

Τμήμα Μηχανολόγων και Αεροναυπηγών Μηχανικών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ανάπτυξη πράσινων σύνθετων υλικών με ίνες λιναριού και μελέτη της θραυστομηχανικής τους συμπεριφοράς

Development of green composites with flax fibers and study of their fracture behavior.

Κανελλόπουλος Ιωάννης

A.M.:1054469



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Επιβλέπων καθηγητής: Βασίλειος Κωστόπουλος

Επιβλέπων ερευνητής: Κωσταγιαννακοπούλου Χριστίνα

Keywords: Interlaminar fracture toughness, Natural fibers, Flax fibers, Biobased resins, Epoxy resin

Λέξεις κλειδιά: Διαστρωματική αντοχή σε θραύση, φυσικές ίνες, ίνες λιναριού, ρητίνες με συστατικά βιολογικής προέλευσης, Εποξειδική ρητίνη

Στο πρώτο κεφάλαιο της σπουδαστικής εργασίας γίνεται μια εισαγωγή στα σύνθετα υλικά καθώς και μια αναφορά στην ιστορική τους εξέλιξη. Στο υποκεφάλαιο 1.1 δείχνεται με κατανοητό τρόπο το γεγονός ότι τα σύνθετα υλικά, αποτελούν έναν διεπιστημονικό τομέα, που συνδυάζονται αρκετοί τομείς όπως η χημεία, η φυσική, η βιολογία και φυσικά οι επιστήμες των μηχανικών. Ακόμη, δίνεται ο ορισμός των συνθέτων υλικών, που σύμφωνα με τον οποίο τα σύνθετα υλικά είναι υλικά τα οποία αποτελούνται από δύο ή περισσότερα υλικά τα οποία είναι συνδεδεμένα με μακροσκοπικό ή μικροσκοπικό τρόπο, δημιουργώντας ένα πολυφασικό σύστημα που έχει διαφορετικές ιδιότητες από τα αρχικά υλικά. Επιπλέον γίνεται αναφορά για τα μέρη ενός συνθέτου (μήτρα, ενίσχυση) καθώς και τις λειτουργίες που επιτελούν. Συγκεκριμένα, η μήτρα έχει ως κύριο ρόλο να προστατεύει την ενίσχυση και να της μεταφέρει τα φορτία και η ενίσχυση αντίστοιχα δίνει την αντοχή και την δυσκαμψία που έχει ένα σύνθετο υλικό.

Στο υποκεφάλαιο 1.2 γίνεται μια αναδρομή στην ιστορία για την χρήση και την δημιουργία σύνθετων υλικών. Τα πρώτα σύνθετα υλικά δημιουργήθηκαν ήδη από την αρχαιότητα από τους Βαβυλώνιους γύρω στο 4000-2000 π.Χ., όπως μαρτυρεί και η Βίβλος. Μάλιστα, διάφοροι πολιτισμοί, έκαναν χρήση των συνθέτων υλικών σε διάφορους τομείς όπως της ναυπηγικής, του κατασκευαστικού τομέα και του πολεμικού εξοπλισμού. Επισημαίνεται ωστόσο, ότι η ανάπτυξη των συνθέτων υλικών δεν άλλαξε ιδιαίτερα από την αρχαιότητα μέχρι τον 19^ο αιώνα. Σημαντικός σταθμός στην ιστορία των συνθέτων, μπορεί να χαρακτηριστεί η δεκαετία του 1940, που η τεχνολογία των ενισχυμένων συνθέτων πέρασε από την έρευνα στην παραγωγή. Στη δεκαετία του 1960, σημαντικό ιστορικό γεγονός αποτελεί η ανακάλυψη των ινών άνθρακα, ενώ την δεκαετία του 1970 η ανακάλυψη του κέβλαρ. Στη δεκαετία του 1990, έγινε ιδιαίτερα έρευνα στην ανάπτυξη υλικών με νανοσωματίδια, που έδιναν αυξημένη αντοχή και δυσθραυστότητα. Στη σύγχρονη εποχή πλέον, γίνεται αναφορά στο γεγονός της τεχνολογίας του 3D printing, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία πληθώρα αντικειμένων.

Στο υποκεφάλαιο 1.3 γίνονται διάφορες κατηγοριοποιήσεις των συνθέτων υλικών. Μια βασική κατηγοριοποίηση είναι αυτή ανάλογα με το υλικό της μήτρας που έχει χρησιμοποιηθεί. Διακρίνονται τα υλικά πολυμερικής, μεταλλικής και κεραμικής μήτρας. Τα υλικά πολυμερικής μήτρας μπορούν να δώσουν υλικά που χαρακτηρίζονται για την υψηλή τους αντοχή, δυσκαμψία και δυσθραυστότητα, που όμως γενικά έχουν χαμηλή θερμική αντίσταση και μεγάλο συντελεστή θερμικής διαστολής. Αντίστοιχα, τα υλικά μεταλλικής μήτρας είναι υλικά, τα οποία χαρακτηρίζονται για την υψηλή θλιπτική τους αντοχή, μεγάλη ειδική αντοχή και ειδική δυσκαμψία. Ωστόσο, είναι υλικά τα οποία μπορούν να επεξεργαστούν δύσκολα και έχουν μεγάλη πυκνότητα, που οδηγούν σε κατασκευές μεγάλου κόστους και βάρους. Η τρίτη κατηγορία των υλικών με κεραμική μήτρα, δίνει υλικά με ιδιαίτερη αντοχή στην διάβρωση, υψηλή θλιπτική αντοχή και αντίσταση σε μεγάλες θερμοκρασίες. Μια άλλη κατηγοριοποίηση που γίνεται σε αυτό το κεφάλαιο είναι αυτή ανάλογα με τον τύπο της ενίσχυσης. Βασικές υποκατηγορίες αποτελούν τα κοκκώδη, τα ινώδη και τα πολύστρωτα σύνθετα υλικά. Στα κοκκώδη σύνθετα υλικά, η ενίσχυση είναι σε μορφή κόκκων, που το μέγεθος και το σχήμα τους επηρεάζουν τις ιδιότητες του υλικού. Αντίστοιχα, στα ινώδη, η μήτρα ενισχύεται με ίνες τυχαίου ή μη προσανατολισμού, ενώ Στα πολύστρωτα σύνθετα υλικά, τα υλικά τόσο η μήτρα όσο και η ενίσχυση έχουν την μορφή φύλλων. Ακόμη, γίνεται αναφορά σε διάφορες κατηγορίες ινών όπως γυαλιού, ίνες άνθρακα, πολυμερικές, μεταλλικές και φυσικές ίνες.

Στο υποκεφάλαιο 1.4 γίνεται αναφορά στην διεπιφάνεια μήτρας-ίνας. Η διεπιφάνεια είναι το όριο μεταξύ των διαφορετικών φάσεων σε ένα σύνθετο, ενώ ο όρος ενδιάμεση φάση περιγράφει την περιοχή της διεπιφάνειας με κάποιο πάχος. Η ενδιάμεση φάση επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες ενώ παρόλο που καλύπτει μικρή περιοχή, παίζει σημαντικό ρόλο στις θερμομηχανικές, χημικές και ηλεκτρικές ιδιότητες του υλικού. Αδύναμη ενδιάμεση φάση,

προκαλεί μειωμένη αντοχή και δυσκαμψία, ενώ δυνατή ενδιάμεση φάση προκαλεί το αντίθετο γεγονός.

Στο υποκεφάλαιο 1.4 γίνεται μια αναφορά στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των συνθέτων υλικών. Μερικά πλεονεκτήματα που μπορούν να αποκτηθούν με την χρήση των συνθέτων υλικών είναι η αντοχή, η δυσκαμψία, η αντίσταση στην διάβρωση και στην φθορά, το μειωμένο κόστος και η αντοχή σε κόπωση. Επιπλέον πλεονεκτήματα των συνθέτων που μπορούν να προσφέρουν ως κατασκευαστικά μέρη είναι οι υψηλού επιπέδου μηχανικές ιδιότητες, η καλή αεροδυναμικότητα, το χαμηλό βάρος της κατασκευής και η υψηλή αντοχή σε πρόσκρουση. Παρόλ'αυτά, αναφέρονται και τα μειονεκτήματα των συνθέτων υλικών που μπορούν να προκύψουν. Κάποια από αυτά είναι ο σημαντικός ερπυσμός της μήτρας, η χαμηλή αντίσταση στη φθορά, η ευαισθησία σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες και το γεγονός ότι μετά από μια ρωγμή χάνεται η αντοχή τους κατευθείαν.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια αναφορά για την δημιουργία των πολυμερών, την ταξινόμηση τους σε διάφορες κατηγορίες, τις ιδιότητες τους και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Στο υποκεφάλαιο 2.1 γίνεται αναφορά για την παραγωγή των πολυμερών και παρουσιάζονται δύο τρόποι σύνθεσης των πολυμερών, ο πολυμερισμός συμπύκνωσης και ο πολυμερισμός ανάπτυξης αλυσίδας. Στον πολυμερισμό συμπύκνωσης, από την χημική αλληλεπίδραση κάποιων μονομερών, προκύπτουν κάποια oligομερή, τα οποία με τη σειρά τους αντιδρούν μεταξύ τους, λόγω κάποιων ελεύθερων χαρακτηριστικών ομάδων. Κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά αυτού του τύπου πολυμερισμού, μπορούν να θεωρηθούν ότι η δημιουργία των πολυμερικών αλυσίδων κρατάει αρκετό χρονικό διάστημα, συχνά από μερικές ώρες σε αρκετές μέρες, ενώ μοριακές αλυσίδες μέτριου μοριακού βάρους μπορούν να δημιουργηθούν. Χαρακτηριστικά πολυμερή αυτής της κατηγορίας είναι το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο και το πολυστυρένιο. Η δεύτερη κατηγορία σύνθεσης πολυμερισμού είναι ο πολυμερισμός ανάπτυξης αλυσίδας, στην οποία χρησιμοποιούνται μονομερή που εμπεριέχουν διπλό δεσμό και είναι διαθέσιμα να λάβουν μέρος σε χημική αντίδραση. Σε αυτού του τύπου του πολυμερισμού, διακρίνονται 3 διακριτά βήματα (έναρξης, ανάπτυξης και τερματισμού). Κάποια χαρακτηριστικά αυτού του τύπου του πολυμερισμού είναι ότι η διαδικασία δημιουργίας της αλυσίδας γίνεται πολύ γρήγορα, εφόσον το βήμα έναρξης ολοκληρωθεί και ότι δημιουργούνται αλυσίδες μεγάλου μοριακού βάρους. Χαρακτηριστικά πολυμερή αυτής της κατηγορίας είναι το νάιλον, ο πολυεστέρας και η πολυουρεθάνη. Τέλος, παρατίθενται 5 βιομηχανικοί τρόποι παραγωγής των πολυμερών.

Στο υποκεφάλαιο 2.2 γίνονται διάφορες ταξινομήσεις των πολυμερών με διάφορα κριτήρια. Αρχικά, γίνεται μια ταξινόμηση ανάλογα με την αρχιτεκτονική δομή της πολυμερικής αλυσίδας. Διακρίνονται οι ομάδες των γραμμικών, διακλαδωμένων και δικτυωτών αλυσίδων, που τα μόρια της αλυσίδας αναπτύσσονται σε μια, δύο και τρεις διαστάσεις στο χώρο αντίστοιχα. Έπειτα γίνεται μια ταξινόμηση των πολυμερών ανάλογα των τύπων των ατόμων. Διακρίνονται οι ομοαλυσωτές αλυσίδες, που υπάρχει ένα είδος ατόμων και οι ετεροαλυσωτές αλυσίδες, που υπάρχουν περισσότερα είδη ατόμων. Ύστερα γίνεται μια ταξινόμηση ανάλογα την οργάνωση της κύριας αλυσίδας. Διακρίνονται τα ομοπολυμερή και τα συμπολυμερή. Στις ομοπολυμερείς, τα μόρια τους αποτελούνται από ένα είδος δομικών μονάδων, ενώ στις συμπολυμερείς υπάρχουν δύο ή περισσότερα είδη δομικών μονάδων. Επιπλέον υποκατηγορίες των συμπολυμερών είναι α) τα τυχαία συμπολυμερή β) τα εναλασσόμενα συμπολυμερή γ) τα συσταδικά συμπολυμερή δ) τα ενοφθαλμισμένα συμπολυμερή ε) τα περιοδικά συμπολυμερή στ) τα μη περιοδικά συμπολυμερή και ζ) τα βαθμωτά συμπολυμερή. Ακόμη, ανάλογα με το που κατανέμονται οι διάφορες ομάδες των πολυμερών στην αλυσίδα, διακρίνονται οι κατηγορίες των ισοστατικών, συνδιοστατικών και ατακτικών αλυσίδων. Έπειτα γίνεται μια ταξινόμηση των πολυμερών ανάλογα την προέλευση και την χημική τους σύνθεση. Σε αυτή την ταξινόμηση διακρίνονται οι ομάδες των φυσικών, τα ημισυνθετικών και τα συνθετικών πολυμερών.

Μετά γίνεται αναφορά για μια σημαντική ταξινόμηση των πολυμερών ανάλογα τις θερμομηχανικές τους ιδιότητες. Αρχικά διακρίνουμε την κατηγορία των θερμοπλαστικών, στην οποία οι αλυσίδες των μακρομορίων συνδέονται με ασθενείς δεσμούς van der Waals και μπορούν να ανακυκλωθούν. Ακόμη, μερικά πλεονεκτήματα τους είναι το γεγονός ότι έχουν υψηλή αντοχή και ότι έχουν την δυνατότητα να αντιστέκονται στη συρρίκνωση (shrinking). Παρόλ'αυτά έχουν υψηλά κόστη παραγωγής και είναι ακατάλληλα για κάποιες εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών. Τυπικά θερμοπλαστικά είναι το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο και το πολυστυρένιο. Η δεύτερη κατηγορία είναι αυτή των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών. Σε αυτή, οι αλυσίδες συνδέονται με σταυροδεσμούς, που δίνουν την χαρακτηριστική δυσκαμψία αυτών των πολυμερών. Ακόμη, αυτά τα πολυμερή δεν υγροποιούνται ακόμη και αν θερμανθούν και δεν είναι δυνατόν να ανακυκλωθούν, καθιστώντας τα επιβλαβή για το περιβάλλον. Έχουν σχετικά χαμηλό κόστος, χαμηλό βάρος και διακρίνονται για την ανθεκτικότητά τους. Σε αυτή την κατηγορία, ανήκουν τα υλικά της πολυεστερικής ρητίνης, της εποξειδικής ρητίνης και της πολυουρεθάνης. Τέλος, η τρίτη κατηγορία είναι αυτή των ελαστομερών, που οι μακρομοριακές αλυσίδες είναι μπλεγμένες μεταξύ τους, δίνοντας τους τη δυνατότητα για μεγάλες παραμορφώσεις και Τυπικά ελαστομερή είναι το πολυισοπρένιο και το πολυβουταδιένιο.

Υστερα γίνεται αναφορά για τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη δομή του πολυμερούς όπως η σύσταση, η στερεοταξική διεύθυνση, ο σχηματισμός/ διαμόρφωση, ο προσανατολισμός και η κρυσταλλικότητα. Οι πρώτες δύο παράμετροι σχετίζονται με την χημική δομή και οι δύο τελευταίες με την φυσική δομή του πολυμερούς, ενώ ο σχηματισμός συσχετίζεται και με τις δύο δομές. Έπειτα γίνεται ακόμα ένας διαχωρισμός των πολυμερών σε άμορφα και ημικρυσταλλικά. Στα άμορφα πολυμερή, οι αλυσίδες είναι τελείως τυχαία μπλεγμένες και διατεταγμένες, ενώ στα ημικρυσταλλικά υπάρχουν περιοχές όπου υπάρχει μια οργάνωση των αλυσίδων. Γύρω από αυτές τις περιοχές, υπάρχει άμορφη δομή ενώ οι αλυσίδες που βρίσκονται στην κρυσταλλική δομή μπορούν να τη διασχίσουν.

Στο υποκεφάλαιο 2.2 γίνεται αναφορά για κάποιες ιδιότητες των πολυμερών καθώς και η σχέση τους με τη θερμοκρασία. Αναφέρονται διάφορες σημαντικές μηχανικές ιδιότητες όπως το μέτρο Young, η διαρροή, η αντοχή και η παραμόρφωση θραύσης. Ακόμη, παρατίθεται ο νόμος του Hooke, ενώ διευκρινίζεται ότι υπάρχουν πολλές κατηγορίες πολυμερών ανάλογα τις τιμές της αντοχής, της δυσκαμψίας και των παραμορφώσεων. Σχετικά, με την σχέση των πολυμερών με τη θερμοκρασία, είναι σημαντικό να επισημανθούν η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης T_g και το σημείο τήξης T_m . Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης αποτελεί την κρίσιμη θερμοκρασία, πάνω από την οποία το πολυμερές συμπεριφέρεται όλκιμα, ενώ κάτω από αυτή συμπεριφέρεται ως ψαθυρό και εύθραυστο υλικό. Αντίστοιχα, η θερμοκρασία τήξης σχετίζεται με την θερμοκρασία με την οποία ένα στερεό πολυμερές με τακτική δομή μοριακών αλυσίδων μετατρέπεται σε παχύρρευστο υγρό με τυχαία δομή.

Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης μπορεί να προσδιοριστεί με διάφορες μεθόδους. Αυτές είναι βάσει τις μεταβολές του ειδικού όγκου, το DSC και το DMA. Στην διπλωματική γίνεται σχετική αναφορά με ποιους τρόπους προσδιορίζεται αυτή η κρίσιμη θερμοκρασία ανάλογα τη μέθοδο.

Τέλος, γίνεται αναφορά σε κάποιες ιδιότητες των πολυμερών. Επισημαίνεται η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα τους και ο υψηλός συντελεστής θερμικής διαστολής, ενώ τονίζεται η χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα τους. Ακόμη, αναφέρεται ότι τα περισσότερα πολυμερή θεωρούνται διαφανή και ότι οι οπτικές ιδιότητες τους σχετίζονται με την κρυσταλλικότητά τους. Επιπλέον, αναφέρεται ότι τα πολυμερή έχουν την δυνατότητα να απορροφούν τον ήχο, λόγω των διαφόρων μηχανισμών χαλάρωσης.

Στο υποκεφάλαιο 2.3 παρατίθενται σε λίστα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των πολυμερών. Στα πλεονεκτήματα τους ανήκουν η υψηλή ανθεκτικότητα απέναντι σε χημικά, το χαμηλό βάρος τους και το χαμηλό κόστος τους. Στα μειονεκτήματα τους, ανήκουν η χαμηλή θερμική αντοχή και η περιορισμένη κατεργασιμότητα τους.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται αναφορά για τις συμβατικές εποξειδικές ρητίνες καθώς και για τις ρητίνες που έχουν βιολογική βάση. Στο υποκεφάλαιο 3.1 γίνεται μια εισαγωγή για τις εποξειδικές ρητίνες. Οι εποξειδικές ρητίνες αποτελούνται από αλυσίδες που εμπεριέχουν την εποξειδική ομάδα, η οποία αποτελείται από δύο άτομα άνθρακα και ένα οξυγόνο. Ακόμη, με σκοπό να πολυμεριστούν οι ρητίνες και να δημιουργηθεί ένα στέρεο υλικό συνδυάζονται με έναν σκληρυντή. Οι τρεις μεγάλες κατηγορίες των σκληρυντών είναι οι αμίνες, οι ανυδρίτες οργανικού οξέος και οι βάσεις και τα οξέα Lewis. Ιδιαίτερα, για την κατηγορία των αμινών μπορεί να γίνει περισσότερη κατηγοριοποίηση σε αλιφατικές, κυκλοαλιφατικές και αρωματικές. Γενικά οι αλιφατικές αμίνες έχουν την δυνατότητα να πολυμερίζουν την εποξειδική ρητίνη σε θερμοκρασία περιβάλλοντος πολύ γρήγορα, ενώ οι κυκλοαλιφατικές κάνουν πολύ αργή αντίδραση και απαιτείται εξωτερική πηγή θερμότητας. Τέλος, σχετικά με τις αρωματικές αμίνες, δεν μπορούν να πολυμερίσουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται υψηλή θερμοκρασία. Οι ανυδρίτες οργανικού οξέος αποτελούν την δεύτερη σημαντικότερη κατηγορία σκληρυντών για τις εποξειδικές ρητίνες. Απαιτούν υψηλή θερμοκρασία ώστε να πολυμερίσουν τις ρητίνες, ενώ έχουν μεγάλο διάστημα μέχρι να πολυμερίσουν πλήρως (pot life). Τέλος, τα συστήματα οξέων Lewis παίζουν ρόλο στον ομοπολυμερισμό της εποξειδικής ρητίνης.

Στο υποκεφάλαιο 3.2 γίνεται αναφορά για κάποια πλεονεκτήματα των εποξειδικών ρητινών. Σε αυτά συγκαταλέγονται το χαμηλό ιξώδες τους, ο εύκολος πολυμερισμός τους και οι υψηλού επιπέδου μηχανικές ιδιότητες. Ωστόσο, αναφέρονται κάποια μειονεκτήματα τους όπως η ψαθυρότητα τους, το υψηλό κόστος τους και η δυσκολία τους να ανακυκλωθούν.

Στο υποκεφάλαιο 3.3 γίνεται αναφορά για τις εφαρμογές των εποξειδικών ρητινών. Αναφέρονται εφαρμογές σε βαφές και επιφανειακές επικαλύψεις, σε ηλεκτρονικά συστήματα, και σε σύνθετα υλικά.

Στο υποκεφάλαιο 3.4 γίνεται αναφορά για τις ρητίνες βιολογικής βάσεως. Αυτές οι ρητίνες μπορούν να είναι θερμοπλαστικές ή θερμοσκληρυνόμενες ενώ μπορεί να είναι βιοδιασπώμενες ή όχι. Ακόμη, παρατίθενται κάποια συγκριτικά διαγράμματα της αντοχής και της δυσκαμψίας διαφόρων ρητινών βιολογικής βάσεως ή μη. Το κύριο μειονέκτημα των ρητινών βιολογικής βάσεως είναι το γεγονός ότι έχουν μειωμένη αντοχή και δυσκαμψία ανά μοριακό βάρος. Επιπλέον, γίνεται συγκριτική αναφορά για τα ποσά ενέργειας που απαιτούνται για την παραγωγή βιοπολυμερών, δείχνοντας τα παρόμοια ποσά ενέργεια με τα συμβατικά πολυμερή. Επιπλέον, δείχνεται ότι το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των βιοπολυμερών δεν είναι τόσο χαμηλό όσο αναμενόταν.

Στο υποκεφάλαιο 3.4 γίνεται αναφορά για το πως κατασκευάζονται οι ρητίνες βιολογικής βάσεως. Γενικά δύο μεγάλες κατηγορίες από τις οποίες δημιουργούνται βιολογικές ρητίνες είναι οι πολυόλες φυτικών ελαίων (λόγω των κορεσμένων και ακόρεστων λιπαρών οξέων) και οι αλκόολες σακχάρου. Αναφορά γίνεται για τις ρητίνες από σόγια και λιναρόσπορο, ενώ σχετικά με τις αλκόολες σακχάρου, γίνεται αναφορά για τις ρητίνες από άμυλο, λιγνίνη και πολυφουρφουλική αλκοόλη.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται αναφορά για τις φυσικές ίνες ως ενίσχυση στα σύνθετα υλικά. Στο υποκεφάλαιο 4.1 γίνεται μια εισαγωγή καθώς και μια ταξινόμηση των φυσικών ινών και τις ιδιότητές τους. Ακόμη, γίνεται μια αναφορά για τις χημικές και φυσικές τροποποιήσεις των φυσικών ινών ενώ παρατίθενται και κάποιες εφαρμογές τους. Η ταξινόμηση των φυσικών ινών μπορεί να γίνει ανάλογα την προέλευση τους. Συγκεκριμένα, 3 κατηγορίες μπορούν να

διακριθούν όπως οι ίνες από φυτά, οι ίνες από ζώα και οι ίνες από ορυκτά. Μάλιστα οι ίνες από φυτά μπορούν να έχουν υποκατηγορίες όπως οι ίνες από σπόρους, ίνες από φύλλα, οι ίνες από τον φλοιό, οι ίνες από φρούτα και ίνες από τον βλαστό. Επιπλέον, επισημαίνεται ότι οι φυσικές ίνες παρουσιάζουν ιδιαίτερο εύρος μηχανικών ιδιοτήτων, γιατί υπάρχουν ιδιαίτεροι παράμετροι που τις επηρεάζουν. Επίσης σε αυτό το υποκεφάλαιο, παρατίθεται ένας τρόπος σύγκριση των φυσικών ινών με μια επιστημονική διαδικασία, που περιλαμβάνει 5 φάσεις. Από μια έρευνα που ακολούθησε αυτή τη διαδικασία, ίνες από βασάλτη βγήκαν ως η καλύτερη επιλογή, ενώ στη δεύτερη κυρίως θέση βγήκαν οι ίνες λιναριού.

Έπειτα γίνεται μια αναφορά στα πλεονεκτήματα και στα μειονεκτήματα των φυσικών ινών, ενώ γίνεται μια αναφορά για τις διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητες των συνθέτων ενισχυμένα με φυσικές ίνες. Επιπλέον γίνεται μια αναφορά για τις χημικές και φυσικές επεξεργασίες που μπορούν να υποστούν οι φυσικές ίνες. Οι χημικές επεξεργασίες στοχεύουν στον περιορισμό των ομάδων υδροξυλίου που είναι υπεύθυνες για το ότι προκαλούν μειωμένες αποδόσεις. Γίνεται αναφορά για την επεξεργασία με αλκάλιο, για την επεξεργασία σιλανίου και για την επεξεργασία ακετυλίωσης. Σχετικά με τις φυσικές επεξεργασίες, στις οποίες στόχος είναι η αλλαγή της δομής και οι ιδιότητες της επιφάνειας, γίνεται αναφορά των μεθόδων κορόνα και πλάσμα.

Τέλος σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζονται και κάποιες εφαρμογές των φυσικών ινών. Φυσικές ίνες μπορούν να βρεθούν σε εφαρμογές σε διάφορες βιομηχανίες όπως στον κατασκευαστικό τομέα, στην αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροναυπηγική. Κίνητρο για αυτές τις εφαρμογές είναι η μείωση του βάρους και η ελάττωση του κόστους.

Έπειτα στο υποκεφάλαιο 4.2 γίνεται μια αναφορά για τις ίνες λιναριού. Επισημαίνεται ότι τα υψηλά ποσοστά κυτταρίνης και η μικρή γωνία των μικροινιδίων στο επίπεδο S2 δίνει πολύ καλή εφελκυστική αντοχή και δυσκαμψία στις φυσικές ίνες. Έπειτα γίνεται μια αναφορά για την ανατομία του φυτού από τις οποίες προέρχονται οι ίνες λιναριού και η επίδραση του σημείου λήψης των ινών στις μηχανικές τους ιδιότητες. Παρακάτω, παρουσιάζεται η αρνητική επιρροή της περιστροφής των ινών στα σύνθετα υλικά.

Στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά για τις διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν τη θραυστομηχανική συμπεριφορά, όπως ο τύπος της μήτρας, το είδος και η αρχιτεκτονική της ίνας, ο προσανατολισμός των ινών, η διεπιφάνεια ίνας-μήτρας, το πάχος της πλάκας και η ακολουθία των στρώσεων μιας πλάκας. Επιπλέον, γίνεται μια αναφορά για διάφορους μηχανισμούς που παίζουν ρόλο στη θραυστομηχανική συμπεριφορά, όπως η εκτροπή της ρωγμής (crack deflection), η αφαίρεση των ινών (pull-out) και η γεφύρωση των ινών (fiber bridging).

Έπειτα, εξηγούνται πως κάποιοι παράμετροι επιδρούν στην θραυστομηχανική συμπεριφορά των συνθέτων, όπως το είδος των ινών (μονοδιεύθυντες ή πλεκτά), η γραμμική πυκνότητα της ίνας, το μήκος των ινών, ο προσανατολισμός των ινών, η επεξεργασία των ινών (χημική ή φυσική), οι εκτός επιπέδου ενισχύσεις και η υγρασία.

Στο 6^ο κεφάλαιο παρατίθεται η βιβλιογραφική αναζήτηση για την διαστρωματική αντοχή σε θραύση των συνθέτων με φυσικές ίνες. Αρχικά, γίνεται μια βιβλιογραφική αναζήτηση, με θέμα την συμπεριφορά σε διαστρωματική αντοχή σε θραύση συνθέτων που έχουν οποιοδήποτε είδος ρητίνης βιολογικής βάσης. Έπειτα γίνεται αναφορά σε δημοσιεύσεις που έχουν γίνει για τη θραυστομηχανική συμπεριφορά συνθέτων με ίνες λιναριού και συμβατική εποξειδική ρητίνη. Παρατίθενται ακόμα για αυτή την περίπτωση, σε πίνακα, τα πιο σημαντικά αποτελέσματα από τις διάφορες έρευνες. Τέλος, γίνεται αναφορά σε έρευνες για τις εφελκυστικές και καμπτικές ιδιότητες συνθέτων με ίνες λιναριού και ρητίνη βιολογικής βάσης.

Ορολογία

Interlaminar fracture toughness	Διαστρωματική αντοχή σε θραύση
Epoxy resin	Εποξειδική ρητίνη
Natural fibers	Φυσικές ίνες
Flax fibers	Ίνες λιναριού
Biobased epoxy resin	Εποξειδική ρητίνη με συστατικά βιολογικής προέλευσης
Thermoset polymer	Θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές
Biopolymer	Βιοπολυμερές
Natural Oil Polyols	Πολυόλες φυσικών ελαίων
Sugar alcohols	Αλκόολες σακχάρου
Acetylation treatment	Έπεξεργασία' ακετυλίωσης
Alkali treatment	Έπεξεργασία' με αλκάλια
Silane treatment	Έπεξεργασία' σιλανίου