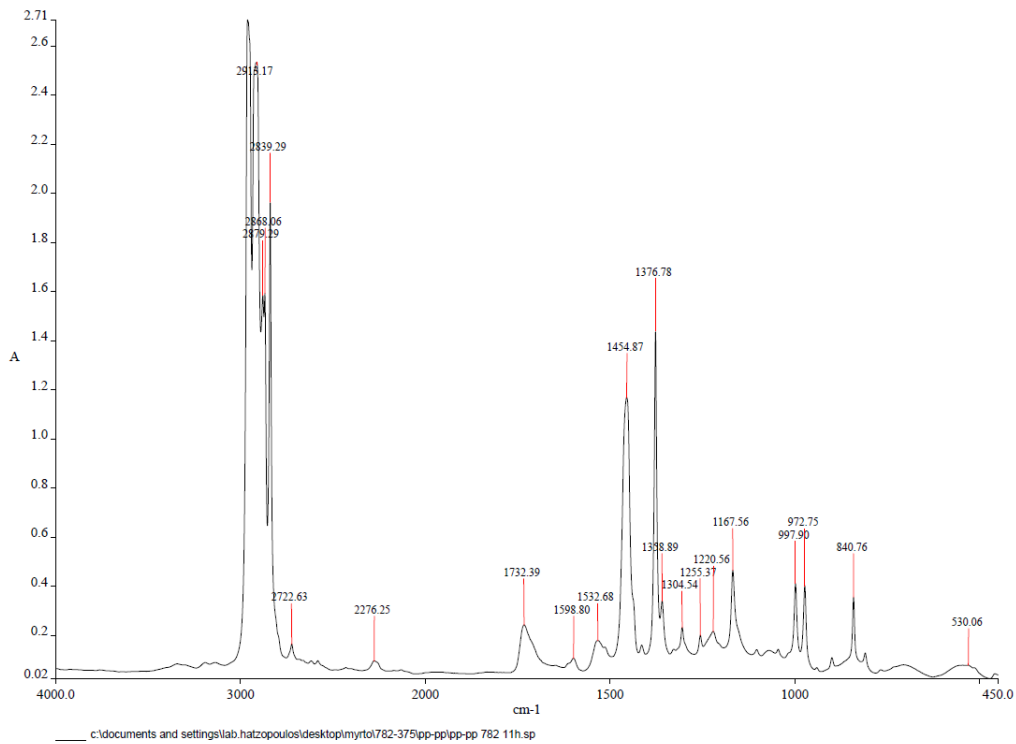
Σχήμα 138. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμιναρισμένο με 782/375 σε 3 ώρες μετά το λαμινάρισμα



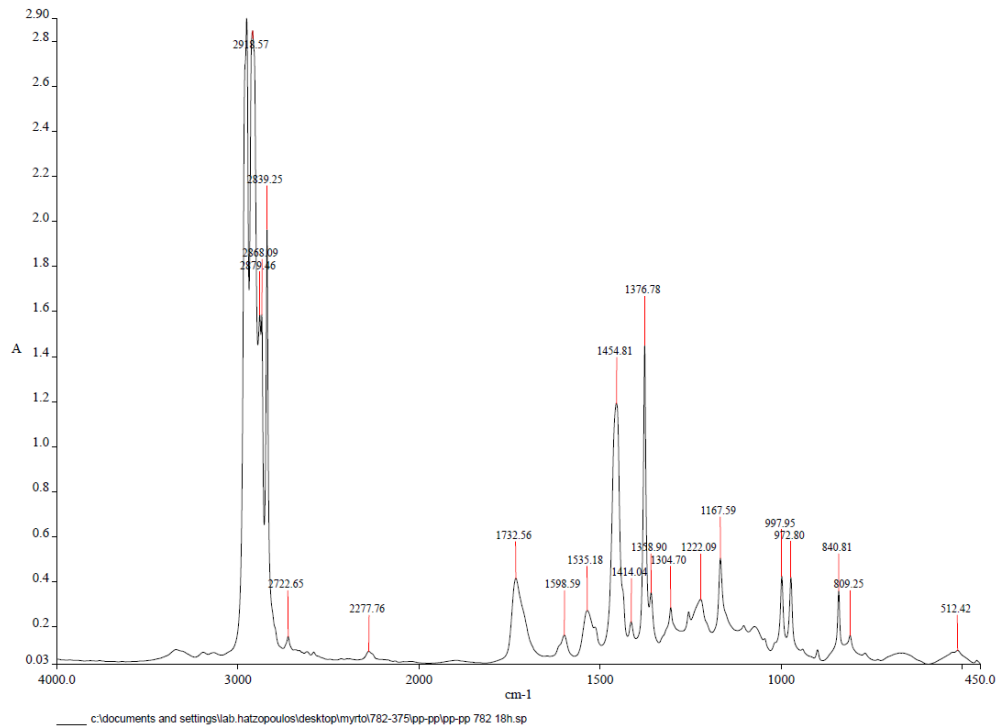
Σχήμα 139. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμιναρισμένο με 782/375 σε 4 ώρες μετά το λαμινάρισμα



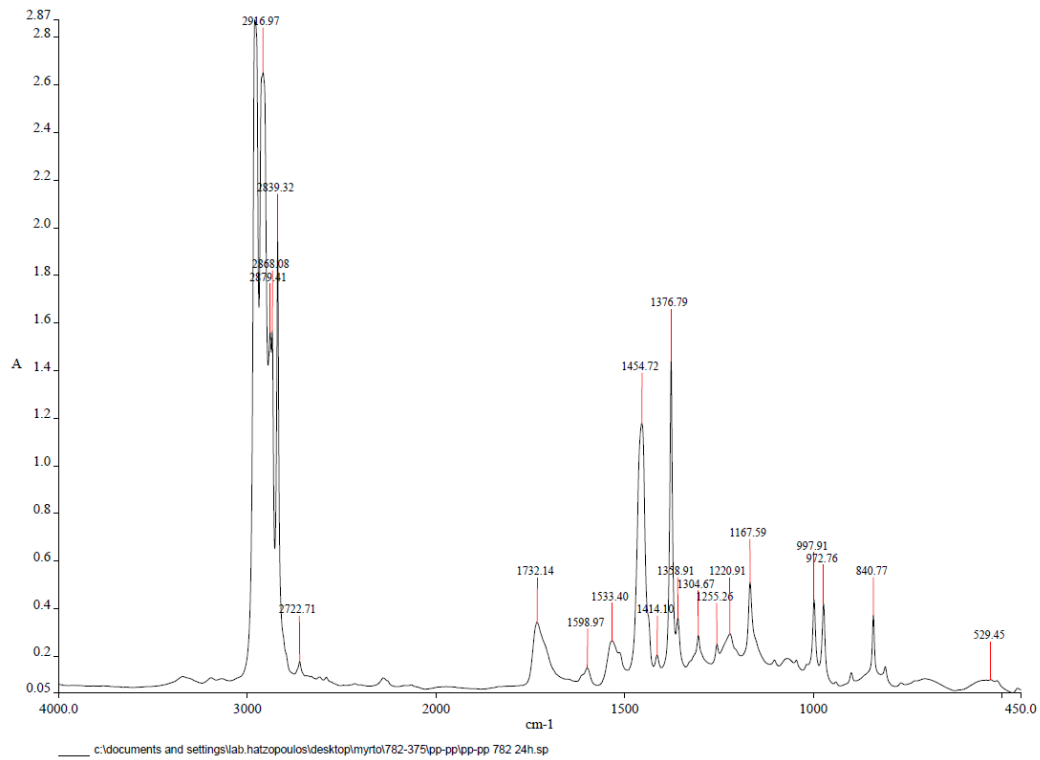
Σχήμα 140. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμινάρισμα με 782/375 σε 8 ώρες μετά το λαμινάρισμα



Σχήμα 141. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμινάρισμα με 782/375 σε 11 ώρες μετά το λαμινάρισμα



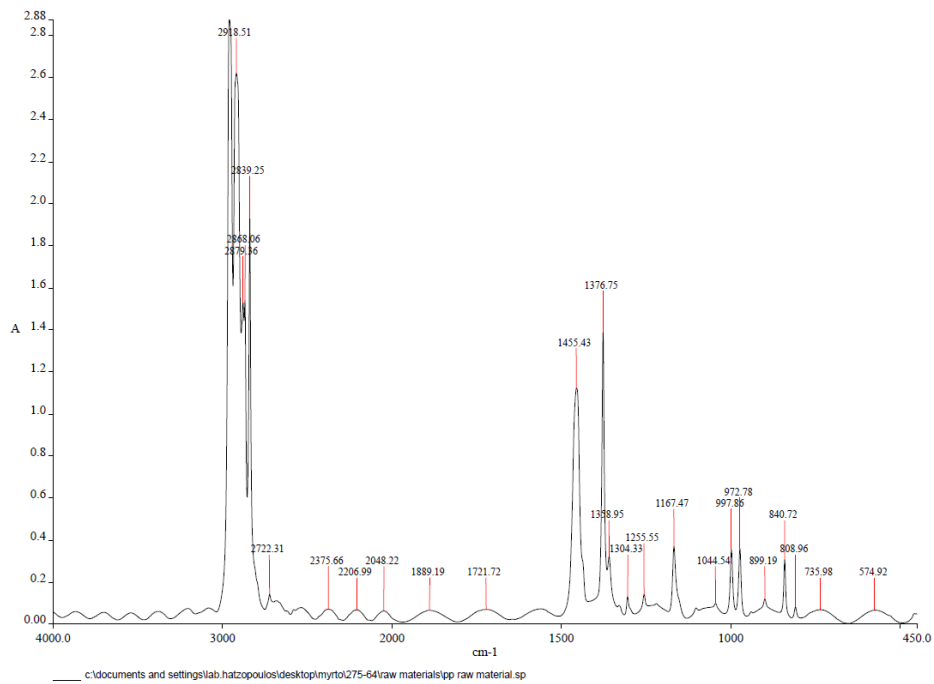
Σχήμα 142. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμινάρισμένο με 782/375 σε 18 ώρες μετά το λαμινάρισμα



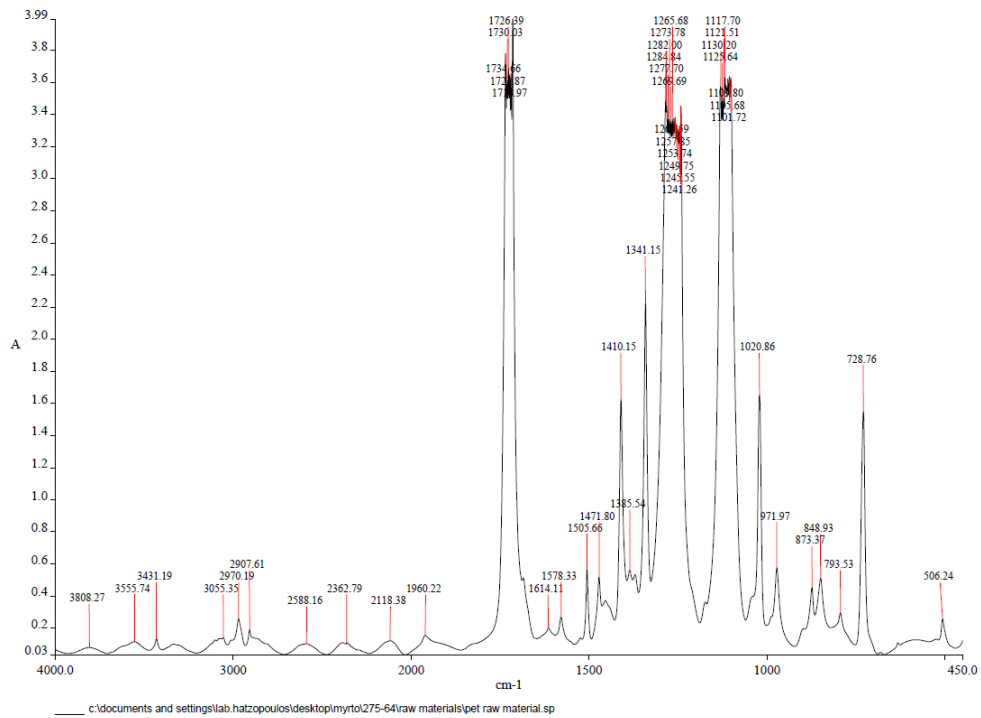
Σχήμα 143. Φάσμα FT-IR της δομής PP-PP λαμινάρισμένο με 782/375 σε 24 ώρες μετά το λαμινάρισμα

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

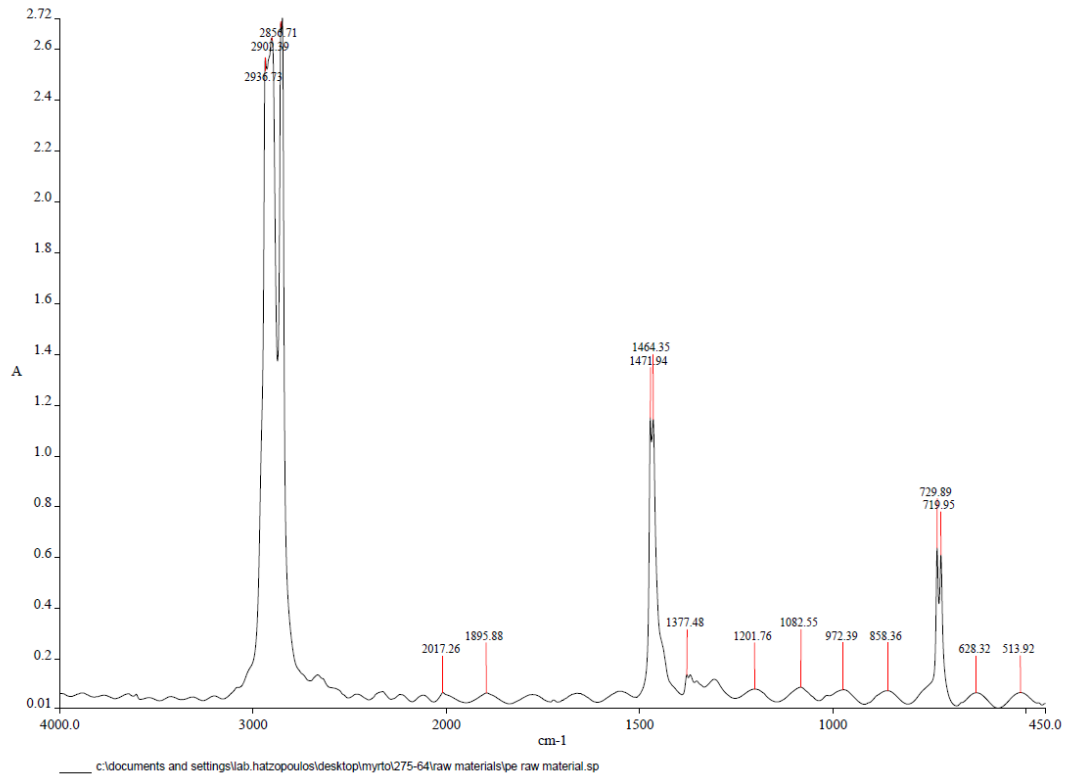
ΦΑΣΜΑΤΑ Α ΥΛΩΝ ΠΟΥ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕ ΚΟΛΛΑ 275/64



Σχήμα 144. Φάσμα FT-IR α ύλης PP.



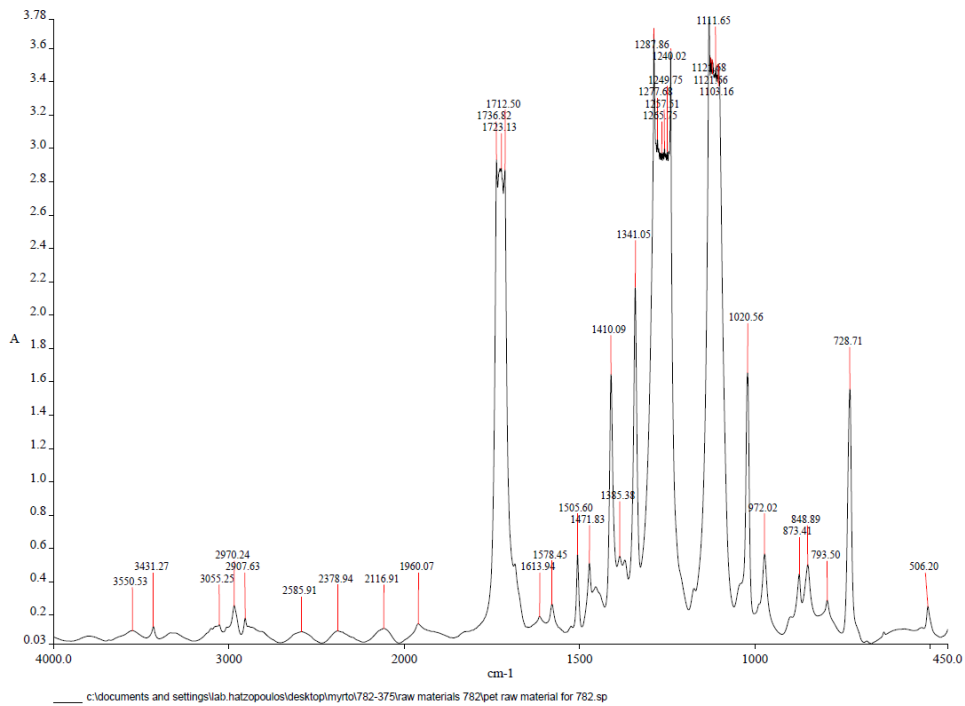
Σχήμα 145. Φάσμα FT-IR α ύλης PET.



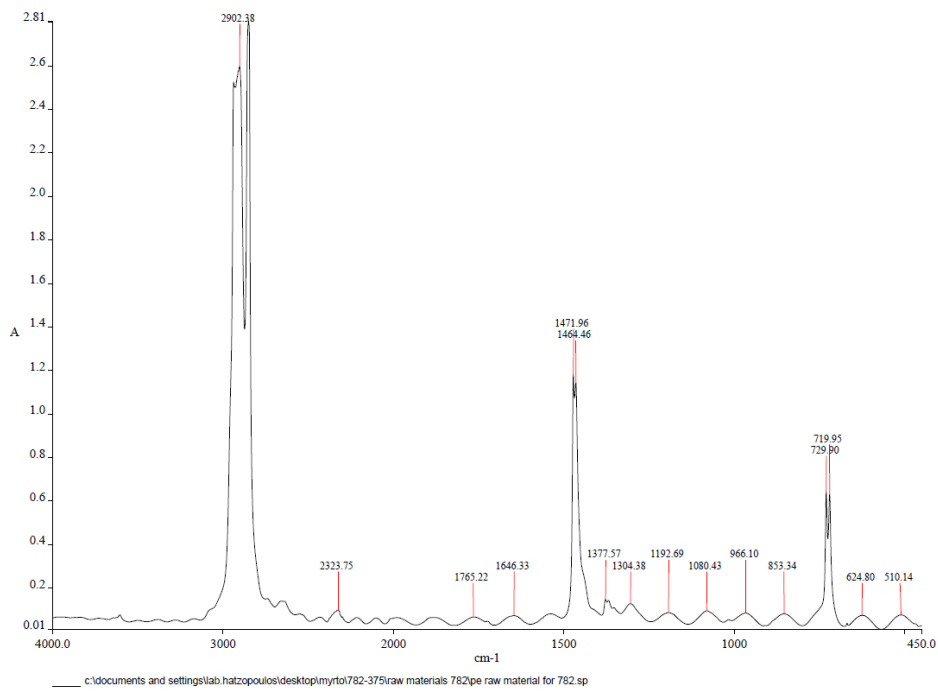
Σχήμα 146. Φάσμα FT-IR α ύλης PE.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

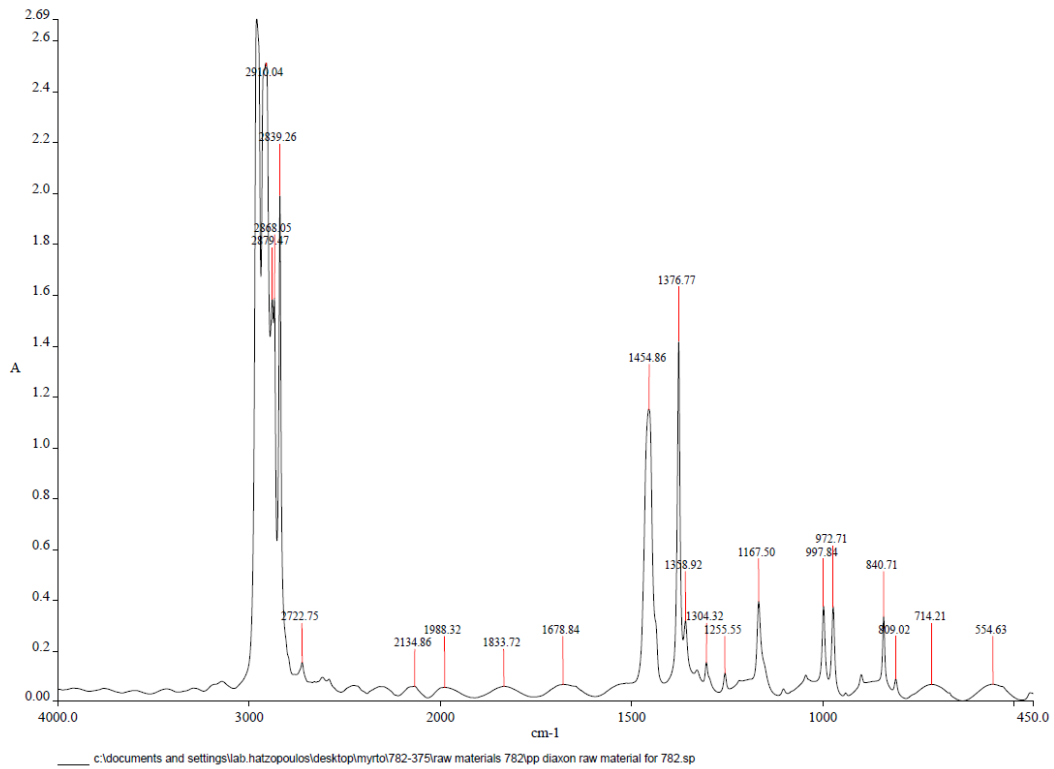
ΦΑΣΜΑΤΑ Α ΥΛΩΝ ΠΟΥ ΛΑΜΙΝΑΡΙΣΤΗΚΑΝ ΜΕ ΚΟΛΛΑ 782/375



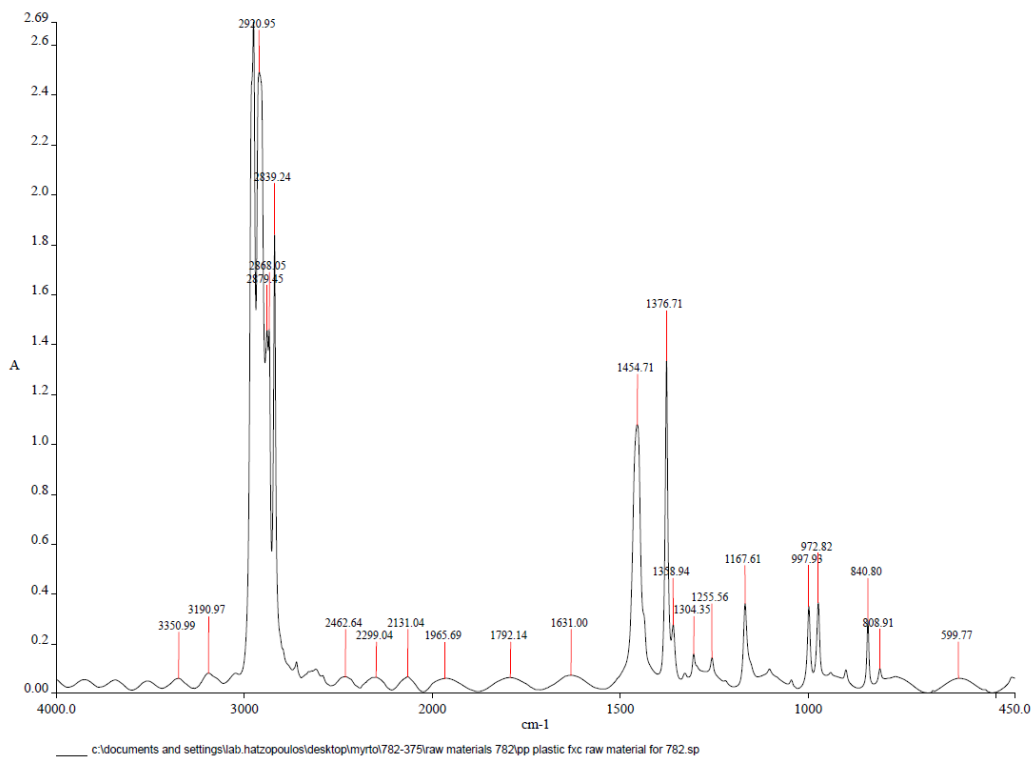
Σχήμα 147: Φάσμα FT-IR α ύλης PET.



Σχήμα 148: Φάσμα FT-IR α ύλης PE.



Σχήμα 149: Φάσμα FT-IR α ύλης PP (DIAXON).



Σχήμα 150. Φάσμα FT-IR α ύλης PP (PLASTIC FXC).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

DYNES

Το dyne είναι μονάδα δύναμης στο σύστημα εκατοστών-γραμμαρίων-δευτερόλεπτου των φυσικών μονάδων, ίση με τη δύναμη που θα έδινε σε ελεύθερη μάζα ενός γραμμαρίου η επιτάχυνση ενός εκατοστού ανά δευτερόλεπτο ανά δευτερόλεπτο. Ένα dyne ισούται με 0,00001 Newton (<https://www.britannica.com/science/dyne>). Το επίπεδο dyne είναι μια μέτρηση της επιφανειακής ενέργειας σε μονάδες ενέργειας που αναφέρονται ως dynes/cm. Η κατανόηση του επιπέδου dyne ενός υποστρώματος είναι κρίσιμης σημασίας για τη σωστή πρόσφυση, καθώς η επιφανειακή τάση του υλικού καθορίζει ποιοι τύποι μέσων, όπως μελάνι, χρώμα και κόλλα, θα διαβρέξουν σωστά την επιφάνεια ενός υποστρώματος και θα σχηματίσουν έναν στερεό δεσμό. Για τη μέτρηση των dynes/cm χρησιμοποιούνται διαλύματα Dyne. (<https://3dtllc.com/what-is-a-dyne-level/>)

Τα διαλύματα δοκιμής Dyne (μερικές φορές αναφέρονται ως υγρά δοκιμής κορώνας) χρησιμοποιούνται για τη γρήγορη και εύκολη μέτρηση της επιφανειακής ενέργειας ή της τάσης διαβροχής. (<https://www.thierry-corp.com/manufacturers-surface-activation-guide-for-improved-adhesion?hsLang=en>). Το διάλυμα Dyne είναι ένα μείγμα Ethyl Cellosolve® και Formamide. Η εκατοστιαία συγκέντρωση των δύο αυτών χημικών ουσιών καθορίζει την επιφανειακή τάση ή ενέργεια, του διαλύματος. Η μονάδα μέτρησης είναι dyne/cm, αλλά οι περισσότεροι την αναφέρουν ως επίπεδο dyne. Τα διαλύματα περιέχουν συνήθως μια χρωστική για να είναι πιο ευδιάκριτα όταν εφαρμόζονται στο υπόστρωμα.

Διάλυμα / Μέθοδος βαμβακερής μπατονέτας

Το άκρο της μπατονέτας με την οποία θα γίνει η εφαρμογή του διαλύματος βυθίζεται σε ένα μόνο δοχείο διαλύματος με συγκεκριμένο επίπεδο χρωστικής ουσίας. Το διάλυμα απλώνεται ελαφρά πάνω από το υλικό δοκιμής. Μετά την εφαρμογή του διαλύματος παρατηρείται αν η συμπαγής γραμμή που σχηματίζει το διάλυμα πάνω στο υλικό, δεν διασπάται για τουλάχιστον τρία δευτερόλεπτα. Εάν το διάλυμα διαβροχής παραμείνει ανέπαφο για τρία δευτερόλεπτα, η επιφανειακή τάση είναι τουλάχιστον τόσο υψηλή όσο το επίπεδο χρωστικής ουσίας αυτού του διαλύματος. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται με το επόμενο διάλυμα χρησιμοποιώντας μια νέα καθαρή μπατονέτα, μέχρι να βρεθεί ένα διάλυμα που να διασπάται και να σχηματίζει σφαιρίδια στην

επιφάνεια του υλικού. (<https://www.nazdar.com/en-us/Videos/ArtMID/4272/ArticleID/161>)

Το επίπεδο επιφανειακής τάσης του υποστρώματος προσδιορίζεται ως το υψηλότερο διάλυμα χρωστικής ουσίας που διάβρεξε την επιφάνεια του υποστρώματος. Θα πρέπει να χρησιμοποιείται καθαρή μπατονέτα για κάθε εφαρμογή διαλύματος, ώστε να αποφευχθεί η διασταυρούμενη μόλυνση των διαλυμάτων που θα μπορούσαν να αλλοιώσουν τα αποτελέσματα. Όταν η περιοχή εκτύπωσης είναι μεγάλη, θα πρέπει να γίνονται μετρήσεις σε πολλά σημεία σε ολόκληρη την περιοχή εκτύπωσης. (<https://www.nazdar.com/en-us/Videos/ArtMID/4272/ArticleID/161>)

Τα επίπεδα dyne είναι τα παρακάτω. Αναφορικά το PE και το PP χωρίς την εφαρμογή corona treatment έχουν επίπεδο dyne/cm 33, ενώ ο PET έχει επίπεδο dyne/cm 45.

- 33 dynes/cm
- 34 dynes/cm
- 36 dynes/cm
- 38 dynes/cm
- 40 dynes/cm
- 42 dynes/cm
- 44 dynes/cm
- 46 dynes/cm
- 48 dynes/cm
- 52 dynes/cm
- 56 dynes/cm

ΤΡΕΤΑΡΙΣΜΑ ΜΕ ΚΟΡΩΝΑ /CORONA TREATMENT

Το τρετάρισμα με corona είναι μια καθιερωμένη μέθοδος στη βιομηχανία για να επιτυγχάνεται υψηλότερη πολικότητα των επιφανειών. Η αρχή της επεξεργασίας με κορώνα είναι η χρήση ηλεκτρικής εκκένωσης κορώνας υψηλής συχνότητας και υψηλής τάσης (τάση εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής συχνότητας έως και 5000-15000 V/m²) στην επιφάνεια του φιλμ που πρόκειται να υποβληθεί σε επεξεργασία εκτύπωσης ή λαμιναρίσματος, για τη δημιουργία πλάσματος χαμηλής θερμοκρασίας. Το παραγόμενο πλάσμα δημιουργεί ελεύθερες ρίζες στην επιφάνεια του φιλμ. Η επιφάνεια γίνεται τραχιά και αυξάνει τη διαβρεξιμότητά της στους πολικούς διαλύτες. Αυτά τα ιοντικά σώματα σπάζουν τη μοριακή τους δομή με ηλεκτροπληξία και διείσδυση στην επιφάνεια του φιλμ και στη συνέχεια οξειδώνουν και πολώνουν τα επιφανειακά μόρια που πρόκειται να υποβληθούν σε επεξεργασία. Το σοκ ιόντων διαβρώνει την επιφάνεια, αυξάνοντας έτσι την ικανότητα πρόσφυσης της επιφάνειας του υποστρώματος. Η ηλεκτροπληξία ιόντων διαβρώνει την επιφάνεια, γεγονός που αυξάνει την πρόσφυση της επιφάνειας του υποστρώματος (<http://www.pnpfilm.com/index.php/ThermalLaminationFilm/WhatIsCoronaTreatmentofaPlasticFilm-21.html>).

Το παραγόμενο αέριο από την εναλλαγή του ρεύματος αντιδρά με πολυμερείς επιφάνειες κυρίως λόγω θραύσης δεσμών H-C. Έτσι, πολικές ομάδες, δηλ. καρβονυλικές και καρβοξυλικές ομάδες, σχηματίζονται σε μη πολικές επιφάνειες πολυμερούς. Οι πολικές ομάδες αυξάνουν το πολικό μέρος της επιφανειακής ενέργειας και συνεπώς και τη συνολική επιφανειακή ενέργεια. Η υψηλή ενεργειακή επίδραση κατά τη διάρκεια του τρεταρίσματος με corona προκαλεί αντίστοιχα υψηλότερη επιφανειακή ενέργεια. Ωστόσο, σε ένα ορισμένο επίπεδο τρεταρίσματος με corona η επιφάνεια φθάνει τη μέγιστη ριζική της συγκέντρωση, έτσι ώστε να επέλθει κορεσμός και υψηλότερη δόση κορώνας δεν αυξάνει περαιτέρω την επιφανειακή ενέργεια. (Linder et al., 2018)

Αν και η επιφανειακή ενέργεια αυξάνεται με την εφαρμογή του τρεταρίσματος με corona, μειώνεται με την αύξηση του χρόνου αποθήκευσης. Οι λόγοι είναι η αναδιάρθρωση της επιφάνειας και η αντίδραση λειτουργικών ομάδων στην επιφάνεια που σχηματίζεται από την οξείδωση. Στη βιβλιογραφία, συνιστώνται οι ακόλουθες δόσεις κορώνας: 0,6–0,8 kJ/m² (10–13 W min/m²) για μεμβράνες πολυ(τερεφθαλικού αιθυλενίου) (PET). 0,6–2,0 kJ/m² (10–33 W min/m²) για μεμβράνες πολυαιθυλενίου χαμηλής πυκνότητας (PE-LD). και 1,6–2,0 kJ/m² (27–33 W min/m²) για μεμβράνες πολυπροπυλενίου (PP). Ένας λόγος για τη διαφορά στις συνιστώμενες δόσεις corona είναι η διαφορετική αρχική πολικότητα και αρχική χημεία των πολυμερών. Για βιομηχανίες μεταποίησης, οι ιδιότητες διαβροχής και ισχύος λαμιναρίσματος — που σχετίζονται και τα δύο με την επιφανειακή ενέργεια — επηρεάζουν κυρίως τη σταθερότητα της διαδικασίας και την ποιότητα των υλικών. Πολλές βιομηχανίες μεταποίησης διαθέτουν μονάδες επεξεργασίας κορώνας και μπορούν να επεξεργαστούν το υλικό λίγο πριν τη μετατροπή (Linder et al., 2018)..