

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
<b>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup></b>	
<b>ΡΗΤΙΝΗ ΝΕΟΛΑΚΗ</b>	
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	4
1.2 ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΣ ΦΑΙΝΟΛΗΣ-ΦΟΡΜΑΛΔΕΥΔΗΣ.....	6
1.3 ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΦΑΙΝΟΛΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ.....	11
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup></b>	
<b>ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΞΥΛΟΥ</b>	
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	15
2.2 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ.....	19
2.3 ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ.....	25
2.4 ΡΙΚΝΩΣΗ – ΔΙΟΓΚΩΣΗ.....	30
2.5 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	35
2.6 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	39
2.7 ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	45
2.8 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	48
2.9 ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ.....	51
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></b>	
<b>ΕΙΔΗ ΞΥΛΟΥ</b>	
3.1 ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΟ ΞΥΛΟ.....	64
3.2 ΣΥΝΘΕΤΗ ΠΡΙΣΤΗ ΞΥΛΕΙΑ ΑΠΟ ΞΥΛΟΦΥΛΛΑ.....	69
3.3 ΑΝΤΙΚΟΛΛΗΤΑ.....	77
3.4 ΜΟΡΙΟΣΑΝΙΔΕΣ.....	82
3.5 ΙΝΟΣΑΝΙΔΕΣ.....	95

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup></b>	
<b>ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ</b>	
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	105
4.2 ΙΝΕΣ.....	108
4.3 ΜΗΤΡΑ.....	120
4.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΙΝΩΝ ΚΑΙ ΜΗΤΡΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΙΝΩΔΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ.....	122
4.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	125
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup></b>	
ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	132
<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b>	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup></b>	
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ.....	134
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup></b>	
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	135
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup></b>	
<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ</b>	
8.1 ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ.....	140
8.2 ΧΡΩΜΑΤΟΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ.....	145
8.3 ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ.....	148
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup></b>	
ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	152
ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ.....	157

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία επιτεύχθηκε η κατασκευή σύνθετων υλικών με μήτρα ρητίνη νεολάκη και ως πρόσθετα διαφορετικά είδη ξύλου (καρυδιάς, οξιάς, μελαμίνης και πεύκου). Απώτερος στόχος των δοκιμών που κατασκευάστηκαν, ήταν να έχουν ικανοποιητικές μηχανικές ιδιότητες και ταυτόχρονα χρωματοπροσοφητικές ικανότητες. Τα δοκίμια πέρασαν από ελέγχους για τις μηχανικές τους ιδιότητες, τόσο σε κάμψη όσο και σε αντοχή σε διατομή, για τη σκληρότητα και για τα αποτελέσματα που παρουσίασαν σε περίπτωση βαφής με δύο μεθόδους, με πινέλο και με εμβάπτιση. Οι επιδόσεις αναφέρονται αναλυτικά παρακάτω:

Από τις μετρήσεις λάβαμε τα ακόλουθα αποτελέσματα (παρουσιάζονται κατά φθίνουσα σειρά προτίμησης):

### A. αντοχή σε κάμψη

- 1) καρυδιά 94,99 MPa
- 2) μελαμίνη 75,45 MPa
- 3) πεύκο 48,79 MPa
- 4) οξιά 29,09 MPa

### B. αντοχή σε διάτμηση

- 1) καρυδιά 4,82 MPa
- 2) μελαμίνη 4,58 MPa
- 3) πεύκο 3,98 MPa
- 4) οξιά 3,86 MPa

### Γ. μετρήσεις χρώματος (διαφορά πάχους)

#### a) με χρήση πινέλου

- 1) μελαμίνη 27mm
- 2) οξιά 23mm
- 3) πεύκο 10mm
- 4) καρυδιά 8mm

b) με τη μέθοδο της εμβάπτισης

1) οξιά 98mm

2) μελαμίνη 73mm

3) πεύκο 55mm

4) καρυδιά 46mm

Δ. μετρήσεις σκληρόμετρου (ημι-εμπειρική η μονάδα μέτρησης)

a) με χρήση πινέλου

1) καρυδιά 60,3

2) οξιά 55,4

3) μελαμίνη 53,5

4) πεύκο 46,7

b) με τη μέθοδο της εμβάπτισης

1) καρυδιά 58,8

2) μελαμίνη 57,8

3) οξιά 40,8

4) πεύκο 39,3

Συνοψίζοντας, επειδή συνήθως αυτό που ενδιαφέρει, κυρίως, είναι οι μηχανικές ιδιότητες του ξύλου, η καρυδιά είναι η πρώτη επιλογή. Αν ενδιέφερε η εμφάνιση η οξιά θα ήταν προτιμητέα. Πάντως σε κάθε περίπτωση η επιλογή του είδους του ξύλου θα γίνει, μετά τον καθορισμό των αναγκών χρήσης.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στην εργαστηριακή μονάδα των “Προηγμένων και Σύνθετων Υλικών”, στα πλαίσια του μαθήματος “Πολυμερή και Σύνθετα Υλικά” του 8<sup>ου</sup> εξαμήνου κατά το χρονικό διάστημα 2011-2012.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους αυτούς που συνέβαλαν στην πραγματοποίηση αυτής της εργασίας με οποιονδήποτε τρόπο.

Συγκεκριμένα:

- ✓ Στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Λουκά Ζουμπουλάκη, της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., για την υπόδειξη του θέματος, την βοήθειά του κατά τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων των σύνθετων υλικών, τις πολύτιμες συμβουλές του, την επιμέλεια των κειμένων και το ενδιαφέρον που έδειξε σε όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής.
- ✓ Στην Χημικό Master of science Συνεργάτιδα, της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Ειρήνη Κανελλοπούλου για την πολύτιμη βοήθειά της κατά τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων για το χρώμα των δοκιμίων.
- ✓ Στον Διδάκτορα, της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Σπύρο Σούλη για την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια των πειραματικών μετρήσεων για τη σκληρότητα των δοκιμίων.
- ✓ Στην Υπ. Διδάκτορα, της Σχολής Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Μαρκέλλα Πιζάνια για την πολύτιμη βοήθειά της στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων των μηχανικών αντοχών.
- ✓ Σε όλα τα παιδιά στο εργαστήριο για τη βοήθεια που μου προσέφεραν.
- ✓ Στην οικογένεια και τους φίλους μου για όλα.

## Α' ΜΕΡΟΣ: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

#### ΡΗΤΙΝΗ ΝΕΟΛΑΚΗ

##### 1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Τα πολυμερή είναι υλικά τα οποία σχηματίζονται από τη χημική συνένωση πολλών μικρών δομικών μονάδων κυρίως ενώσεις υδρογονανθράκων με αποτέλεσμα να προκύπτουν μόρια μεγάλου μοριακού βάρους, τα μακρομόρια. Οι δομικές αυτές μονάδες ονομάζονται μονομερή και η επαναλαμβανόμενη χημική αντίδραση με την οποία τα μόρια ενός ή περισσοτέρων μονομερών ενώνονται προς σχηματισμό του μακρομορίου καλείται πολυμερισμός. Για παράδειγμα, ένα μακρομόριο πολυαιθυλενίου αποτελείται από "n" δομικές μονάδες αιθυλενίου ( $-CH_2-CH_2-$ ) οι οποίες προκύπτουν από τη διάσπαση του διπλού δεσμού μεταξύ των ατόμων άνθρακα του μονομερούς, το οποίο είναι το αιθυλένιο ( $CH_2=CH_2$ ). Έτσι προκύπτει το μακρομόριο n ( $-CH_2-CH_2-$ ).[3]

Τα πολυμερή χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες βάσει της οργάνωσης της κύριας αλυσίδας:

- Ομοπολυμερή: Πολυμερή τα οποία αποτελούνται από την ίδια επαναλαμβανόμενη δομική μονάδα, όπως φαίνεται και παρακάτω.

Μονομερές = A

Πολυμερές = AAAAAAAAAA.....

- Συμπολυμερή: Ονομάζονται τα πολυμερή τα οποία προκύπτουν από το συνδυασμό δύο ή περισσοτέρων δομικών μονάδων και μπορεί να είναι και διαφόρων τύπων, εκ των οποίων οι βασικότεροι είναι οι παρακάτω:
  - a. Εναλλασσόμενο συμπολυμερές
  - b. Τυχαίο συμπολυμερές
  - c. Ανδρομερές συμπολυμερές
  - d. Ενοφθαλμισμένο συμπολυμερές

Τα πολυμερή χωρίζονται ανάλογα με τις θερμομηχανικές τους ιδιότητες σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- **Θερμοπλαστικά:**

Αποτελούνται συνήθως από γραμμικά μακρομόρια τα οποία συγκρατούνται μεταξύ τους με ασθενείς δεσμούς van der Waals και παράγονται με πολυμερισμό συμπύκνωσης ή προσθήκης. Τα θερμοπλαστικά όταν θερμανθούν λόγω της μείωσης της έντασης των διαμοριακών δυνάμεων γίνονται μαλακά και εύκαμπτα, ενώ με περαιτέρω θέρμανση μετατρέπονται σε ιξώδη ρευστά. Τα υλικά αυτά είναι επαναμορφοποιήσιμα καθώς όταν ψυχθούν στερεοποιούνται στην εκάστοτε επιθυμητή μορφή. Η διαδικασία ψύξης θέρμανσης ενός θερμοπλαστικού είναι αντιστρεπτή, γεγονός που καθιστά τα θερμοπλαστικά εν μέρει φιλικά προς το περιβάλλον, καθώς μπορούν να ανακυκλωθούν. Στην πραγματικότητα, η διαδικασία ψύξης θέρμανσης είναι εν μέρει αντιστρεπτή με αποτέλεσμα το υλικό να υποβαθμίζεται συναρτήσει των κύκλων αυτής της διαδικασίας, μέχρις ότου να μην είναι πλέον κατάλληλα προς χρήση. Τα θερμοπλαστικά βρίσκουν ευρύτατες εφαρμογές σε προϊόντα καθημερινής χρήσης, όπως σε συσκευασίες τροφίμων, μπουκάλια και δοχεία απορρυπαντικών. Τα πιο συνηθισμένα θερμοπλαστικά είναι το πολυαιθυλένιο χαμηλής και υψηλής πυκνότητας (LDPE και HDPE), το πολυπροπυλένιο (PP) και το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC).[3]

- **Θερμοσκληρυνόμενα:**

Αποτελούνται από μη γραμμικά και σχετικά μικρά μακρομόρια τα οποία παράγονται με χημική αντίδραση σε δύο στάδια. Το πρώτο στάδιο έχει να κάνει με τη δημιουργία των μακρομοριακών αλυσίδων και το δεύτερο με τη μορφοποίησή τους υπό την επίδραση πίεσης ή θερμοκρασίας, όπου και αναπτύσσονται σταυροδεσμοί. Τελικά προκύπτει ένα δύσκαμπτο υλικό με αρκετά πυκνή δικτυωτή δομή, το οποίο αφότου στερεοποιηθεί δεν επιδέχεται καμία επεξεργασία. Στα θερμοσκληρυνόμενα ανήκουν οι εποξικές και οι πολυεστερικές ρητίνες που χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές.[1]

- **Ελαστομερή:**

Αποτελούνται από γραμμικά μακρομόρια με διακλαδωμένες αλυσίδες. Είναι μια πολύ ξεχωριστή κατηγορία των πολυμερών καθώς χαρακτηρίζονται όχι μόνο για την πολύ μεγάλη ελαστική παραμόρφωση (υπερελαστικότητα), αλλά και για τη μεγάλη βισκοελαστική παραμορφωσιμότητα. Μπορούν, επομένως, να δεχτούν πολύ μεγάλες ελαστικές παραμορφώσεις και μάλιστα πολλά ελαστομερή διατηρούν αυτές τις ιδιότητες για ένα μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος. Στα ελαστομερή ανήκουν το φυσικό και το συνθετικό καουτσούκ, το τελευταίο από τα οποία χρησιμοποιείται στα ελαστικά αυτοκινήτων.[1]

Τα πολυμερή χωρίζονται ακόμη και σύμφωνα με τη σύστασή τους, τον τρόπο δηλαδή των συνδέσεων των αλυσίδων τους. Επομένως οι αλυσίδες των πολυμερών ανάλογα με την μοριακή αρχιτεκτονική που παρουσιάζουν έχουν τον κορμό, αλλά, ενδεχομένως, και τον υποκαταστάτη τους, ο οποίος είναι ίδιος με τον υποκαταστάτη του μονομερούς τους. Έτσι χωρίζονται σε:

- a. Μη διακλαδωμένη αλυσίδα
- b. Αλυσίδα με μικρού μήκους διακλαδώσεις
- c. Αλυσίδα με μεγάλου μήκους διακλαδώσεις
- d. Αλυσίδα με αστεροειδούς μήκους διακλαδώσεις
- e. Αλυσίδα με κτενόμορφες διακλαδώσεις

## **1.2 ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΣ ΦΑΙΝΟΛΗΣ-ΦΟΡΜΑΛΔΕΥΔΗΣ**

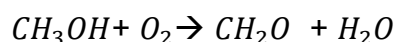
### **1.2.1 Φαινόλη- Φορμαλδεΐδη**

Οι ενώσεις αυτές αποτελούν την πρώτη ύλη για την παραγωγή φαινοπλαστικών.

Η λεγόμενη φαινόλη ανήκει στην γενική κατηγορία των φαινολών και αντιστοιχεί στον τύπο:  $C_6H_5OH$ . Σε καθαρή κατάσταση η φαινόλη είναι λευκή, κρυσταλλική και έχει χαρακτηριστική οσμή. Είναι γενικά δηλητηριώδης, ενώ παρουσιάζει μικρή διαλυτότητα στο νερό και όξινο χαρακτήρα. Για τον όξινο χαρακτήρα της μάλιστα, ονομάζεται και φαινικό οξύ. Η φαινόλη αλλοιώνεται εύκολα στον αέρα, ενώ παρασκευάζεται με μία από τις γενικές μεθόδους αν τήξουμε με καυστικό νάτριο το βενζοσουφλονικό οξύ, σε θερμοκρασία περίπου  $300^\circ C$  ή με οξειδωση, με παρουσία κατάλληλων καταλυτών, του βενζολίου σε υψηλές θερμοκρασίες. Η φαινόλη που λαμβάνεται με απόσταξη της πισσασφάλτου του ορυκτού άνθρακα, αν και δεν είναι τόσο καθαρή, αντιπροσωπεύει σήμερα το 10% της παγκόσμιας παραγωγής. Τέλος, εκτός των άλλων, η φαινόλη έχει βακτηριοκτόνο δράση, αλλά η τοξικότητά της περιορίζει τη χρήση της.[7]

Η φορμαλδεΐδη από την άλλη μεριά, είναι η απλούστερη αλειφατική αλδεΐδη, αέρια και έχει σημείο ζέσεως  $-21^\circ C$ . Η φορμαλδεΐδη, είναι ένα άχρωμο αέριο, ενώ έχει ερεθιστική οσμή και είναι πολύ δραστική, διαλυτή στην αλκοόλη και στο νερό. Παρασκευάζεται βιομηχανικά με οξειδωση της μεθανόλης σε αέρια φάση με παρουσία καταλύτη από χαλκό ή άργυρο:





Η φορμαλδεΐδη χρησιμοποιείται συνήθως με τη μορφή του υδατικού της διαλύματος, περιεκτικότητας περίπου 37% σε φορμαλδεΐδη, το οποίο είναι γνωστό ως φορμαλίνη ή φορμόλη. Η φορμόλη περιέχει και λίγη μεθυλική αλκοόλη ως σταθεροποιητικό. Η φορμαλδεΐδη, τέλος, παρουσιάζει αντισηπτικές και απολυμαντικές ιδιότητες.

Η πρώτη ύλη, όπως αναφέρθηκε, για την παραγωγή φαινοπλαστικών είναι η φαινόλη και η φορμαλδεΐδη.

Υποκατάστατα της φαινόλης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι υποκατεστημένες φαινόλες ή πολυφαινόλες, όπως η m-κρεζόλη, η ρεζορκίνη, η υδροκινόνη. Οι πολυφαινόλες χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ειδικών ρητινών, όπως οι ρητίνες οξειδοαναγωγής.

Υποκατάστατα της φορμαλδεΐδης για τον πολυμερισμό μπορούν να είναι, θεωρητικά, οποιοσδήποτε αλδεΐδες. Στην πράξη όμως, χρησιμοποιείται μόνο η φουρφουρόλη (φουρανοπλαστικά προϊόντα) σε ορισμένες εφαρμογές.

Η φορμαλδεΐδη συμπεριφέρεται σαν ένα διδραστικό μονομερές, ενώ η φαινόλη σαν ένα τριδραστικό μονομερές. Έτσι η φαινόλη αντιδρά στη θέση "παρά" και στις δύο θέσεις "ορθό" ως προς το υδροξύλιο. Οι δύο θέσεις "μετά", αντιδρούν μόνο κάτω από ειδικές συνθήκες και για να δώσουν γραμμικά πολυμερή χωρίς διασταυρώσεις. Η m-κρεζόλη σαν τριδραστική μπορεί να αντιδράσει και να δώσει δομή πλέγματος.

Η αντίδραση φαινόλης φορμαλδεΐδης ακολουθεί τα τρία αξιώματα του Kien le (1930):

- Υψηλού μοριακού βάρους οργανικά σύνθετα σχηματίζονται μόνο όταν τα μόρια που αλληλεπιδρούν έχουν περισσότερες από μία ενεργές θέσεις.
- Η αλληλοσύνδεση των μορίων προχωρά σύμφωνα με τυχαίες επαφές οποιονδήποτε δύο ανεξάρτητων μορίων και οι θέσεις των ενεργών σημείων καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό της φυσικές ιδιότητες του πολυμερούς που προκύπτει, όπως για παράδειγμα τη σκληρότητα, την ελαστικότητα και τη θερμική συμπεριφορά.

Οι αντιδράσεις φαινόλης φορμαλδεΐδης διαφοροποιούνται και χωρίζουν τις φαινολικές ρητίνες σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- Ανάλογα με το pH της κατάλυσης, συγκεκριμένα αν πρόκειται για όξινο ή αλκαλικό καταλύτη.

- b. Η αναλογία φαινόλης φορμαλδεΐδης, ειδικά το αν πρόκειται για ένα ή λιγότερο από ένα mole φαινόλης.

Η παρουσία καταλύτη κρίνεται απαραίτητη για την αύξηση του ρυθμού της αντίδρασης, λόγω του ότι η αντίδραση πολυμερισμού φαινόλης φορμαλδεΐδης είναι βραδεία ακόμη και σε υψηλές θερμοκρασίες.

Ανάλογα με τον καταλύτη που χρησιμοποιείται για την επιτάχυνση του ρυθμού της αντίδρασης, οι αντιδράσεις πολυμερισμού φαινόλης φορμαλδεΐδης διακρίνονται στις εξής δύο κατηγορίες:

- a. Αλκαλικές αντιδράσεις  
b. Όξινες αντιδράσεις

Συνηθισμένοι αλκαλικοί καταλύτες είναι το  $Na_2CO_3$ ,  $NaOH$ ,  $NH_4OH$ , ενώ σαν όξινοι καταλύτες χρησιμοποιούνται το  $HCl$ ,  $H_2SO_4$ , οξαλικό οξύ.

Το είδος του καταλύτη που χρησιμοποιείται σε εκάστοτε περίπτωση επιδρά τόσο στην πορεία της αντίδρασης, όσο και στις τελικές ιδιότητες του λαμβανομένου προϊόντος.

### 1.2.2 Αλκαλική αντίδραση

Η αλκαλική αντίδραση είναι η περίπτωση σταδιακού πολυμερισμού, που χρησιμοποιείται αλκαλικός καταλύτης, όπως έχει ήδη αναφερθεί. Το μέγεθος του μορίου στην αλκαλική αντίδραση, ελέγχεται από την χρησιμοποιούμενη στοιχειομετρία του μίγματος της αντίδρασης.

Όταν η αναλογία ανάμιξης είναι ένα mole φαινόλης με ένα ή περισσότερα moles φορμαλδεΐδης, η αντίδραση γίνεται σε pH πάνω από 8.

Στην περίπτωση των αλκαλικών αντιδράσεων, οι συνηθέστερες τιμές της μοριακής αναλογίας φαινόλης/φορμαλδεΐδης είναι: 1/1,2 έως 1/1,5. Σε ορισμένες περιπτώσεις όμως, η ποσότητα της φορμαλδεΐδης αυξάνει αναλογικά, με αποτέλεσμα να παίρνει τιμές από 1/2 έως 1/3.

Ανάλογα με την έκταση της αντίδρασης, το λαμβανόμενο προϊόν μπορεί να ανήκει σε μία από τις παρακάτω κατηγορίες:

Ρητίνη α' βαθμίδας συμπύκνωσης (Ρεζόλη)

Οι ρητίνες αυτές αποτελούνται από μικρού μοριακού βάρους προϊόντα, που μπορούν να θεωρηθούν σαν τα πραγματικά μονομερή, σε περίπτωση περαιτέρω αντίδρασης πολυμερισμού. Οι ρητίνες αυτές είναι διαλυτές σε υδατικά διαλύματα αλκαλίων. Τα διαλύματα που προκύπτουν, δεν παρουσιάζουν μεγάλο χρόνο ζωής, σε συνήθεις θερμοκρασίες.[7]

#### Ρητίνη β' βαθμίδας συμπύκνωσης (Ρεζιτόλη)

Αποτελούνται από μόρια πολυμερούς τα οποία είναι κατά κανόνα γραμμικά με μία μικρή αναλογία διασταυρωμένων συνδέσμων. Οι συνδέσεις των αρωματικών πυρήνων είναι κατά ένα μέρος μεταξύ μεθυλενικών ομάδων και κατά ένα μέρος μεταξύ αιθερικών ομάδων.

Οι θέσεις συνδέσεων ως προς το φαινολικό υδροξύλιο, στις ρητίνες αυτές είναι: ο-, ο- ή ρ-, ρ- σε τυχαία κατανομή.

Οι ρητίνες αυτές είναι αδιάλυτες σε υδατικά διαλύματα αλκαλίων, ενώ είναι πλήρως ή εν μέρει διαλυτές σε οξυγονούχους οργανικούς διαλύτες. Είναι επίσης σκληρές, εύθραυστες και θερμοπλαστικές.

#### Ρητίνη γ' βαθμίδας συμπύκνωσης (Ρεζίτης)

Οι ρητίνες αυτές λαμβάνονται από τα προϊόντα της β' βαθμίδας και είναι όμοιες με αυτές. Οι ρητίνες αυτές είναι αδιάλυτες σε οργανικούς διαλύτες, δύστηκτες, θερμοσκληρυνόμενες και τα μόριά τους έχουν την μορφή πυκνού πλέγματος. Τέλος, οι ρητίνες αυτές αποσυντίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες.

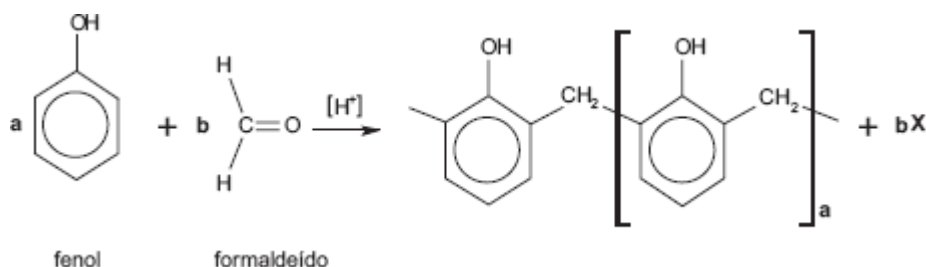
### **1.2.3. Όξινη αντίδραση**

Αναφερόμαστε στην περίπτωση του σταδιακού πολυμερισμού στην οποία χρησιμοποιείται όξινος καταλύτης. Στην περίπτωση των αντιδράσεων αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται αρκετά μικρότερες ποσότητες φορμαλδεΐδης, με επικρατέστερο το λόγο φαινόλης/φορμαλδεΐδης ίσο με 1/0,8.

Η σχηματιζόμενη ρητίνη κατά την όξινη αντίδραση σταδιακού πολυμερισμού αποχωρίζεται σαν αδιάλυτη φάση στο νερό και ονομάζεται νεολάκη (novolak). [7]

## Νεολάκη

Η νεολάκη είναι ρητίνη δύο σταδίων και δε φέρει ελεύθερες μεθυλομάδες. Η σύνδεση των αρωματικών πυρήνων γίνεται μέσω μεθυλενικών ομάδων, σε θέση ο-, ο- ή ρ-, ρ- σε τυχαία κατανομή. Το τελικό μέγεθος του μορίου της νεολάκης εξαρτάται από τη στοιχειομετρία της τροφοδοσίας.



Σχήμα 1: Νεολάκη

### 1.2.4. Παραγωγή νεολάκης

Δύο είναι τα κυριότερα βήματα που διακρίνονται κατά το σχηματισμό των φαινολικών ρητινών με χρήση όξινου καταλύτη. Το πρώτο από αυτά είναι η προσθήκη φορμαλδεΐδης σε μία ελεύθερη ενεργή θέση του φαινολικού δακτυλίου για να δώσει μεθυλόλη. Το δεύτερο βήμα είναι η συμπύκνωση του μεθυλενίου με μία ελεύθερη ενεργή θέση άλλου ενεργού δακτυλίου ή με μία μεθυλόλη, ώστε να σχηματιστεί “γέφυρα” από μεθυλένιο (στην περίπτωση που έχουμε συμπύκνωση με δύο μεθυλολών, τότε παράγεται πρώτα “γέφυρα” από αιθέρα).

Τα πιθανά διαφορετικά μοριακά είδη που έχουμε κατά τον πολυμερισμό φαινόλης φορμαλδεΐδης αναλύονται παρακάτω. Αυτά τα μοριακά είδη περιέχουν τα μονομερή και όλους τους πιθανούς σχηματισμούς με τους οποίους οι φαινολικοί δακτύλιοι μπορούν να είναι παρόντες στο αντιδρών μίγμα σαν απλά είδη ή σαν μέρος μοριακών αλυσίδων.

Η χημεία της νεολάκης χαρακτηρίζεται από υψηλή ταχύτητα συμπυκνώσεως. Αυτό υπονοεί ότι η συγκέντρωση των μεθυλο-φαινολών θα είναι χαμηλή σε όλη τη διάρκεια της αντίδρασης. Έτσι τα παραπάνω αναφερόμενα είδη και τα: *P*, *Q*, *R*, *S* μπορούν να αγνοηθούν.

Οι συγκεντρώσεις των μοριακών ειδών εκφράζονται σαν σχετικές τιμές λαμβάνοντας υπόψη την αρχική συγκέντρωση της φαινόλης  $A_0$ . Για παράδειγμα,

σαν  $A$  ορίζεται ο λόγος μεταξύ πραγματικής και αρχικής συγκέντρωσης της φαινόλης.

Οι εσωτερικές θέσεις είναι λιγότερο ενεργές σε σχέση με τις εξωτερικές, λόγω της στερικής παρεμπόδισης που εμφανίζεται. Αυτή η διαφορά στην ενεργότητα είναι δύσκολο να μετρηθεί και εξαρτάται από τους συγκεκριμένους εκάστοτε τύπους που έχουμε, καθώς και από τις συνθήκες της αντίδρασης.

### 1.3 ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΦΑΙΝΟΛΙΚΩΝ ΡΗΤΙΝΩΝ

Διακρίναμε τις φαινολικές ρητίνες στις ρητίνες ενός σταδίου (ρεζόλες), καθώς και στις ρητίνες δύο σταδίων (νεολάκες).

- Σκλήρυνση ρητινών ενός σταδίου

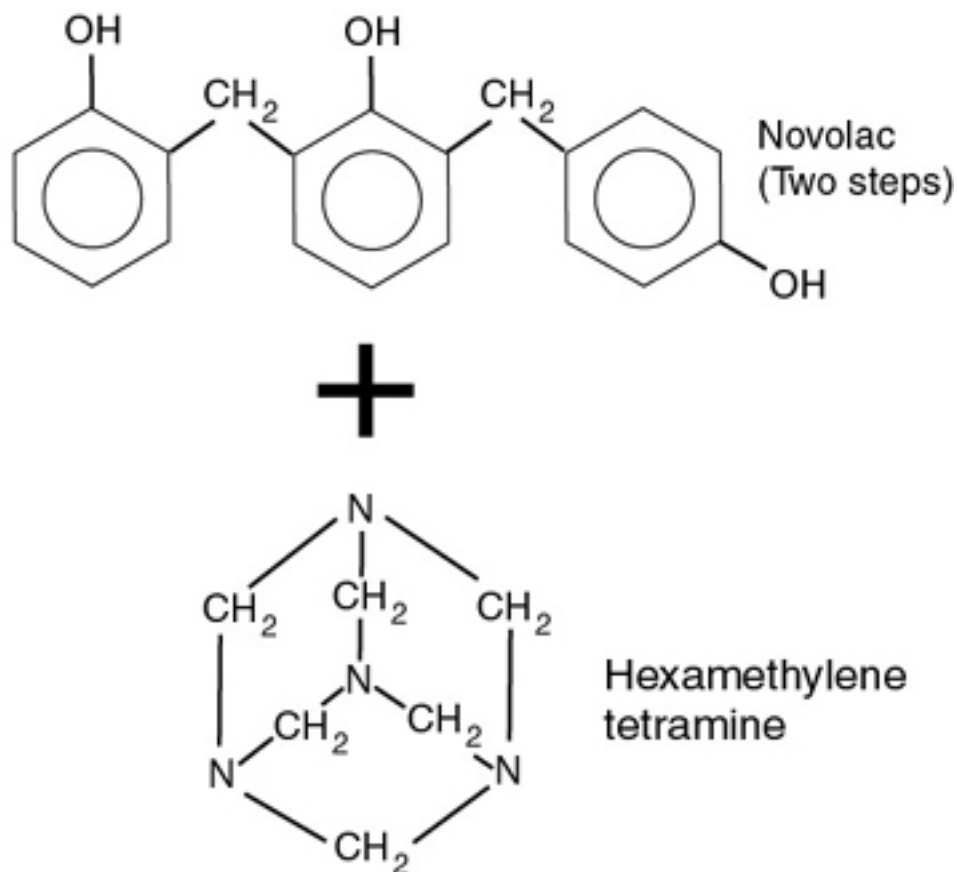
Η σκλήρυνση των ρεζολών γίνεται με θέρμανση στους  $150^{\circ}\text{C}$  περίπου. Έτσι η ρητίνη α' βαθμίδας (ρεζόλη) δίνει τη ρητίνη β' βαθμίδας (ρεζιτόλη) που μετατρέπεται στη ρητίνη γ' βαθμίδας (ρεζίτης). Ανάλογα με τη θερμοκρασία σκλήρυνσης, προκύπτει και διαφορετική δομή μορίου για την αρχικά σχηματιζόμενη ρεζιτόλη.[7]

- Σκλήρυνση νεολάκης

Η σκλήρυνση της νεολάκης γίνεται με προσθήκη εξαμεθυλενοτετραμίνης (hexa) με σκοπό τη σύνδεση των αρωματικών δακτυλίων της νεολάκης μέσω "γεφυρών" αιθυλενίου. Αυτές οι συνδέσεις γίνονται κατά προτίμηση στη θέση 4 του φαινολικού συγκροτήματος με απομάκρυνση αμμωνίας.

Συνήθως επτά μέρη βάρους νεολάκης αντιδρούν με δύο μέρη βάρους hexa, ενώ πιο μικρές αναλογίες hexa (<1,2%) μπορούν να δώσουν δομή τρισδιάστατου πλέγματος. Η σκλήρυνση της νεολάκης μπορεί να επιτευχθεί είτε σε κλειστά, είτε σε ανοιχτά κατά τη θέρμανση, καλούπια. Η εξάλειψη των πτητικών αποτέλεσε ένα από τα προβλήματα που έπρεπε να λυθούν κατά τη σκλήρυνση με χρήση κλειστών καλουπιών.

Οι Burns και Orrell ήταν δύο από τους πρώτους που πειραματίστηκαν στη σκλήρυνση νεολάκης εμπορίου με hexa, με χρήση DTA και TG σε ατμοσφαιρική πίεση στα τέλη της δεκαετίας του '60.



Σχήμα 2: νεολάκη και ΗΕΧΑ

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Μία εφαρμογή της ρητίνης νεολάκη είναι η παραγωγή ανθρακωδών ουσιών από αυτήν σε συνδυασμό με πεπτιεσμένους πυρήνες ελιάς. Το τελευταίο υλικό είναι ένα γεωργικό υποπροϊόν που παράγεται ετησίως σε μεγάλες ποσότητες, κυρίως στις χώρες της Μεσογείου. Αμφότερα τα υλικά αναμιγνύονται σε διαφορετικές αναλογίες, αναμιγνύονται και θερμαίνονται μέχρι 1000 ° C. Η απώλεια βάρους και η συρρίκνωση κατά την διάρκεια της διαδικασίας μετρώνται. Η διαδικασία προσρόφησης ακολουθεί την εξίσωση Freundlich. [6, 19]

Τα δείγματα μετά τη θέρμανση ερευνήθηκαν σε σχέση με την ικανότητά τους να προσροφούν τολουόλιο και κυκλοεξάνιο σε αέρια φάση. Το τολουόλιο προσροφάται εμφανίζει σε όλα τα δείγματα προσροφητικά ισχυρότερες επιδόσεις από το κυκλοεξάνιο. Ο συνολικός συντελεστής διάχυσης D της διεργασίας προσρόφησης, η ειδική επιφάνεια, καθώς και ο όγκος των πόρων υπολογίζονται. Οι προσροφητικές ιδιότητες των προϊόντων που ερμηνεύονται λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος και το σχήμα των πόρων, την πολικότητα της προσρόφησης, καθώς και τις δυνάμεις διασποράς μεταξύ προσροφητικού μέσου και προϊόντος προσρόφησης. Σχήματα σχισμών ή πόρων, είναι πιθανό να είναι παρόντα στα προσροφητικά υλικά τα οποία θερμαίνονται σε υψηλότερες θερμοκρασίες και συγκεκριμένα στους 1000 ° C. Αυτό το προσροφητικό υλικό κατέχει το υψηλότερο ποσοστό προσρόφησης

σχετικά με την πρόσληψη ισορροπίας, ειδική επιφάνεια, και όγκο πόρων τολουολίου και κυκλοεξανίου. Ωστόσο, ο συντελεστής διάχυσης D είναι χαμηλότερος καθώς περισσότεροι μικροπόροι είναι παρόντες.[23 , 24]

Σε περίπτωση που το παραπάνω συνδυαστεί με λιγνίνη Klason παράγονται πολυμερή με άνθρακα που διαθέτουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, ικανότητα αποχρωματισμού, μικρότερες απώλειες βάρους και συρρίκνωση των υλικών κατά τη διαδικασία της θέρμανσης.[21]

Επίσης η ρητίνη νεολάκη έχει λάβει μέρος σε πείραμα με πεπιεσμένο βαμβακόσπορο σχηματίζοντας διάφορα μίγματα με διαφορετικές αναλογίες. Αυτά στη συνέχεια θερμαίνονται μέχρι και τους 1000° C. Σκοπός του πειράματος ήταν να μετρηθούν οι απώλειες βάρους στα δείγματα και να συγκριθούν τόσο μεταξύ τους, όσο και με τις θεωρητικά αναμενόμενες τιμές που προκύπτουν από την εξίσωση Freundlich. Πράγματι, τα δείγματα που είχαν υψηλό ποσοστό νεολάκης είχαν τις λιγότερες απώλειες βάρους. Αυτό το πείραμα βρίσκει εφαρμογή στην παρασκευή ανθρακωδών προσροφητικών μέσων.[20]

Για να προσδιοριστούν περαιτέρω βελτιωμένες ιδιότητες, λιγνοκυτταρινική βιομάζα των γεωργικών / βιομηχανικών παραπροϊόντων και υπολείμματα ελήφθησαν μετά την εξαγωγή ελαιολάδου και λιγνίνη Klason και α-κυτταρίνης που στη συνέχεια απομονώθηκαν. Επίσης, φαινόλη-φορμαλδεΰδη πολυμερίστηκε με χρήση ενός καταλύτη οξέος. Διάφορα μίγματα των λιγνοκυτταρινικών υλικών και ρητίνης νεολάκη είχαν ενωθεί με HEXA και στη συνέχεια θερμάνθηκαν έως 1000 ° C. Λόγω των πρόσθετων αντιδράσεων που έχουν λάβει χώρα μεταξύ λιγνίνη και νεολάκης υπό συνθήκες σκλήρυνσης, προκύπτει διαφορετικό τελικό προϊόν σε σύγκριση με εκείνο της λιγνίνης 100% . Οι απώλειες βάρους, οι συρρικνώσεις κατά το τέλος της θέρμανσης, η ειδική επιφάνεια των παραγόμενων ανθρακούχων υλικών και οι προσροφητικές ικανότητές τους προσδιορίστηκαν. Το υλικό που περιείχε νεολάκη σε ποσοστό 20% και 80% κυτταρίνη ή 80% λιγνίνη, εμφανίζει τα βέλτιστα χαρακτηριστικά της διαδικασίας παραγωγής. Τα πειραματικά αποτελέσματα επίσης συζητούνται υπό την πτυχή των σχημάτων δείγματος που επηρεάζουν την προσρόφηση καθώς και τις ηλεκτρονιακές δότη-δέκτη (EOA) αλληλεπιδράσεις μεταξύ των λειτουργικών ομάδων των βαφών και των ανθρακούχων υλικών.[22]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

### ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΞΥΛΟΥ

#### 2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τότε που ο άνθρωπος εμφανίσθηκε στη Γη, το ξύλο βρίσκεται στην υπηρεσία του . Ήδη από την εποχή του πρωτόγονου ανθρώπου έχει συμβάλει σημαντικά στην επιβίωση του ανθρώπου , ενώ έχει βοηθήσει έμπρακτα στην ανάπτυξη του πολιτισμού. Ο πρωτόγονος άνθρωπος τις βασικές του ανάγκες (καύσιμη ύλη, θέρμανση) τις κάλυπτε το ξύλο. Αυτό συνέβη και με τις μετέπειτα ανάγκες του, όπως για παράδειγμα η στέγαση (καταφύγιο, σπίτι). Ενώ παράλληλα εξελίσσονταν η τεχνολογία, αυξάνονταν η παραγωγή και ο αριθμός των προϊόντων από το ξύλο με απλή μηχανική ή πολύπλοκη χημική μεταποίηση. Από τη θεωρία διαπιστώνεται ότι από το ξύλο είναι δυνατό να παραχθούν όσα προϊόντα παράγονται από το πετρέλαιο. Τα κυριότερα προϊόντα που σήμερα παράγονται από το ξύλο είναι: καυσόξυλο, ξυλάνθρακες, πριστή ξυλεία, αντικολλητά, μοριοσανίδες, ινοσανίδες, σύνθετη ξυλεία, χαρτί, ρητίνη (ρετσίνι), αιθυλική αλκοόλη, τεχνητές και συνθετικές ίνες (τεχνητό μετάξι), φωτογραφικά φιλμ, πλαστικά, ταννίνες, τερεβινθέλαιο, οξικό οξύ, συνθετικό πετρέλαιο, πυρολυτικό λάδι, ξυλαέριο, πίσσα, πρισσέλαιο, κ.ά.

Στις μέρες μας το ξύλο χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό. Έχουμε πάνω από δύο χιλιάδες προϊόντα που παράγονται από το ξύλο. Αρωγός σε αυτό το εγχείρημα ήταν η επιστήμη της τεχνολογίας ξύλου, η οποία είναι μια εφαρμοσμένη επιστήμη που μελετά το ξύλο σαν πρώτη ύλη, μελετά δηλαδή τις μεθόδους παραγωγής των διαφόρων προϊόντων του, τη βελτίωση των μεθόδων παραγωγής του με εφαρμογή των νέων τεχνολογιών και τη δυνατότητα παραγωγής νέων (σύνθετων) προϊόντων από ξύλο.

Γενικά, τα προϊόντα του ξύλου διαιρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- **Κατηγορία Α:** Προϊόντα ξύλου που διατηρούν τη φυσική δομή του ξύλου.
- **Κατηγορία Β:** Προϊόντα ξύλου που παράγονται μετά από χημική ή/και θερμομηχανική κατεργασία του ξύλου και που δεν διατηρούν τη φυσική δομή του, δηλαδή δεν είναι δυνατό να αναγνωρισθεί η προέλευσή τους.



Στην κατηγορία Α ανήκουν η πριστή ξυλεία και τα προϊόντα της, πάσσαλοι, στύλοι, στρωτήρες, ξυλεία μεταλλείων, ξυλόφυλλα, αντικολλητά, επικολλητό ξύλο, σύνθετο ξύλο, μοριοπλάκες, κ.ά.

Στην κατηγορία Β ανήκουν οι ινοπλάκες (MDF), το χαρτί, η κυτταρίνη και τα προϊόντα της, διάφορα πλαστικά, συνθετικές ίνες, αιθανόλη, ακετόνη, γλυκόζη, συνθετική βανίλια, τερεβινθέλαιο, δεψικές ουσίες, κ.ά.

Ακόμα και στους καιρούς μας σε πολλές χώρες του κόσμου, κυρίως φτωχές, όπως οι χώρες της Αφρικής και της Ασίας, η κύρια θερμαντική ύλη παραμένει το ξύλο κατά μεγάλο ποσοστό όπου συνεχίζει να χρησιμοποιείται κατά πλειοψηφία ως καυσόξυλο. Αξίζει να τονιστεί ότι παραπάνω από το μισό της παγκόσμιας παραγωγής ξύλου από τα δάση της Γης χρησιμοποιείται σήμερα ως καύσιμη ύλη.

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η γνώση των ιδιοτήτων του ξύλου κρίνεται απαραίτητη τόσο από επιστημονική σκοπιά, όσο και από πρακτική. Αυτό συμβαίνει γιατί η ακριβής γνώση των ιδιοτήτων του ξύλου βοηθά όσους εργάζονται στο χώρο της τεχνολογίας ξύλου να καταλάβουν τη συμπεριφορά του ξύλου ως υλικό. Οι πολλές εταιρίες επεξεργασίας ξύλου που υπάρχουν παντού υποδεικνύουν και αποδεικνύουν τη στενή σχέση που υπάρχει μεταξύ των ιδιοτήτων του ξύλου και των δυνατοτήτων του ως υλικό επιπλοποιίας, κατασκευαστικό υλικό ή δομικό υλικό. Για να πραγματοποιηθεί με ασφάλεια η επιλογή του κατάλληλου είδους ξύλου ή προϊόντος ξύλου για κάποια από τις προαναφερθέντες χρήσεις (π.χ. ξυλεία θερμοκηπίων) προϋποθέτει ασφαλώς την παραπάνω γνώση.

Επίσης, σήμερα υπάρχουν πρώτες ύλες που είναι: το τσιμέντο, το αλουμίνιο, ο χάλυβας και τα πλαστικά, οι οποίες δρουν ως ανταγωνιστές του ξύλου.

Γενικά, το ξύλο έχει και θα εξακολουθήσει να έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα προαναφερόμενα προϊόντα (ανταγωνιστές του).[8]

Σε αυτό το σημείο κρίνεται σκόπιμο να αναφέρουμε μια εργασία. Ο στόχος αυτής της εργασίας ήταν να μελετήσει την επίδραση της περιεκτικότητας, σε χημική προ-επεξεργασία, και υγρασίας των ροκανιδιών επί των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου-πολυμερούς σύνθετα (WPC). Σύνθετα με 50 κ.β. περιεκτικότητα σε ξύλο.

Είχαν κατασκευαστεί με χρήση προ-κατεργασμένων και ακατέργαστων ροκανιδίων. Η επίδραση της περιεκτικότητας στις ιδιότητες μελετήθηκε με τη χρήση ξηρών και μη ροκανιδίων. Οι μηχανικές ιδιότητες και επιφάνειες θραύσης των συνθέτων μελετήθηκαν. Η υψηλότερη αναλογία ροκανιδίων επιτυγχάνεται με τη χρήση προ-επεξεργασμένων ροκανιδίων, χωρίς να ξηρανθεί ως πρώτη ύλη. Η χημική προ-επεξεργασία βρέθηκε ότι ενισχύει τις μηχανικές ιδιότητες των συνθέτων υλικών.[16]

Τα πλεονεκτήματα του ξύλου είναι τα ακόλουθα :

1. Αναπαράγεται από τη φύση – είναι ανανεώσιμη πρώτη ύλη - σε αντίθεση με τις άλλες ορυκτές πρώτες ύλες (πετρέλαιο, μεταλλεύματα) που η διαθεσιμότητά τους εξαρτάται από διεθνείς πολιτικές, στρατιωτικές και οικονομικές συνθήκες.
2. Από αισθητικής άποψης έχει μεγάλη αξία, καθώς διατίθεται σε πολλούς συνδυασμούς χρωμάτων και σχεδίασης.
3. Χαρακτηρίζεται ως 'ζεστό' υλικό με ιδιαίτερη αίσθηση στην αφή και στην όραση, για παράδειγμα η σύγκριση ενός ξύλινου με ένα μεταλλικό ή πλαστικό έπιπλο.
4. Είναι άριστο δομικό υλικό με μεγάλες κατασκευαστικές δυνατότητες και αρχιτεκτονική αξία.
5. Εμφανίζει μεγάλη μηχανική αντοχή σε σχέση με το βάρος του.
6. Δρα ως μονωτής στη θερμότητα και στον ηλεκτρισμό.
7. Δεν οξειδώνεται.
8. Η κατεργασία του είναι σχετικά εύκολη σε αντιστοιχία με τη μικρή κατανάλωση ενέργειας που απαιτεί.
9. Είναι φιλικό προς το περιβάλλον σε αντίθεση με την παραγωγή και χρήση ορυκτών καυσίμων που το μολύνουν με τοξικές ουσίες.[14]

Το ξύλο, ωστόσο, παρουσιάζει και μειονεκτήματα, δηλαδή :

1. Είναι υγροσκοπικό υλικό, δηλαδή ρικνώνεται και διογκώνεται με την απώλεια ή πρόσληψη υγρασίας από την ατμόσφαιρα.
2. Έχει χαμηλή θερμαντική αξία κατά μονάδα βάρους και ακόμα μικρότερη κατά μονάδα όγκου σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα.
3. Είναι ανισότροπο υλικό, δηλαδή διαφέρει η δομή του, η μηχανική αντοχή του και οι ιδιότητές του στις τρεις κύριες κατευθύνσεις / τομές του (ανισοτροπία).
4. Καίγεται σχετικά εύκολα.
5. Υπόκειται αλλοιώσεις, επειδή προσβάλλεται από μύκητες, έντομα και μικροοργανισμούς.
6. Η συλλογή του και η μεταφορά του σε μεγάλες αποστάσεις κρίνεται ασύμφορη οικονομικά. [14]

Σύμφωνα με τα παραπάνω και πιο συγκεκριμένα από τα μειονεκτήματα του ξύλου γίνεται ξεκάθαρο ότι μόνο με βαθιά κατανόηση των ιδιοτήτων του, της δομής του, καθώς και των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων του μπορεί να χρησιμοποιηθεί σωστά και λειτουργικά. Με αυτό τον τρόπο παρέχεται η δυνατότητα να εξαλείψουμε ή να μειώσουμε τις αδυναμίες του κάνοντας χρήση κατάλληλων χειρισμών και σωστών διεργασιών, όπως για παράδειγμα συγκεκριμένες χημικές ουσίες καθιστούν το ξύλο απρόσβλητο από μύκητες και έντομα ή ακόμα και ανθεκτικό στη φωτιά αν το εμποτίσουμε με αυτές.[8]

Στα κεφάλαια που ακολουθούν εξετάζονται αναλυτικά οι κύριες ιδιότητες του ξύλου:

- ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ
- ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ
- ΡΙΚΝΩΣΗ & ΔΙΟΓΚΩΣΗ
- ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
- ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
- ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
- ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ
- ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ

## **2.2 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ**

Πυκνότητα του ξύλου είναι το μέτρο μάζας που περιέχεται (περικλείεται) σε ορισμένο όγκο του και εκφράζεται με το πηλίκο της μάζας διά του όγκου. Η πυκνότητα και το ειδικό βάρος εκφράζονται με τον ίδιο αριθμό.

Στις φυσικές επιστήμες ο υπολογισμός της πυκνότητας του ξύλου στηρίζεται πάντοτε στον υπολογισμό του βάρους και του όγκου του στο ίδιο ποσοστό υγρασίας. Όταν το ποσοστό υγρασίας είναι 0%, τότε το πηλίκο ξηρό βάρος προς ξηρό όγκο δίδει την ξηρή πυκνότητα (εξίσωση 1). Ο προσδιορισμός όμως του ξηρού όγκου είναι δύσκολος, γιατί το ξύλο είναι υγροσκοπικό υλικό, και για το λόγο αυτό η πυκνότητα του ξύλου υπολογίζεται και από το πηλίκο του ξηρού βάρους προς το χλωρό όγκο (εξίσωση 2). Χλωρός όγκος (ή μέγιστος όγκος) είναι ο όγκος του ξύλου σε κατάσταση πλήρους διόγκωσης, δηλαδή ο όγκος του ξύλου με υγρασία από το σημείο ινοκόρου και πάνω. Η πυκνότητα αυτή ονομάζεται βασική πυκνότητα. Η ξηρή και η βασική πυκνότητα είναι συγκρίσιμα μεγέθη, διότι ο υπολογισμός τους

στηρίζεται σε σταθερά μεγέθη βάρους και όγκου.

Η πυκνότητα του ξύλου πολλές φορές για πρακτικούς λόγους υπολογίζεται και με βάση το βάρος και τον όγκο του ξύλου σε κάποια συγκεκριμένη υγρασία (συνήθως 8%, 12%, 15%) ανάλογα με τον πρακτικό σκοπό που εξυπηρετείται (υπολογισμός του βάρους ορισμένου όγκου ξύλου σε συγκεκριμένη υγρασία). Το μέγεθος όμως αυτό δεν είναι συγκρίσιμο. Η πυκνότητα αυτή ονομάζεται φαινομενική πυκνότητα (εξίσωση 3).

$$\rho_o = \frac{W_o}{V_o} \quad (1)$$

$$R = \frac{W_o}{V_{max}} \quad (2)$$

$$R_x = \frac{W_x}{V_x} \quad (3)$$

Όπου:  $\rho_o$  = ξηρή πυκνότητα ( $g/cm^3$ )

$R$  = βασική πυκνότητα ( $g/cm^3$ )

$R_x$  = φαινομενική πυκνότητα ( $g/cm^3$ )

$W_o$  = ξηρό βάρος (g)

$V_o$  = ξηρός όγκος ( $cm^3$ )

$V_{max}$  = χλωρός (μέγιστος) όγκος ( $cm^3$ )

$W_x$  = βάρος σε υγρασία X % (g)

$V_x$  = όγκος σε υγρασία X % ( $cm^3$ )

Με την προϋπόθεση ότι αναφερόμαστε σε ξύλο χωρίς σφάλματα, η πυκνότητα είναι δείκτης της ποιότητας και της μηχανικής αντοχής του ξύλου.

Η πυκνότητα των διαφόρων ειδών ξύλου - υπολογισμένη με βάση το ξηρό βάρος και τον

ξηρό όγκο - ποικίλλει από  $0,10 g/cm^3$  για το ξύλο μπάλας (*Ochroma lagopus*) μέχρι  $1,30 g/cm^3$  για τα τροπικά είδη ξύλου *Guaiacum officinale* και *Brosimum aubletii*, που είναι τα βαρύτερα είδη ξύλου και βυθίζονται μέσα στο νερό (πυκνότητα νερού =  $1,00$

g/cm<sup>3</sup>).

Η πυκνότητα των ελληνικών ειδών ξύλου, γενικά, κυμαίνεται από 0,30 g/cm<sup>3</sup> έως 0,90 g/cm<sup>3</sup>. Με βάση την ξηρή πυκνότητά τους, τα ελληνικά είδη διαχωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες ξύλου: τα *ελαφρά* (0,30-0,45 g/cm<sup>3</sup>), τα *μέτρια* (0,45-0,65 g/cm<sup>3</sup>), τα *βαριά* (0,65-0,80 g/cm<sup>3</sup>) και τα *πολύ βαριά* (0,80-1,00 g/cm<sup>3</sup>).

Η πυκνότητα της ξυλώδους ύλης ( $r_w$ ) – πρακτικά δηλαδή της ύλης των κυτταρικών τοιχωμάτων του ξύλου με κανονική αναλογία σε λιγνίνη και κυτταρίνη - είναι σταθερή και κυμαίνεται από 1,35 g/cm<sup>3</sup> έως 1,60 g/cm<sup>3</sup> με μέσο όρο την τιμή 1,50 g/cm<sup>3</sup>, που θεωρείται ως η πυκνότητα ξυλώδους ύλης. Επειδή όμως το ξύλο είναι δομημένο έτσι ώστε να μην αποτελείται από 100% συμπαγή ξυλώδη ύλη αλλά να περιέχει πολλούς κενούς χώρους (όπως λ.χ. κυτταρικές κοιλότητες, πόρους, κ.ά.) καθώς και ξύλο διαφορετικής πυκνότητας (πρώιμο/όψιμο και σομφό/εγκάρδιο), η πυκνότητα που υπολογίζουμε ουσιαστικά αποτελεί το μέσο όρο όλων των παραπάνω. Σίγουρα λοιπόν η μεγάλη διακύμανση της πυκνότητας των διαφόρων ειδών ξύλου οφείλεται και στη διαφορά της δομής και στη διαφορά περιεκτικότητας σε κενούς χώρους, πόρους, τριχοειδή, κ.ά. εντός της μάζας του ξύλου.

Η πυκνότητα είναι επομένως δείκτης των κενών χώρων που υπάρχουν στη μάζα του ξύλου. Ο υπολογισμός του ποσοστού κενών χώρων γίνεται από τη σχέση:

$$C (\%) = 100 - 66,7 \rho_0 \quad (4)$$

όπου : **C** = Ποσοστό κενών χώρων του ξύλου (% του συνολικού όγκου)  **$\rho_0$**  = Ξηρή πυκνότητα

Όσο μικρότερη είναι η πυκνότητα του ξύλου, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των κενών χώρων. Τυπικά στα διάφορα είδη ξύλου, το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 95% σε πολύ ελαφρά ξύλα έως 15% σε πολύ βαριά ξύλα.

Διαφορές πυκνότητας και ποσοστού κενών χώρων του ξύλου κυρίως οφείλονται στην κυτταρική συγκρότηση και στους τύπους ξυλωδών κυττάρων (τραχειΐδες, ίνες, μέλη αγγείων, ρητινοφόροι αγωγοί), στο πάχος των κυτταρικών τοιχωμάτων και στο μέγεθος των κυτταρικών κοιλοτήτων. Βέβαια η αξιολόγηση και η σχετική επίδραση των παραπάνω είναι δύσκολη και απαιτεί μικροσκοπική μελέτη. Σημαντικός παράγοντας των παραπάνω διαφορών μπορεί να είναι και το ποσοστό όψιμου

ξύλου που έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση ξυλώδους ύλης σε σύγκριση με το πρώιμο.[8]

### **Παράγοντες που επηρεάζουν την πυκνότητα**

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πυκνότητα του ξύλου είναι οι ακόλουθοι:

#### **Υγρασία**

Το ξύλο σαν υγροσκοπικό υλικό έχει την ιδιότητα να προσλαμβάνει πάντοτε υγρασία. Όταν προσλαμβάνει υγρασία, αυξάνεται ταυτόχρονα η μάζα και ο όγκος του. Αντίθετα, απώλεια υγρασίας προκαλεί τη μείωσή τους. Κατά συνέπεια η επίδραση της υγρασίας του ξύλου στην πυκνότητα είναι σημαντική και ακολουθεί μία ανάλογη σχέση.

#### **Δομή**

Οι διαφορές που παρατηρούνται στην πυκνότητα ξύλου διαφόρων ειδών οφείλονται κυρίως σε διαφορές δομής όπως λ.χ. διαφορετικό είδος ξυλωδών κυττάρων (κωνοφόρα: τραχειΐδες, ρητινοφόροι αγωγοί – πλατύφυλλα: ίνες, μέλη αγγείων), διαφορετική ποσοτική κατανομή αυτών, ποικίλο πάχος κυτταρικών τοιχωμάτων και μέγεθος κυτταρικών κοιλοτήτων.

Η πολυπλοκότητα των μικροσκοπικών χαρακτηριστικών του ξύλου καθιστά δύσκολη την διατύπωση κανόνων επίδρασης των στοιχείων δομής στην πυκνότητα. Αυτό είναι δυνατό να γίνει μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μετρήσιμων μεγεθών.

Στα δακτυλιόπορα πλατύφυλλα, η πυκνότητα αυξάνεται ως ένα όριο, όταν αυξάνεται το πλάτος των ετησίων δακτυλίων, ενώ στα διασπορόπορα δεν υπάρχει σαφής σχέση. Στα κωνοφόρα, όταν αυξάνεται το πλάτος των ετησίων δακτυλίων, συνήθως μειώνεται η πυκνότητα.

Το όψιμο ξύλο έχει, γενικά, μεγαλύτερη πυκνότητα από το πρώιμο ξύλο, συνήθως τρεις ως τέσσερις φορές. Συνεπώς, όταν αυξάνεται το ποσοστό του όψιμου ξύλου, αυξάνεται σημαντικά και η πυκνότητα. Η σχέση αυτή είναι σαφής στα κωνοφόρα και στα δακτυλιόπορα πλατύφυλλα.[8]

## Εκχυλίσματα

Όλα τα είδη ξύλου περιέχουν οργανικές ενώσεις, τα εκχυλίσματα ή συνοδές ουσίες, που είναι ουσίες (ρητίνες, λίπη, ταννίνες, κ.ά.), που είναι δυνατόν να εκχυλιστούν χωρίς να μεταβληθεί η δομή του ξύλου. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι δε συμμετέχουν στη δόμηση των κυτταρικών τοιχωμάτων. Ωστόσο εναποτίθενται στις κυτταρικές κοιλότητες. Εκχύλιση αυτών προκαλεί τη μείωση της πυκνότητας του ξύλου. Στο ξύλο περιέχεται ένα ποσοστό σχετικά μικρό, περίπου 2 – 10%.

## Χημική σύσταση

Το ξύλο είναι ανομοιόμορφο υλικό. Τα συστατικά του ξύλου (κυτταρίνη, τέφρα, ημικυτταρίνες, εκχυλίσματα, λιγνίνη) έχουν διαφορετική πυκνότητα και κατά συνέπεια επηρεάζουν την πυκνότητα του ξύλου διαφορετικά, για παράδειγμα η κυτταρίνη έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τη λιγνίνη. Σε περιπτώσεις ξύλου ανώμαλης δομής, όπου η περιεκτικότητα κυτταρίνης και λιγνίνης παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις από την κανονική, η επίδραση στην πυκνότητα ενδέχεται να είναι σημαντική. Η επίδραση της χημικής σύστασης στην πυκνότητα, γενικά, είναι σχετικά μικρή.

## **Υπολογισμός της πυκνότητας**

Ο πιο απλός τρόπος για την εκτίμηση της πυκνότητας ενός δοκιμίου (τεμαχίου) ξύλου είναι να ζυγισθεί και μετά να βρεθεί ο όγκος του.

Η πιο γρήγορη εκτίμηση της πυκνότητας του ξύλου για τιμές πυκνότητας κάτω του  $1,00 \text{ g/cm}^3$  αναπτύχθηκε από τον Dr. Paul (1946). Στη **μέθοδο Paul** χρησιμοποιείται ένας μικρός γυάλινος σωλήνας γεμάτος με νερό και δείγμα ξύλου μήκους 25 g και διατομής 2,5 X 2,5 cm. Το δείγμα ξύλου διαιρείται κατά μήκος σε 10 ίσα μέρη των 2,5 cm και βυθίζεται στο γυάλινο δοχείο με νερό. Το ποσοστό μήκους του δείγματος που βυθίζεται στο νερό (ακριβώς τη στιγμή της εμβάπτισης) εκφράζει την πυκνότητα του δείγματος, (βλ. Σχ. 1) λ.χ. εάν 8,5 διαιρέσεις του δείγματος είναι μέσα στο νερό, η πυκνότητα του ξύλου είναι περίπου  $8,5 : 10 = 0,85 \text{ g/cm}^3$ . Η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δοκίμια με μεγάλο ποσοστό



υγρασίας ή με πυκνότητα μεγαλύτερη του  $1,00 \text{ g/cm}^3$  (τροπικά ξύλα), διότι αυτά βυθίζονται μέσα στο νερό.

### **Μεταβλητότητα της πυκνότητας**

Η πυκνότητα του ξύλου παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα τόσο ανάμεσα σε διαφορετικά είδη ξύλου, όσο και στο ίδιο είδος. Οι αποκλίσεις στην πυκνότητα του ξύλου οφείλονται στη: (α) διαφορά της δομής και την (β) επίδραση εξωτερικών παραγόντων.

Χαρακτηριστική διαφορά στη δομή του ξύλου είναι η παρουσία διαφορετικών τύπων κυττάρων (τραχειδών, ινών), ρητινοφόρων αγωγών, αγγείων και ακτινών. Οι διαστάσεις των κυττάρων διαφέρουν και ειδικά το πάχος των κυτταρικών τοιχωμάτων. Μερική επίδραση ασκούν επίσης κληρονομικοί παράγοντες, παράγοντες του κλιματεδαφικού περιβάλλοντος (έδαφος, θερμοκρασία, άνεμος, βροχοπτώσεις, χιονοπτώσεις) και άλλα αίτια.

Γενικά, η γνώση μας όσον αφορά τη μεταβλητότητα της πυκνότητας δεν είναι πλήρης. Στην Ευρώπη, η μέση πυκνότητα των κωνοφόρων και της οξιάς μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου, όπως επίσης και προς την κατεύθυνση Νότου προς Βορρά.

Γενική διαπίστωση είναι ότι η βάση των δένδρων περιέχει ξύλο μεγάλης πυκνότητας και ότι μικρότερη πυκνότητα έχει το ξύλο στο πάνω μέρος του δένδρου.

Η μεταβλητότητα της πυκνότητας σε εγκάρσια τομή του κορμού εκφράζεται σε μικρότερο βαθμό από ότι στο μήκος του κορμού και επηρεάζεται περισσότερο από το εύρος των ετησίων δακτυλίων και το ποσοστό (%) του όψιμου ξύλου. Στην πεύκη και τη λάρικα, η πυκνότητα αυξάνεται από το κέντρο του κορμού προς τα έξω, μέχρι μια ηλικία, στην οποία

οι ετήσιοι δακτύλιοι έχουν το μεγαλύτερο εύρος. Στη συνέχεια σχηματίζονται στενότεροι ετήσιοι δακτύλιοι με μικρότερη πυκνότητα.

## 2.3 ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ

Το ξύλο έχει την ιδιότητα να προσλαμβάνει υγρασία από το περιβάλλον. Η υγρασία αυτή προσλαμβάνεται είτε σε υγρή μορφή (επαφή με νερό) ή σε μορφή υδρατμών από την ατμόσφαιρα. Η ιδιότητα αυτή του ξύλου ονομάζεται **υγροσκοπικότητα**. Πρόκειται για σημαντική ιδιότητα του ξύλου, γιατί η υγρασία που συγκρατεί το ξύλο επηρεάζει καθοριστικά τις άλλες ιδιότητές του. Η υγροσκοπικότητα του ξύλου οφείλεται στη χημική σύνθεσή του, στο γεγονός δηλαδή ότι τα συστατικά του, κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, πηκτινικές ουσίες και (λιγότερο) λιγνίνη είναι ουσίες υγροσκοπικές. Εξαιτίας της ιδιότητάς του αυτής (υγροσκοπικότητας), το ξύλο περιέχει πάντοτε υγρασία είτε ως κορμός δένδρου, είτε ως στρογγύλη ξυλεία, είτε ως πριστή ξυλεία.

Η υγρασία του ξύλου επηρεάζει σημαντικά: (α) την πυκνότητα, (β) τις μηχανικές ιδιότητες, (γ) την κατεργασία, (δ) τη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και (ε) την ανθεκτικότητα του ξύλου στην προσβολή μυκήτων και εντόμων. Επίσης, είναι καθοριστικός παράγοντας για την ξήρανση του ξύλου, τον εμποτισμό του, την παραγωγή επίπλων, ξύλινων οικίων, δομικών ξύλινων στοιχείων και άλλων ξυλοκατασκευών.

Υγρασία του ξύλου (Υ) ορίζεται ουσιαστικά το βάρος του νερού που περιέχεται (περικλείεται) στο ξύλο και εκφράζεται ως ποσοστό επί του απόλυτα ξηρού βάρους του ξύλου:

$$Y = \frac{W_x - W_o}{W_o} \times 100 \quad (5)$$

όπου: **Y** = Υγρασία του ξύλου (%)  
**W<sub>x</sub>** = Αρχικό βάρος ή 'υγρό' βάρος (g)  
**W<sub>o</sub>** = Απόλυτα ξηρό βάρος (g)

Η μέγιστη υγρασία που μπορεί να συγκρατήσει το ξύλο εξαρτάται από τους κενούς χώρους που υπάρχουν στη μάζα του, που εξαρτώνται άμεσα από την πυκνότητα (εξίσωση 4). Τη μέγιστη υγρασία του ξύλου σε σχέση με την πυκνότητα μπορούμε να την υπολογίσουμε από τις παρακάτω εξισώσεις:

$$Y_{\max} = 100 \left( \frac{r_w - R}{r_w \rho_o} \right) = 100 \left( \frac{1,5 - R}{1,5 \rho_o} \right) = 100 \left( \frac{1}{R} - 0,67 \right)$$

$$\text{και } Y_{\max} = 100 \left( \frac{r_w - \rho_o}{r_w \rho_o} \right) + \Sigma.Ι. = 100 \left( \frac{1,5 - \rho_o}{1,5 \rho_o} \right) = 100 \left( \frac{1}{R} - 0,67 \right) + 30 \quad (6)$$

όπου:  $Y_{\max}$  = Μέγιστη υγρασία του ξύλου (%)

$R$  = Βασική πυκνότητα  
( $\text{g/cm}^3$ )  $\rho_o$  = Ξηρή  
πυκνότητα ( $\text{g/cm}^3$ )

$r_w$  = Πυκνότητα ξυλώδους ύλης ( $1,50 \text{ g/cm}^3$ )

$\Sigma.Ι.$  = Σημείο ινοκόρου (%)

Με βάση την Εξίσωση 7 και τις τιμές ξηρής πυκνότητας προκύπτει η μέγιστη υγρασία ξύλου ελάτης ( $\rho_o = 0,40 \text{ g/cm}^3$ ) είναι 213%, ξύλου οξιιάς ( $\rho_o = 0,70 \text{ g/cm}^3$ ) είναι 106% και ξύλου οστριάς ( $\rho_o = 0,87 \text{ g/cm}^3$ ) είναι 78%.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι όσο αυξάνεται η πυκνότητα του ξύλου, τόσο μειώνεται η μέγιστη υγρασία ( $Y_{\max}$ ) που μπορεί να συγκρατήσει το ξύλο και αυτό είναι συνέπεια της μείωσης του ποσοστού των κενών χώρων του.

Υπολογισμός της υγρασίας ξύλου

Η υγρασία του ξύλου υπολογίζεται με τις ακόλουθες τρεις μεθόδους:

### **(1) Μέθοδος ξήρανσης και ζύγισης**

Κατά την κλασική αυτή μέθοδο που είναι και πολύ ακριβής, τα δείγματα πρέπει να έχουν 15-22 mm πάχος κατά την κατεύθυνση των ινών και να παίρνονται από απόσταση 30 cm από το άκρο του πριστού. Επίσης πρέπει να είναι απαλλαγμένα από τυχόν σφάλματα. Κάθε δείγμα ζυγίζεται σε ζυγό ακριβείας και στη συνέχεια τοποθετείται στο πυριαντήριο.

Σε θερμοκρασία 100-103°C όπου παραμένει μέχρις ότου χάσει όλη την υγρασία του και αποκτήσει σταθερό βάρος. Η σωστή εφαρμογή απαιτεί καλό εξαερισμό του κλιβάνου και σταθερή θερμοκρασία. Ο απαιτούμενος χρόνος για την ξήρανση δείγματος 100g μέχρι σταθερού βάρους είναι 24-72 ώρες και εξαρτάται από την

αρχική υγρασία του ξύλου, το μέγεθός του και την πυκνότητά του. Ωστόσο, καλύτερα είναι το ίδιο δείγμα να τεμαχισθεί σε μικρά ξυλοτεμαχίδια και να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία ξανά (μέτρηση επιβεβαίωσης). Σε αυτή την περίπτωση θα απαιτηθεί λιγότερος χρόνος ξήρανσης (4-12 ώρες) λόγω του μικρού μεγέθους του ξύλου. Η μέθοδος αυτή δεν είναι κατάλληλη για μέτρηση υγρασίας ξύλου πεύκων με υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά εκχυλίσματα (βλ. μέθοδο απόσταξης).

Έχοντας υπολογίσει το αρχικό (ή 'υγρό') βάρος του δείγματος και το ξηρό βάρος του, μπορούμε χρησιμοποιώντας την Εξίσωση 5 να υπολογίζουμε την υγρασία.[8]

### **Προσρόφηση και ισοδύναμη υγρασία**

Σε περίπτωση που κομμάτι ξύλου σε απόλυτα ξηρή κατάσταση εκτεθεί σε περιβάλλον με σχετική υγρασία, θα προσροφήσει υδρατμούς από την ατμόσφαιρα μέχρις ότου φθάσει σε μια υγρασία ισορροπίας με το περιβάλλον που ονομάζεται υγρασία ισορροπίας. Το φαινόμενο αυτό καλείται προσρόφηση, είναι φαινόμενο επιφάνειας και διέπεται από τους νόμους της θερμοδυναμικής των επιφανειών. Το αντίθετο φαινόμενο δηλαδή η απώλεια υγρασίας από το ξύλο με εξάτμιση από την εκτεθειμένη επιφάνειά του λέγεται εκρόφηση.

Η προσρόφηση υδρατμών στην επιφάνεια και στα κυτταρικά τοιχώματα του ξύλου συνοδεύεται με έκλυση ενέργειας. Η ενέργεια προσρόφησης μειώνεται με το ποσοστό υγρασίας του ξύλου που σχηματίζεται στα κυτταρικά τοιχώματα.

Το ποσοστό της υγρασίας που προσροφάται στο ξύλο είναι συνάρτηση διαφόρων συνδυασμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του αέρα. Η ισοδύναμη υγρασία που κανονικά πετυχαίνεται σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρα, που δεν είναι δυνατό να υπάρξουν σε ελεύθερη ατμόσφαιρα λόγω των συνεχών μεταβολών των ατμοσφαιρικών συνθηκών εξαρτάται από το αν το ξύλο έφθασε στην υγρασία αυτή από μία υψηλότερη ή μία χαμηλότερη σχετική υγρασία. Σίγουρα όμως οι καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης του ξύλου που προκύπτουν δεν δίνουν την δυνατότητα της επαναληψιμότητας.

Επίσης, η ισοδύναμη υγρασία παρουσιάζει διαφορές όταν το ξύλο χάνει (εκροφά) υγρασία για πρώτη φορά – όταν δηλαδή είναι χλωρό ξύλο – ή προσλαμβάνει

(προσροφά) μετά από ξήρανσή του , ή ακόμα εκροφά υγρασία που είχε προηγούμενα προσροφήσει. Γίνεται εμφανές ότι η ισοδύναμη υγρασία είναι μεγαλύτερη στην εκρόφηση παρά στην προσρόφηση και η διαφορά που παρουσιάζεται ονομάζεται υστέρηση και είναι φαινόμενο χαρακτηριστικό των κυτταρινικών ουσιών. Αυτό σημαίνει ότι η υγροσκοπικότητα του ξύλου ελαττώνεται μετά την αρχική ξήρανσή του. Αυτό συμβαίνει γιατί δεσμεύονται ελεύθερα υδροξύλια της άμορφης κυτταρίνης και των ημικυτταρινών, δηλαδή των πλέον υδρόφιλων συστατικών του ξύλου. Με αποτέλεσμα την μείωση του αριθμού των διαθέσιμων υδροξυλίων (-OH) στην επόμενη προσρόφηση.

Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία ως γνωστόν είναι παράγοντες που μεταβάλλονται συνεχώς στην ατμόσφαιρα. Επομένως δεν είναι δυνατό το ξύλο που εκτίθεται στον αέρα να αποκτήσει σταθερή υγρασία. Πρακτικά παρέχεται η δυνατότητα για ένα τόπο έχοντας από μετεωρολογικές παρατηρήσεις τις μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας και με χρήση των καμπυλών ισοδύναμης υγρασίας, να υπολογισθεί μια αντιπροσωπευτική υγρασία ισορροπίας για το ως προς εξέταση τόπο. Η υγρασία αυτή είναι η υγρασία ξύλου ξηρού στον αέρα και κυμαίνεται για τη χώρα μας από 8-19% (Αθήνα 7,8-14%, Λάρισα 9,5-18%, Θεσσαλονίκη 9,7-15,3%) . Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να υπολογισθεί η υγρασία σε οποιοδήποτε χώρο όπου επικρατούν περίπου σταθερές συνθήκες. Έτσι, για κατοικίες με κεντρική θέρμανση (θερμοκρασία 22°C, σχετική υγρασία 40%), η υγρασία ξύλου πατωμάτων, επίπλων και κουφωμάτων φθάνει το 8%. Με τον τρόπο αυτό εξηγείται γιατί έπιπλα που έγιναν με ξύλο ξηραμένο μερικώς μέχρι το 18-20%, όταν τοποθετήθηκαν σε σπίτι, η σταδιακή ξήρανσή τους μέχρι 8-9% προκάλεσε σφάλματα ραγαδώσεων και στρεβλώσεων. Αυτό παρατηρείται συχνά στην Ελλάδα ειδικά στα κουφώματα και τα έπιπλα. Για εξωτερικές κατασκευές σε καλυμμένους χώρους παρατηρούνται επίσης αντίστοιχα φαινόμενα που οφείλονται σε λανθασμένη ξήρανση. Για τις κατασκευές αυτές, καθώς και για ξυλεία που προορίζεται για σκεπές, αποθήκες, θερμοκήπια ή άλλες κατασκευές ξύλου που δεν τοποθετούνται μέσα σε σπίτι, η τελική υγρασία ξύλου μετά τη φυσική ή τεχνητή ξήρανση πρέπει να φτάνει το επίπεδο του 12-15%.

Η μείωση των διαστάσεων του ξύλου, όταν αποβάλλει υγρασία κάτω από το σημείο ινοκόρου (30-32%) ονομάζεται ρίκνωση του ξύλου. Αντίθετα, το ξύλο αυξάνει τις διαστάσεις του, όταν η υγρασία του αυξάνεται από μία χαμηλή υγρασία ή υγρασία 0% μέχρι το σημείο ινοκόρου. Η αύξηση αυτή λέγεται διόγκωση. Στις μεταβολές αυτές, έχουμε αντίστοιχα, μείωση και αύξηση των διαστάσεων του ξύλου και στις τρεις κατευθύνσεις του (εγκάρσια, ακτινική, εφαπτομενική κατεύθυνση). Για μεταβολές της υγρασίας πάνω από το σημείο ινοκόρου, δηλαδή μέσα στις κυτταρικές κοιλότητες του ξύλου, δεν παρατηρούνται μεταβολές στις διαστάσεις του ξύλου. [14]

## **2.4 ΡΙΚΝΩΣΗ – ΔΙΟΓΚΩΣΗ**

### **Παράγοντες που επηρεάζουν τη ρίκνωση - διόγκωση**

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη ρίκνωση – διόγκωση του ξύλου είναι οι παρακάτω:

#### **Υγρασία**

Το μέγεθος της ρίκνωσης ή διόγκωσης του ξύλου είναι ανάλογο με την υγρασία που αποβάλλεται ή προσλαμβάνεται. Η σχέση αυτή είναι σχεδόν ευθύγραμμη. Η σχέση της ρίκνωσης-διόγκωσης με την υγρασία επηρεάζεται και από το επίπεδο πυκνότητας του ξύλου.

#### **Πυκνότητα**

Η ρίκνωση ή διόγκωση αυξάνονται ανάλογα, όταν αυξάνεται και η πυκνότητα του ξύλου. Δηλαδή ξύλα με μεγάλη πυκνότητα ρικνώνονται και διογκώνονται σε μεγαλύτερο βαθμό. Η επίδραση της πυκνότητας εξηγείται απλά από τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ξυλώδους ύλης και το μεγαλύτερο πάχος κυτταρικών τοιχωμάτων σε ξύλα με μεγάλη πυκνότητα και αντιστρόφως. Πρακτικά, όταν προσλαμβάνεται ή αποβάλλεται υγρασία, οι κυτταρικές κοιλότητες μένουν σχεδόν αμετάβλητες.

#### **Δομή**

Η δομή του ξύλου είναι η κύρια αιτία διαφορετικής συμπεριφοράς της ρίκνωσης-διόγκωσης του ξύλου στις τρεις κατευθύνσεις του (*ανισοτροπία*). Διαφορές δομής στο ξύλο όπως τύποι ξυλωδών κυττάρων, πάχος τοιχωμάτων, ποσοστό όψιμου/πρώιμου ξύλου, πορώδες του ξύλου, μπορεί να επηρεάζουν τις ιδιότητες αυτές και σε ορισμένα είδη ξύλου ενδεχομένως και με περίπλοκο τρόπο.

#### **Εκχυλίσματα**

Υψηλή περιεκτικότητα σε εκχυλίσματα συντελεί σε μείωση της ρίκνωση-διόγκωσης. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τα εκχυλίσματα είναι γενικά είναι ουσίες υδρόφοβες και καταλαμβάνουν μέρος των κενών χώρων του ξύλου. Απομάκρυνσή τους με εκχύλιση προκαλεί σημαντική αύξηση της ρίκνωση και διόγκωσης του

ξύλου.

### Χημική σύσταση

Η χημική σύσταση του ξύλου επηρεάζει κάπως τις ιδιότητες αυτές, ειδικά η περιεκτικότητα σε κυτταρίνη που επιδρά θετικά και σε λιγνίνη που έχει αρνητική επίδραση. Απομάκρυνση της λιγνίνης με χημικό τρόπο προκαλεί την αύξηση της ρίκνωσης και της διόγκωσης του ξύλου.[8]

### **Υπολογισμός ρίκνωσης – διόγκωσης[8,14]**

Ο υπολογισμός της ρίκνωσης και διόγκωσης γίνεται σαν ποσοστό της αρχικής διάστασης, δηλαδή για την ρίκνωση της χλωρής διάστασης (σημείο ινοκόρου και πάνω), ενώ για τη διόγκωση της ξηρής διάστασης.

$$\rho = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 \quad (7)$$

$$\delta = \frac{L_1 - L_2}{L_2} \times 100 \quad (8)$$

όπου :  $\rho$  = ρίκνωση επί τοις εκατό της χλωρής διάστασης (%)

$\delta$  = διόγκωση επί τοις εκατό της ξηρής διάστασης (%)

$L_1$  = χλωρή διάσταση (cm)

$L_2$  = ξηρή διάσταση (cm)

Από τις σχέσεις (7) και (8) έχουμε :

$$L_1 - L_2 = \rho L_1 = \delta L_2$$

$$\rho = \frac{L_1 - L_2}{L_1} = 1 - \frac{L_2}{L_1}$$

$$\delta = \frac{L_1 - L_2}{L_2} = \frac{L_1}{L_2} - 1$$

$$\rho = \frac{\delta}{1 + \delta} \quad (9)$$



$$\delta = \frac{\rho}{1-\rho} \quad (10)$$

### **Πρακτική σημασία της ρίκνωσης - διόγκωσης**

Η απώλεια και η πρόσληψη υγρασίας από την ατμόσφαιρα είναι η βασική αιτία για πολλά σφάλματα που γίνονται σε κατασκευές ξύλου και έπιπλα όταν μεταβάλλονται οι καιρικές συνθήκες. Αυτά τα σφάλματα είναι κυρίως: ραγάδωση, στρέβλωση, κελύφωση, κυψελίδωση και κατάρρευση.

Το ποσοστό της διόγκωσης εξαρτάται από την ποσότητα που προσροφάται στα τοιχώματα. Η διόγκωση διέπεται από περιορισμούς φυσικών μεγεθών. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα πατώματα και τα ταβάνια ή τα ξύλινα χωρίσματα δωματίων που λόγω προσρόφησης υγρασίας ανασηκώνονται, ή λόγω ρίκνωσης δημιουργούν ανοίγματα στους αρμούς ή και ραγάδες.

Συχνά τα σφάλματα αυτά οφείλονται και στην παρουσία ξύλου ανώμαλης δομής και στην ανομοιόμορφη κατανομή υγρασίας στο ξύλο λόγω μη επαρκούς ξήρανσης. Η παρουσία τέτοιων σφαλμάτων σε έπιπλα είναι δυνατό να κάνει ένα έπιπλο άχρηστο ή να υποβαθμίσει σημαντικά την εμφάνισή του.

Είναι δυνατό κατά την τεχνητή ξήρανση του ξύλου από ακατάλληλους χειρισμούς να δημιουργηθούν σημαντικά σφάλματα λόγω απότομης και γρήγορης ρίκνωσης και διόγκωσης, όπως ραγάδωση άκρων και επιφάνειας, εσωτερικές ραγαδώσεις, εσωτερικές τάσεις, και πλήρη κατάρρευση.

## Αντιμετώπιση της ρίκνωσης - διόγκωσης στην πράξη

Κατά τη ρίκνωση και διόγκωση, οι μεταβολές των διαστάσεων του ξύλου, αναφέρονται σε μεταβολές υγρασίας του ξύλου κάτω από το σημείο ισοκόρου. Το μέγεθος των μεταβολών στις διαστάσεις του ξύλου, καθορίζεται από το μέγεθος της μεταβολής υγρασίας. Επομένως ο ευκολότερος και πρακτικότερος τρόπος αντιμετώπισης και περιορισμού της ρίκνωσης και της διόγκωσης είναι η επιμελημένη ξήρανση του ξύλου έως ότου το ποσοστό υγρασίας του περιβάλλοντος χώρου της κατασκευής, δηλαδή 8% περίπου για εσωτερικούς χώρους, και 12-15% για εξωτερικούς χώρους.

Μπορεί να γίνεται επάλειψη της κατασκευής ξύλου αρχικά με λινέλαιο και άλλα συντηρητικά του ξύλου και υποστρώματα και έπειτα η εφαρμογή βερνικιών ή ελαιοχρωμάτων προκειμένου να επιτευχθεί σημαντική μείωση στις διαστασιακές μεταβολές του ξύλου από τη μεταβολή της υγρασίας στην ατμόσφαιρα, διότι οι ουσίες αυτές δρουν σαν μονωτικά, χωρίς να εμποδίζουν το ξύλο σταδιακά να αποκτήσει τη μέση υγρασία του περιβάλλοντος χώρου.

Υπάρχουν και κάποια προϊόντα ξύλου όπως κόντρα-πλακέ, αντικολλητά, μοριοπλάκες (νοβοπάν) και ινοπλάκες (MDF) που παρουσιάζουν περιορισμένη ρίκνωση και διόγκωση, διότι έχει λάβει χώρα κατά την παραγωγή τους ανακατανομή της διεύθυνσης των ινών του ξύλου. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους τα προϊόντα αυτά βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε έπιπλα και άλλες κατασκευές όπου η σταθερότητα των διαστάσεων παίζει σπουδαίο ρόλο.

Για τη μείωση της ρίκνωσης και διόγκωσης του ξύλου χρησιμοποιούνται και ειδικότερες μέθοδοι εμποτισμού και χημικές μέθοδοι:

- i. Η χρησιμοποίηση της πολυαιθυλενικής γλυκόλης σε υδατικό διάλυμα έχει καλύτερα αποτελέσματα και βρίσκει εφαρμογή σε ξυλόγλυπτα, κοντάκια όπλων, κ.ά.
- ii. Περιορισμένη εφαρμογή για εξειδικευμένες χρήσεις - λόγω κυρίως του μεγάλου κόστους - βρίσκουν οι θερμοσκληρυνόμενες συνθετικές ρητίνες και κυρίως η φαινόλη-φορμαλδεΰδη. Οι ουσίες αυτές με τη μορφή υδατικών διαλυμάτων χρησιμοποιούνται για εμποτισμό του ξύλου και όταν εισαχθούν στα κυτταρικά τοιχώματα σκληρύνονται με πολυμερισμό.

Το ξύλο αυτό παρουσιάζει πολύ καλή σταθερότητα στις διαστάσεις αλλά έχει μεγάλο κόστος παραγωγής.

- iii. Εμποτισμός ξύλου με υδατοδιαλυτά άλατα, πολυαιθυλενική γλυκόλη και συνθετικές ρητίνες. Ξύλο εμποτισμένο με υδατοδιαλυτά άλατα χλωριούχου νατρίου, μαγνησίου ή ζαχαρόζης παρουσιάζει ρίκνωση μειωμένη μέχρι το 50%. Τα άλατα όμως αυτά είναι υγροσκοπικά και εμφανίζονται στην επιφάνεια του ξύλου.
- iv. Από τις χημικές μεθόδους γνωστή είναι η αντικατάσταση των υδροξυλίων της κυτταρίνης με ακετυλικές ομάδες. Με τη μέθοδο αυτή η ρίκνωση μπορεί να μειωθεί μέχρι 75%, έχει όμως μεγάλο κόστος. [14]

## 2.5 ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Κάθε υλικό που θερμαίνεται αυξάνονται οι διαστάσεις (διαστολή) του και αντίστροφα όταν ψύχεται μειώνονται (συστολή). Στο ξύλο, η σχέση διαστολής και θερμοκρασίας είναι περίπου ευθύγραμμη και στις τρεις αυξητικές κατευθύνσεις. Ο συντελεστής διαστολής χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της διαστολής του ξύλου, ο οποίος αναφέρεται σε απόλυτα ξηρό βάρος και μετράει την επιμήκυνση της μονάδας μήκους, όταν η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1°C. Ο συντελεστής διαστολής έχει ανάλογη σχέση με την πυκνότητα του ξύλου η οποία είναι ευθύγραμμη γραμμική.

Η διαστολή και συστολή του ξύλου, εξαιτίας της δομής του, είναι διαφορετική στις τρεις αυξητικές κατευθύνσεις. Οι μεταβολές αυτές όμως είναι πολύ μικρές σε σχέση με τη ρίκνωση και διόγκωση, που παρουσιάζονται λόγω μεταβολής της υγρασίας του ξύλου. Το γεγονός αυτό καθώς και η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του ξύλου, έχουν μεγάλη σημασία σε περίπτωση πυρκαγιάς ξύλινων κατασκευών. Σε περίπτωση πυρκαγιάς, οι ξύλινοι δοκοί και οι κολώνες της κατασκευής, υποστηρίζουν το βάρος της κατασκευής για μεγάλη χρονική διάρκεια χωρίς να καταρρεύσουν. Κάτω από τις ίδιες συνθήκες, μπορεί το ξύλο μεγάλων διαστάσεων να είναι ανθεκτικότερο στη φωτιά από ότι ο χάλυβας.

Ο υπολογισμός της διαστολής ξύλου για μεταβολή θερμοκρασίας από  $\theta_1$  σε  $\theta_2$  (βαθμοί Κελσίου) γίνεται από τη σχέση :

$$\frac{L_2 - L_1}{L_1} \quad (11)$$

όπου:  $\epsilon$  = διαστολή (cm/cm)  
 $L_1$  = αρχικό μήκος (cm)  
 $L_2$  = τελικό μήκος (cm)

### Ειδική θερμότητα

Ειδική θερμότητα του ξύλου είναι το ποσό θερμότητας που χρειάζεται για να αυξηθεί η θερμοκρασία της μονάδας της μάζας του κατά  $1^\circ\text{C}$  και μετριέται σε μονάδες  $\text{Kcal/Kg } ^\circ\text{C}$ . Εάν ποσότητα θερμότητας  $Q$  Cal (θερμίδων) χρειάζεται για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία ποσότητας ξύλου  $M$  γραμμαρίων από  $\theta_1$  σε  $\theta_2$   $^\circ\text{C}$ , η ειδική θερμότητα του ξύλου είναι:

$$C = \frac{Q}{M (\theta_2 - \theta_1)} \quad (12)$$

Η ειδική θερμότητα του ξύλου είναι χαμηλή και το γεγονός αυτό είναι σημαντικό για πολλούς τεχνικούς λόγους, όπως για την ξήρανση του ξύλου, τον εμποτισμό του και την υδρόλυση του. Σε σύγκριση ωστόσο με άλλα υλικά (σίδηρο, αλουμίνιο, σκυρόδεμα), το ξύλο έχει μεγαλύτερη ειδική θερμότητα.

Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη μικρή θερμοαγωγιμότητα του είναι σοβαρό πλεονέκτημα, γιατί κάνει το ξύλο κατάλληλο για διάφορες χρήσεις, όπως λ.χ. λαβές, σπίρτα, κ.ά. Η ειδική θερμότητα είναι ανεξάρτητη από το είδος ξύλου και από την πυκνότητα, αλλά αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του.

### Θερμική αγωγιμότητα του ξύλου

Το ξύλο, όπως και όλα τα κυτταρινικής σύστασης υλικά, είναι κακός αγωγός της θερμότητας, λόγω πρώτον της μικρής ποσότητας ελεύθερων ηλεκτρονίων που τυπικά μεταδίδουν την ενέργεια και δεύτερον της πορώδους δομής του. Έτσι το ξύλο έχει μικρή θερμική αγωγιμότητα πράγμα που σημαίνει

ότι παρουσιάζει μεγάλη θερμομονωτική αξία. Για το λόγο αυτό, το ξύλο και τα προϊόντα του βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή σαν μονωτικά υλικά σε εφαρμογές κατασκευής κτιρίων, επίπλων, βαρελιών.

Ο συντελεστή θερμοαγωγιμότητας  $\lambda$  χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θερμοαγωγιμότητας του ξύλου. Ο συντελεστής  $\lambda$  είναι το ποσό της θερμότητας σε θερμίδες Cal το οποίο περνάει στη μονάδα του χρόνου (sec) από σώμα πάχους 1 cm από τη μία του πλευρά στην άλλη μέσα από διατομή 1 cm<sup>2</sup>, όταν διατηρείται διαφορά θερμοκρασίας 1°C ανάμεσα στις δύο επιφάνειες (μετριέται σε μονάδες Cal/cm sec °C).

Η θερμοαγωγιμότητα του ξύλου στην ακτινική διεύθυνση είναι 5-10% μεγαλύτερη από ότι στην εφαπτομενική. Η αξονική αγωγιμότητα είναι περίπου 2-3 φορές μεγαλύτερη από ότι η ακτινική και εφαπτομενική για υγρασία ξύλου μεταξύ 8-15%. Η θερμοαγωγιμότητα επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες:

- πυκνότητα ξύλου: αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας
- υγρασία ξύλου: αυξάνεται με την αύξηση της υγρασίας,
- θερμοκρασία: αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Επίσης, ξύλα με σκούρο χρώμα έχουν μεγαλύτερη θερμοαγωγιμότητα, ενώ ξύλα με ρητίνη έχουν μικρότερη θερμοαγωγιμότητα.

Η θερμομονωτικότητα είναι αντίστροφη έννοια της θερμοαγωγιμότητας. Το ξύλο είναι θερμομονωτικό στην εγκάρσια διεύθυνση. Τα ελαφρά ξύλα είναι πιο θερμομονωτικά. Το ξύλο όταν είναι ξηρό είναι πιο θερμομονωτικό. Το ξύλο είναι περισσότερο θερμομονωτικό σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Με σύγκριση του συντελεστή θερμοαγωγιμότητας του ξύλου και των άλλων υλικών προκύπτει ότι το συμπαγές ξύλο είναι πιο θερμομονωτικό από τα συμπαγή πλαστικά, 20 φορές πιο μονωτικό από το μάρμαρο, και 2.000 φορές πιο μονωτικό από το αλουμίνιο.

Μια άλλη σύγκριση από άποψη εφαρμογής γίνεται στα παρακάτω παραδείγματα με την εφαρμογή του κανονισμού για τη θερμομόνωση των κτιρίων:

- i. Αν καλύψουμε την εσωτερική επιφάνεια ενός κοινού τοίχου από τούβλα με ραμποτέ ξυλεία πάχους 1 cm και κενό αέρα 4-5 cm, τότε πετυχαίνουμε μείωση σε θερμικές απώλειες κατά 25% περίπου.

- ii. Μια σιδερένια πόρτα έχει 40% περισσότερη απώλεια θερμότητας από μια ξύλινη.
- iii. Τοποθέτηση μαρμάρινου δαπέδου 3cm πάνω σε πάκα οπλισμένου σκυροδέματος δημιουργεί 50% περισσότερες θερμικές απώλειες από ένα ξύλινο πάτωμα δρυός πάχους 2,4 cm, ξύλινο ψευδοπάτωμα 1,8 cm και κενό 5 cm.[8]

## 2.6 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το ξύλο είναι ανισότροπο και ανομοιογενές υλικό. Επομένως έχει διαφορετική μηχανική αντοχή στις διάφορες κατευθύνσεις του. Η αντοχή του σε δυνάμεις που δρουν αξονικά είναι μεγαλύτερη, ενώ υπάρχουν μικρές διαφορές στην ακτινική και εφαπτομενική διεύθυνση.

Οι μηχανικές ιδιότητες του ξύλου επηρεάζονται από τους εξής παράγοντες:

1. Υγρασία: Μείωση της υγρασίας του ξύλου κάτω από το σημείο ισοκόρου, αυξάνει την μηχανική αντοχή του. Η σχέση τους δηλαδή είναι αντιστρόφως ανάλογη.
2. Πυκνότητα: Η πυκνότητα αποτελεί τον καλύτερο δείκτη ποιότητας και μηχανικής αντοχής του ξύλου. Μεγάλη πυκνότητα σημαίνει μεγάλη μηχανική αντοχή.
3. Θερμοκρασία: Η μηχανική αντοχή ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Μεγάλες θερμοκρασίες είναι δυνατό να προκαλέσουν χημική αλλοίωση του ξύλου και να ελαττώσουν την αντοχή του σημαντικά.
4. Σφάλματα δομής: Η παρουσία σφαλμάτων στο ξύλο προκαλεί μείωση της μηχανικής του αντοχής. Μεγαλύτερη μείωση προκαλούν σφάλματα όπως λ.χ. ρόζοι, στρεψοίγια, ραγάδες και θλιψιγενές και εφελκυσμογενές ξύλο. Προσβολή του ξύλου από μύκητες ή έντομα έχει επίσης δυσμενή επίδραση.
5. Διάρκεια φόρτισης. Η διάρκεια φόρτισης έχει σημαντική επίδραση στη μηχανική αντοχή του ξύλου, δηλαδή λ.χ. στο μέγεθος του φορτίου που μπορεί να βαστάξει μία ξύλινη κατασκευή. Μόνιμη φόρτιση ελαττώνει την αντοχή του σε ποσοστό 50-75%..

Οι κύριες μηχανικές αντοχές του ξύλου περιγράφονται παρακάτω:

### **Αντοχή σε εφελκυσμό**

Το ξύλο βρίσκεται σε τάσεις εφελκυσμού, όταν οι δυνάμεις που ενεργούν πάνω του, τείνουν να το επιμηκύνουν. Ανάλογα με την κατεύθυνση διακρίνουμε τον αξονικό και τον εγκάρσιο εφελκυσμό. Το ξύλο έχει αντοχή σε αξονικό εφελκυσμό 30-50 φορές μεγαλύτερη από την αντοχή του σε εγκάρσιο εφελκυσμό





**ΣΧΗΜΑ 3.** Δοκίμιο ξύλου σε αξονικό εφελκυσμό (α) και εγκάρσιο εφελκυσμό (β).

Η αντοχή σε αξονικό εφελκυσμό του ξύλου κυμαίνεται από  $500 \text{ Kp/cm}^2$  μέχρι  $1600 \text{ Kp/cm}^2$  περίπου, ενώ για ορισμένα τροπικά ξύλα φθάνει τα  $3000 \text{ Kp/cm}^2$ . Η αντοχή του σε εγκάρσιο εφελκυσμό κυμαίνεται από  $10-70 \text{ Kp/cm}^2$ . Στον ΠΙΝΑΚΑ 1 αναφέρονται οι αντοχές των ελληνικών και μερικών τροπικών ειδών ξύλου.

Για να συγκρίνουμε το ξύλο με άλλα υλικά σε σχέση με την πυκνότητα (βάρος προς βάρος), χρησιμοποιούμε το πηλίκο: *αξονικός εφελκυσμός ÷ πυκνότητα*. Από μία τέτοια σύγκριση, βλέπουμε ότι το ξύλο είναι ανθεκτικότερο από άλλα υλικά σε αξονικό εφελκυσμό. Π.χ. για την ερυθρελάτη η σχέση αυτή είναι  $870/0,40 = 2120$ , για τη μαύρη πεύκη  $1040/0,52 = 2000$ , και για την οξιά  $1230/0,70 = 1750$ , όταν για το σκυρόδεμα είναι  $40/2,5 = 16$ , για το γυαλί  $500/2,5 = 200$ , για το αλουμίνιο  $2500/2,8 = 900$  και για το χάλυβα  $4650/7,9 = 590$ .

Σε κατασκευές ξύλου, οι τάσεις εφελκυσμού αναπτύσσονται μαζί με τάσεις διάτμησης, στις οποίες το ξύλο παρουσιάζει μειωμένη αντοχή.

### **Αντοχή σε θλίψη**

Όταν τάσεις θλίψης ενεργούν πάνω στο ξύλο, οι δυνάμεις αυτές τείνουν να το συνθλίψουν, δηλαδή ενεργούν αντίθετα από ότι στον εφελκυσμό. Ανάλογα με την κατεύθυνση διακρίνουμε την αξονική και την εγκάρσια θλίψη.

Η αντοχή σε αξονική θλίψη είναι 10-15 φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με την εγκάρσια και κυμαίνεται από  $250-950 \text{ Kp/cm}^2$ . Η εγκάρσια θλίψη κυμαίνεται μεταξύ  $10$  και  $200 \text{ Kp/cm}^2$ .

Στο ξύλο η αξονική θλίψη είναι μικρότερη των μετάλλων. Φόρτιση σε αξονική θλίψη παρατηρείται σε ξύλινα υποστηρίγματα υπόστεγων, όπου έχει σημασία η σχέση μήκος προς διάμετρο του υποστηρίγματος. Επειδή δεν είναι

δυνατό να εφαρμοσθεί απόλυτα κεντρική φόρτιση, υποστηρίγματα μεγάλου μήκους λυγίζουν. Φόρτιση σε εγκάρσια θλίψη παρατηρείται συχνά σε στρωτήρες σιδηροδρόμων.

### **Αντοχή σε διάτμηση**

Όταν οι δυνάμεις τείνουν να προκαλέσουν ολίσθηση του μέρους του σώματος που φορτίζεται σε παράπλευρο μέρος του ίδιου σώματος, τότε λέμε ότι το ξύλο βρίσκεται σε τάσεις διάτμησης. Η τάση διάτμησης διακρίνεται σε αξονική, εγκάρσια, λοξή και κυλιόμενη.

Αν το ξύλο έχει φορτιστεί σε αξονική θλίψη ή κάμψη, τότε αναπτύσσονται και τάσεις αξονικής διάτμησης. Η αξονική διάτμηση του ξύλου κυμαίνεται από 50-200 Kp/cm<sup>2</sup> περίπου. Η αντοχή σε αξονική διάτμηση έχει μεγαλύτερη σημασία, γιατί το ξύλο συνήθως υποχωρεί με την επίδραση διατμητικών τάσεων.

Η αντοχή σε εγκάρσια διάτμηση είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη της αξονικής διάτμησης, αλλά δεν έχει πρακτική σημασία, γιατί το ξύλο υποχωρεί νωρίτερα σε αξονική διάτμηση ή εγκάρσια θλίψη.

Όταν αναπτύσσονται φορτία αξονικής θλίψης ή εφελκυσμού στο ξύλο, τότε έχουμε τάση λοξής διάτμησης, και σχηματίζονται λοξά επίπεδα ολίσθησης στα κυτταρικά τοιχώματα, κυρίως σε γωνία 45°.

### **Αντοχή σε κάμψη**

Η σπουδαιότερη μηχανική ιδιότητά του ξύλου είναι η αντοχή σε κάμψη, και ειδικότερα σε στατική κάμψη. Αυτό συμβαίνει επειδή στις περισσότερες κατασκευές του ξύλου, αυτό φορτίζεται κυρίως με δυνάμεις που προκαλούν κάμψη.

Το Μέτρο Θραύσης (ΜΘ), μετράει την αντοχή σε κάμψη, και δείχνει τις μέγιστες τάσεις των ινών των εξωτερικών πλευρών του ξύλου, όταν επίδραση φορτίου που ασκείται σταδιακά και για μικρό χρονικό διάστημα, έχει ως αποτέλεσμα τη θραύση της δοκού. Το μέτρο θραύσης του ξύλου κυμαίνεται μεταξύ 600-1600 Kp/cm<sup>2</sup> περίπου. Στην κάτω επιφάνεια οι τάσεις εφελκυσμού είναι μέγιστες, ελαττώνονται βαθμιαία προς το κέντρο και μηδενίζονται στο ουδέτερο επίπεδο. Οι τάσεις θλίψης εμφανίζονται με τον ίδιο τρόπο στην πάνω επιφάνεια. Αντιδιαμετρικά, οι τάσεις διάτμησης είναι μέγιστες στο ουδέτερο επίπεδο και μηδενίζονται στις επιφάνειες.

Η αντοχή σε κάμψη στο ξύλο, είναι ανάλογη της αντοχής σε αξονικό εφελκυσμό. Σε σχέση με τα μέταλλα, έχει τη μικρότερη αντοχή σε κάμψη. Έχει

όμως μεγαλύτερη ελαστικότητα και την μεγαλύτερη σχέση αντοχής ως προς το βάρος.

### **Ελαστικότητα**

Το ξύλο έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα από άλλα υλικά: Υπό ορισμένο φορτίο κάμπτεται περισσότερο. Αν όμως συνυπολογίσουμε και την πυκνότητά του, το ξύλο ανάμεσα στα υλικά κατέχει ενδιάμεση θέση. Το Μέτρο Ελαστικότητας (ME), που μετράει την ελαστικότητα, προσδιορίζεται από στατικές ή δυναμικές δοκιμές αντοχής, και συνήθως στην αξονική διεύθυνση κυμαίνεται μεταξύ 25.000-170.000 Kp/cm<sup>2</sup>. Στην εγκάρσια διεύθυνση είναι μόνον 3.000-6.000 Kp/cm<sup>2</sup>. Το ME αν και μπορεί να προσδιοριστεί δυναμικά με ταλάντωση δειγμάτων ξύλου με ηχητικά κύματα, συνήθως προέρχεται από στατική κάμψη.

### **Αντοχή σε κρούση**

Η αντοχή σε κρούση έχει σημασία για ορισμένες χρήσεις του ξύλου όπου έχουμε απότομη φόρτιση, όπως σε λαβές εργαλείων, κιβώτια συσκευασίας η αποθήκευσης και αθλητικά είδη. Το ξύλο πρέπει να έχει μεγαλύτερη αντοχή σε δυναμικά φορτία παρά σε στατικά. Μάλιστα η δυναμική φόρτιση στην οποία παρουσιάζει αντοχή είναι σχεδόν διπλάσια από την στατική φόρτιση. Επιπλέον η κάμψη δοκού σε δυναμική φόρτιση είναι περίπου διπλάσια από ότι σε στατική.

### **Αντοχή σε σχίση**

Όταν οι εξωτερικές δυνάμεις δρουν πάνω σε ξύλο με μορφή σφήνας, εκτιμάται η αντοχή του σε σχίση. Το ξύλο σχίζεται εύκολα, αφού η αξονική αντοχή του σε σχίση είναι πολύ μικρή και κυμαίνεται μεταξύ 3 και 10 Kp/cm<sup>2</sup>. Η ιδιότητα του ξύλου να σχίζεται εύκολα είναι πλεονέκτημα για ορισμένες χρήσεις όπως το σχίσιμο καυσοξύλων, αλλά και το πιο σοβαρό μειονέκτημά του σε κατασκευές μετά από κάρφωμα ή βίδωμα. Η αντοχή σε σχίση είναι ιδιότητα ανάλογη με την αντοχή σε εφελκυσμό εγκάρσια με τις ίνες. Τα ξύλα κωνοφόρων και των ελαφρά πλατύφυλλων δέντρων παρουσιάζουν μικρή αντοχή σε σχίση σε σχέση με αυτά βαρύτερα πλατύφυλλων.

### **Σκληρότητα**

Η αντίστασή που προβάλλει ένα ξύλο στην είσοδο ξένων σωμάτων μέσα στο σώμα του, προσδιορίζεται από την σκληρότητα. Η αντίσταση αυτή είναι από 1,2 έως 2 φορές μεγαλύτερη στην αξονική διεύθυνση από ότι στην εγκάρσια. Η ιδιότητα αυτή έχει άμεση εφαρμογή σε χρήσεις του ξύλου, όπως παρκέτα, πατώματα και αθλητικά είδη. Η ευκολία κατεργασίας του ξύλου εξαρτάται άμεσα από την σκληρότητα του. Η κατάταξη των σπουδαιότερων ελληνικών ειδών με βάση τη σκληρότητα γίνεται ως εξής:

- σκληρά: ίταμος, δρυς, φτελιά, ακακία, φράξος, πλατάνι, οξιά, γαύρος, ελιά
- μέτρια: πεύκη, ελάτη, αρκέυθος, καρυδιά και
- μαλακά: λεύκη, ιτιά, φιλύρα, και καστανιά.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.** Μηχανικές αντοχές διαφόρων ειδών ξύλου (σε  $Kp/cm^2$ ).

ΕΙΔΟΣ ΞΥΛΟΥ	ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ		ΘΛΙΨΗ		ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΜΨΗ	
				⊥	ΜΘ	ΜΕ
Ελάτη, κεφαλληνιακή	-	17	369	-	939	-
Ελάτη, λευκή	793	14	335	48	676	98.000
Ερυθρελάτη	857	15	331	42	610	93.000
Πεύκη, μαύρη	1.040	20	398	-	1.049	120.000
Πεύκη, δασική	1.040	30	550	77	1.000	120.000
Πεύκη, λευκόδερμη	1.118	-	408	-	704	-
Κυπαρίσσι	-	-	540	-	550	-
Καρυδιά	1.000	36	720	120	1.470	125.000
Λεύκη, τρέμουσα	1.108	28	477	27	783	109.000
Λεύκη, υβρίδιο I-214	-	16	281	-	630	-
Οξιά	1.331	36	475	81	1.065	134.000
Καστανιά	1.350	-	500	-	770	90.000
Δρυς, απόδισκος	1.282	31	474	71	993	123.500
Φτελιά, πεδινή	800	40	560	100	890	110.000

Σφενδάμι	820	35	580	150	1.120	94.000
Φράξος	1.650	70	520	110	1.200	134.000
Ευκάλυπτος	900	-	510	100	900	122.000
IROKO	790	26	695	-	1.130	115.000
SAPELE	875	25	600	85	1.105	100.000
ΟΚΟΥΜΕ	580	18	390	54	720	30.000
ΜΑΗΟΓΑΝΥ	-	25	500	98	850	85.000
TEAK	1.200	42	660	260	1.340	140.000
TIAMA	-	21	475	-	775	101.000

Τέλος, ως εφαρμογή ξύλα πολυμερών σύνθετων υλικών (WPC) έχουν συλλεχθεί. Μαλακό ξύλο και σκόνη σκληρού ξύλου χρησιμοποιήθηκαν σε συγκέντρωση βάρους 40% (32% κατ' όγκο συγκέντρωση) και σε αμφότερες τις περιπτώσεις, υλικά με σημαντικά αυξημένη δυσκαμψία (1,9 έως 8,2 GPa) και αντοχή (13 - 127 MPa) ελήφθησαν. Ο τύπος των σωματιδίων ξύλου και η χρήση πολυπροπυλενίου εμβολιασμένο με μηλεϊνικό ανυδρίτη είχε μόνο περιθωριακή επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες των συνθέτων υλικών της μήτρας. Η μορφολογία των σύνθετων προϊόντων ξύλου μελετήθηκε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.[17]

## 2.7 ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το ξύλο παρουσιάζει και ακουστικές ιδιότητες. Πρακτική σημασία έχει:

α) η παραγωγή ήχου με άμεση κρούση του ξύλου

β) η συμπεριφορά του όταν ήχοι που παράγονται από άλλες πηγές προσπίπτουν στην ξύλινη επιφάνεια με μορφή ηχητικών κυμάτων.

Στην πρώτη περίπτωση, το ξύλο παράγει ήχο και χρησιμοποιείται απευθείας ως μουσικό όργανο, όπως το ξυλόφωνο και τα σήμαντρα των μοναστηριών (τάλαντο). Η δεύτερη περίπτωση είναι πιο ενδιαφέρουσα. Το ξύλο χρησιμοποιείται ως αντηχείο. Οξύς ήχος παράγεται από ξύλο με μεγάλη πυκνότητα, μεγάλη ελαστικότητα, μικρό ποσοστό υγρασίας και μεγάλες διαστάσεις, εν αντιθέση με ξύλο με μικρή ελαστικότητα, μικρή πυκνότητα, μεγάλο ποσοστό υγρασίας και μικρές διαστάσεις που παράγει βαρείς (μπάσους) ήχους. Έτσι σε προκατασκευές σπιτιών και άλλων κτιρίων με ξύλινο σκελετό και κατασκευαστικά “σάντουιτς” που χρησιμοποιούνται σε πατώματα, τοίχους, σκάλες και στέγες, για να επιτευχθεί ικανοποιητική ηχομόνωση, με τη μείωση ή την εξάλειψη των ανεπιθύμητων ήχων, πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι

ακουστικές ιδιότητες του κάθε ξύλου. Το ίδιο συμβαίνει και όσον αφορά τη σωστή χρησιμοποίηση του ξύλου ως πηγή ήχου ή ως αντηχείου σε μουσικά όργανα.

### **Το ξύλο ως αντηχείο**

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η συμπεριφορά επιφάνειας ξύλου, στα ηχητικά κύματα που παράγονται από άλλη πηγή και προσπίπτουν στην επιφάνεια αυτή. Μέρος της ηχητικής ενέργειας ανακλάται.

Όταν ο ήχος ανακλάται από την ξύλινη επιφάνεια, τότε έχουμε το φαινόμενο του συντονισμού, οπότε το ξύλο χρησιμοποιείται ως αντηχείο. Το ύψος του ήχου δεν μεταβάλλεται, όμως ενισχύεται η ένταση και αυξάνεται η διάρκειά του. Η στιλβωμένη επιφάνεια ξύλου αυξάνει την απόδοση ενός αντηχείου. Το σχήμα του αντηχείου, παίζει σημαντικό ρόλο. Τα χαρακτηριστικά αυτά λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά τη χρησιμοποίηση του ξύλου σε μουσικά όργανα. Το ξύλο που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι ο ερυθρελάτης. Συχνά χρησιμοποιούνται και ξύλα ελάτης, δασικής πεύκης και σφενδάμου. Το ξύλο ερυθρελάτης χρησιμοποιείται γιατί η σημαντική σχέση μέτρο ελαστικότητας προς ξηρή πυκνότητα είναι μεγάλη (ΜΕ 93.000 Kp/cm<sup>2</sup> πυκνότητα 0,45 g/cm<sup>3</sup>). Το ξύλο δεν πρέπει να είναι τέλειο, ευθύινο, με ομοιόμορφη δομή, στενούς αυξητικούς δακτυλίους (μέχρι 2 mm), με μικρό ποσοστό όψιμου ξύλου (μέχρι 25%) και να προέρχεται από δένδρα μεγάλης ηλικίας (130-150 ετών). Ξύλο ερυθρελάτης με οδοντωτούς δακτυλίους θεωρείται το καλύτερο για μουσικά όργανα. Για να ενισχυθεί η απόδοση του αντηχείου, εμποτίζουμε χημικά το ξύλο. Ενίσχυση προκαλεί και η λεπτή διάτρηση του ξύλου. Οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές βιολιών (Stradivari, Amati) χρησιμοποιούν μόνο ξύλο ερυθρελάτης.

### **Απορρόφηση ήχου**

Όταν ηχητικά κύματα προσπίπτουν σε επιφάνεια ξύλου, μέρος της ηχητικής ενέργειας εισέρχεται στο εσωτερικό της μάζας του ξύλου. Συνεχόμενη διάθλαση και ανάκλαση των ηχητικών κυμάτων προκαλεί την απορρόφηση μέρους της ενέργειας αυτής. Η ηχητική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική, όμως η μετατροπή αυτή είναι ανεπιθύμητη στα μουσικά όργανα και στα ξύλα που τα αποτελούν.

Η πορώδης δομή του ξύλου έχει ως αποτέλεσμα την απορρόφηση περισσότερης ηχητικής ενέργειας σε σχέση με άλλα υλικά. Έτσι ορίσαμε τον Συντελεστή Απορρόφησης, ο οποίος εκφράζει το ποσοστό επί τοις εκατό της ηχητικής ενέργειας που απορροφάται ως προς την αρχική. Το ξύλο έχει μικρό συντελεστή απορρόφησης ήχου, μικρότερο του 10% και επομένως δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ηχομονωτικό. Η πυκνότητα και η ελαστικότητα του ξύλου είναι αντιστρόφως ανάλογα της ηχοαπορροφητικότητας, ενώ η υγρασία και η θερμοκρασία του, ανάλογα αυτής. Τέλος, το ξύλο απορροφά περισσότερο ήχους με χαμηλές συχνότητες, ενώ η στιλβωμένη επιφάνεια ξύλου απορροφά μικρότερο ποσοστό ήχου.

Το ξύλο δεν ικανοποιεί τις ανάγκες του σύγχρονου ανθρώπου σε ότι αφορά την ηχομόνωση σε διάφορες ξύλινες κατασκευές, και για αυτό προκύπτει η ανάγκη βελτίωσης της ηχομονωτικής συμπεριφοράς του στις κατασκευές αυτές. Αυτό επιτυγχάνεται με σχεδιασμό κατασκευαστικών 'σάντουιτς' σε τοίχους, πατώματα, στέγες και πόρτες, όπου δημιουργούνται κενά ανάμεσα στις επάλληλες στρώσεις των σάντουιτς από ηχομονωτικά υλικά. Τέτοια υλικά είναι οι μονωτικές ινοπλάκες (ινοπλάκες ξύλου χαμηλής πυκνότητας, μικρότερης του  $0,20 \text{ g/cm}^3$ ), ηχοαπορροφητικός αφρός πολυουρεθάνης, ορυκτοβάμβακας, υαλοβάμβακας και φελλός. Η διάτρηση των ινοπλακών αυξάνει την ηχομονωτική ικανότητά τους.

Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου στη μάζα του ξύλου είναι  $3.500-5.000 \text{ m/sec}$  στην αξονική διεύθυνση, ενώ σε εγκάρσια διεύθυνση είναι  $1,3-2,5$  φορές μικρότερη. Η ταχύτητα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C = \sqrt{\frac{E}{R_0}} \quad (12)$$

όπου: **C** = ταχύτητα διάδοσης του ήχου ( $10 \text{ m/sec}$ )  
**E** = μέτρο ελαστικότητας ( $\text{Kp/cm}^2$ )  
**r<sub>o</sub>** = ξηρή πυκνότητα ( $\text{g/cm}^3$ )

Η ταχύτητα διάδοσης του ήχου εξαρτάται από την ελαστικότητα του ξύλου και από την πυκνότητά του. Η ταχύτητα του ήχου σε άλλα υλικά είναι: αέρας  $340 \text{ m/sec}$ ,

φελλός 430-530 m/sec, νερό 1.440 m/sec, σίδηρος 5.000 m/sec και γυαλί 5.000-6.000 m/sec.

Το σάπιο ξύλο και οι ραγάδες, καθώς και άλλες ατέλειες του ξύλου, επηρεάζουν σημαντικά το ύψος του ήχου που παράγεται με κρούση. Η ιδιότητα αυτή χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των σφαλμάτων αυτών σε ιστάμενα δένδρα στο δάσος, καθώς και σε εγκατεστημένους στύλους ηλεκτρικού ρεύματος.

## **2.8 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ**

Η ηλεκτρική αντίσταση, δηλαδή η αντίσταση του ξύλου στη δίοδο συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος, και οι διηλεκτρικές ιδιότητες κάτω από την επίδραση εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής συχνότητας, είναι οι πιο σημαντικές από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του.

### **Ηλεκτρική αντίσταση**

Η ηλεκτρική αντίσταση του ξύλου και η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μέτρα αντίθετα. Χρησιμοποιείται ευρέως στα ηλεκτρικά υγρόμετρα για την εύρεση της υγρασίας που περιέχεται στο ξύλο.

Ένα απόλυτα ξηρό ξύλο είναι μονωτικό σώμα, άρα η ηλεκτρική αντίσταση του ξηρού ξύλου είναι πολύ υψηλή. Η ηλεκτρική αντίσταση του ξύλου επηρεάζεται από την υγρασία του, και από την πυκνότητα, την κατεύθυνση δίοδου του ρεύματος μέσα στο ξύλο, τη δομή του ξύλου, και τη θερμοκρασία του.

Η επίδραση της υγρασίας είναι πολύ μεγαλύτερη από την επίδραση των άλλων παραγόντων. Η ηλεκτρική αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της υγρασίας του ξύλου, ειδικά σε επίπεδο υγρασίας κάτω από το σημείο ινοκόρου. Έτσι κάτω από το σημείο ινοκόρου, όταν αυξάνεται η υγρασία του ξύλου, η ηλεκτρική αντίσταση μειώνεται εκατομμύρια φορές, ενώ από το σημείο ινοκόρου έως τη μέγιστη υγρασία που μπορεί να συγκρατήσει το ξύλο, η μείωση της



ηλεκτρικής αντίστασης είναι πολύ μικρή, λιγότερη από 50 φορές. Ξύλο απόλυτα ξηρό δεν επιτρέπει τη δίοδο του ρεύματος μέσα από τη μάζα του και μπορεί να συγκριθεί με τα καλύτερα μονωτικά υλικά, όπως την πορσελάνη και την παραφίνη. Ορισμένα βαριά ξύλα, όπως το τροπικό *Lignum vitae*, χρησιμοποιούνται ως μονωτικό για τον ηλεκτρισμό υλικό.

Η αξονική ηλεκτρική αντίσταση του ξύλου είναι περίπου 210 φορές μεγαλύτερη από την εγκάρσια. Η αντίσταση ξηρού ξύλου αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας του ξύλου. Λόγω της πολύ μικρής ηλεκτρικής αγωγιμότητας το ξύλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά ηλεκτρικού ρεύματος, για την κατασκευή ηλεκτρικών μονωτήρων και λαβών ηλεκτρικών εργαλείων. Ο εμποτισμός του ξύλου με φαινολικές ρητίνες ή με παραφίνη μειώνει την υγρασκοπικότητα του και αυξάνει την ηλεκτρική αντίσταση του ξύλου. Αντίθετα ο εμποτισμός του ξύλου με υδατοδιαλυτά άλατα ή πισσέλαιο ελαττώνει σημαντικά την ηλεκτρική αντίσταση του.

### **Διηλεκτρικές ιδιότητες**

Η διηλεκτρική σταθερά και ο συντελεστής ισχύος ονομάζονται διηλεκτρικές ιδιότητες του ξύλου. Η διηλεκτρική σταθερά ονομάζεται και ηλεκτρική διαπερατότητα και είναι μέτρο της μονωτικής αξίας του ξύλου υπό την επίδραση εναλλασσόμενου ρεύματος. Η διηλεκτρική σταθερά του κενού είναι 1, ενώ του ξηρού ξύλου κυμαίνεται μεταξύ 2 και 3. Η σταθερά αυτή αυξάνεται με την πυκνότητα, την υγρασία και τη θερμοκρασία του ξύλου, ενώ μειώνεται όταν αυξάνεται η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος. Η λειτουργία των ηλεκτρικών υγρομέτρων για τη μέτρηση της περιεχομένης υγρασίας στο ξύλο, στηρίζεται στη σχέση διηλεκτρικής σταθεράς και υγρασίας. Στα υγρόμετρα αυτά όμως η ακρίβεια των μετρήσεων δεν είναι μεγάλη, διότι οι μετρήσεις επηρεάζονται από την πυκνότητα του ξύλου. Η συγκόλληση του ξύλου καθώς και η ξήρασή του με εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής συχνότητας, είναι τεχνικές που στηρίζονται στις διηλεκτρικές ιδιότητες του.

Ο συντελεστής ισχύος του ξύλου είναι μέτρο της ταχύτητας με την οποία καταναλώνεται η ηλεκτρική ενέργεια από το ξύλο ανά μονάδα χρόνου, όταν

βρίσκεται σε διηλεκτρικό πεδίο ρεύματος υψηλής συχνότητας. Η ενέργεια αυτή εξαρτάται κυρίως από την υγρασία του ξύλου και εμφανίζεται με τη μορφή θερμότητας. Σε υγρασία 15% ή μεγαλύτερη, ο συντελεστής ισχύος μπορεί να είναι μεγαλύτερος από 6%, ανάλογα με τη συχνότητα του ρεύματος. Σε μικρότερη υγρασία, ο συντελεστής αυτός είναι 2-6%. Σε απόλυτα ξηρό ξύλο έχουμε τη μικρότερη δυνατή απορρόφηση. Ο συντελεστής ισχύος αυξάνεται με την πυκνότητα του ξύλου και είναι μεγαλύτερος παράλληλα προς τις ίνες του ξύλου. Η ιδιότητα αυτή έχει σημασία κατά την ξήρανση ή συγκόλληση του ξύλου με ρεύμα υψηλής συχνότητας. [8]

## 2.9 ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ

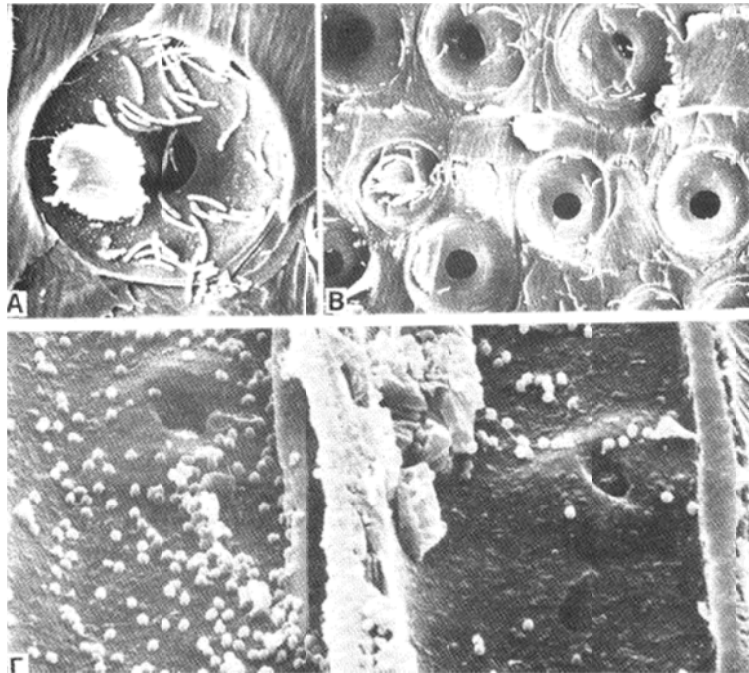
Όταν το ξύλο εκτίθεται στις καιρικές συνθήκες χωρίς προστατευτική επικάλυψη, υφίσταται διάφορες αλλοιώσεις γνωστές και ως κλιματικές αλλοιώσεις. Η επιφάνεια του ξύλου μεταχρωματίζεται, μειώνεται η συνοχή της, δημιουργούνται επιφανειακές ραγάδες, η επιφάνεια γίνεται τραχειά, με αποτέλεσμα σταδιακά το ξύλο να διαβρώνεται. Την αλλοίωση αυτή την προκαλούν εξωτερικοί παράγοντες όπως βακτήρια, μύκητες, έντομα, τερμίτες, θαλάσσιοι οργανισμοί, αλλά και κλιματικοί όπως φως, υγρασία και αέρας, καθώς και μηχανικοί, χημικοί και θερμικοί παράγοντες. Ο βαθμός αλλοίωσης ποικίλλει και μπορεί να είναι από απλή χρωματική αλλαγή μέχρι πλήρης αχρήστευση του ξύλου. [14, 8]

### **Βακτήρια**

Πρόκειται για μικρούς φυτικούς οργανισμούς, συνήθως μονοκύτταρους, οι οποίοι υπάρχουν σε μεγάλους πληθυσμούς και μπορούν να αναπτύσσονται σε περιβάλλον με πολύ λίγο ή καθόλου οξυγόνο μέσα σε νερό ή μέσα σε υγρό έδαφος. Τα κυριότερα είδη βακτηρίων που προσβάλλουν το ξύλο ανήκουν στα γένη *Bacillus*, *Aerobacter* και *Rseudomonas*.

Η επίδραση βακτηρίων στο ξύλο είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με τους μύκητες και τα έντομα. Προσβολές ξύλου από βακτήρια έχουμε μόνο σε ξύλινες κατασκευές μέσα σε νερό ή μέσα σε υγρό έδαφος, όπως λ.χ. σε αποβάθρες, μαρίνες, σκάφη, μεταλλεία, ψυκτικούς πύργους και περιφράξεις.

Η προσβολή των βακτηρίων περιορίζεται σε διάτρηση ή καταστροφή των μεμβρανών των βοθρίων (Εικ. 1), διάβρωση των κυτταρικών τοιχωμάτων και κατανάλωση του περιεχομένου των παρεγχυματικών κυττάρων. Η προσβολή των βακτηρίων προκαλεί αύξηση της διαπερατότητας του ξύλου και μείωση της μηχανικής αντοχής σε κρούση, θλίψη και κάμψη. Η μείωση της μηχανικής αντοχής μπορεί να είναι σημαντική, μόνο εάν η δράση των βακτηρίων είναι μακροχρόνια.



**ΕΙΚΟΝΑ 1.** Μικροσκοπική εμφάνιση προσβολής βακτηρίων σε ξύλο. (Α,Β): Σε βοθρία πεύκης, (Γ): Σε υγρό εγκάρδιο ελάτης

Η προκαλούμενη αύξηση της διαπερατότητας του ξύλου από τη δράση των βακτηρίων (Εικ. 1) χρησιμοποιείται ως βιολογική μέθοδος βελτίωσης του εμποτισμού του ξύλου ειδών με μικρή διαπερατότητα, όπως είναι η ελάτη και η ερυθρελάτη, με εμποτιστικές ουσίες. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, κορμοτεμάχια ερυθρελάτης που πρόκειται να εμποτισθούν αποφλοιώνονται και αποθηκεύονται σε νερό για 10-12 εβδομάδες, πριν η υγρασία του ξύλου κατέβει κάτω από το σημείο ινοκόρου.

Σε βακτήρια αποδίδεται και η δημιουργία του 'υγρού εγκαρδίου' ζωντανών δένδρων ελάτης και λεύκης, καθώς και μεταχρωματισμοί, μαλάκυνση εξωτερικών στρωμάτων ξύλου και υπερβολική ρίκνωση.

Τα βακτήρια μπορεί να δράσουν ταυτόχρονα με τους μύκητες ή να ευνοήσουν προσβολές μυκήτων.

## **Μύκητες**

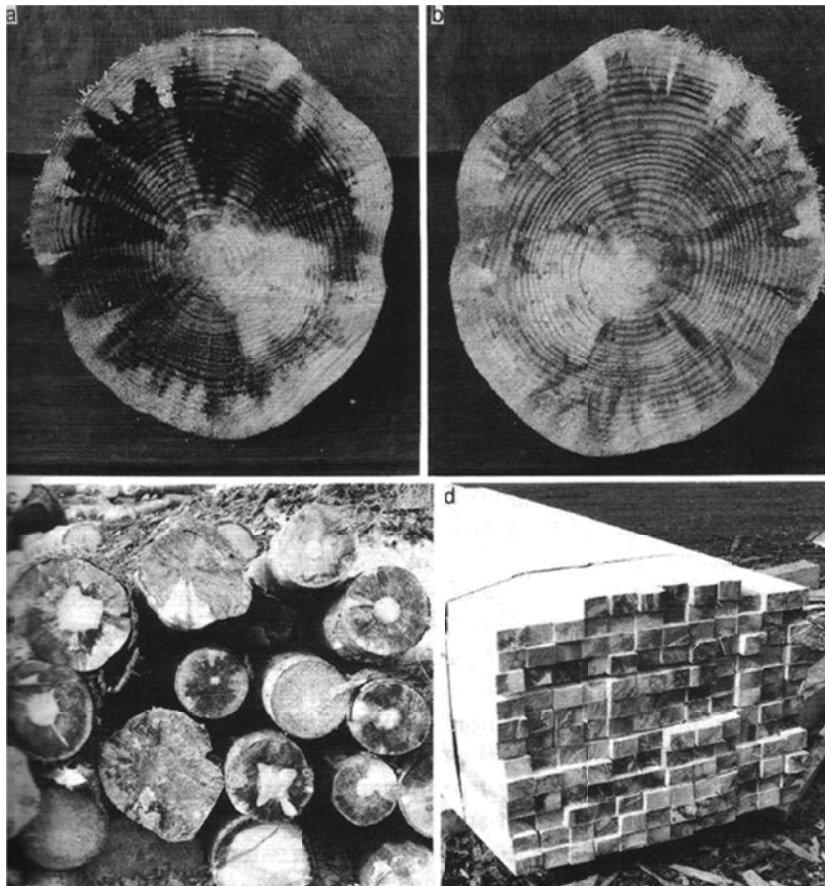
Οι μύκητες είναι φυτικοί οργανισμοί χωρίς χλωροφύλλη, οι οποίοι τρέφονται με οργανικό υλικό άλλων φυτών και ζώων. Οι μύκητες αρχίζουν τον κύκλο της ζωής τους με σπόρια, αόρατα με το μάτι, τα οποία κάτω από ευνοϊκές συνθήκες βλαστάνουν στο υπόστρωμα και παράγουν πολλές λεπτές υφές (μυκήλια). Σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης του μύκητα δημιουργούνται καρποσώματα, τα οποία απελευθερώνουν εκατομμύρια σπόρια για τη συνέχιση του κύκλου ζωής και τη διάδοσή τους.

Οι μύκητες προσβάλλουν το ξύλο και προκαλούν μεταχρωματισμό ή σήψη. Έτσι διακρίνονται ανάλογα σε χρωστικούς μύκητες και σηπτικούς μύκητες.

### **Χρωστικοί μύκητες**

Οι χρωστικοί μύκητες προκαλούν μεταχρωματισμό, δηλαδή αλλαγή του αρχικού χρώματος του ξύλου. Τρέφονται με υδατάνθρακες που υπάρχουν μέσα στα παρεγχυματικά κύτταρα και ιδιαίτερα στις ακτίνες του ξύλου. Προσβάλλουν συνήθως το σομφό ξύλο κορμών ή πριστών πεύκης, ερυθρελάτης και σπανιότερα οξιάς, δρυός, φράξου και λεύκης.

Η κυάνωση (bluestain) ξύλου πεύκης είναι η πιο γνωστή και σοβαρή προσβολή χρωστικών μυκήτων που παρατηρείται στη χώρα μας (Εικ. 2). Μύκητες του γένους *Ceratocystis* προσβάλλουν το ξύλο μετά την υλοτομία των δένδρων και μέχρις ότου η υγρασία του ξύλου μειωθεί κάτω του 18%. Το ξύλο γίνεται κυανότεφο έως κυανόμαυρο σε όλη την έκταση του σομφού ή σε ακανόνιστες θέσεις. Η αλλαγή του χρώματος δεν είναι επιφανειακή, αλλά σε βάθος και προκαλεί σημαντική μείωση της εμπορικής αξίας του ξύλου, όταν αυτό δεν βάφεται, όπως σε κατασκευές κουφωμάτων, πατωμάτων και επίπλων. Κυάνωση, ωστόσο, στο ξύλο πεύκης δεν είναι σήψη. Το κυανωμένο ξύλο διατηρεί την αντοχή του και μπορεί να υποστεί κατεργασία και βαφή. Η μόνη δυσμενής επίδραση που παρατηρείται είναι η μείωση της αντοχής σε κρούση κατά 15-30%. Ξύλο με έντονη κυάνωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε κατασκευή, εκτός περιπτώσεων που υποβάλλεται σε κρούση, όπως λ.χ. σκάλες, ικριώματα, αθλητικά είδη και στειλιάρια.



**ΕΙΚΟΝΑ 2.** Κυάνωση ξύλου πεύκης: (α): σε εγκάρσια τομή κορμού, (β): προσβολή σε βάθος, (γ): στοιβάδα κορμών πεύκης με κυάνωση (δ): πριστά που προέκυψαν από πρίση κυανωμένων κορμών.

Ακόμα, η αλλαγή του φυσικού χρώματος στο κυανωμένο ξύλο μειώνει την αισθητική αξία του, ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί την εντύπωση ότι το ξύλο έχει σαπίσει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αποκλείεται η κυανωμένη ξυλεία από σοβαρές κατασκευές, όπως λ.χ. έπιπλα και κουφώματα. Η τιμή της ξυλείας αυτής και των προϊόντων της μειώνεται μέχρι και 50%.

Από τη συνολική παραγωγή πεύκης στην Ελλάδα, κυανώνεται περίπου το 80%, ενώ η συνολική παραγωγή πεύκης είναι περίπου 156.000 m<sup>3</sup> το χρόνο (στοιχεία έτους 1997). Υπολογισμοί σε συγκεκριμένη μελέτη έδειξαν ότι η οικονομική ζημιά που προκαλείται από την κυάνωση κάθε χρόνο είναι της τάξης των 4 δισεκατομμυρίων δρχ. σε τιμές του 1998 .

Το ξύλο κυανώνεται από τη στιγμή που θα υλοτομηθεί στο δάσος μέχρις ότου γίνει πριστή ξυλεία και ξηραθεί σε υγρασία κάτω του 16%. Οι μύκητες κυανόχρωσης δραστηριοποιούνται σε θερμοκρασία 20°C και προσβάλλουν το

ξύλο σε μορφή κυρίως κορμών, αλλά και πριστών, αν οι συνθήκες φυσικής ξήρανσης δεν είναι κατάλληλες. Για να αποφύγουμε την κυάνωση του ξύλου, θα πρέπει:

- οι υλοτομίες να διενεργούνται στο δάσος κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όταν η θερμοκρασία είναι κάτω από 20°C
- η διακίνηση των κορμών για πρίση και ξήρανση στο πριστήριο να γίνονται το συντομότερο δυνατόν
- οι κορμοί πρέπει να διατηρούνται μέχρι να πρισθούν μέσα σε νερό ή με συνεχή καταιωνισμό, ώστε η υγρασία του ξύλου να παραμένει σε ποσοστό πάνω από 20% μετά την πρίση
- τα πριστά πρέπει να οδηγούνται για ξήρανση σε ειδικά ξηραντήρια ή να γίνεται φυσική ξήρανση σε χώρο με καλό αερισμό και σωστή στοίβαξη των πριστών και
- να υπάρχει δυνατότητα ψεκασμού των κορμών, αμέσως μετά την υλοτομία, με ειδικά μυκητοκτόνα διαλύματα.

Δυστυχώς στην Ελλάδα οι υλοτομίες γίνονται το καλοκαίρι, οι κορμοί παραμένουν στο δάσος για μήνες και στα πριστήρια επίσης, χωρίς προστασία με αποτέλεσμα να προσβάλλεται μεγάλο μέρος της παραγωγής.

Μία άλλη περίπτωση μεταχρωματισμού είναι το μούχλιασμα που προκαλείται από προσβολή μυκήτων που ανοίκουν στα γένη *Penicillium*, *Trichoderma*, στην επιφάνεια του ξύλου και δημιουργεί μεταχρωματισμό που κατά περίπτωση μπορεί να είναι επιφανειακός ή να προχωράει σε βάθος. Ξύλο με ευρωτίαση (μούχλα) παρουσιάζει προβλήματα στη συγκόλληση, ενώ αποκλείεται η χρήση του για ξύλινες συσκευασίες

### **Σηπτικοί μύκητες**

Ανάλογα με το είδος του μύκητα έχουμε τριών ειδών σήψεις στο ξύλο:

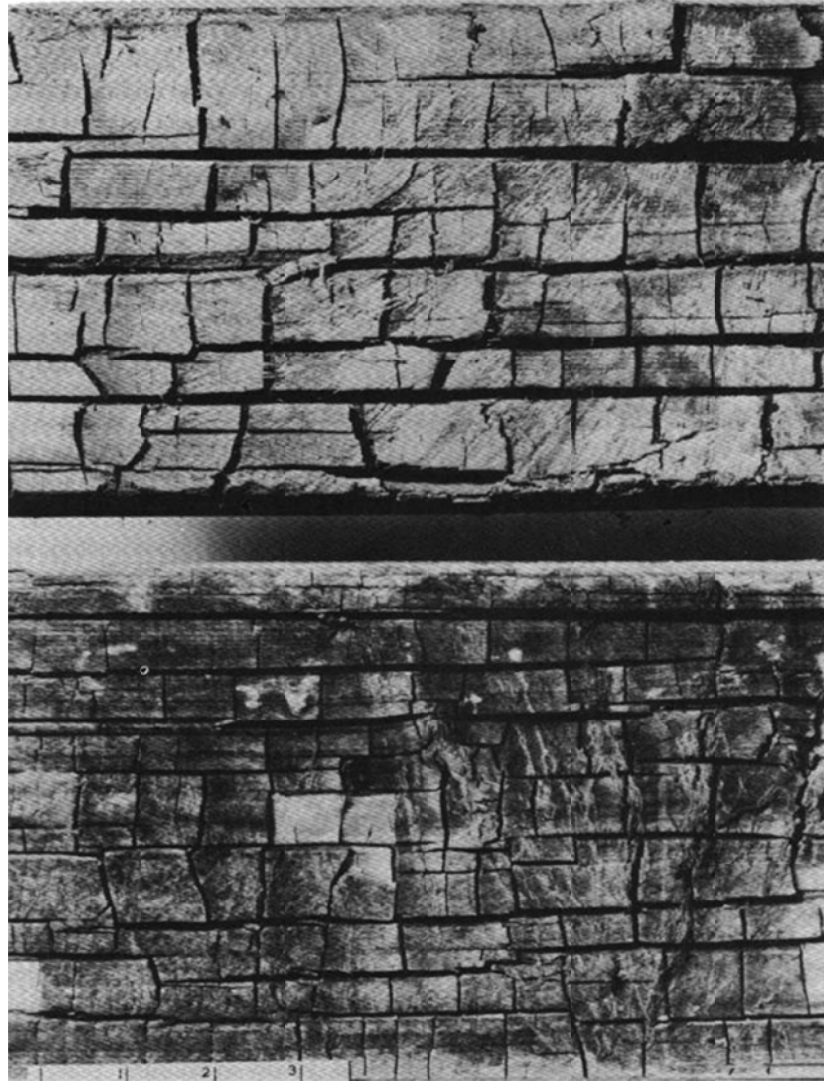
1. τις καστανές σήψεις,
2. τις λευκές σήψεις
3. τις μαλακές σήψεις.

Οι μύκητες των καστανών και λευκών σήψεων ανήκουν στους βασιδιομύκητες, ενώ των μαλακών σήψεων στους ασκομύκητες. Οι μύκητες καστανών σήψεων καταναλώνουν κυρίως υδατάνθρακες, δηλαδή κυτταρίνη και

ημικυτταρίνες, αλλά αλλοιώνουν και τη λιγνίνη χωρίς να την καταναλώνουν. Όσο προχωράει η σήψη, το ξύλο γίνεται σκοτεινότερο, γιατί παραμένει μεγαλύτερο ποσοστό συστατικών με σκοτεινό χρώμα . Το ξύλο γίνεται καστανό, ρικνώνεται, ραγαδώνεται, καταρρέει και με μικρή πίεση θραύεται και γίνεται σκόνη (Εικ. 3).

Οι μύκητες που προκαλούν λευκές σήψεις μπορούν να αποσυνθέτουν υδατάνθρακες, αλλά και λιγνίνη. Όσο προχωρεί η σήψη, το ξύλο γίνεται ανοικτότερο στο χρώμα και αποκτά σπογγώδη υφή με ινώδη εμφάνιση. Τα πλατύφυλλα είδη είναι ιδιαίτερα ευπαθή στους μύκητες λευκών σήψεων.





**ΕΙΚΟΝΑ 3.** Τυπική εμφάνιση καστανής σήψης σε ξύλο.  
(πάνω εικ.): Τυπική καστανή σήψη από  
προσβολή *Seprula*. (κάτω εικ.): Καστανή σήψη  
από προσβολή *Coniophora*.

Οι μύκητες μαλακών σήψεων προσβάλλουν το ξύλο, όταν αυτό βρίσκεται σε υγρές περιοχές, όπως σε επαφή με το έδαφος και σε μεταλλεία. Αποσυνθέτουν και καταναλώνουν κυρίως κυτταρίνη και ημικυτταρίνες και πολύ λιγότερο τη λιγνίνη. Οι μύκητες αυτοί προσβάλλουν περισσότερα είδη ξύλου από ότι οι μύκητες καστανών και λευκών σήψεων, και ειδικά τα πλατύφυλλα είδη. Ξύλο προσβεβλημένο από μύκητες μαλακής σήψης, διατηρεί το αρχικό του σχήμα, αλλά στην επιφάνεια γίνεται σκοτεινότερο και πιο μαλακό και με την εξέλιξη της προσβολής διαβρώνεται. Κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, το προσβεβλημένο ξύλο αποκτά ραγάδες, σχισμές και γίνεται πολύ εύθραυστο.

Οι σπουδαιότεροι από τους μύκητες που προσβάλλουν το ξύλο μετά την υλοτομία των δένδρων και τις διάφορες κατασκευές είναι οι ακόλουθοι:

### **Ξυλεία κωνοφόρων**

- *Lentinus lepideus*. Προσβάλλει στρωτήρες σιδηροδρόμων, στύλους ακόμη και εμποτισμένους με πισσέλαιο, ξυλεία μεταλλείων και οικοδομών. Δημιουργεί καστανή σήψη με υπόλευκες υφές, κολλώδη υφή και χαρακτηριστική οσμή.
- *Lenzites sepiaria*. Προσβάλλει κορμούς δένδρων, περιφράξεις, στύλους, γέφυρες. Προκαλεί καστανή σήψη. Σε δοκούς κατασκευών η σήψη συνήθως περιορίζεται στο εσωτερικό, με ανέπαφο το εξωτερικό στρώμα.
- *Peniophora gigantea*. Απαιτεί μεγάλη υγρασία για αυτό και προσβάλλει υγρούς κείμενους κορμούς και προκαλεί καστανή σήψη με χρώμα ανοικτό καστανοκίτρινο.
- *Polystictus abietinus*. Δημιουργεί λευκή σήψη με πολύ σπογγώδη υφή κατά το τελικό στάδιο της προσβολής στο σομφό κατακείμενων κορμών. Στο αρχικό στάδιο είναι δυσδιάκριτη η προσβολή γιατί προκαλείται πολύ ελαφρύς κιτρινοκαστανός μεταχρωματισμός και ελαφρά μαλάκυνση του ξύλου.

### **Ξυλεία πλατυφύλλων**

- *Daedalia quercina*. Προκαλεί καστανή σήψη κυρίως στη δρύ αλλά και σε άλλα πλατύφυλλα. Το προσβεβλημένο ξύλο αποκτά χρώμα ερυθροκαστανό και θρυμματίζεται εύκολα.
- *Polystictus versicolor*. Προσβάλλει ξύλο που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος και προκαλεί τις σημαντικότερες ζημιές από όλους τους μύκητες σε ξυλεία πλατυφύλλων. Σε είδη με ανθεκτικό εγκάρδιο, όπως η δρύς, προσβάλλει μόνο το σομφό, ενώ σε άλλα λιγότερο ανθεκτικά, όπως η οξιά μπορεί να προκαλέσει πλήρη καταστροφή.
- *Stereum purpureum*. Προσβάλλει κυρίως κορμούς οξιάς και λεύκης που έχουν πρόσφατα υλοτομηθεί. Προκαλεί λευκή σήψη.

### **Ξύλινες κατασκευές και οικοδομές**

- *Coniophora cerabella*. Προσβάλλει ξύλινες οικοδομές στα σημεία που υπάρχει διαρροή νερού, υγρά μεταλλεία, ξύλα σε επαφή με το έδαφος.

Προκαλεί καστανή σήψη και το ξύλο θρυμματίζεται εύκολα, ενώ στο αρχικό στάδιο δημιουργεί κιτρινοκαστανές θέσεις.

- *Serpula lacrymans*. Προκαλεί καστανή σήψη και το ξύλο σε προχωρημένο στάδιο σήψης θρυμματίζεται εύκολα. Σχηματίζει υφές μεγάλου μήκους, μέχρι 25μ. για τη μεταφορά της υγρασίας. Εμφανίζεται κυρίως στο ψυχρότερο τμήμα της εύκρατης ζώνης.
- *Phellinus megaloporus*. Προσβάλλει κυρίως ξύλο δρυός αλλά και καστανιάς σε οικοδομές όπου υπάρχει διαρροή νερού, σε μεταλλεία κλπ. Απαιτεί θερμό και υγρό περιβάλλον χωρίς φως. Προκαλεί λευκή σήψη και δημιουργεί λευκές ίνες, ενώ το ξύλο γίνεται ελαφρό και μαλακό χωρίς να θρυμματίζεται με το χέρι.

### **Πως αναπτύσσονται οι μύκητες**

Οι μύκητες για να προσβάλλουν το ξύλο θα πρέπει να βρουν τροφή, οξυγόνο, και κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

Τροφή για τους μύκητες είναι τα συστατικά του ξύλου: κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη και θρεπτικές ουσίες κυττάρων. Ανάλογα με τη χημική σύσταση του ξύλου, τα διάφορα είδη παρουσιάζουν διαφορετική αντοχή στις προσβολές μυκήτων. Είδη που περιέχουν τοξικά εκχυλίσματα έχουν μεγάλη αντοχή.

Δείκτης της αντοχής του ξύλου στους μύκητες είναι το χρώμα και η πυκνότητα. Σκοτεινότερο χρώμα σημαίνει μεγαλύτερη αντοχή. Ο συνδυασμός σκοτεινού χρώματος και μεγάλης πυκνότητας ενισχύει την ανθεκτικότητα (δρυός, καστανιά, σκούρα τροπικά σιδηρόξυλα). Από μόνη της η πυκνότητα δεν επηρεάζει καθοριστικά την αντοχή στους μύκητες. Έτσι το ξύλο των πεύκων και του κυπαρισσιού, που δεν είναι ιδιαίτερα βαρύ, παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή στη σήψη από ορισμένα βαριά ξύλα όπως η οξιά, η σημύδα, το σφενδάμι. Το εγκάρδιο ξύλο έχει μεγαλύτερη αντοχή από το σομφό γιατί εκεί γίνεται η εναπόθεση των εκχυλισμάτων και γι αυτό έχει και σκοτεινότερο χρώμα.

Η υγρασία του ξύλου για να μπορεί να αναπτυχθεί ο μύκητας, πρέπει να είναι πάνω από 20%. Ιδανικές είναι οι συνθήκες όταν η υγρασία είναι 25-35%.

Οι μύκητες χρειάζονται επίσης οξυγόνο που το παίρνουν από τον αέρα που υπάρχει στις κυτταρικές κοιλότητες. Όταν οι κυτταρικές κοιλότητες είναι

γεμάτες με νερό δεν υπάρχει χώρος για οξυγόνο και έτσι δεν αναπτύσσονται οι μύκητες. Για το λόγο αυτό και τα ξύλα προστατεύονται από τους μύκητες όταν αποθηκεύονται μέσα στο νερό δεξαμενών ή λιμνών. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούμε την υγρή αποθήκευση ή τον καταιωνισμό για την προστασία των κορμών οξιάς και κωνοφόρων από μύκητες και ραγαδώσεις. Πρέπει όμως ο καταιωνισμός να είναι πλήρης και συνεχής.

Η καταλληλότερη θερμοκρασία για την ανάπτυξη των μυκήτων είναι 20-25°C. Η δράση των μυκήτων μειώνεται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 10°C και υψηλότερες των 30°C και αναστέλλεται εντελώς στους 0°C και στους 40°C. Θανάτωση των μυκήτων γίνεται κατά την τεχνητή ξήρανση με συνδυασμό υψηλών θερμοκρασιών και υψηλής σχετικής υγρασίας.

### **Αναγνώριση της προσβολής μυκήτων**

Η αναγνώριση της προσβολής μυκήτων στο αρχικό στάδιο είναι δύσκολη. Ειδικά, η δημιουργία μικρών θηλάκων καστανής σήψης κάτω από την επιφάνεια του ξύλου είναι ιδιαίτερα δύσκολο να επισημανθεί. Η δημιουργία τέτοιων εσωτερικών θηλάκων καστανής σήψης παρατηρείται μερικές φορές κατά τη φυσική ξήρανση ερυθρελάτης, ψευδοτσούγκας, ελάτης. Η προσβολή αυτή μπορεί να επεκταθεί αν το ξύλο ξαναυγρανθεί κατά τη χρήση του. Στα δικά μας δεδομένα η χρησιμοποίηση προσβεβλημένης στο αρχικό στάδιο ελάτης σε κατασκευές σκεπών ενέχει αυτόν τον κίνδυνο.

Η κατά θέσεις εμφάνιση φλεβών ή λωρίδων μεταχρωματισμένου ξύλου πρέπει να θεωρείται ύποπτη προσβολής και να ελέγχεται. Χρειάζεται ωστόσο προσοχή για να μη θεωρηθεί προσβολή κυάνωσης ή ευρωτίωσης ως κανονική σήψη. Αν διαπιστωθεί προσβολή σήψης, τότε εντοπίζεται η έκταση προσβολής με τη βοήθεια μυτερού μαχαιριδίου.

Οι προσβεβλημένες ίνες ξύλου σπάνε και αποχωρίζονται εύκολα. Η παρουσία στενών σκοτεινού χρώματος γραμμών στο ξύλο είναι μια βέβαιη ένδειξη προσβολής.

### **Συνέπειες προσβολής μυκήτων**

Οι μύκητες που προσβάλλουν το ξύλο αλλοιώνουν το χρώμα, τη δομή, τη χημική σύσταση και τις ιδιότητες του ξύλου. Οι αλλοιώσεις αυτές αναφέρονται στα αρχικά στάδια προσβολών, γιατί σε προχωρημένα στάδια το ξύλο αχρηστεύεται:

- Το χρώμα γίνεται ανοικτότερο στη λευκή σήψη και σκοτεινότερο στην καστανή σήψη.
- Η πυκνότητα του ξύλου μειώνεται ανάλογα με το στάδιο προσβολής.
- Οι μηχανικές ιδιότητες του ξύλου ελαττώνονται ακόμη και στο αρχικό στάδιο προσβολής. Μείωση της αντοχής του ξύλου σε κρούση μέχρι και το 1/3 έως 1/2 προκαλείται στα αρχικά στάδια, προτού εμφανισθεί η μείωση του βάρους του ξύλου.
- Όταν το βάρος μειωθεί κατά 10% η αντοχή σε κρούση σχεδόν μηδενίζεται. Η αντοχή σε κάμψη, σε θλίψη και εφελκυσμό, καθώς και η αντοχή σε διάτμηση και η σκληρότητα, επηρεάζονται σε μικρότερο βαθμό. Οι καστανές σήψεις επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες περισσότερο από ότι οι λευκές σήψεις.
- Η υγροσκοπικότητα του ξύλου μεταβάλλεται σημαντικά. Το προσβεβλημένο ξύλο προσροφά περισσότερη υγρασία υπό μορφή υδρατμών και νερό όταν διαβρέχεται.
- Η ρίκνωση του ξύλου είναι πολύ μεγαλύτερη της κανονικής σε περίπτωση καστανής σήψης. [8]

### **Επίδραση φωτός**

Η ηλιακή ακτινοβολία, ειδικότερα η υπεριώδης ακτινοβολία, προκαλεί φωτοχημικές αντιδράσεις στα χημικά συστατικά του ξύλου που εκδηλώνονται στην αρχή με μεταχρωματισμό και στη συνέχεια με αποικοδόμηση και έκπλυσή τους.

Το ορατό φως και οι υπεριώδεις ακτίνες προκαλούν ανοικτότερο ή σκουρότερο μεταχρωματισμό ανάλογα με τον χρόνο επίδρασης του φωτός και το είδος του ξύλου. Ο μεταχρωματισμός οφείλεται σε φωτοχημικές αντιδράσεις κυρίως των φαινολικών συστατικών του ξύλου. Το ξύλο απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και ειδικότερα το φάσμα του ορατού και υπεριώδους φωτός. Η αύξηση της ενέργειας που συνοδεύει την απορρόφηση της ακτινοβολίας δημιουργεί ελεύθερες ρίζες σε διάφορες δραστικές ομάδες των συστατικών του ξύλου οι οποίες ενώνονται με το οξυγόνο και σχηματίζουν υδροξυπεροξειδία. Τα

υπεροξειδία διασπώνται εύκολα σε νέες ελεύθερες ρίζες, προκαλούν οξειδωση των δραστικών ομάδων σε καρβονύλια και καρβοξύλια, ανόρθωση διπλών δεσμών, δημιουργία χρωμοφορικών ομάδων και τελικά αποικοδόμηση των πολυμερών μορίων. [14]

Η επίδραση των χημικών επεξεργασιών που βασίζεται σε βιολογικά προϊόντα για την εξυγίανση των υποβαθμισμένων ξύλων από επίθεση εντόμων, αξιολογήθηκε σε 3 είδη ξύλου: ελάτη (*Abies alba*), οξιά (*Fagus sylvatica*) και φυλλοβόλων δρυών (*Quercus* sp.). Υποβαθμισμένα και άθικτα δείγματα των τριών ειδών ξύλου εμποτίζονται με δύο διαφορετικές χημικές επεξεργασίες με στόχο να εξακριβωθεί η πιθανή συνεργική δράση των νέων προϊόντων σε ξύλο. Στη συνέχεια, τα δείγματα υποβλήθηκαν σε κάμψη, συμπίεση παράλληλα με τις δοκιμές απορρόφησης, σκληρότητα και υγροσκοπιμότητα. Ανεπεξέργαστα δειγμάτων των ίδιων ειδών, τόσο υποβαθμισμένα όσο και μη-υποβαθμισμένα, εξετάστηκαν για σκοπούς σύγκρισης. Τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν διαφορετικά αποτελέσματα για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου. Τα πιο ευαίσθητα είδη της βελτίωσης των μηχανικών ιδιοτήτων ήταν έλατα και οξιές. Οι παρατηρούμενες διαφοροποιήσεις, πιθανότατα, προκαλούνται από τη διαφορετική δομή των ειδών του ξύλου. Μετά από περίοδο τριών μηνών εμβάπτισης σε απιονισμένο νερό, βρέθηκε να βελτιώνει τις ιδιότητες σε όλα τα δείγματα ξύλου. Συνολικά, τα πειραματικά αποτελέσματα έδειξαν ότι η επίδραση των χημικών επεξεργασιών ήταν υψηλότερη σε υποβαθμισμένα δείγματα.[31]

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°**

### **ΕΙΔΗ ΞΥΛΟΥ**

#### **3.1 ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΟ ΞΥΛΟ (ΣΥΝΘΕΤΟ ΞΥΛΟ)**

Το σύνθετο ξύλο ή αλλιώς επικολλητό, παράγεται με την συγκόλληση δύο η περισσότερων στρώσεων ξύλου, με τις ίνες παράλληλες μεταξύ τους. Οι στρώσεις του ξύλου μπορεί να ποικίλουν ως προς το είδος, τον αριθμό, το μέγεθος το σχήμα και το πάχος.

Για πρώτη φορά το προϊόν αυτό χρησιμοποιήθηκε σε τμήμα επίπλων, στο εσωτερικό των πλακάζ, σε είδη αθλητισμού, σε κοντάκια όπλων, και σαΐτες υφαντουργίας. Η βελτίωση των συγκολλητικών ουσιών και η εξέλιξη της τεχνολογίας, έχουν αναπτύξει τον τομέα βιομηχανικής παραγωγής σύνθετου ξύλου και έχουν διευρύνει τον τομέα εφαρμογών στην επιπλοποιία, πόρτες, παράθυρα, στέγες, σκελετό προκατασκευασμένων σπιτιών, σε βαριές κατασκευές, δοκοί, υποστυλώματα, αψίδες.

Το ξύλο μπορεί να εμποτισθεί και αυτό επεκτείνει ακόμη περισσότερο τον τομέα εφαρμογών του σε εξωτερικές κατασκευές όπως γέφυρες, πέργκολες, παιδικές χαρές κλπ. Η υψηλή μηχανική αντοχή του προϊόντος, η αντοχή του στην πυρκαϊά, το μικρό ειδικό βάρος του, η μεγάλη ελαστικότητα και η υψηλή αισθητική και αρχιτεκτονική αξία του ξύλου, καθιστούν το σύνθετο ξύλο ασυναγώνιστο κατασκευαστικό υλικό. Έτσι αποτελεί τον φέροντα εμφανή σκελετό σε εντυπωσιακά κτίρια, όπως θολωτά κτίρια με άνοιγμα μέχρι 140 μ., αίθουσες πολλαπλών χρήσεων, αθλητικές εγκαταστάσεις, θέατρα, και διάφορα στέγαστρα.

### 3.1.1 Πρώτες ύλες

Οι βασικές πρώτες ύλες για την παραγωγή του σύνθετου ξύλου είναι το ξύλο και οι κόλλες .

Για φέροντα στοιχεία χρησιμοποιείται κυρίως ξύλο ερυθρελάτης, ψευδοτσούγκας (όρεγκον παϊν), δασικής πεύκης, pitch pine, τούγιας, δρυός, φτελιάς, μαονιού. Στην Ευρώπη χρησιμοποιείται κυρίως ξυλεία ερυθρελάτης, δασικής πεύκης και ψευδοτσούγκας. Για να χρησιμοποιηθούν άλλα είδη ξύλων πρέπει οι μηχανικές και φυσικές τους ιδιότητες να είναι κατάλληλες για τη συγκεκριμένη χρήση. Είναι επίσης δυνατός και συνδυασμός ειδών, αρκεί να έχουν την ίδια συμπεριφορά σε ρίκνωση και διόγκωση όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 2. Τα προς συγκόλληση πριστά πρέπει να είναι ξηραμένα στο ίδιο ποσοστό υγρασίας, το οποίο να ισούται με την υγρασία ισορροπίας του περιβάλλοντος, στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί το επικολλητό ξύλο.

Οι συγκολλητικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του σύνθετου ξύλου, είναι κυρίως οι συνθετικές ρητίνες. Για σύνθετο ξύλο εσωτερικών χρήσεων χρησιμοποιείται η ουρία φορμαλδεΐδη και για σύνθετο ξύλο εξωτερικών χρήσεων η ρεσορσινόλη φορμαλδεΐδη.

### 3.1.2 Τεχνολογία παραγωγής - σχεδιασμός προϊόντος

Μετά την ξήρανση των πριστών γίνεται η ποιοτική επιλογή τους, κατά την οποία απομακρύνονται πριστά, που περιέχουν βασικά σφάλματα όπως στρεψοϊνία, ξύλο με ανώμαλη δομή, υπερβολική ροζοβρίθεια και ρητινοθύλακες.

Η κατεργασία των πριστών περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια :

1. Την πλάνιση για να παραχθούν λείες επιφάνειες και συγκεκριμένο πάχος πριστών. Η πλάνιση γίνεται λίγο πριν την συγκόλληση για να μη παρουσιασθεί σφάλμα ανύψωσης του όψιμου ξύλου σε κάθε ετήσιο δακτύλιο (RAISED WOOD).
2. Την κατά μήκος συγκόλληση των πριστών, κατά την οποία απομακρύνονται και τμήματα με σοβαρά σφάλματα, όπως στρεβλώσεις, ρόζοι, ρητινοθύλακες κ.α3. Την επάλειψη των πριστών με συγκολλητική ουσία σε ειδικές μηχανές που φέρουν περιστρεφόμενα τύμπανα, ή με την μέθοδο ψεκασμού.
3. Την συναρμολόγηση των πριστών σε στρώσεις. Οι επιμέρους στρώσεις πριστών συγκολλούνται έτσι, ώστε οι μεγαλύτερες πλευρές τους να εφάπτονται και οι ίνες τους να είναι παράλληλες. Το πάχος των επιμέρους στρώσεων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 30 χιλ. Ωστόσο το πάχος αυτό μπορεί να φθάσει τα 40 χιλ. για



ευθείες δοκούς, εάν το ξύλο είναι προσεκτικά επιλεγμένο και ξηραμένο και οι δοκοί δεν εκτίθενται σε ακραίες κλιματικές συνθήκες.

Οι δοκοί σύνθετου ξύλου ταξινομούνται σαν δοκοί με κατακόρυφη ή οριζόντια διάταξη των συγκολλημένων στρώσεων πριστών. Στις δοκούς κατακόρυφης συγκόλλησης οι επιφάνειες συγκόλλησης είναι κατακόρυφες και το πλάτος των πριστών συγκόλλησης είναι συνήθως ίσο με το ύψος της οριζόντιας δοκού. Στις δοκούς οριζόντιας συγκόλλησης, οι επιφάνειες συγκόλλησης είναι οριζόντιες και το βάθος της δοκού μπορεί να φθάσει τα 213 εκ. Το πλάτος των δοκών αυτών είναι συνήθως ίσο με το πλάτος των στρώσεων πριστών.

Για πλάτος επιμέρους πριστών μικρότερο των 20 εκ., η πλευρά κάθε πριστού με ακτινική τομή, συγκολλάτε με την πλευρά του άλλου πριστού που έχει εφαπτομενική τομή και έτσι ώστε οι προς τα έξω πλευρές της δοκού να έχουν ακτινική σχεδίαση. Η διάταξη αυτή είναι απαραίτητη για να ελαχιστοποιούνται οι εγκάρσιες τάσεις των επιμέρους πριστών κατά τις αυξομειώσεις της υγρασίας του περιβάλλοντος. Όταν απαιτείται μεγάλο πλάτος δοκών, τότε σε κάθε στρώση μπορεί να τοποθετηθούν περισσότερα του ενός πριστά, το ένα δίπλα στο άλλο χωρίς να συγκολλώνται πλευρικά εφόσον οι πλευρικές συνδέσεις δεν συμπίπτουν σε διαδοχικές στρώσεις. Με τον τρόπο αυτό παράγονται δοκοί με πλάτη μέχρι 60 εκ. Οι πλευρικές συνδέσεις-συγκόλλησης σε κάθε στρώση πρέπει να τοποθετούνται εναλλάξ αριστερά-δεξιά. Επιμέρους πριστά πλάτους μεγαλύτερου των 20 εκ. πρέπει να φέρουν δύο κατά μήκος εγκοπές για ανακούφιση των τάσεων.

Στις δοκούς οριζόντιας συγκόλλησης μπορούμε να κατανείμουμε τις ποιότητες των προς συγκόλληση πριστών στις διάφορες θέσεις εγκάρσιας τομής της δοκού, ανάλογα με το μέγεθος των αναπτυσσόμενων τάσεων. Το γεγονός αυτό διευκολύνει την αξιοποίηση ξύλου κατώτερης ποιότητας. Έτσι σύμφωνα με τις ισχύουσες διεθνείς προδιαγραφές, στις εξωτερικές στρώσεις δοκού που δέχεται τάσεις κάμψεως και στο 15 % του πάχους (τουλάχιστο δύο στρώσεις σε κάθε πλευρά), τα πριστά πρέπει να είναι καλής ποιότητας. Ενώ στις μεσαίες στρώσεις μπορεί να τοποθετηθούν πριστά χαμηλότερης ποιότητας, χωρίς να επηρεάζεται η μηχανική αντοχή της δοκού.

Για την κατά μήκος συγκόλληση των πριστών υπάρχουν διάφοροι τρόποι συνδέσεων. Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμόζεται η δακτυλωτή συγκόλληση. Η προδιαγραφή DIN 68140 αναφέρεται στην τεχνική και τα δεδομένα εφαρμογής της. Η κλίση των επιφανειών συγκόλλησης επηρεάζει άμεσα την αντοχή του δεσμού. Όσο πιο μικρή είναι η κλίση, δηλ. όσο πιο παράλληλες προς την σχεδίαση του ξύλου (τα νερά του ξύλου) είναι οι επιφάνειες συγκόλλησης, τόσο καλύτερη είναι η συγκόλληση. Κλίσεις 1 : 8 έως 1:12 είναι οι αποτελεσματικότερες. Οι κατά μήκος συγκολλήσεις στις διάφορες στρώσεις πρέπει να είναι σκορπισμένες σε διάφορα τμήματα της δοκού. Οι συναρμολογημένες στρώσεις πριστών τοποθετούνται σε ειδικά καλούπια ή ειδικές πρέσες μονταρίσματος, όπου με την βοήθεια ειδικών σφιγκτήρων ασκείται ομοιόμορφη πίεση.

Η ασκούμενη πίεση κατά την συγκόλληση είναι περίπου 7 Kp/CM<sup>2</sup> για κωνοφόρα και 10 Kp/CM<sup>2</sup> για πλατύφυλλα, όταν χρησιμοποιούνται σφιγκτήρες.

Για την παραγωγή καμπύλων δοκών η απαιτούμενη κάμψη στις επιμέρους σανίδες δίδεται κατά την διάρκεια της συγκόλλησης ή και πριν τη συγκόλληση. Η ακτίνα καμπυλότητας των επιμέρους σανίδων πάχους 30 χιλ. δεν πρέπει να προσεγγίζει το μέγεθος 200 x πάχος της σανίδας. Μικρότερες ακτίνες καμπυλότητας μέχρι 150 x πάχος της σανίδας μπορεί να επιτευχθούν, με την προϋπόθεση ότι το πάχος των σανίδων α, επιλέγεται με βάση τον τύπο

$$a = \sqrt{225 - 0,4 R} - 25$$

σε mm. Το πηλίκο ακτίνα καμπυλότητας / πάχος δοκού δεν πρέπει να είναι μικρότερο του δύο.

Για δοκούς υπό κάμψη η σχέση ύψος δοκού προς πλάτος δοκού κυμαίνεται κυρίως μεταξύ 3 και 8 χωρίς να φθάσει το 10.

Μετά την διαδικασία της συγκόλλησης, οι δοκοί παραμένουν για κάποιο χρονικό διάστημα σε κλιματιζόμενο χώρο για εξισορροπήσει τυχόν τάσεων, και ακολουθεί η τελική κατεργασία, η οποία περιλαμβάνει πλάνισμα, απομάκρυνση άκρων που προεξέχουν διάνοιξη οπών, τοποθέτηση κοχλιών, επάλειψη άκρων με ανθυγροσκοπικές ουσίες, συντήρηση - βαφή δοκών κ.λ.π. Τα έτοιμα στοιχεία δοκών συσκευάζονται σε αδιάβροχο χαρτί ή πλαστικό και αποθηκεύονται σε αποθήκες με ρυθμιζόμενη θερμοκρασία και σχετική υγρασία.

Δοκοί σύνθετου ξύλου μπορεί να παραχθούν πρακτικά σε οποιοσδήποτε διαστάσεις μήκους, πλάτους και πάχους σε ευθεία ή καμπύλα σχήματα. Το μήκος των δοκών περιορίζεται μόνο από το μήκος του εργοστασίου παραγωγής και της ειδικής εγκατάστασης μονταρίσματος, όπως και από τις δυνατότητες των μέσων μεταφοράς. Το πάχος των δοκών περιορίζεται μόνο από τις διαστάσεις των καλουπιών συναρμολόγησης και συγκόλλησης, το οποίο σε σύγχρονες εγκαταστάσεις μονταρίσματος και πρέσες, φθάνει τα 2 - 2,5μ. Ακόμη και οι περιορισμοί των μηχανών αυτών μπορεί να ξεπεραστούν με την συγκόλληση δύο στοιχείων μεγάλου πάχους, που παράχθηκαν στις υπάρχουσες εγκαταστάσεις. Μήκη 30 - 35 μ. και πάχη μέχρι 2,20 μ. προκατασκευάζονται και διατίθενται σε μεγάλη κλίμακα ενώ καμπύλα στοιχεία δοκών παράγονται και χρησιμοποιούνται για ανοίγματα μεγαλύτερα των 90 μ.

### 3.1.3 Πλεονεκτήματα σύνθετου ξύλου

Το σύνθετο ξύλο παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα :

- Είναι δυνατή η κατασκευή μεγάλων επικολητών δοκών σε επιθυμητές

διαστάσεις με ευθύγραμμο ή καμπύλο σχήμα, από συνήθεις εμπορικές διαστάσεις πριστής ξυλείας ή και μικρά τεμάχια ξύλου γεγονός που συμβάλλει στην πληρέστερη αξιοποίηση του ξύλου.

- Παρέχεται η δυνατότητα πολλών αρχιτεκτονικών σχεδιασμών γιατί είναι δυνατό να παραχθεί σε μεγάλη ποικιλία σχημάτων διατομών και καμπυλότητας.
- Υπάρχει η δυνατότητα να κατασκευασθούν φέροντα στοιχεία με κατά θέσεις ενισχυμένη αντοχή, ανάλογα με τα δεδομένα φόρτισης των στοιχείων.
- Ελαχιστοποιούνται τα σφάλματα ραγαδώσεων, στρεβλώσεων κ.α. Που συνήθως παρουσιάζονται κατά την ξήρανση μεγάλων τεμαχίων ξύλου. Το πλεονέκτημα αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είναι πολύ ευκολότερη η ξήρανση των επιμέρους στρώσεων πριστών πριν την κατεργασία και την συγκόλλησή τους.
- Υπάρχει η δυνατότητα χρησιμοποίησης στρώσεων πριστών χαμηλότερης ποιότητας σε θέσεις με μικρότερη φόρτιση, χωρίς να επηρεάζεται η συμπεριφορά της δοκού στο σύνολο. Η δυνατότητα επίσης αφαίρεσης σφαλμάτων κατά την κατά μήκος συγκόλληση των πριστών, ενισχύει την μηχανική αντοχή τους.
- Η δυνατότητα εμποτισμού του σύνθετου ξύλου επιτρέπει την χρήση του σε εξωτερικές συνθήκες, στην κατασκευή πλοίων κλ.π.
- Το σύνθετο ξύλο με μεγάλες διατομές παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στη φωτιά.

Ωστόσο το επικολητό ξύλο παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα χωρίς ιδιαίτερη σημασία, που κυρίως αναφέρονται σε θέματα κόστους παραγωγής, όπως :

- Η προετοιμασία των επιμέρους στρώσεων και η συγκόλλησή τους αυξάνει το κόστος του τελικού προϊόντος πάνω από το κόστος πριστών ιδίων διαστάσεων από μασίφ ξύλο.
- Επειδή η αντοχή του επικολητού ξύλου εξαρτάται από την επιτυχία της συγκόλλησης, η διαδικασία παραγωγής του επικολητού ξύλου απαιτεί ειδικές εγκαταστάσεις και μηχανήματα.
- Χρειάζεται υψηλός βαθμός εξειδίκευσης.
- Μεγάλα κάμπυλα στοιχεία δημιουργούν προβλήματα στη μεταφορά.

### **3.1.4 Εφαρμογές σύνθετου ξύλου**

Τα σοβαρά πλεονεκτήματα του σύνθετου ξύλου το καθιστούν κατάλληλο για ένα ευρύτατο πεδίο εφαρμογών όπως αναλύεται στη συνέχεια :

- Φέροντα στοιχεία μικρών και μεγάλων κτιρίων όπως γυμναστήρια, κολυμβητήρια εκκλησίες, θέατρα, αίθουσες πολλαπλών χρήσεων, υπόστεγα, αποθήκες, εγκαταστάσεις εργοστασίων, θολωτά κτίρια κ.α.
-

- Ειδικά δάπεδα εργοστασίων, ποδηλατοδρομιών, γηπέδων μπάσκετ καταστρώματα.
- Γέφυρες για οχήματα και πεζογέφυρες.
- Στέγες μικρού και μεγάλου ανοίγματος
- Μεσόροφοι και πατάρια.
- Κερκίδες, πέργκολες, σκελετοί σκαφών διαφόρων μεγεθών και εσωτερικές κατασκευές πλοίων.
- Διάφορα έπιπλα (σκελετοί από πολυθρόνες - καρέκλες, τραπέζια, γραφεία, πάγκοι εργασίας, ράφια, κρεβατοκάμαρες, βιβλιοθήκες κ.α.).
- Κουφώματα, χωρίσματα ( διαιρέσεις), περσίδες, επενδύσεις.
- Περιφράξεις, βεράντες, κιόσκια, σκελετοί προκατασκευασμένων σπιτιών, σκάλες, κάγκελα.[9]

### 3.2 ΣΥΝΘΕΤΗ ΠΡΙΣΤΗ ΞΥΛΕΙΑ ΑΠΟ ΞΥΛΟΦΥΛΛΑ

Η σύνθετη πριστή ξυλεία από LAMINATED VENEER LUMBER ή LVL) αποτελείται από πολλά ξυλόφυλλα συγκολλημένα σε πρέσα με τις ίνες των ξυλοφύλλων παράλληλες μεταξύ τους.

Οι διαστάσεις του προϊόντος είναι όπως της πριστής ξυλείας. Οι πιο σπουδαίες εφαρμογές του προϊόντος LVL είναι η κατασκευή δοκών τύπου I με νεύρωση από κόντρα πλακέ, η κατασκευή ζευκτών για στέγες και ξυλείας ξυλοτύπων.

Το προϊόν έγινε αποδεκτό την τελευταία εικοσαετία. Στην Ελλάδα δεν παράγεται αλλά ούτε και εισάγεται το προϊόν αυτό.

Το LVL είναι το παλαιότερο από τα προϊόντα σύνθετης ξυλείας κατασκευών. Η πρώτη σημαντική εφαρμογή του έγινε στον 2ο παγκόσμιο πόλεμο, όταν χρησιμοποιήθηκε LVL από ξυλόφυλλα της Sitka spruce, για κατασκευή τμημάτων αεροπλάνων. Η παραγωγή και διάθεση στην αγορά άρχισε στις ΗΠΑ το 1970 από την Εταιρεία Trus Joist Inc., λόγω της περιορισμένης προσφοράς πριστής ξυλείας καλής ποιότητας για δοκούς τύπου I και δοκούς μεγάλων ανοιγμάτων. Για την παραγωγή του LVL μπορεί να χρησιμοποιηθούν, ως πρώτη, ύλη κορμοί ξύλου διαφόρων μεγεθών, ποιοτήτων και ειδών. Κορμίδια κωνοφόρων είναι τα πλέον χρησιμοποιούμενα, αλλά δοκιμάζονται και άλλα είδη όπως η Λεύκη η τρέμουσα. Στη Β. Αμερική χρησιμοποιείται κυρίως η ψευδοτσούγκα (Oregon pine) και διάφορα είδη πεύκης.

Ένα χαρακτηριστικό πείραμα αναφέρει τα αποτελέσματα των βραχυπρόθεσμων δοκιμών κατάρρευσης που εκτελούνται σε έντεκα απανωτές στρώσεις ξυλείας (LVL)- σύνθετο πάτωμα T-δοκών. Διάφορες μεταβλητές όπως το μήκος ανοίγματος (8 και 10 m), η σύνδεση και το επίπεδο σχεδιασμού ερευνηθήκαν. Η ανθεκτικότητα των δοκών βρέθηκε να είναι περίπου 90% της

πλήρως σύνθετης δοκού. Οι συντελεστές διόρθωσης που παρέχει 15% αύξηση για την εκτροπή και κατά 13% μείωση της πραγματικής ακαμψίας προτείνεται για τους υπολογισμούς. [15]

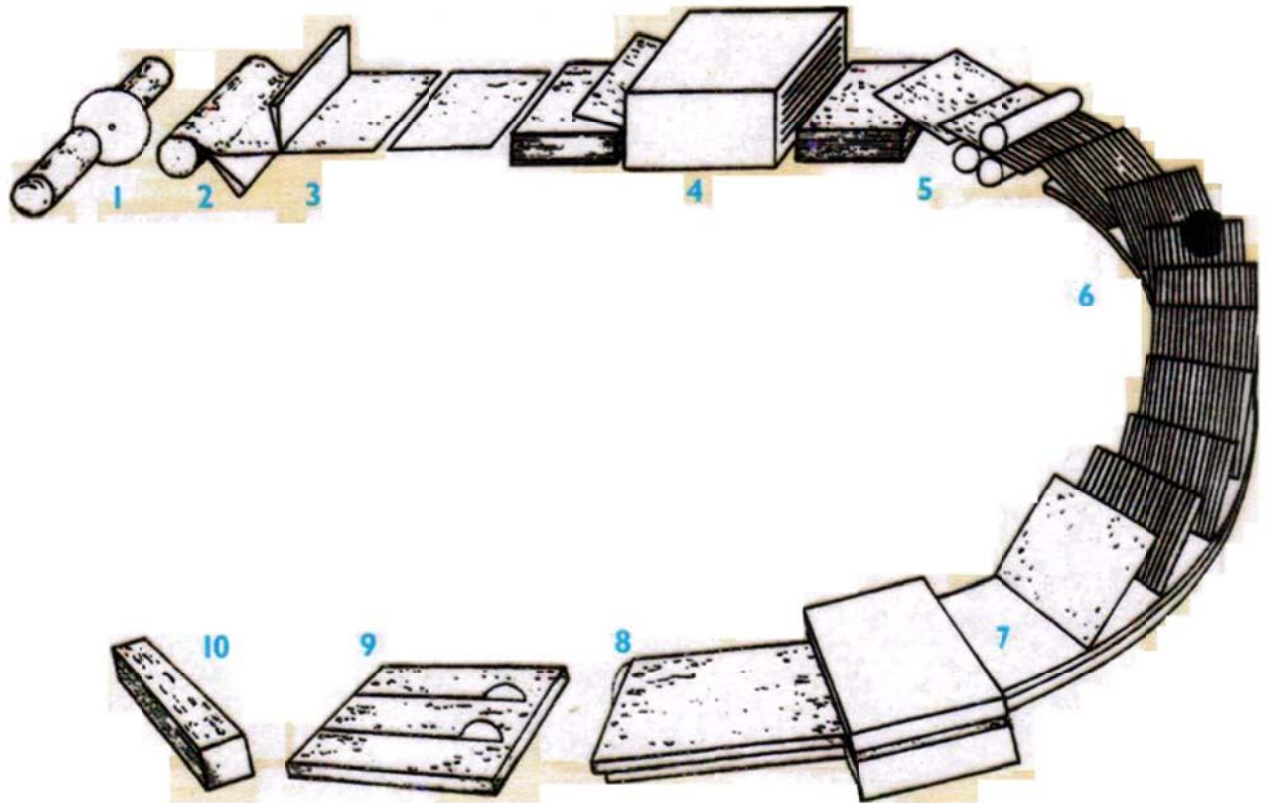
### 3.2.1 Τεχνολογία παραγωγής

Η σύνθετη πριστή από ξυλόφυλλα (LVL) προκύπτει από συγκόλληση ξυλοφύλλων πάχους 2,5 έως 12 χιλ. με τις ίνες τους παράλληλες. Το πάχος των ξυλοφύλλων είναι στη βιομηχανία συνήθως 2,5 - 3 χιλ. και το συνολικό πάχος του προϊόντος ανταποκρίνεται στα συνήθη πάχη πριστής ξυλείας δηλ. 2 - 6,5 εκ. Η τεχνολογία του LVL ξεκίνησε από τη Φινλανδία, ενώ η βιομηχανική παραγωγή και η καθιέρωση του προϊόντος ως ξυλείας κατασκευών έγινε στις ΗΠΑ τα τελευταία 30 χρόνια. Το πάχος των ξυλοφύλλων είναι στη βιομηχανία 2.5-3mm και το συνολικό πάχος του προϊόντος ανταποκρίνεται στα συνήθη πάχη πριστής ξυλείας δηλ. 2.0-7.5cm. Τα παραγόμενα μήκη φθάνουν μέχρι και τα 25m.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι LVL ανάλογα με τις διαστάσεις και την μέθοδο παραγωγής. Αυτοί είναι :

1. LVL που παράγεται σε συνήθεις πρέσες κόντρα πλακέ και σε μήκη 2,44μ.
2. LVL που παράγεται σε πρέσες συνεχούς πίεσης με πλάκες που έχουν μορφή ερπυστριών ή μεταλλικών ιμάντων. Τα μήκη των παραγόμενων σύνθετων ξυλοπλακών είναι μεγαλύτερα του 2,44 μ, και το μέγιστο 25 μ.

Μια μέθοδος ταχείας παραγωγής LVL, η οποία καλείται PRESS - LAM, είναι η ακόλουθη :



#### Σχήμα 4: Στάδια L.V.L.

Τεμαχισμός κορμών

Εκτύλιξη κορμών

Τεμαχισμός ξυλοφύλλων

Ξήρανση ξυλοφύλλων

Επάλειψη με κόλλα

Συναρμολόγηση στρώσεων

Συμπίεση σε θερμή πρέσσα

Κοπή στο επιθυμητό μήκος

Τεμαχισμός στο επιθυμητό πλάτος

Συσκευασία και αποθήκευση σύνθετων πριστών L.V

Το Σχήμα 4 παρουσιάζει τα στάδια παραγωγής του LVL, εν συντομία είναι τα ακόλουθα:

Οι κορμοί πρώτα εκτυλίσσονται με περιστροφική τομή σε συνεχές ξυλόφυλλο (στάδια 1 και 2), το οποίο τεμαχίζεται (στάδιο 3) και ξηραίνεται σε ειδικό ξηραντήριο με εφαρμογή υψηλής θερμοκρασίας και μικρής πίεσης (στάδιο 4). Στη συνέχεια και ενώ τα ξυλόφυλλα παραμένουν θερμά, γίνεται επάλειψη με κόλλα (στάδιο 5) και συναρμολόγηση (στάδιο 6), έτσι ώστε οι στρώσεις των ξυλοφύλλων, να έχουν τις ίνες παράλληλες μεταξύ τους.

Η καταλληλότερη συγκολλητική ουσία για εφαρμογές σε κατασκευές, είναι η φαινόλη φορμαλδεΐδη και ή μίξη φαινόλης με ρεσορσινόλη φορμαλδεΐδη. Ακολουθεί συμπίεση σε θερμή-συνεχόμενη πρέσσα με συνθήκες θερμοκρασίας, πίεσης και διάρκειας συμπίεσης, που ισχύουν για τα αντικολλητά (στάδιο 7). Μετά τη συμπίεση των ξυλοπλακών γίνεται η κοπή τους στο επιθυμητό μήκος (στάδιο 8), ο τεμαχισμός των ξυλοπλακών στο επιθυμητό πλάτος (στάδιο 9) και η συσκευασία και αποθήκευση των σύνθετων πριστών (στάδιο 10).

Για την παραγωγή LVL μεγάλου μήκους, κατά τη συναρμολόγηση των στρώσεων, τα ξυλόφυλλα ενώνονται κατά μήκος, έτσι ώστε οι ενώσεις στις διάφορες στρώσεις να είναι διάσπαρτες για να αποφευχθεί μείωση της αντοχής. Η κατά μήκος σύνδεση των ξυλοφύλλων γίνεται ή με επικάλυψη των άκρων κατά 2,5cm ή με απλή επαφή των άκρων, ή με δακτυλωτή σύνδεση (finger jointing).

Η ποιοτική διαβάθμιση του προϊόντος LVL στηρίζεται στην ποιοτική ταξινόμηση των επιμέρους ξυλοφύλλων, η οποία γίνεται οπτικά, όπως και στην παραγωγή αντικολλητών. Νέα τεχνολογία στην ποιοτική ταξινόμηση των ξυλοφύλλων αποτελεί η χρήση των υπερηχητικών κυμάτων.

Μετά την συμπίεση σε πρέσες συνεχούς πίεσης, τα ξυλόφυλλα έχουν επί πλέον -θερμότητα, λόγω της ταχείας ξήρανσης και της συνεχούς ροής παραγωγής. Η επιπλέον αυτή θερμότητα βοηθάει στην σκλήρυνση της κόλλας. Το συνεχές “ πάνελ” που προκύπτει με τον τρόπο αυτό, τεμαχίζεται κατά μήκος και πλάτος στις επιθυμητές διαστάσεις ξυλείας.



### 3.2.2 Πλεονεκτήματα

Το προϊόν LVL αποτελείται από μεγάλο αριθμό ξυλοφύλλων, στα οποία παρατηρείται μια διασπορά των σφαλμάτων όπως ριζών, ανώμαλης δομής, στρεψοϊνίας κ.α. Αυτός είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο η σύνθετη πριστή από ξυλόφυλλα έχει σοβαρά πλεονεκτήματα σε σχέση με την πριστή από ξύλο μασίφ. Τα πλεονεκτήματα αυτά είναι :

Το προϊόν αυτό είναι πιο ομοιογενές και με περισσότερο ομοιόμορφη κατανομή των ιδιοτήτων του σε όλη τη μάζα του. Δεν υπάρχουν συγκεντρωμένα σφάλματα σε ένα σημείο του προϊόντος. Ο συντελεστής διασποράς των τιμών των μηχανικών ιδιοτήτων κυμαίνεται από 8 – 18 %, ενώ για πριστή ξυλεία του ίδιου ξύλου είναι 25—35 %.

Έχει υψηλότερη μηχανική αντοχή και μεγαλύτερη διαστασιακή σταθερότητα σε σχέση με την πριστή ξυλεία των ιδίων διαστάσεων. Απουσιάζουν τα τυπικά σφάλματα που συναντάμε στα πριστά όπως στρεβλώσεις διαφόρων τύπων, ραγάδες κ.α.

Εμποτίζεται ευκολότερα σε σχέση με τα πριστά του ίδιου είδους, λόγω των επιφανειακών ραγάδων που δημιουργούνται στα ξυλόφυλλα κατά την εκτύλιξη.

### 3.2.3 Ποιοτική ταξινόμηση

Η ποιοτική διαβάθμιση του προϊόντος LVL στηρίζεται στην ποιοτική ταξινόμηση των επιμέρους ξυλοφύλλων, η οποία γίνεται οπτικά, όπως και στην παραγωγή κόντρα πλακέ. Για προϊόν υψηλής αντοχής πρέπει τα ξυλόφυλλα να έχουν περιορισμένη ροζοβρίθεια και καθόλου στρεψοϊνία.

Νέα τεχνολογία στην ποιοτική ταξινόμηση των ξυλοφύλλων αποτελεί η χρήση των υπερηχητικών κυμάτων. Με την μέθοδο αυτή τα ξυλόφυλλα ταξινομούνται σε κλάσεις μηχανικής αντοχής με σκοπό την παραγωγή LVL υψηλής ποιότητας.

Για LVL κτιριακών κατασκευών, υπάρχει κώδικας επιτρεπόμενων αντοχών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2. Επιτρεπόμενες τάσεις για LVL κατασκευής κτιρίων	
Είδος τάσεως	Επιτρεπόμενη αντοχή (Lβ/IN <sup>2</sup> )
Αντοχή σε κάμψη παράλληλα προς ίνες	2. 200 - 4. 200
Αντοχή σε εφελκυσμό παράλληλα προς ίνες	1. 600 - 2.80
Αντοχή σε θλίψη παράλληλα προς ίνες	2.400 – 3200
Αντοχή σε θλίψη κάθετα στις ίνες και κάθετα στη γραμμή συγκόλλησης	400 – 600
Αντοχή σε θλίψη κάθετα στις ίνες και παράλληλα στη γραμμή συγκόλλησης	400 – 800
Αντοχή σε οριζόντια σχίση παράλληλα στη γραμμή συγκόλλησης	100 – 200
Αντοχή σε οριζόντια σχίση κάθετα στη γραμμή συγκόλλησης	200 – 300
Όριο ελαστικότητας	1,8 X 10 <sup>6</sup> — 2,8X10 <sup>6</sup>

Προϊόν LVL, μήκους μέχρι 24μ. πάχους 20 - 64 εκ. και πλάτους 6,4 έως 61 εκ. ταξινομείται σε τρεις ποιότητες 1,8 E, 2,0 Έ, 2,2 E για τις οποίες τα αντίστοιχα όρια ελαστικότητας είναι 1,8 2,0 και 2,2 εκατ. PSI. Για προϊόν LVL που παράγεται σε μήκη 2,44 μ. επιτρέπονται τάσεις κάμψεως μέχρι 2.000 PSI όταν υπάρχει κατά μήκος συγκόλληση ξυλοφύλλων και 3.000 PSI όταν δεν υπάρχει.

#### 3.2.4 Εφαρμογές

Η σύνθετη πριστή ξυλεία από ξυλόφυλλα είναι προϊόν νέας τεχνολογίας και οι εφαρμογές του συνεχώς αυξάνονται. Οι σπουδαιότερες από αυτές είναι οι ακόλουθες:

1. Κατασκευές στεγών. Παράγονται κυρίως στοιχεία ζευκτών και

δοκοί τύπου I με νεύρωση από αντικολλητό ή μοριοσανίδα με κατευθυνόμενη διάταξη ξυλοτεμαχιδίων (OSB ).

2. Ξυλεία σκαλωσιών. Η ομοιομορφία των ιδιοτήτων και η παρατεταμένη διάρκεια ζωής λόγω της αντοχής σε σχίση είναι τα βασικά πλεονεκτήματα για την συγκεκριμένη εφαρμογή του προϊόντος.
3. Σε προκατασκευές σπιτιών για πλαίσια και πάνελ τοίχων, για δοκούς τύπου I I πατωμάτων κ.α. Η προτίμηση σε αυτή την εφαρμογή στηρίζεται στην μεγάλη οικονομία που επιτυγχάνεται σε υλικό και στο μικρό βάρος της κατασκευής.
4. Σε άλλες κατασκευές ξύλου όπως καταστρώματα οχημάτων, κιβώτια συσκευασίας, σκελετοί από πόρτες κ.α. όπου το προϊόν αυτό συμφέρει να χρησιμοποιείται λόγω μειωμένης παρουσίας τυπικών σφαλμάτων όπως ρόζοι, σχισίματα, στρεβλώσεις κ.λ.π.
5. Λόγω της υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό το προϊόν LVL χρησιμοποιείται σαν υλικό στρώσεων σε σύνθετες δοκούς, στο μέρος εκείνο της δοκού όπου ασκούνται τάσεις εφελκυσμού.

### 3.3 ΑΝΤΙΚΟΛΛΗΤΑ[9]

Με τον όρο αντικολλητά εννοούμε προϊόν του ξύλου που παράγεται με συγκόλληση περιπτού αριθμού ξυλοφύλλων, έτσι ώστε η κατεύθυνση των ινών δύο διαδοχικών ξυλοφύλλων να είναι κάθετη μεταξύ τους. Ο αριθμός των φύλλων είναι συνήθως 3, 5, 7 4 και μεγαλύτερος, ενώ η μεσαία στρώση μπορεί να αποτελείται και από συγκολλημένους πήχεις πριστής ξυλείας.

Τα αντικολλητά είναι προϊόν υψηλής τεχνολογίας με σοβαρά πλεονεκτήματα. Συγκρίνοντας τα πλεονεκτήματα των αντικολλητών σε σχέση προς το συμπαγές ξύλο, τις μοριοσανίδες και τις ινοσανίδες μπορούμε να πούμε τα ακόλουθα :

— Τα φυσικά και τεχνικά χαρακτηριστικά του είναι καλύτερα από εκείνα του φυσικού ξύλου της αυτής ή και ελαφρά μεγαλύτερης πυκνότητας. Υπερέχει επίσης αισθητικά των μοριοσανίδων και ινοσανίδων .

— Λόγω της διατάξεως των στρώσεων η ρίκνωση και η διόγκωση στην εφαπτομενική και ακτινική διεύθυνση είναι πολύ περιορισμένη. Για τον ίδιο λόγο οι μηχανικές ιδιότητες των αντικολλητών στο μήκος και πλάτος τείνουν να εξισώσουν σε αντίθεση με το ξύλο.

— Έχουν μεγάλη αντοχή σε διάτμηση, σε σχίση, καλή αντοχή σε

δυναμικές φορτίσεις και καλύτερη κατανομή ελαττωμάτων σε σχέση με το ξύλο. Πιο συγκεκριμένα η αντοχή σε κάμψη αντικολλητού πάχους 15 χιλ. είναι 14 % μεγαλύτερη από αυτή του M.D.F. πάχους 19 χιλ. και 94 % μεγαλύτερη από μοριοσανίδα πάχους 19 χιλ.

— Η ποσότητα κόλλας που χρησιμοποιείται στην παραγωγή των αντικολλητών, είναι περίπου το 1/3 εκείνης που χρησιμοποιείται στην παραγωγή μοριοσανίδας ή M.D.F.

— Η ενέργεια που καταναλώνεται στην παραγωγή αντικολλητών είναι πολύ λιγότερη σε σχέση με τις μοριοσανίδες και ινοσανίδες.

— Το βασικό μειονέκτημα των αντικολλητών είναι το υψηλό κόστος αγοράς της πρώτης ύλης ξύλου, γεγονός που οφείλεται κυρίως στη συνεχή μείωση των αποθεμάτων ξύλου πολύτιμων ειδών που παράγουν ξυλόφυλλα και στην αλόγιστη εκμετάλλευση και υποβάθμιση των δασών. Επιπλέον η μοριοσανίδα απαιτεί λιγότερη εργασία προπαρασκευής και λιγότερη επιδεξιότητα στην παραγωγή.

### 3.3.1 Εφαρμογές

Το υψηλό κόστος των αντικολλητών επηρέασε σημαντικά την χρήση τους στην επιπλοποιία, όπου οι μοριοσανίδες και τα τελευταία χρόνια το M.D.F. χρησιμοποιούνται περισσότερο. Τα αντικολλητά ωστόσο λόγω των σοβαρών πλεονεκτημάτων που αναφέρθηκαν είναι το σημαντικότερο προϊόν του ξύλου για έπιπλα υψηλής ποιότητας και κατασκευές ακριβείας, όπου απαιτείται μεγάλη αντοχή και σταθερότητα διαστάσεων.

Οι σπουδαιότερες χρήσεις των αντικολλητών είναι οι ακόλουθες:

— Έπιπλα (γραφεία, βιβλιοθήκες, ντουλάπια, τραπέζια, πάγκοι, καρέκλες, παιδικά έπιπλα, έπιπλα εξοχής κ.α.)

— Ξυλοκατασκευές σε σπίτια όπως προκατασκευασμένα τμήματα ξύλινων σπιτιών, χωρίσματα, οροφές, πατώματα, επενδύσεις τοίχων, πόρτες κ.α.

— Ξυλότυποι για κατασκευές μπετό.

— Μουσικά όργανα, αθλητικά όργανα, παιδικά παιχνίδια.

— Κατασκευαστικά μέρη οχημάτων, βαγονιών, τρέιλερ, εσωτερικές κατασκευές σε βάρκες και πλοία.

— Κατασκευή αεροπλάνων.

— Μέσα συσκευασίας.

### 3.3.2 Συγκολλητικές ουσίες

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες συγκολλητικών ουσιών, με βάση την προέλευσή τους. Οι φυσικές συγκολλητικές ουσίες (φυτικής ή ζωικής προέλευσης) και οι συνθετικές, που παράγονται με χημική κατεργασία.

Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν : Η αμυλόκολλα, η κόλλα σόγιας, η ζωική κόλλα, η κόλλα καζεΐνης, η κόλλα αίματος. Η χρήση τους είναι περιορισμένη γιατί δεν δίνουν πολύ ανθεκτικούς δεσμούς, προσβάλλονται από μύκητες και έντομα, ενώ αρκετές από αυτές χρωματίζουν το ξύλο.

Οι συνθετικές συγκολλητικές ουσίες (συνθετικές ρητίνες), παράγονται χημικώς από πετρέλαιο, γαιάνθρακες κ.α. Οι σημαντικότερες από αυτές είναι η φαινόλη φορμαλδεΐδη, η μελαμίνη φορμαλδεΐδη, η ουρία φορμαλδεΐδη και η ρεσορσινόλη φορμαλδεΐδη. Για την σκλήρυνσή τους χρειάζεται υψηλή θερμοκρασία. Για την επιτάχυνση της σκλήρυνσης προστίθεται και καταλύτης, συνήθως οξέα.

Οι συνθετικές ρητίνες άρχισαν να χρησιμοποιούνται συστηματικά από τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, και έχουν αντικαταστήσει τις φυσικές συγκολλητικές ουσίες. Δίνουν ισχυρούς μόνιμους δεσμούς, ανθεκτικούς στην υγρασία και σε προσβολές μυκήτων και εντόμων.

#### 3.3.2.1 Φαινόλη φορμαλδεΐδη

Πλεονεκτήματα : Δίνει πολύ καλούς δεσμούς που αντέχουν στις καιρικές συνθήκες, στο βρασμό, στους μύκητες και στα έντομα.

Μειονεκτήματα : Χρωματίζει το ξύλο, έχει δυσάρεστη οσμή και προκαλεί δερματικές παθήσεις.

#### 3.3.2.2 Ουρία φορμαλδεΐδη

Παρουσιάζει την μεγαλύτερη χρήση από όλες τις συγκολλητικές ουσίες.

Πλεονεκτήματα: Δίνει καλούς άχρωμους δεσμούς, ανθεκτικούς σε μικροοργανισμούς. Έχει μικρό κόστος. Οι ιδιότητές της βελτιώνονται σημαντικά με προσθήκη μελαμίνης ή ρεσορσινόλης φορμαλδεΐδης.

Μειονεκτήματα : Δεν συνιστάται για εξωτερικές χρήσεις και αμβλύνει κάπως τα εργαλεία.

### **3.3.2.3 Μελαμίνη φορμαλδεΐδη**

Προσφέρεται στην αγορά μόνο σε σκόνη.

Πλεονεκτήματα : Δίνει άχρωμους δεσμούς, ανθεκτικούς σε υγρασία και μικροοργανισμούς.

Μειονεκτήματα : Έχει μεγάλο κόστος γι' αυτό και χρησιμοποιείται για βελτίωση της ουρίας φορμαλδεΐδης. Αμβλύνει τα εργαλεία α.

Είναι δύσκολος ο καθαρισμός των συσκευών παρασκευής της.

### **3.3.2.4 Ρεσορσινόλη φορμαλδεΐδη**

Προσφέρεται σε υγρή μορφή.

Πλεονεκτήματα : Δίνει ισχυρούς και ανεκτικούς δεσμούς, όπως και η φαινόλη φορμαλδεΐδη.

Μειονεκτήματα : Είναι η δαπανηρότερη συγκολλητική ουσία γι' αυτό και χρησιμοποιείται συνήθως σε μίξη με την ουρία φορμαλδεΐδη.

Μία άλλη κατηγορία συγκολλητικών ουσιών είναι οι θερμοπλαστικές. Η σημαντικότερη από αυτές είναι το οξικό πολυβινύλιο. Η κόλλα αυτή έχει εκτεταμένη χρήση υπό μορφή γαλακτώματος στην επιπλοποιία. Είναι έτοιμη για χρήση και σκληρύνεται στην θερμοκρασία δωματίου. Οι δεσμοί της είναι ελαστικοί. Η κόλλα αυτή έχει το μειονέκτημα ότι δεν δίνει δεσμούς ανθεκτικούς σε συνεχή φόρτιση και σε υγρασία.

Για τα συνήθη αντικολλητά εσωτερικής χρήσεως, χρησιμοποιείται η ουρία φορμαλδεΐδη, ενώ για αντικολλητά εξωτερικής χρήσεως χρησιμοποιείται συνήθως μίγμα ουρίας με φαινόλη ή μελαμίνη ή ρεσορσινόλη φορμαλδεΐδη. Ως σκληρυντής χρησιμοποιείται το χλωριούχο αμμώνιο.

### **3.3.3 Τεχνολογία παραγωγής αντικολλητών**

Τα ξυλόφυλλα μετά την ξήρανση ταξινομούνται και αποθηκεύονται. Τα μικρού πλάτους συγκολλούνται ή συναρμολογούνται πλευρικά σε επιθυμητές διαστάσεις. Η πλευρική σύνδεση γίνεται σε ειδικά μηχανήματα συγκολλήσεως με συνθετική θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη ή με χρήση χάρτινης συγκολλητικής ταινίας.

Για αντικολλητά που θα χρησιμοποιηθούν σε κατασκευές που ενδιαφέρει η αντοχή, τόσο στην επιφάνεια όσο και στις εσωτερικές στρώσεις χρησιμοποιούνται ξυλόφυλλα που παράχθηκαν με εκτύλιξη. Για διακοσμητικά αντικολλητά στις επιφανειακές στρώσεις χρησιμοποιούνται ξυλόφυλλα που παράχθηκαν με μηχανήματα παλινδρομικής τομής. Στις μεσαίες στρώσεις χρησιμοποιούνται κοινά ξυλόφυλλα εκτυλίξεως.

Σε ένα ορισμένο τύπο αντικολλητών (Πηχοσανίδες ή Πλακάζ) η μεσαία στρώση αποτελείται από ξύλινους πήχεις που παράγονται με πίση και συγκολλούνται σε ειδικά μηχανήματα. Οι διαστάσεις των πήχων είναι : Μήκος 5 εκ. και πάνω, πλάτος 1 - 12 εκ. και πάχος 1 - 2 εκ. Με τον τρόπο αυτό αξιοποιείται ξύλο μικρών διαστάσεων.

Το πάχος των ξυλοφύλλων κατά την παραγωγή τους υπολογίζεται πάντοτε σε ποσοστό 10 - 20 % μεγαλύτερο του επιθυμητού πάχους ξυλοφύλλου. Η διαφορά οφείλεται στη ρίκνωση κατά την ξήρανση και στη συμπίεση.

Μετά την παραγωγή των ξυλοφύλλων γίνεται η επάλειψη της συγκολλητικής ουσίας σε ποσοστό 0,1 - 0,25 KG/μ<sup>2</sup> με ειδικό μηχανήματα που αποτελείται από περιστρεφόμενους κυλίνδρους με ελαστική επένδυση, μεταξύ των οποίων διέρχονται ένα - ένα τα ξυλόφυλλα.

Μετά την επάλειψη της συγκολλητικής ουσίας γίνεται η συναρμολόγηση των ξυλοφύλλων και ακολουθεί η εφαρμογή πίεσεως σε θερμή πρέσα. Οι πρέσες που χρησιμοποιούνται είναι αυτόματες, υδραυλικές, πολυόροφες μέχρι 25 ανοίγματα. Οι πλάκες θερμαίνονται στους 115 – 140° C με ατμό, λάδι ή ηλεκτρισμό. Η ασκούμενη πίεση εξαρτάται από το είδος του ξύλου και κυμαίνεται από 7 - 17 KG/cm<sup>2</sup> (μικρές πιέσεις για μαλακά ξύλα και μεγάλες πιέσεις για σκληρά).

Ο χρόνος εφαρμογής πίεσεως εξαρτάται από το πάχος του αντικολλητού και το είδος της συγκολλητικής ουσίας. Πρακτικά εφαρμόζεται χρόνος σε λεπτά, όσα και τα χιλιοστά πάχους. Η σκλήρυνση της κόλλας δεν είναι απαραίτητο να τελειώσει όταν το προϊόν βρίσκεται υπό πίεση αλλά μπορεί να διακοπεί η αντίδραση προς το τέλος και να συνεχισθεί μέχρις ότου τελειώσει ενώ τα αντικολλητά θα παραμένουν στην αποθήκη.

Μετά την εξαγωγή από την πρέσα τα αντικολλητά θερμής πίεσεως καλό είναι να ραντίζονται επιφανειακά και να στοιβάζονται κάτω από βάρος για ομοιόμορφη κατανομή υγρασίας σε χώρους με ελεγχόμενο κλιματισμό. Τούτο συνιστάται όταν κατά την άσκηση θερμής πίεσεως, η υγρασία των αντικολλητών μειώνεται κάτω της ισοδύναμου υγρασία του χώρου στον οποίο θα χρησιμοποιηθούν.

Στο τελευταίο στάδιο της παραγωγής των τα αντικολλητά παρυφώνονται και τεμαχίζονται στις τελικές διαστάσεις με ειδικό μηχανήματα που φέρει δισκοπρίονα. Οι διαστάσεις των αντικολλητών που παράγονται στην Ελλάδα είναι: 2,20 X 1,22μ., 2,20 X 1,65μ. 2,20 X 1,70μ. σε πάχη



3,4,5,6,8,9,12,16, 19 χιλ.

Στην τελική φάση της κατεργασίας τους τα αντικολλητά λειαίνονται και από τις δύο πλευρές ομοιόμορφα σε ειδικά λειαντικά μηχανήματα που προορίζονται για χρήσεις όπου ενδιαφέρει η εμφάνιση, όπως πόρτες, χωρίσματα δωματίων κ.α., επενδύονται με διακοσμητικά ξυλόφυλλα. Μια τέτοια παραγωγική διαδικασία, όπου κάθε τεμάχιο αντικολλητού, διέρχεται πρώτα από το μηχάνημα διάστρωσης της κόλλας στις δύο επιφάνειές του, ακολουθεί η συναρμολόγηση αντικολλητού – ξυλοφύλλων και στη συνέχεια η θερμή συμπίεση στη πρέσα.

### **3.4. ΜΟΡΙΟΣΑΝΙΔΕΣ[9]**

Η μοριοσανίδα αποτελείται από μικρά ξυλοτεμαχίδια, εμποτισμένα με συνθετική ρητίνη και πιεσμένα σε μορφή επίπεδης πλάκας με επιθυμητό ειδικό βάρος και πάχος.

Η παραγωγή της ξεκίνησε από την Γερμανία κατά την διάρκεια και κυρίως μετά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο. Είναι ένα αξιόλογο προϊόν του ξύλου, υψηλής τεχνολογίας με αρκετά πλεονεκτήματα, όπως:

- Για την Παραγωγή του χρησιμοποιούνται τα πάσης φύσεως υπολείμματα του ξύλου τα οποία έμεναν ανεκμετάλλευτα,
- Παράγεται σε ποικιλία διαστάσεων και σε μεγάλες επιφάνειες, γεγονός που το καθιστά κατάλληλο για πολλές χρήσεις,
- Είναι δυνατή η παραγωγή του σε μεγάλες ποσότητες.

Χρησιμοποιείται βασικά στην επιπλοποιία και σε εσωτερικές κατασκευές κτηρίων, όπως χωρίσματα πατώματα, ταβάνια. Το ειδικό βάρος είναι συνήθως 0,40 - 0,80 γρ./κ.ε. Παράγονται όμως και μοριοσανίδες με μικρότερα ειδικά βάρη 0,25 -0,40 γρ./κ.ε. με καλύτερες μονωτικές ιδιότητες και μικρότερο κόστος παραγωγής, όπως και με μεγαλύτερα ειδικά βάρη 0,80 - 1,20 γρ./κ.ε. με μεγαλύτερη μηχανική αντοχή για ειδικές χρήσεις όπως πατώματα κ.λ.π.

Διακρίνουμε δύο τύπους μοριοσανίδων με βάση την κατεύθυνση των ξυλοτεμαχιδίων :

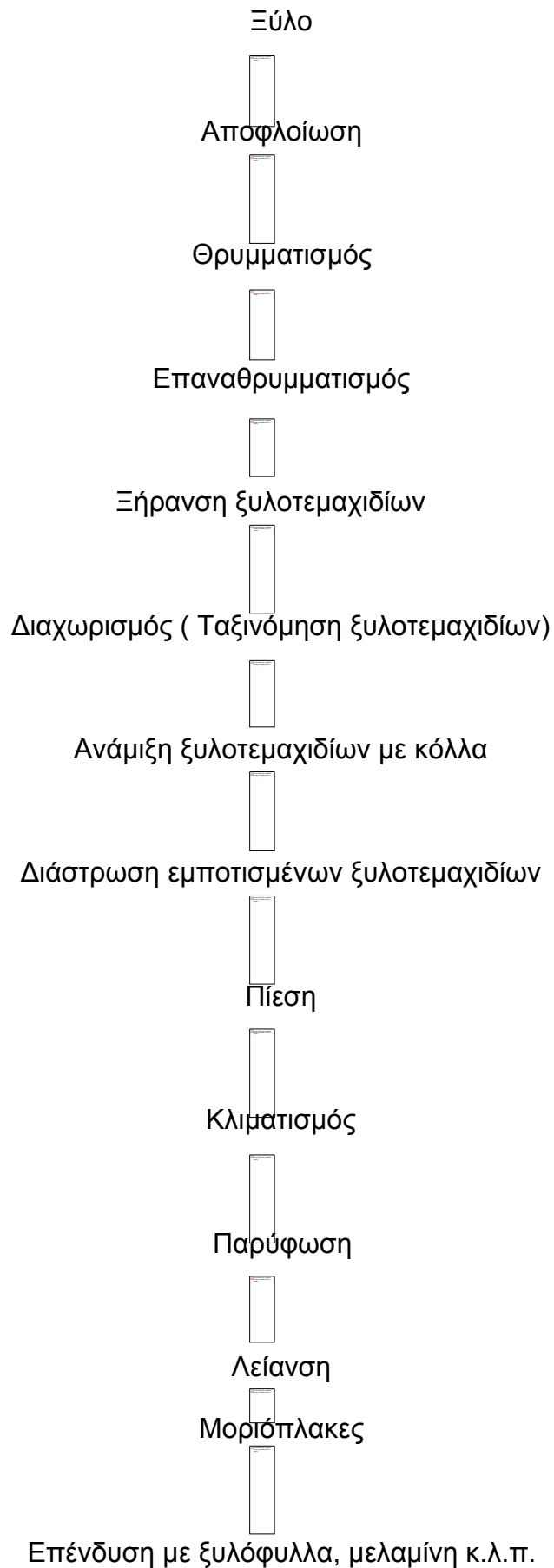
- Τις κοινές μοριοσανίδες, στις οποίες τα ξυλοτεμαχίδια διαστρώνονται παράλληλα προς την επιφάνεια της πλάκας, ενώ η πίεση ασκείται κάθετα προς την επιφάνεια της μοριοπλάκας και
- Τις μοριοσανίδες στις οποίες τα ξυλοτεμαχίδια διαστρώνονται κάθετα προς την επιφάνεια της πλάκας, ενώ η πίεση ασκείται παράλληλα

προς την επιφάνεια της μοριοπλάκας.

Επίσης οι μοριοσανίδες διακρίνονται σε μονόστρωμες, πολύστρωμες - κυρίως τρίστρωμες - και βαθμιδωτής πυκνότητας. Η μονόστρωμη μοριοσανίδα αποτελείται από ξυλοτεμαχίδια των ιδίων διαστάσεων . Η τρίστρωμη αποτελείται από δύο επιφανειακές στρώσεις πάχους 2 - 3 χιλ. η κάθε μια με λεπτά ξυλοτεμαχίδια και μια μεσαία στρώση με ξυλοτεμαχίδια μεγαλύτερων διαστάσεων. Τέλος η μοριοσανίδα βαθμιδωτής πυκνότητας αποτελείται από μια στρώση, στην οποία οι διαστάσεις των τεμαχιδίων μειώνονται βαθμιαία από το μέσο της μοριοσανίδας προς τις δύο επιφάνειες.

### **3.4.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

Τα στάδια παραγωγής των μοριοσανίδων φαίνονται στο διάγραμμα που ακολουθεί και που αναλύεται στη συνέχεια :



Το ξύλο θρυμματίζεται σε ξυλοτεμαχίδια με συγκεκριμένες διαστάσεις 0,2 - 0,5 χιλ. πάχος, 2 - 25 χιλ. πλάτος, και. 10 - 50 χιλ. μήκος. Για υλικό ακραίων στρώσεων το πάχος είναι. 0,2 χιλ.

Οι διαστάσεις των παραγόμενων ξυλοτεμαχιδίων έχουν μεγάλη σημασία διότι επηρεάζουν την μηχανική αντοχή του προϊόντος. Όταν αυξάνεται το μήκος των ξυλοτεμαχιδίων, αυξάνεται η αντοχή σε κάμψη, το μέτρο ελαστικότητας της μοριοσανίδας και η ικανότητα συγκρατήσεως καρφιών. Η σχέση μήκος / πάχος των ξυλοτεμαχιδίων είναι το κυριότερο στοιχείο ελέγχου της ποιότητας των ξυλοτεμαχιδίων και κατ' επέκταση της ποιότητας των μοριοσανίδων. Η σχέση μήκος / πλάτος :150 είναι η πιο άριστη. Μικρού μεγέθους ξυλοτεμαχίδια (μέγεθος πριονιδιού και σκόνη) συμπιέζονται ευκολότερα, υπεισέρχονται σε μικρά διάκενα και δίνουν περισσότερο συνεκτικές και λείες επιφάνειες, που είναι απαραίτητες για την χρησιμοποίηση των μοριοσανίδων στην επιπλοποιία.

Οι κυριότερες μορφές πρώτης ύλης για μοριοσανίδες είναι :

- Στρόγγυλο ξύλο έμφλοιο ή άφλοιο σε διάφορες διαστάσεις,
- Εξακρίδια πίσεως
- Εξακρίδια ξυλοφύλλων, κόντρα πλακέ και μοριοσανίδων,
- Πλανίδια,
- Πριονόσκονη, και
- Διάφορα υπολείμματα δευτερογενούς κατεργασίας.

Στην Ελλάδα το μεγαλύτερο ποσοστό της πρώτης ύλης μοριοσανίδων αποτελείται από στρόγγυλο ξύλο και εξακρίδια σχετικά μεγάλων διαστάσεων. Η μορφή αυτή της πρώτης ύλης παρέχει μεγάλες δυνατότητες παραγωγής ξυλοτεμαχιδίων αρίστης ποιότητας.

Ο θρυμματισμός και επαναθρυμματισμός του ξύλου γίνεται σε ειδικά μηχανήματα.

Στη συνέχεια τα παραγόμενα ξυλοτεμαχίδια οδηγούνται σε ειδικά ξηραντήρια για ξήρανση. Η υγρασία πρέπει να κατεβεί στο 3 - 6 %. Υψηλή υγρασία είναι δυνατό να προκαλέσει ανεπιτυχή συγκόλληση με αποτέλεσμα την αποκόλληση των στρώσεων μετά την πίεση. Αντίθετα υπερβολική ξήρανση δημιουργεί κίνδυνο αναφλέξεως και θρυμματισμό των τεμαχίων. Σε κλασικά ξηραντήρια η θερμοκρασία του αέρα μέσα στο ξηραντήριο φθάνει τους 300 – 350<sup>ο</sup> C, ενώ σε τελευταίου τύπου ξηραντήρια η θερμοκρασία φθάνει τους 900<sup>ο</sup> C. Ο χρόνος ξηράνσεως περιορίζεται έτσι σε λίγα δευτερόλεπτα για το πολύ λεπτό υλικό και μέχρι 5 λεπτά για το πιο χονδρό υλικό.

Μετά την ξήρανση το υλικό αποθηκεύεται σε σιλώ, απ' όπου οδηγείται σε ειδική μηχανή αναμίξεως με κόλλα. Η κόλλα που κατά κανόνα χρησιμοποιείται για μοριοσανίδες επιπλοποιίας είναι η ουρία φορμαλδεΐδη υπό μορφή υδατικού διαλύματος περιεκτικότητας 60 - 65 % σε στέρεα. Στο διάλυμα προστίθεται καταλύτης, συνήθως χλωριούχο αμμώνιο και παραφίνη σε αναλογία 0,4 - 0,6 % του ξηρού βάρους. Μέσα στον κύλινδρο αναμίξεως και ενώ διέρχεται το υλικό, ψεκάζεται υπό μορφή πολύ μικρών σταγονιδίων το διάλυμα της κόλλας. Η αναλογία συγκολλητικής ουσίας ξύλου είναι 6 - 12 % (ξηρή κόλλα επί ξηρού ξύλου). Το υλικό της ακραίας στρώσεως χρειάζεται κόλλα 10 - 12 % για να πετύχουμε λεία επιφάνεια, ενώ το υλικό της μεσαίας στρώσεως 6 - 8 %.

Τα ξυλοτεμαχίδια εμποτισμένα με συγκολλητική ουσία μεταφέρονται στην αποθήκη ειδικού μηχανήματος που διαστρώνει το υλικό προ της εφαρμογής πιέσεως. Η διάστρωση γίνεται με ροή τεμαχιδίων ξύλου επάνω σε έλασμα ή ιμάντα. Σε όλους τους τύπους μοριοσανίδων επιδιώκεται η ομοιόμορφη διάστρωση με σκοπό την δημιουργία ισοπαχούς τάπητα ξυλοτεμαχιδίων.

Διακρίνονται δύο κατηγορίες μηχανών διαστρώσεως:

- α. αυτές που διαστρώνουν το υλικό με την βοήθεια περιστρεφόμενων οδοντωτών κυλίνδρων και ιμάντων και
- β. αυτές που διαστρώνουν το υλικό με την βοήθεια ρεύματος αέρα που κινείται με σταθερή ταχύτητα.

Μετά την διάστρωση του υλικού ακολουθεί εφαρμογή πιέσεως σε ειδικές αυτόματες πρέσες με ένα ή περισσότερα ανοίγματα. Κατά το πρεσάρισμα ασκείται πίεση 15 - 35 KG / τετρ. εκατ. για μοριοσανίδες πυκνότητας 0,4 - 0,8 γρ./κ.ε. και θερμοκρασία 100 - 170 ° C. Η διάρκεια συμπίεσης εξαρτάται από το πάχος της μοριοσανίδας και είναι περίπου 0,3 - 0,4 λεπτά ανά χιλιοστό πάχους τελικού προϊόντος.

Μετά την εφαρμογή πιέσεως, οι πλάκες πρέπει να παραμείνουν επί λίγες ημέρες στοιβαγμένες για να εξισορροπηθεί η θερμοκρασία και υγρασία τους, όπως και για να συμπληρωθεί η σκλήρυνση της συγκολλητικής ουσίας. Στη συνέχεια οι πλάκες παρυφώνονται και τεμαχίζονται στις τελικές τους διαστάσεις.

Μετά την παρύφωση ακολουθεί η λείανση των πλακών για να δημιουργηθούν λείες και επίπεδες επιφάνειες.

### 3.4.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΟΡΙΟΣΑΝΙΔΩΝ - ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

Οι μοριοσανίδες για να είναι εγγυημένης ποιότητας πρέπει οι ιδιότητες τους να ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένες προδιαγραφές ανάλογα με την τελική χρήση τους.

Οι προδιαγραφές που έχουν επικρατήσει σε διεθνές επίπεδο είναι οι Αμερικανικές (ASTM), οι Βρετανικές (B.S.) οι Γερμανικές (DIN). Ωστόσο και πολλές άλλες χώρες έχουν θεσπίσει προδιαγραφές όχι μόνο για τις μοριοσανίδες αλλά για όλα τα προϊόντα του ξύλου.

Η ύπαρξη όμως διαφορετικών προδιαγραφών από χώρα σε χώρα δημιουργεί προβλήματα στο διεθνές εμπόριο. Για το λόγο αυτό γίνονται προσπάθειες για καθιέρωση διεθνών προδιαγραφών. Υπάρχει λοιπόν ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (I.S.O.) που εργάζεται προς την κατεύθυνση αυτή, ενώ για την Ευρώπη υπάρχει η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) στην οποία συμμετέχουν με μέλη σε διάφορες επιτροπές εργασίας ειδικοί επιστήμονες από όλες τις Ευρωπαϊκές χώρες. Στόχος αυτής της αξιολογής προσπάθειας είναι να διακινούνται όλα τα προϊόντα γενικά από χώρα σε χώρα με κοινά αποδεκτές Ευρωπαϊκές προδιαγραφές. Αυτό θα ισχύσει σε λίγα χρόνια και θα δημιουργήσει στη χώρα μας σοβαρό πρόβλημα γιατί θα βρεθούμε στη δύσκολη θέση να παράγουμε τα προϊόντα μας σύμφωνα με αυστηρές προδιαγραφές, κάτι για το οποίο δεν είμαστε καθόλου έτοιμοι. Έτσι θα αποκλείονται τα προϊόντα μας από την ντόπια και ξένη αγορά γιατί δεν θα έχουν αναγνωρισμένο “Σήμα ποιότητας”.

Για τις μοριοσανίδες και τις ινοσανίδες, οι ιδιότητες οι οποίες καθορίζονται με λεπτομέρεια από τις διάφορες προδιαγραφές, είναι οι ακόλουθες :

- Πυκνότητα και περιεχόμενη υγρασία,
- Στατική κάμψη,
- Εφελκυσμός παράλληλα στις επιφάνειες και εγκάρσιος εφελκυσμός
- Εγκάρσιος εφελκυσμός επιφανειακού στρώματος μοριοπλάκας
- Αντοχή σε διάτμηση παράλληλα στις επιφάνειες
- Αντοχή σε διάτμηση στην επιφάνεια συγκολλήσεως.
- Θλίψη κάθετα στις επιφάνειες,
- Σκληρότητα,
- Αντίσταση σε πρόσκρουση σφαιρικού σώματος,

- Εξαγωγή καρφίου,
- Εξαγωγή ξυλόβιδας,
- Προσρόφηση νερού,
- Διόγκωση σε νερό,
- Μεταβολή των διαστάσεων και του βάρους με τις συνθήκες του περιβάλλοντος,
- Κύρτωση και στρέβλωση,
- Προσδιορισμός επιφανειακής υφής μοριοπλάκας,

Για τις παραπάνω ιδιότητες, σύμφωνα πάντα με τις προδιαγραφές καθορίζονται τα κατώτερα αποδεκτά όρια τιμών όπως και ο τρόπος με τον οποίο γίνονται τα τεστ δοκιμών.

Παρακάτω ακολουθούν αναλυτικά οι λεπτομέρειες διαστάσεων των δειγμάτων και του τρόπου πραγματοποίησης όλων των δοκιμών. Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τις ιδιότητες κοινών μοριοπλακών βιομηχανικής παραγωγής.

Όλες οι μηχανικές ιδιότητες των μοριοπλακών επηρεάζονται από την πυκνότητα και το ποσοστό της συγκολλητικής ουσίας. Αύξηση της πυκνότητας της μοριοπλάκας ή της συγκολλητικής ουσίας προκαλούν αύξηση όλων των μηχανικών ιδιοτήτων.

<b>Πίνακας 3. Ιδιότητες κοινών μοριοπλακών βιομηχανικής παραγωγής</b>					
	<b>Ιδιότητα Πάχος (χιλ)</b>				
	<b>μέχρι 13</b>	<b>13 - 20</b>	<b>20 - 25</b>	<b>25 - 32</b>	<b>32 - 40</b>
Πυκνότητα (γρ/κ.ε.)	8,75 - 0,68	0,62 - 0,72	0,70 - 0,60	0,68 - 0,58	0,65 - 0,55
Αντοχή σε κάμψη (N/MM <sup>2</sup> ) ορ. θρ.	25 - 18	22 - 16	20 - 15	18 - 13	15 - 12
Αντοχή σε κάμψη (N/MM <sup>2</sup> ) ορ. ελ.	4500 - 3200	4000 - 2800	3500 - 2500	3000 - 2000	2500 - 1600
Αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό (N/MM <sup>2</sup> )	1,00 - 0,5	0,8 - 0,4	0,7 - 0,35	0,6 - 0,3	0,5 - 0,25
Αντοχή σε εγκάρσιο Εφελκυσμό επιφανειακών στρώσεων (N/MM <sup>2</sup> )	1,6 - 0,8	1,6 - 0,8	1,6 - 0,8	1,6 - 0,8	1,6 - 0,8
Αντοχή σε εφελκυσμό παράλληλα με το Επίπεδο πλάκας (N/MM <sup>2</sup> )	10 - 8	10 - 8	9 - 7	9 - 7	8 - 6
Αντοχή σε εξαγωγή βίδας - παράλληλα - κάθετα (N/MM <sup>2</sup> )	30 - 75	30 - 75	30 - 75	30 - 75	30 - 75
	55 - 80	55 - 80	55 - 80	55 - 80	55 - 80
Αντοχή σε εξαγωγή καρφιού - παράλληλα	0,8 - 2,6	0,8 - 2,6	0,8 - 2,6	0,8 - 2,6	0,8 - 2,6
	1,2 - 3,4	1,2 - 3,4	1,2 - 3,4	1,2 - 3,4	1,2 - 3,4
Κατά πάχος διόγκωση σε νερό (%) 2 ώρες Εμβάπτιση	8 - 6	7 - 5	6 - 4	6 - 4	5 - 3
24 ώρες εμβάπτιση	16 - 12	15 - 11	14 - 10	13 - 9	12 - 8



Κατά μήκος (πλάτος) Διόγκωση μετά την προσρόφηση υγρασίας (20° C/30% 20° C/90%) (%)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Συντελεστής θερμοαγωγιμότητας (W/MK)	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13
Περιεχόμενη υγρασία	5 – 9	6 – 10	6 - 10	7 - 11	8 - 12

Η ποιότητα των μοριοσανίδων επηρεάζεται σημαντικά και από το ποσοστό της ελεύθερης φορμαλδεΐδης που εκλύεται από αυτές. Η φορμαλδεΐδη όταν βρίσκεται στην ατμόσφαιρα σε μεγάλη συγκέντρωση είναι επικίνδυνη για την υγεία του ανθρώπου. Προέρχεται από την κόλλα ουρία φορμαλδεΐδη που κυρίως χρησιμοποιείται στις μοριοπλάκες εσωτερικών κατασκευών (έπιπλα). Δημιουργεί τσούξιμο στα μάτια και ερεθίζει την βλεννογόνο της μύτης και του αναπνευστικού συστήματος. Για τον λόγο αυτό καθορίζονται ανώτερα επιτρεπτά όρια συγκέντρωσης ελεύθερης φορμαλδεΐδης.

Ο κατασκευαστής που χρησιμοποιεί μοριοσανίδα για να περιορίσει την έκλυση φορμαλδεΐδης πρέπει να λαμβάνει τα ακόλουθα μέτρα:

- Τα υλικά επιπλοποιίας που χρησιμοποιεί (κόλλες, βερνίκια, συγκολλημένα προϊόντα ξύλου) πρέπει να περιέχουν όσο το δυνατό μικρότερα ποσοστά φορμαλδεΐδης.
- Όλες οι επιφάνειες των μοριοπλακών, όπως σόκορα, οπές, πατούρες κ.λ.π. ορατές ή μη, πρέπει να επικαλύπτονται με ξυλόφυλλα, πλαστικά φύλλα ή βερνίκια.
- Μοριοσανίδες που παράγονται με κόλλα φαινόλη - φορμαλδεΐδη ή μελαμίνη - φορμαλδεΐδη εκπέμπουν μικρότερα ποσοστά φορμαλδεΐδης. Ωστόσο οι κόλλες αυτές είναι πολύ ακριβότερες και χρησιμοποιούνται μόνο για εξωτερικές κατασκευές, γιατί αντέχουν σε υγρασία.

### 3.4.3 ΜΟΡΙΟΣΑΝΙΔΕΣ ΤΥΠΟΥ O.S.B.

#### 3.4.3.1 Ταυτότητα του προϊόντος

Το προϊόν O.S.B. είναι ξυλοπλάκα που παράγεται από ξυλοτεμαχίδια μεγάλου μήκους (strands), εμποτισμένα με ρητίνη εξωτερικής χρήσεως και διαστρωμένα σε προσανατολισμένη διάταξη, σε 3 έως 5 στρώσεις, έτσι ώστε τα ξυλοτεμαχίδια κάθε στρώσης να κατευθύνονται κάθετα προς αυτά της επόμενης στρώσης. Ανάλογη αρχή όπως είναι γνωστό εφαρμόζεται στα αντικολλητά. Τα ξυλοτεμαχίδια του O.S.B. έχουν μήκος 7,5mm ή μεγαλύτερο και πλάτος 16mm.

Η έλλειψη πρώτης ύλης,, που ανάγκασε πολλές μονάδες αντικολλητών να κλείσουν στις δυτικές Πολιτείες των ΗΠΑ, κατέστησε το O.S.B. το κύριο προϊόν για επένδυση και επικάλυψη επιφανειών.

Το O.S.B. είναι η εξέλιξη του WAFERBOARD σε ότι αφορά τον προσανατολισμό και την γεωμετρία των ξυλοτεμαχιδίων. Το waferboard εφευρέθηκε το 1949 από τον Dr J. Clark και η παραγωγή του άρχισε το 1962.

Το OSB εμφανίσθηκε στην αγορά το 1980 ως προϊόν ξυλοπλάκας με μεγάλη μηχανική αντοχή για κατασκευές. Οι πολλές στρώσεις ξυλοτεμαχιδίων με κάθετη διάταξη μεταξύ τους και η ευθυγράμμιση των ξυλοτεμαχιδίων των επιφανειακών στρώσεων στο μήκος της ξυλοπλάκας, αυξάνουν τη μηχανική αντοχή και την ελαστικότητα της ξυλοπλάκας.

#### **3.4.3.2 Τεχνολογία παραγωγής**

Ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται κυρίως ξύλο πεύκης σε μορφή κορμών-κορμιδίων και όχι υπολείμματα πριστηρίων και άλλης κατεργασίας, όπως γίνεται με τις μοριοσανίδες. και το MDF. Προτιμώνται κορμοί όσο γίνεται περισσότερο ευθυτενείς και με διάμετρο περίπου 35cm.

Τα κορμίδια αποφλοιώνονται, τεμαχίζονται σε μικρότερα μήκη και μετατρέπονται σε ξυλοτεμαχίδια μήκους 75mm, πλάτους 16mm. Τα ξυλοτεμαχίδια ξηραίνονται, εμποτίζονται με κόλλα και το υλικό διαστρώνεται μηχανικά σε 3 έως 5 στρώσεις, με κατευθυνόμενη διάταξη και κατά τρόπο ώστε τα ξυλοτεμαχίδια κάθε στρώσης να προσανατολίζονται κάθετα προς τα ξυλοτεμαχίδια της επόμενης στρώσης. Το διαστρωμένο υλικό επιθυμητού πάχους συμπιέζεται σε πολυόροφη θερμή πρέσα.

Οι τελικές διαστάσεις για τις ΗΠΑ είναι 1,2x2,4m. Για τον έλεγχο ποιότητας και για την ακρίβεια όλων των παραμέτρων παραγωγής, εφαρμόζεται σύστημα ελέγχου ποιότητας. Η συνήθης κόλλα είναι η φαινόλη φορμαλδεΐδη σε σκόνη σε μίξη με slack wax. Απο το 1984 χρησιμοποιούνται και ρητίνες ισοκυανίου.

#### **3.4.3.3 Γεωγραφική εξάπλωση - Εφαρμογές - τάσεις**

Το προϊόν OSB παράγεται διαβαθμισμένο για διάφορες χρήσεις, σύμφωνα με τις οποίες είναι και η ειδική κατεργασία που υφίσταται όπως: δημιουργία εσοχών - προεξοχών στα περιθώρια, η δημιουργία πατούρας για επικάλυψη, η δημιουργία επιθυμητού προφίλ, ο εμποτισμός των άκρων με

ειδικά συντηρητικά και η κατεργασία της επιφάνειας. Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές των μοριοσανίδων τύπου OSB είναι οι ακόλουθες:

Πλάκες ξυλοτύπων για μπετό.

Σανίδωμα στεγών και πάνελς επικάλυψης εσωτερικών και εξωτερικών τοίχων προκατασκευασμένων κατοικιών και άλλων κτιρίων.

Νεύρωση σε δοκούς τύπου I.

Βιομηχανική συσκευασία και κουτιά εμπορευμάτων.

Παλέτες

Διάφορες ξυλουργικές εργασίες και έπιπλα.

Το O.S.B. είναι προϊόν κυρίως της Β. Αμερικής, όπου βρίσκεται εκτεταμένη εφαρμογή σε προκατασκευές σπιτιών. Στις ΗΠΑ λειτουργούν 39 εργοστάσια OS.B και στον Καναδά 21 Εργοστάσια OSB επί συνόλου 70 μονάδων σε όλο τον κόσμο, δηλ. το 85% περίπου της δραστηριότητας σε παγκόσμιο επίπεδο, συγκεντρώνεται στη Β. Αμερική (ΗΠΑ και Καναδάς). Από το σύνολο των 60 μονάδων της Β. Αμερικής, 22 μονάδες ιδρύθηκαν την πενταετία 85-89, 12 μονάδες την επόμενη 5ετία 1990-94, και 7 μονάδες το 1996.

Οι ρυθμοί αύξησης της δραστηριότητας είναι εντυπωσιακοί και τίποτα δεν περιορίζει τη συνέχιση της αύξησης της παραγωγής του προϊόντος αυτού. Το 1993 το OSB αντιπροσώπευε το 27% της παραγωγής των ξυλοπλακών για κατασκευές στις ΗΠΑ. Το ποσοστό αυτό πλησιάζει το 1997 το 40%. Το αντίστοιχο ποσοστό για τον Καναδά είναι το 1997 50%.

Η πρώτη μονάδα OSB στην Ευρώπη ιδρύθηκε το 1985 στη Σκωτία. Έκτοτε, ιδρύθηκαν 4 νέες μονάδες μέχρι το 1995, στη Γαλλία το 1986, στη Ρωσία το 1986, στη Βρετανία το 1994, στην Ιρλανδία το 1995, Η Ευρώπη αντιπροσωπεύει το 5,6% της παγκόσμιας δραστηριότητας. Το υπόλοιπο 9,5% της δραστηριότητας είναι σκορπισμένο σε διάφορες χώρες ανά τον κόσμο, όπως φαίνεται στην βιβλιογραφία (1 μονάδα στην Ιαπωνία, 2 μονάδες στην Κίνα, 1 μονάδα στην Βενεζουέλα, 1 μονάδα στη Ν. Ζηλανδία).

Η κατανάλωση του OSB στην Ευρώπη είναι περιορισμένη ως ποσοστό επί του συνόλου της κατανάλωσης ξυλοπλακών. Το ποσοστό όμως αυτό αυξάνεται συνεχώς και αφορά υποκατάσταση κυρίως των αντικολλητών.

Στην Ελλάδα το OSB δεν παράγεται και μόλις το 1996 εμφανίσθηκε στην αγορά και άρχισε δειλά-δειλά να χρησιμοποιείται. Ο λόγος της περιορισμένης ζήτησης είναι καθαρά η άγνοια του προϊόντος από όλους όσοι ασχολούνται με τις κατασκευές (εργολάβοι, μηχανικοί, ξυλουργοί, κατασκευαστές επίπλων), όπως διαπιστώσαμε από πρόσφατη έρευνα της αγοράς που έγινε από το

Εργαστήριο Τεχνολογίας ξύλου του Τμήματος Δασοπονίας του ΤΕΙ Λάρισας, για όλες τις ξυλοπλάκες.

#### **3.4.3.4 Πλεονεκτήματα**

Η τεχνολογία της παράλληλης στρωμάτωσης των ξυλοτεμαχιδίων προσδίδει στο προϊόν O.S.B. τα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε σχέση με την κοινή μοριοσανίδα:

- Η μοριοσανίδα O.S.B. παρουσιάζει αυξημένη μηχανική αντοχή σε κάμψη και ελαστικότητα.
- Παρουσιάζει διαστασιακή σταθερότητα, περιορισμένη διόγκωση και ανθεκτικότητα στην υγρασία. Είναι φανερό ότι η O.S.B. έχει μηχανική αντοχή και ελαστικότητα που φθάνει μέχρι και 2,5 φορές την αντοχή των κοινών μοριοσανίδων, με τα ίδια λοιπά δεδομένα παραγωγής. Ωστόσο η παράλληλη στρωμάτωση των ξυλοτεμαχιδίων δημιουργεί επίπεδα “επίπεδα αδυναμίας”, ειδικά σε ότι αφορά την αντοχή σε σχίσση παράλληλα προς την κατεύθυνση ευθυγράμμισης. Οι πολύστρωμες μοριοσανίδες - τρίστρωμες και πεντάστρωμες αποδυναμώνουν το μειονέκτημα αυτό και αποτελούν αποδεδειγμένα ένα προϊόν προηγμένης τεχνολογίας με σοβαρά πλεονεκτήματα και πολλές κατασκευαστικές δυνατότητες.

Σαν συγκολλητική ουσία χρησιμοποιείται κόλλα εξωτερικής χρήσεως, φαινόλη φορμαλδεΰδη ρεσορσινόλη - φορμαλδεΰδη ή μίξη των δύο.

#### **3.4.3.5 Εφαρμογές**

Η μοριοσανίδα τύπου O.S.B. εμφανίσθηκε στην αγορά της Αμερικής το 1980, και στη συνέχεια εμφανίσθηκε και στην Ευρωπαϊκή αγορά. Την περίοδο αυτή υπάρχει αυξημένη ζήτηση του κόντρα πλακέ στη παγκόσμια αγορά. Το κόντρα πλακέ είναι ως γνωστό ένα προϊόν υψηλών προδιαγραφών, για την παραγωγή του οποίου απαιτούνται κορμοί μεγάλων διαστάσεων και καλής ποιότητας. Τα δεδομένα αυτά οδήγησαν τους επιστήμονες και τις βιομηχανίες στην παραγωγή του O.S.B., το οποίο έχει κατασκευαστικές δυνατότητες ανάλογες με το κόντρα πλακέ από κωνοφόρα.

Το προϊόν O.S.B. παράγεται διαβαθμισμένο για διάφορες χρήσεις

ανάλογα με τις οποίες είναι και η ειδική κατεργασία που υφίσταται όπως : δημιουργία εσοχών προεξοχών στα σόκορα, η δημιουργία πατούρας για επικάλυψη ή επιθυμητού προφίλ, ο εμποτισμός των σόκορων και κατεργασία της επιφάνειας με ειδικά συντηρητικά

Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές των μοριοσανίδων τύπου OSB είναι οι ακόλουθες :

- Πλάκες ξυλοτύπων για μπετό.
- Σανίδωμα στεγών και πάνελ επικάλυψης εσωτερικών και εξωτερικών τοίχων κατοικιών και άλλων κτιρίων.
- Πατώματα και ταβάνια.
- Βιομηχανική συσκευασία και κουτιά εμπορευμάτων.
- Παλέτες.
- Γεωργικές κατασκευές ( αποθήκες σιλώ κ.α.).

### **3.5 ΙΝΟΣΑΝΙΔΕΣ[9]**

Οι ινοσανίδες (ή ινοπλάκες) αποτελούνται από ίνες ξύλου που παράχθηκαν με την πολτοποίησή του. Το υλικό των ινών, ξηραμένο ή όχι ανάλογα με την μέθοδο παραγωγής διαστρώνεται σε μεγάλες επιφάνειες και ανάλογα με τον τύπο του προϊόντος, εφαρμόζεται ή όχι συμπίεση σε πρέσα. Προστίθενται επίσης και διάφορες χημικές ουσίες για την βελτίωση των ιδιοτήτων.

Η παραγωγή των ινοπλακών άρχισε στο τέλος του προηγούμενου και τις αρχές του τρέχοντος αιώνα.

Ανάλογα με την μέθοδο παραγωγής διακρίνουμε δύο τύπους ινοπλακών

- Τις παραγόμενες χωρίς εφαρμογή πίεσεως (Μονωτικές ινοπλάκες)
- Τις παραγόμενες με εφαρμογή πίεσεως (Πιεσμένες ινοπλάκες ).

Ανάλογα με την πυκνότητά τους οι ινοπλάκες διακρίνονται :

**A. Οι μονωτικές** σε: α. Ημισυνεκτικές με πυκνότητα 0,02 -

0,15\_γρ/κ.ε.

β. Συνεκτικές, με πυκνότητα 0,15 - 0,4 γρ/κ.ε.

- B. Οι πιεσμένες** σε: α. Μέσης πυκνότητας, με πυκνότητα 0,4 - 0,8 γρ./κ. ε.  
β. Σκληρές, με πυκνότητα 0,8 - 1,2 γρ./κ.ε.  
γ. Μεγάλης πυκνότητας, με πυκνότητα 1,2 - 1,4 γρ./κ.ε.

Από τις μονωτικές ινοπλάκες μεγαλύτερη εφαρμογή έχουν οι συνεκτικές και χρησιμοποιούνται σαν μονωτικό υλικό, μετά δε από επικάλυψη με ανθυγροσκοπικές ουσίες, σε εξωτερικές επενδύσεις. από τις πιεσμένες ινοπλάκες την μεγαλύτερη εφαρμογή έχουν οι σκληρές και σε μεγάλη κλίμακα τα τελευταία χρόνια οι ινοπλάκες μέσης πυκνότητας, γνωστές σαν M.D.F. (MEDIUM DENSITY FIBERBOARD). Το M.D.F. εμφανίσθηκε στη Β. Αμερική το 1966 και στην Ευρώπη το 1973.

### 3.5.1 ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

Για το ξύλο σαν πρώτη ύλη ισχύει ότι αναφέραμε στις μοριοσανίδες, με την· διαφορά ότι είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και ξύλα μεγάλου ειδικού βάρους (δρυς, σημύδα κ.λ.π.).

Ινοπλάκες από μακρές και λεπτού πάχους ίνες έχουν τις καλύτερες ιδιότητες. Ο φλοιός μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι ποσοστό 15 - 20 % για σκληρές ινοπλάκες, είναι όμως σοβαρό μειονέκτημα για την παραγωγή μονωτικών πλακών, κυρίως λόγω των εκχυλισμάτων που περιέχει.

Η συνεχής έλλειψη του ξύλου σε παγκόσμιο επίπεδο, οδηγεί στην αξιοποίηση κάθε είδους υπολειμμάτων κατεργασίας ξύλου, όπως και στελέχη από διάφορα γεωργικά φυτά π.χ. άχυρο δημητριακών, λινάρι, κάνναβη, ζαχαροκάλαμο κ.α. Η παρουσία διάφορων κατηγοριών υπολειμμάτων και άλλων φυτικών ινών χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ινοσανίδων.

Το πριονίδι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέχρι ποσοστό 20 % για παραγωγή ινοπλακών.

Ανάλογα με την μέθοδο παραγωγής, είναι δυνατό να απαιτείται νερό σε ποσοστό 10 - 15 τόνους για κάθε τόνο ινοπλακών.

Άλλες πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνταν στους διάφορους τύπους των ινοπλακών είναι οι ακόλουθες :

α. Όταν η στρωμάτωση των ινών γίνεται με την ξηρή μέθοδο, οι ίνες αναμιγνύονται με κόλλα ουρία φορμαλδεΰδη ή άλλη συνθετική ρητίνη, σε

ποσοστό 8 – 12 %.

β. Παραφίνη, άσφαλτος, κηρός, για μείωση της υγροσκοπικότητας του προϊόντος, όταν οι ινοπλάκες πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε χώρους με μεγάλη υγρασία, όπως έπιπλα κουζίνας, μπάνιου κ.α.

γ. Διάφορα εμποτιστικά μυκητοκτόνα εντομοκτόνα καθώς και ουσίες για  
αντιπυρική προστασία.



### 3.5.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΙΝΟΠΛΑΚΩΝ

Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι παραγωγής ινοπλακών ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται για την διάστρωση των ινών :

α. Η μέθοδος της υγρής στρωμάτωσης με την οποία παράγονται οι ινοπλάκες μέσης πυκνότητας (M.D.F. ) και

β. Η μέθοδος της υγρής στρωμάτωσης με την οποία παράγονται οι μονωτικές ινοπλάκες (μικρής πυκνότητας) και οι σκληρές ινοπλάκες (μεγάλης πυκνότητας ).

#### **α. Μέθοδος ξηρής στρωμάτωσης**

Με την μέθοδο αυτή οι ινοπλάκες μέσης πυκνότητας (MEDIUM DENSITY FIBERBOARD ή M.D.F.) από ξηρές ίνες ξύλου χαμηλής ποιότητας, οι οποίες εμποτίζονται με κόλλα, διαστρώνονται και υφίστανται θερμή συμπίεση σε πρέσα.

Οι φάσεις παραγωγής φαίνονται στο διάγραμμα 1 και περιγράφονται με συντομία στη συνέχεια:

##### **- Θρυμματισμός και αποϊνώση του ξύλου**

Η πρώτη ύλη θρυμματίζεται σε ειδικούς σπαστήρες V CHIPPERS με την βοήθεια μαχαιριών προσαρμοσμένων σε περιστρεφόμενο τύμπανο μετατρέπεται σε τεμαχίδια ξύλου μέσου μεγέθους 2 εκ. Τα ξυλοτεμαχίδια αφού πλυθούν ατμίζονται υπό πίεση 60 – 80 PSI και θερμοκρασία 160 – 180° C για να μαλακώσουν. Κατόπιν οδηγούνται στον αποϊνωτή “REFINER” όπου με μηχανική τριβή μεταξύ δύο αντίθετα περιστρεφόμενων δίσκων με ανώμαλη επιφάνεια, μετατρέπονται σε ίνες.

- **Ανάμιξη με κόλλα και ξήρανση** Στη συνέχεια οι υγρές ίνες ξύλου ή αναμιγνύονται με κόλλα σε ειδικό αναμικτήρα και ξηραίνονται σε ξηραντήριο στην τελική υγρασία 5 % ή ξηραίνονται πρώτα και μετά αναμιγνύονται με κόλλα. Η πρώτη μέθοδος είναι καλύτερη διότι έτσι οι εμποτισμένες ίνες δεν δημιουργούν συσσωματώματα όπως γίνεται με την δεύτερη μέθοδο. Η κόλλα που χρησιμοποιείται είναι η συνθετική ρητίνη ουρία - φορμαλδεΐδη (γνωστή σαν καουρίτης ), ενώ όταν απαιτείται υψηλή, αντοχή σε

υγρασία χρησιμοποιείται μελαμίνη - ουρία φορμαλδεΐδη, η φαινόλη - φορμαλδεΐδη, ή η ρεσορσινόλη – φορμαλδεΐδη. Το ποσοστό κόλλας κυμαίνεται από 8 έως 12 % (στέρεα κόλλα επί τοις εκατό ξηρού ξύλου).

- Στρωμάτωση και συμπίεση Οι εμποτισμένες και ξηραμένες ίνες ξύλου διαστρώνονται ενώ σε κινητό δικτυωτό πλέγμα, στο κάτω μέρος του οποίου εφαρμόζεται κενό αέρα. Η διαστρωμένη πλάκα υφίσταται μια πρώτη προσυμπίεση σε προπρέσσα και στη συνέχεια γίνεται η κυρίως συμπίεση σε μονόροφες ή πολυρόφες πρέσες, σε θερμοκρασία 180<sup>0</sup> C. Ακολουθεί ψύξη των πλακών σε ειδικό “αστερία κλιματισμού” και στη συνέχεια μια πρώτη λείανση με χονδρό γυαλόχαρτο, τετραγωνισμός των πλακών, αποθήκευση για μερικές ημέρες και τελική λείανση με λεπτόκοκκο γυαλόχαρτο.

## **β. Μέθοδος υγρής στρωμάτωσης**

Με την μέθοδο αυτή παράγονται οι μονωτικές και οι σκληρές ινοπλάκες.

Η πολτοποίηση μπορεί να είναι είτε μηχανική με προετοιμασία άτμισης όπως και στο M.D.F. είτε με εκτόνωση κατά την οποία το ξύλο υπό μορφή ξυλοτεμαχιδίων εισάγεται σε ειδικό κύλινδρο και ατμίζεται υπό πίεση. Μετά την ανύψωση της πίεσεως, αφαιρείται απότομα η πίεση με αποτέλεσμα να προκαλείται εκτόνωση, η οποία αποϊώνει το ξύλο.

Η στρωμάτωση των ινών γίνεται με την υγρή μέθοδο. Κατά την υγρή στρωμάτωση οι ίνες βρίσκονται σε υδατικό διάλυμα 1 - 2 %. Συνήθως χρησιμοποιείται εγκατάσταση όμοια με αυτή που χρησιμοποιείται για την παραγωγή χαρτιού (μηχανή FOURDRINIER). Ο πολτός στρωματώνεται σε κινούμενο ατέρμονα δικτυωτό. Το νερό αφαιρείται με εφαρμογή κενού κάτω από το δικτυωτό και ακολούθως με εφαρμογή πίεσεως μεταξύ κυλίνδρων.

Μετά την υγρή στρωμάτωση των μονωτικών ινοπλακών, ακολουθεί ξήρανση στο 10 % σε ειδικά ξηραντήρια. Στη συνέχεια γίνεται η παρύφωση και συμπληρωματικές βελτιωτικές κατεργασίες, όπως επικάλυψη, διάτρηση, εμποτισμός. Με το στάδιο αυτό τελειώνει και η παραγωγή μονωτικών ινοπλακών.

Για τις πιεσμένες σκληρές ινοπλάκες, δεν μεσολαβεί στάδιο ξηράνσεως προ της εφαρμογής πίεσεως. Έτσι μετά την στρωμάτωση εφαρμόζεται προπίεση για μείωση του πάχους και ακολουθεί η εφαρμογή πίεσης.

Στην υγρή πίεση υπάρχει δικτυωτό για την διαφυγή του νερού ή του ατμού, ενώ η πίεση διαρκεί περίπου 8 λεπτά και φθάνει τα 50 KG/t.ε. η δε

θερμοκρασία 180 – 210° C.

Μετά την εφαρμογή πιέσεως, οι σκληρές ινοπλάκες εκτίθενται σε θερμοκρασία 150 - 170 ° C για να βελτιωθούν οι μηχανικές ιδιότητες των ινοπλακών. Επίσης ενδείκνυται και εμφύσηση ή ψεκασμός των πλακών με έλαια (λινέλαιο σογιέλαιο) για τον περιορισμό της υγροσκοπικότητας. Ο χειρισμός με έλαια όταν χρησιμοποιείται, προηγείται της εκθέσεως σε υψηλές θερμοκρασίες.

Στη συνέχεια οι σκληρές ινοπλάκες παραμένουν σε θαλάμους κλιματισμού και ακολουθεί η παρύφωση.

### **3.5.3 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΙΝΟΠΛΑΚΩΝ ΜΕΣΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ**

Η ταχεία εξάπλωση του M.D.F. σε όλο τον κόσμο, οδήγησε τις διάφορες χώρες στην καθιέρωση προδιαγραφών, στις οποίες καθορίζονται οι αποδεκτές απαιτήσεις για τις ιδιότητες των ινοσανίδων μέσης πυκνότητας.

Οι τιμές που καθορίζονται από τις προδιαγραφές είναι οι ελάχιστες που μπορεί να ισχύσουν. Είναι εμφανής η συγγένεια του M.D.F. προς την μοριοσανίδα με την οποία υπάρχει ισχυρός ανταγωνισμός στην παγκόσμια αγορά.

Μεγάλη σημασία έχει η διακύμανση της πυκνότητας του M.D.F. από τις εξωτερικές επιφάνειες της πλάκας προς το κέντρο. Η διακύμανση αυτή έχει σημαντικά μικρότερο εύρος στο M.D.F. από ότι στη μοριοσανίδα ίδιου πάχους. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την καλύτερη συμπεριφορά του M.D.F. στη διαμόρφωση των σόκορων “ προφίλ “ (των περιθωρίων).

Σε ότι αφορά την περιεκτικότητα των ινοσανίδων μέσης πυκνότητας σε φορμαλδεΰδη, σύμφωνα με την προδιαγραφή E.N. 120 της CEN (Ευρωπαϊκής Επιτροπής Τυποποίησης ), είναι για τις ινοσανίδες κλάσης A' και για όλα τα πάχη 10 MG / 100 GR (10 χιλιοστά του γραμμ. φορμαλδεΰδης ανά 100 γραμμ. ξηρής ινοσανίδας), για την κλάση B' και για όλα τα πάχη, πάχη 20 MG / 100 GR.

Μόνο οι ινοσανίδες κλάσης A' μπορεί να χρησιμοποιηθούν γυμνές, χωρίς επένδυση ή βαφή σε κατοικήσιμο χώρο.

Όπως είναι γνωστό η φορμαλδεΰδη είναι συστατικό των συνθετικών ρητινών και εκλύεται από τις ξυλοπλάκες κατά την διάρκεια της παραγωγής, της αποθήκευσης της κατεργασίας και της χρήσης των επίπλων και κατασκευών σε κλειστούς χώρους. Όταν η συγκέντρωση φορμαλδεΰδης στον αέρα είναι πάνω από τα καθορισμένα όρια, τότε μολύνεται ο αέρας, ερεθίζονται τα μάτια, το δέρμα, οι

πνεύμονες και επηρεάζεται ο μεταβολισμός του ανθρώπου. Η ανίχνευση της οσμής και ο ερεθισμός των ματιών αρχίζει σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις 0,4 - 0,8 PPM. Σε συγκεντρώσεις 1 – 3 PPM, ο ερεθισμός των ματιών της μύτης και του λάρυγγα αρχίζει να γίνεται οξύς και προκαλεί τσούξιμο, κάψιμο και τσούξιμο του λάρυγγα. Σε συγκεντρώσεις 4 - 5 PPM ο ερεθισμός γίνεται πολύ έντονος και τα μάτια δακρύζουν. Αυτή η συγκέντρωση είναι ανεκτή μόνο για 10 - 30 λεπτά. Ολιγόλεπτη έκθεση του ατόμου σε συγκεντρώσεις 5 - 10 PPM είναι δυνατό να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα στους βρόγχους ενώ σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις υπάρχει κίνδυνος χημικής πνευμονίας και θανάτου.

Η έκλυση της φορμαλδεΐδης γίνεται από την κόλλα ουρία - φορμαλδεΐδη και τις άλλες συνθετικές ρητίνες σε πολύ μικρότερο ποσοστό, όταν η μοριακή αναλογία φορμαλδεΐδης / ουρία είναι μεγάλη (μεγαλύτερη του 1,1), το περιβάλλον είναι θερμό και υγρό.

### **3.5.3.1 Πλεονεκτήματα του M.D.F.**

Το M.D.F. παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα, τα οποία δικαιολογούν την αλματώδη αύξηση των εφαρμογών του :

- Για την παραγωγή του χρησιμοποιείται ξύλο μικρής αξίας και υπολείμματα άλλων χρήσεων.
- Το εργατικό κόστος παραγωγής είναι μικρό.
- Είναι ένα προϊόν ξύλου ομοιογενές και ισότροπο χωρίς σφάλματα. Οι εγκάρσιες τομές του είναι συνεκτικές και λείες. Οι πλάκες M.D.F. κατεργάζονται εύκολα με φρέζα, τόρνο, σβούρα παντογράφο, και γυαλόχαρτο. Είναι εύκολη η δημιουργία διαφόρων προφίλ στις εγκάρσιες τομές (στα σόκορα) και η κατευθείαν βαφή τους χωρίς να είναι απαραίτητη η επένδυση, όπως συμβαίνει με τις μοριοπλάκες. Στις επίπεδες επιφάνειες μπορούμε να δημιουργήσουμε ανάγλυφες παραστάσεις και σχεδιάσεις με σκάλισμα.
- Η επένδυση του γυμνού M.D.F. με διακοσμητικά φύλλα καπλαμά, μελαμίνης, PVC κ.α. είναι ευκολότερη σε σχέση με άλλες ξυλοπλάκες

(μοριοσανίδες, κόντρα πλακέ).

- Το M.D.F. ξεχωρίζει από τις ινοπλάκες υγρής μεθόδου γιατί παρουσιάζει εσωτερική και επιφανειακή συνοχή, η οποία οφείλεται στη συγκόλληση με συνθετικές ρητίνες.

- Το M.D.F. υπερτερεί ή είναι ισοδύναμο σε σχέση προς τις μοριοσανίδες σε ότι αφορά την αντοχή σε κάμψη, σε εφελκυσμό, και την αντοχή σε εξαγωγή βίδας.

Τα πλεονεκτήματα αυτά καθιστούν το M.D.F. ένα ευκατέργαστο υλικό, με τεράστιες κατασκευαστικές δυνατότητες με αισθητική και αρχιτεκτονική αξία και με μειωμένο κόστος κατεργασίας σε σχέση προς άλλες ξυλοπλάκες.

### **3.5.3.2 Εφαρμογές M.D.F. - νέοι τύποι M.D.F.**

Τα βασικά πλεονεκτήματα του M.D.F. καθιστούν το προϊόν αυτό κατάλληλο για έπιπλα και κατασκευές, όπου μέχρι πρότινος χρησιμοποιούνταν το ξύλο, η μοριοσανίδα, τα αντικολλητά. Το M.D.F. ανταγωνίζεται στην αγορά τα προϊόντα αυτά με συνεχώς αυξανόμενη τάση. Αν και η τιμή του είναι μέχρι και διπλάσια της μοριοσανίδας, η εύκολη κατεργασία, το πετυχημένο φινίρισμα και το μικρότερο κόστος κατεργασίας, είναι δεδομένα που σε πολλές περιπτώσεις καθιστούν το M.D.F. κυρίαρχο υλικό.

### **ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ**

1) Χημεία επιφανειών, θερμική σταθερότητα και ρεολογικές συμπεριφορές σε *Mansonia* (*Mansonia altissima*), μαόνι *Sapele* (*Entandrophragma cylindricum*), μαόνι (*Khaya ivorensis*), *Utile* (*Entandrophragma utile*), *Osan* (*Aningeria altissima*), *Obeche* (*Triplochiton scleroxylon*) και *Danta* (*Nesogordonia paraverifera*) προσδιορίστηκαν. Τα χημικά συστατικά της επιφάνειας του ξύλου διερευνήθηκαν χρησιμοποιώντας μετασχηματισμού Fourier υπέρυθρη φασματοσκοπία. Το υπέρυθρο φάσματα που ελήφθησαν διέφεραν μεταξύ των ειδών. Η αναλογία λιγνίνης εκτιμήθηκε για μερικά από τα είδη ξύλου. Η ανάλυση έδειξε ότι η θερμική σταθερότητα και ο ρυθμός με τον οποίο κάθε πολυμερές ξύλου αποικοδομείται εξαρτάται από το είδος του ξύλου. Οι

Ιξωδοελαστικές ιδιότητες των εν λόγω ειδών ξύλου δοκιμάστηκαν υπό συνθήκες, χρησιμοποιώντας δυναμική μηχανική ανάλυση. [10]

2) Θερμική κατεργασία είναι μια ελκυστική εναλλακτική λύση για τη βελτίωση της αντοχής διάσπασης των χαμηλών φυσικών ειδών ξύλου. Η αντίσταση Decay συσχετίζεται στενά με θερμική υποβάθμιση των κυτταρικών τοιχωμάτων ξύλου. Ορισμένες πρόσφατες μελέτες πρότειναν τη χρήση του είδους ξύλου ως ένα πολύτιμο δείκτη να προβλέψει τελικές ιδιότητες του υλικού. Τα αποτελέσματα αυτά, αρχικά λαμβάνονταν μόνο με πεύκα, έχει επεκταθεί, όμως και σε διαφορετικά είδη κωνοφόρων και σκληρών ξύλων. Για να ελέγξετε εγκυρότητα της μεθόδου χρησιμοποιείται εξοπλισμό που είναι ειδικά σχεδιασμένος για να μετράει απώλειες μάζας κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας. Θερμική επεξεργασία πραγματοποιήθηκε σε δύο είδη μαλακού ξύλου (πεύκο και ελάτη) και τρία είδη σκληρού ξύλου (λεύκας, οξιά και τέφρα) στους 230 ° C υπό άζωτο για διαφορετικούς χρόνους για την επίτευξη μαζικής απώλειες 5, 10 και 15%. Τα θερμικά επεξεργασμένα δείγματα εκτέθηκαν σε αποσύνθεση από μύκητες χρησιμοποιώντας το μύκητα σήψης και τις απώλειες βάρους που οφείλονται σε μύκητες. Οι συσχετίσεις μεταξύ των απωλειών βάρους καταγράφεται μετά από έκθεση σε μύκητες έδειξε ότι η περιεκτικότητα σε άνθρακα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει την αντοχή ξύλου που παρέχεται από τη θερμική επεξεργασία. Η ανάλυση του ξύλου και οι φυσικές ιδιότητες όπως η πυκνότητα, η θερμική αγωγιμότητα και διαχύσεως δεν μπορεί να εξηγήσει τις παρατηρούμενες διαφορές, οι οποίες πρέπει επίσης να εξαρτώνται από χημικές διαδικασίες ανάλογα με την χημική σύνθεση του ξύλου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΟΡΙΣΜΟΣ

Για ένα σύστημα ο όρος “σύνθετο” σημαίνει ότι τούτο αποτελείται από δύο ή περισσότερα διακριτά μέρη. Από γενική άποψη, λοιπόν, ένα υλικό αποτελούμενο από δύο ή περισσότερα διαφορετικά υλικά ή φάσεις, μπορεί να χαρακτηριστεί ως σύνθετο υλικό (composite material).

Πιο ειδικά, σήμερα, ως σύνθετα αναγνωρίζονται εκείνα τα υλικά, τα οποία συντίθενται από επιμέρους υλικά με σημαντικά διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες μεταξύ τους, ενώ και το ίδιο το σύνθετο υλικό έχει επίσης σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες από εκείνες των συστατικών του.

Για να καταταχθεί ένα υλικό στην κατηγορία των σύνθετων, θα ακολουθείται ο εξής κανόνας: Το υλικό πρέπει να προκύπτει ως συνδυασμός συστατικών μερών, στα οποία οι ιδιότητες του ενός από τα μέρη αυτά να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από του άλλου (τουλάχιστον 5πλάσιες) και η κατ' όγκο περιεκτικότητα του ενός να μην είναι πολύ μικρή (> 10 %).

**ΟΡΙΣΜΟΣ** (Agarwal–1990): Σύνθετα είναι τα υλικά, τα οποία μακροσκοπικά αποτελούνται από δύο ή περισσότερα χημικά ευδιάκριτα συστατικά μέρη που έχουν μια συγκεκριμένη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ τους.

Το ένα, από τα συστατικά μέρη, χαρακτηρίζεται ως συστατικό ενίσχυσης και προσδίδει στο σύνθετο βελτιωμένες μηχανικές, κυρίως, ιδιότητες. Το δεύτερο συστατικό καλείται μήτρα, είναι συνήθως χαμηλής πυκνότητας και η συμμετοχή του στο σύνθετο εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των ιδιοτήτων της ενίσχυσης.

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται ο συνδυασμός ανά δύο των βασικών οικογενειών υλικών (μεταλλικά, πολυμερικά και κεραμικά υλικά) και οι ομάδες συνθέτων που προκύπτουν.



Σχήμα 5: Κατηγορίες συνθέτων υλικών

## ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται ευρύτατα από τον άνθρωπο από αρχαιοτάτων χρόνων. Υλικά που εύκολα βρίσκουμε στη φύση (ξύλο, πέτρα, πηλός, κόκαλα) χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα από τον άνθρωπο, ο οποίος σύντομα έμαθε να βελτιώνει τις ιδιότητες τους ενισχύοντας τα υλικά αυτά με πρόσθετα συστατικά.

Για παράδειγμα, οι Αιγύπτιοι (5000 π.Χ.) χρησιμοποιούσαν την τεχνική της ενίσχυσης τούβλων πηλού με πλέγμα άχυρων, με αποτέλεσμα τη μείωση των τάσεων συστολής που αναπτύσσονταν κατά την ξήρανση του πηλού. Επίσης, παρατήρησαν ότι οι πλάκες από πολύστρωτες βέργες ξύλου, παρουσίαζαν πολύ μεγαλύτερη αντοχή από το φυσικό ξύλο έναντι στρέβλωσης που οφειλόταν στην απορρόφηση υγρασίας.

Στη Μεσοποταμία (1000 π.Χ.) εφαρμόστηκε η τεχνική του βερνικώματος των τούβλων και των πλακιδίων με σκοπό τον περιορισμό της επιφανειακής φθοράς, ενώ, κατά τους Ρωμαϊκούς χρόνους, η οδοποιία στηρίχθηκε στην ενίσχυση του οδοστρώματος με τρίμματα κεραμιδιών.

Η χρήση της σιδηρόβεργας για προεντεταμένο σκυρόδεμα, που χρησιμοποιείται στις οικοδομές της σύγχρονης εποχής, δεν είναι παρά η μετεξέλιξη της τεχνικής της ανάμιξης γύψου με ζωικό τρίχωμα, η οποία ήταν μια πρακτική μέθοδος ενίσχυσης εύθραυστων υλικών κατασκευής στους αναπτυσσόμενους πολιτισμούς.

Το πρώτο σύνθετο υλικό βασισμένο σε μήτρα πλαστικού εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1920 και επρόκειτο για μίγμα ινιδίων ξύλου με φαινολική φορμαλδεΐδη, γνωστό αργότερα ως βακελίτης προς τιμή του Βέλγου επιστήμονα Leo Baekeland.

Η ανάπτυξη των σύνθετων υλικών με ενίσχυση ινών κατά την διάρκεια των τελευταίων 30 ετών

υπήρξε ραγδαία και συνδυάστηκε με την προηγούμενη ανάπτυξη των υψηλής αντοχής ινών γυαλιού και των υψηλής δυσκαμψίας ινών βορίου (1960) και την έντονη τάση της αεροδιαστημικής βιομηχανίας για μεγαλύτερη απόδοση με παράλληλη μείωση βάρους αεροσκαφών και διαστημοπλοίων.

Το 1964 διατέθηκαν στην αγορά, αρχικά σε μικρές ποσότητες, οι ίνες άνθρακα (carbon fibers), οι οποίες τελευταία αποτελούν τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες ενισχύσεις στις αεροδιαστημικές κατασκευαστικές εφαρμογές.

Το 1971 διατέθηκαν στο εμπόριο οι ίνες αραμιδίου, οι οποίες τώρα χρησιμοποιούνται ευρύτατα

στα ελαστικά αυτοκινήτων, καθώς και σε αρκετές αεροδιαστημικές και ναυπηγικές κατασκευές.

Η ειδική αντοχή (λόγος αντοχής προς πυκνότητα) και η ειδική δυσκαμψία (λόγος δυσκαμψίας προς πυκνότητα) των ενισχυτικών ινών βαίνουν συνεχώς αυξανόμενες τα τελευταία 30 χρόνια, π.χ. η ειδική αντοχή και η ειδική δυσκαμψία των ινών γυαλιού, άνθρακα, αραμιδίου και βορίου έχουν φθάσει στο 10-14πλάσιο των αντίστοιχων τιμών του αλουμινίου (ελαφρό μέταλλο).

Τα σύνθετα υλικά καλύπτουν μεγάλο μέρος των εφαρμογών των νέων τεχνολογιών αιχμής στις κατασκευές και έχουν μεταβάλει σημαντικά τις ακολουθούμενες διαδικασίες σχεδίασης, παραγωγής, ελέγχου και συντήρησης.

Η μεγάλη ποικιλία ινών και ρητινών, καθώς και οι διάφορες μέθοδοι κατασκευής παρέχουν στο

σχεδιαστή τη δυνατότητα να επιλέξει το πιο κατάλληλο σύστημα υλικών που καλύπτει τις απαιτήσεις του, σύστημα που έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και ιδιότητες, που πολλές φορές μπορεί να είναι και μοναδικά.

Το μικρό βάρος, η υψηλή αντοχή, η εξαιρετική αντοχή σε διάβρωση, η πολύ καλή συμπεριφορά σε κόπωση, σε κρούση και στη διάδοση ρωγμών, οι σχετικά εύκολες διαδικασίες παραγωγής και το μικρό κόστος συντήρησης είναι μερικοί από τους παράγοντες εκείνους που έχουν οδηγήσει τα σύνθετα υλικά στην πρώτη θέση μεταξύ των κατασκευαστικών υλικών για μεγάλο πλήθος εφαρμογών.

Μερικά μειονεκτήματα των σύνθετων υλικών, όπως: τα υψηλά επίπεδα ερπυσμού, η μικρή αντίσταση σε μηχανική φθορά, η ιδιαίτερη και πολλές φορές ευαίσθητη συμπεριφορά



σε δυσμενείς συνθήκες περιβάλλοντος (θαλάσσιο περιβάλλον, υψηλές θερμοκρασίες, χημικό περιβάλλον, κλπ.) καθώς και το αρκετά υψηλό αρχικό τους κόστος, βαθμιαία αντιμετωπίζονται πιο αποτελεσματικά μέσω της συνεχούς τεχνολογικής ανάπτυξης στην παραγωγή νέων και καλλίτερων ινών, ρητινών και εξέλιξης των μεθόδων παραγωγής.

### ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ανάλογα με τη μορφή του συστατικού ενίσχυσης, τα σύνθετα κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- **Ινώδη σύνθετα** (fibrous composites): Με ενίσχυση ινών εμποτισμένων σε υλικό μήτρας.
- **Στρωματικά σύνθετα** (laminated composites): Με επάλληλες στρώσεις υλικών.
- **Κοκκώδη σύνθετα** (particulate composites): Με ενίσχυση σωματιδίων διασκορπισμένων στο υλικό της μήτρας.

Τα ινώδη σύνθετα υλικά διακρίνονται περαιτέρω ανάλογα με τον προσανατολισμό και τη διάταξη των ινών μέσα στη μήτρας. Σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή τα ινώδη σύνθετα διακρίνονται σε:

- **Μονοδιευθυντικά σύνθετα**, στα οποία οι ίνες έχουν όλες την ίδια διεύθυνση.
- **Πολυδιευθυντικά σύνθετα**, στα οποία, οι ίνες έχουν διαφορετικές διευθύνσεις.

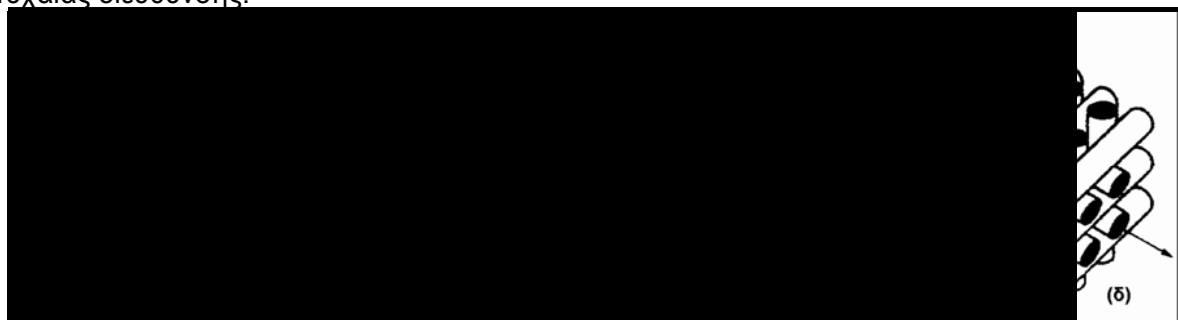
Η ιδιότητα αυτή οδηγεί άμεσα σε ταξινόμηση των πολυδιευθυντικών συνθέτων στις ακόλουθες υπο-ομάδες, βλέπε Σχήμα 6:

- **Σύνθετα με ίνες τυχαίας διεύθυνσης.**
- **Σύνθετα με ίνες σε πλέξη ύφανσης.**
- **Σύνθετα με ίνες σε τρισσορθογώνια ύφανση.**

Μία επιπλέον διάκριση των ινωδών συνθέτων στηρίζεται στο λόγο μήκους προς διάμετρο ( $A/d$ ) των ινών, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως:

- **Συνεχείς ή μεγάλου μήκους ίνες** (continuous fibers), όταν είναι  $A/d \geq 100$ .
- **Ασυνεχείς ή κοντές ίνες** (discontinuous fibers), όταν είναι  $A/d < 100$ .
- **Νηματίδια ή τριχίτες** (whiskers): Με  $d < 1\mu\text{m}$  και  $A \approx 100\mu\text{m}$  (πρόκειται για μονοκρυστάλλους κεραμικού υλικού).

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Οι κοντές ίνες, λόγω του μικρού μήκους τους, δεν χρησιμοποιούνται ως μονοδιευθυντική ενίσχυση, αλλά εφαρμόζονται συνήθως με τη μορφή πλέγματος ινών τυχαίας διεύθυνσης.



**Σχήμα 6:** Τύποι διάταξης των ινών: (α) μονοδιευθυντικές ίνες, (β) ίνες τυχαίου προσανατολισμού, (γ) ίνες με πλέξη ύφανσης και (δ) ίνες σε τρισσορθογώνια πλέξη.

Με βάση όσα έχουν ήδη αναφερθεί για τις κατηγορίες των συνθέτων υλικών, έχει καθιερωθεί η ταξινόμηση τους, όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.

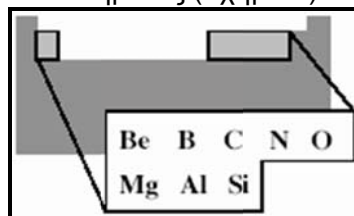


Σχήμα 7: Γενική ταξινόμηση των συνθέτων υλικών

#### 4.2 ΙΝΕΣ

Προκειμένου οι ίνες να προσφέρουν ικανοποιητική ενίσχυση των μηχανικών ιδιοτήτων της μήτρας, το υλικό κατασκευής τους επιλέγεται, έτσι ώστε να παρουσιάζει υψηλό μέτρο ελαστικότητας ( $E$ ), υψηλή τάση θραύσης σε εφελκυσμό (UTS), μεγάλη ακαμψία (stiffness), χαμηλή δυσθραυστότητα (toughness) και επιπλέον να έχει μικρή πυκνότητα ( $\rho$ ).

Τα περισσότερα ενισχυτικά υλικά βασίζονται κυρίως σε στοιχεία που βρίσκονται στη 2<sup>η</sup> και 3<sup>η</sup> περίοδο του Περιοδικού Συστήματος (Σχήμα 8).



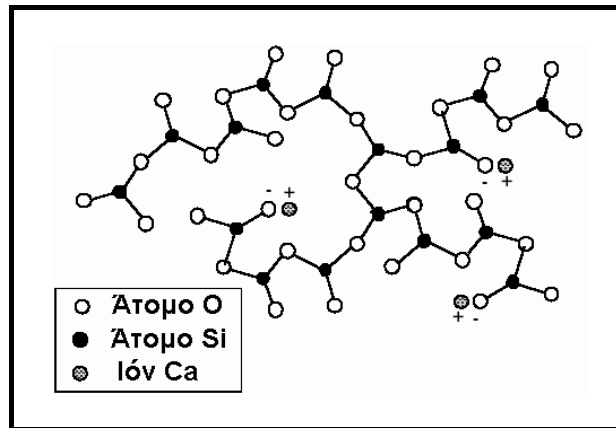
Σχήμα 8

Στα προηγμένα σύνθετα υλικά, οι ενισχυτικές ίνες είναι κατασκευασμένες είτε από ανόργανα υλικά (γυαλί, άνθρακας, μέταλλα, κεραμικά) είτε από οργανικά υλικά (πολυμερή).

#### ΙΝΕΣ ΓΥΑΛΙΟΥ (GLASS FIBERS)

Οι ίνες γυαλιού χρησιμοποιήθηκαν στα σύνθετα πρώτης γενιάς (1940) και η χρήση τους συνεχίζεται επιτυχώς μέχρι σήμερα. Είναι από τους πλέον διαδεδομένους τύπους ενισχυτικών ινών στα σύνθετα πολυμερικής μήτρας. Η δομική τους βάση είναι τα οξειδία πυριτίου, ασβεστίου, βορίου, αλουμινίου, κ.ά.. Θεωρούνται από τα πιο φθηνά ενισχυτικά υλικά.

Χαρακτηριστική δομή του γυαλιού παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.



Σχήμα 9: Δομή γυαλιού

Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση οι ίνες γυαλιού χαρακτηρίζονται ως τύπου E, C και S, των οποίων οι κύριες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Χημική σύσταση και ιδιότητες ενισχυτικών ινών γυαλιού.**

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΤΥΠΟΣ			
	E	C	S	SiO <sub>2</sub> καθαρή
Χημική σύσταση (%)				
SiO <sub>2</sub>	54	60	65	>99,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16	25	25	-
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8	-	-	-
CaO	17	9	-	-
MgO	5	6	10	-
Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	75	80	84	72
Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	2100-3400	2500-4400	2800-4800	3500-8800
Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	2,54	2,50	2,48	2,20
Θερμοκρασία τήξης (°C)	900-1200	1400-1600	1400-1600	1720
Μέγιστη θερμοκρασία χρήσης (°C)	550	650	650	750

**E-glass (E=electrical):** Πρόκειται για τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα υαλονήματα με καλές ηλεκτρικές ιδιότητες, αντοχή και δυσκαμψία, καθώς και πολύ καλή συμπεριφορά στην αλλαγή των καιρικών συνθηκών, αλλά με μέτρια αντοχή σε χημικά αντιδραστήρια.

**C-glass (C=corrosion):** Υαλονήματα με υψηλή αντίσταση στη χημική διάβρωση, αλλά και με καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από τις ίνες τύπου E, από τις οποίες όμως είναι ακριβότερες.

**S-glass (S=stiffness):** Ακριβότερο υλικό από το E-glass, αλλά με υψηλότερη δυσκαμψία και θερμική αντοχή. Χρησιμοποιείται κυρίως στην αεροπορική βιομηχανία.

Όταν περιέχονται μεγάλα ποσοστά SiO<sub>2</sub> (>99,5%) παρατηρούνται αυξημένες τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων της ίνας και της μέγιστης θερμοκρασίας χρήσης του συνθέτου. Γι' αυτό το λόγο, σε ειδικές εφαρμογές όπου απαιτούνται υψηλές μηχανικές ιδιότητες κάτω από υψηλή θερμοκρασία, χρησιμοποιούνται ίνες από 100% καθαρή πυριτία.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των υαλονημάτων είναι το χαμηλό κόστος και η υψηλή αντοχή, ενώ στα κύρια μειονεκτήματα τους εντάσσονται το χαμηλό μέτρο ελαστικότητας και η μικρή αντοχή τους έναντι φθοράς εκτριβής (λύση της συνέχειας της επιφάνειάς τους). Εγχαράξεις και εκδορές δημιουργούν περιοχές συγκέντρωσης τάσεων στην επιφάνεια της ίνας, με αποτέλεσμα την ταχεία υποβάθμιση των μηχανικών τους ιδιοτήτων και της ικανότητας πρόσφυσης τους στην πολυμερική μήτρα.

Η παραγωγή των ινών γυαλιού γίνεται με εκβολή τήγματος γυαλιού διαμέσου μήτρας με διάτρητο πυθμένα (Σχήμα 10) και περιλαμβάνει τις ακόλουθες φάσεις:



Σχήμα 10: Παραγωγή ενισχυτικών ινών γυαλιού

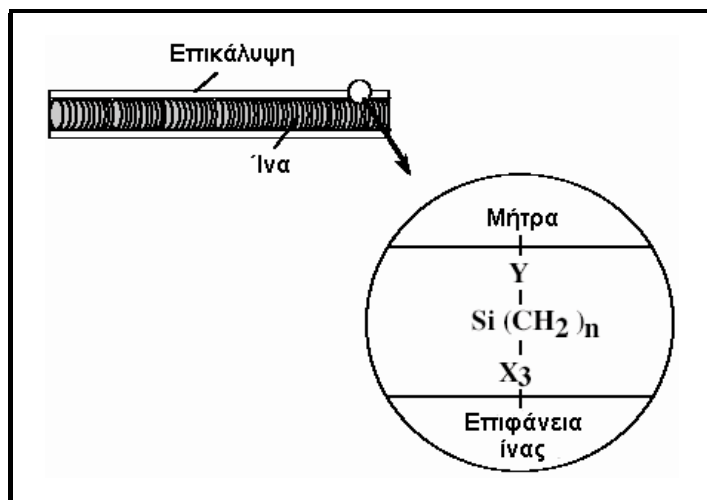
- Η πρώτη ύλη τοποθετείται σε δεξαμενή, όπου τήκεται.
- Το τήγμα τροφοδοτείται σε σειρά κυλινδρικών δοχείων με διάτρητο πυθμένα (διάμετρος οπών 1-2 mm).
- Το γυαλί ρέει μέσα από τις οπές του πυθμένα υπό την επίδραση της βαρύτητας.
- Οι παραγόμενες ίνες συγκεντρώνονται σε ένα σύνολο και τανύονται μηχανικά μέχρις ότου αποκτήσουν την κατάλληλη διάμετρο ( $1/15 \mu\text{m}$ ) και ακολουθεί ελαφρός ψεκασμός τους με νερό (ψύξη).
- Ακολούθως οι ίνες διέρχονται από ιμάντα που επιβάλλει σ' αυτές προστατευτικό λιπαντικό συνδετικό υλικό (binder) ή ειδικά κολλοειδή πρόσθετα (sizes) που δρουν ως προστατευτικές επικαλύψεις και συνεισφέρουν στην καλύτερη πρόσφυση ινών-μήτρας.
- Τέλος, οι ίνες περιτυλίσσονται ανά δέσμες (strand ή end) των 204 νηματίων (τυπική τιμή) γύρω από τύμπανο, που περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα (της τάξης των 50 m/s).
- Οι ρόλοι υαλονήματος υφίστανται ξήρανση πριν υποβληθούν σε οποιαδήποτε περαιτέρω διεργασία μορφής.

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

- Ο έλεγχος της διαμέτρου των ινών γίνεται με ρύθμιση της στάθμης του τήγματος μέσα στη δεξαμενή, της πυκνότητας του, της διαμέτρου των οπών και της ταχύτητας περιστροφής του τυμπάνου.
- Κατά τη διάρκεια της παραγωγής των ινών, πρέπει να αποφεύγεται η επαφή ινών μεταξύ τους, καθώς και με άλλα αντικείμενα, που μπορεί να προκαλέσουν επιφανειακές κακώσεις στην ίνα.
- Τα χημικά πρόσθετα (sizes) διακρίνονται σε προσωρινά και συμβατά. Τα προσωρινά πρόσθετα έχουν κύριο στόχο αφενός την προστασία της ίνας έναντι μείωσης της αντοχής λόγω τριβής της με τις άλλες ίνες και αφετέρου τη σύνδεση των ινών μεταξύ τους στην περίπτωση που διαμορφωθούν σε πλέξη ύφανσης και ακόμη προσδίδουν στην ίνα αντιστατικές ιδιότητες.

Συνήθως χρησιμοποιούνται αμυλέλαια, που διευκολύνουν αποτελεσματικά την πρόσφυση ίνας και ρητίνης εμποτισμού. Τα προσωρινά πρόσθετα απομακρύνονται εύκολα με θέρμανση των ινών σε κλιματιζόμενο περιβάλλον σε θερμοκρασία  $\geq 340$  °C για χρονικό διάστημα 15-20 h.

Τα συμβατά πρόσθετα έχουν στόχο τη βελτίωση της αρχικής πρόσφυσης ρητίνης-γυαλιού και τη μείωση των δυσάρεστων επιπτώσεων της υγρασίας ή άλλων περιβαλλοντικών επιδράσεων. Πρόκειται περί οργανοπυριτικών ενώσεων του τύπου  $X_3Si(CH_2)_nY$ , όπου Y ομάδα συμβατή προς την πολυμερική μήτρα, X υδρολυόμενη ομάδα στο πυρίτιο και  $n=0\div 3$ , η δράση των οποίων περιγράφεται στο Σχήμα 11.



Σχήμα11

- Η αντοχή και η δυσκαμψία του γυαλιού προσδιορίζεται από την τρισδιάστατη δομή και διάταξη των συστατικών οξειδίων του. Λόγω αυτής της δομής τα υαλονήματα είναι ισότροπα υλικά και παρουσιάζουν γραμμική ελαστική συμπεριφορά. Η συμμετοχή και των μεταλλικών οξειδίων στη σύνθεση των ινών μπορεί να επιφέρει αλλαγές στις φυσικοχημικές τους ιδιότητες.

### ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ (CARBON FIBERS)

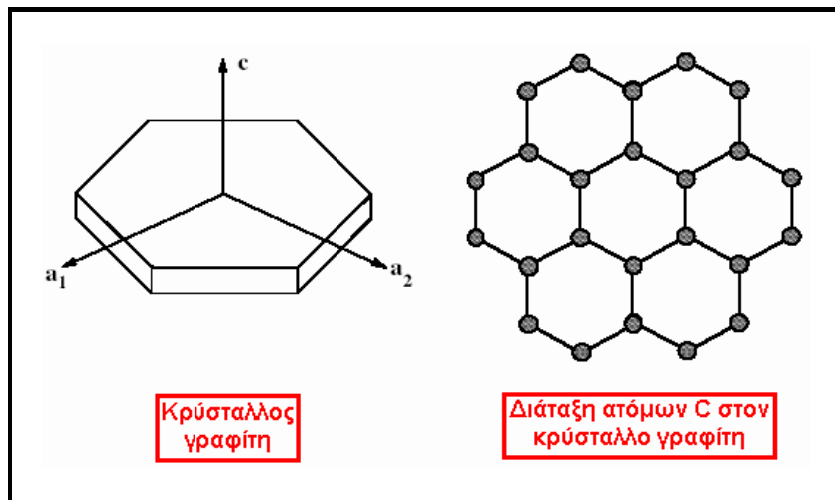
Οι ίνες γραφίτη είναι η επικρατέστερη ενίσχυση υψηλής αντοχής και υψηλού μέτρου ελαστικότητας, η οποία χρησιμοποιείται για την παρασκευή υψηλών επιδόσεων σύνθετων υλικών ρητινικής μήτρας. Γενικά, όταν απαιτείται ο βέλτιστος συνδυασμός μηχανικής συμπεριφοράς και ελάττωσης του βάρους, οι χρησιμοποιούμενες ίνες είναι, συνήθως, ίνες άνθρακα.

Επίσης, οι ίνες άνθρακα προτιμούνται όταν η θερμική διαστολή ενός υλικού πρέπει να συγκρατηθεί σε χαμηλό επίπεδο ή όταν απαιτείται συμβατότητα των χαρακτηριστικών διαστολής δύο συνενωμένων διαφορετικών υλικών.

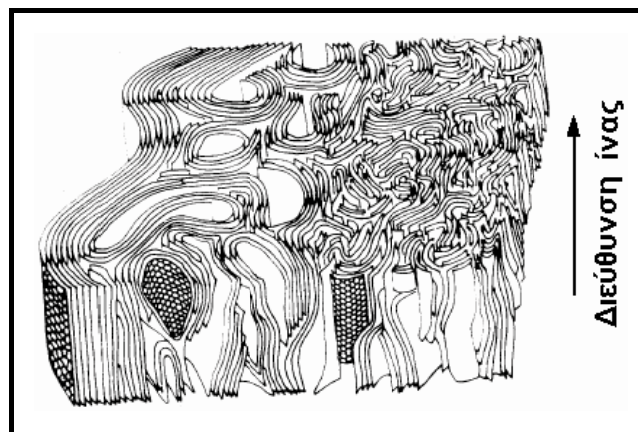
Η υπεροχή αυτή των ανθρακονημάτων οφείλεται στη φύση του άνθρακα (ως στοιχείου) και τους ενδοατομικούς δεσμούς που σχηματίζει με άλλα άτομα άνθρακα. Ο γραφίτης αποτελείται από ανισότροπους πολυκρυσταλλίτες, των οποίων η ανισοτροπία εξαρτάται από τις συνθήκες παρασκευής τους.

Αποτέλεσμα του ισχυρού προσανατολισμού των κρυσταλλιτών παράλληλα στο διαμήκη άξονα των ανθρακονημάτων είναι η υψηλή στιβαρότητα και αντοχή σε θραύση και ο χαμηλός συντελεστής θερμικής διαστολής κατά τη διεύθυνση αυτή. Στη γραφίτη δομή τα άτομα C διατάσσονται πολύ πυκνά με τη μορφή εξαγωνικών επιπέδων, βλέπε Σχήμα 12. Ο ισχυρός δεσμός μεταξύ των ατόμων C στις επίπεδες αυτές εξαγωνικές στρώσεις οδηγεί σε εξαιρετικά υψηλό μέτρο ελαστικότητας. Αντίθετα, ο ασθενής τύπου Van der Waals δεσμός που υφίσταται μεταξύ γειτονικών στρώσεων, έχει ως αποτέλεσμα ένα χαμηλότερης τιμής μέτρο ελαστικότητας σε αυτή τη

διεύθυνση. Τυπική δομή ανθρακονήματος, όπως έχει ληφθεί από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, παρουσιάζεται στο Σχήμα 13.



Σχήμα12



Σχήμα13

Στην παραγωγή ανθρακονημάτων, ως πρώτη ύλη χρησιμοποιούνται πολυμερικές ίνες πολυακρυλονιτρίλιου (PAN), ίνες τεχνητής μέταξας (rayon) και πίσσα. Η παραγωγή ινών γραφίτη από ίνες (PAN) πραγματοποιείται σε τρία στάδια (Σχήμα 14):



Σχήμα 14: Παραγωγή ενισχυτικών ινών άνθρακα

- Οξειδωση των ινών PAN στον αέρα και σε χαμηλή θερμοκρασία (100-200 °C), με ταυτόχρονη εφαρμογή τάσης, η οποία είναι απαραίτητη για την ευθυγράμμιση των αλυσίδων του πολυμερούς.
  - Πυρόλυση, υπό τάση, σε ουδέτερη ή αναγωγική ατμόσφαιρα και σε θερμοκρασία 1100-1500°C. Οι παραγόμενες ίνες στο στάδιο χαρακτηρίζονται ως ίνες άνθρακα υψηλής αντοχής (high strength carbon fibers) και η αντοχή τους φτάνει τα 3000 MPa.
  - Η θέρμανση σε ουδέτερη ή αναγωγική ατμόσφαιρα συνεχίζεται σε υψηλές θερμοκρασίες (2500-3000°C), οπότε πραγματοποιείται γραφίτιωση, με ταυτόχρονη ανακρυστάλλωση, που οδηγεί σε ισχυρό προσανατολισμό των κρυσταλλινών. Οι παραγόμενες ίνες σε αυτό το στάδιο χαρακτηρίζονται ως ίνες άνθρακα υψηλού μέτρου ελαστικότητας (high module carbon fibers) και έχουν μέτρο ελαστικότητας περίπου 400 GPa, η δε διάμετρος τους είναι περίπου 10 μm.
- Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά ινών άνθρακα που έχουν παραχθεί σε δύο στάδια (οξειδωση και πυρόλυση) και σε τρία στάδια (οξειδωση, πυρόλυση, θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία), αντίστοιχα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Χαρακτηριστικές ιδιότητες ινών άνθρακα.**

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΙΝΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ	ΙΝΕΣ ΥΨΗΛΟΥ ΜΕΤΡΟΥ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ
Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	180-230	350-420
Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	2500-3400	1900-2300
% περιεκτικότητα άνθρακα	95-98	99
Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	1,8	1,9
Μέγιστη θερμοκρασία χρήσης (°C)	2000	2500

#### ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

- Σε οξειδωτική ατμόσφαιρα, η μέγιστη θερμοκρασία χρήσης των ανθρακονημάτων περιορίζεται στους 500 °C και για τους δύο τύπους ινών. Κατά το σχεδιασμό του συνθέτου πρέπει οπωσδήποτε να λαμβάνεται υπόψη και η μέγιστη θερμοκρασία χρήσης της μήτρας.
  - Οι ιδιότητες των χρησιμοποιούμενων ανθρακονημάτων εξαρτώνται σημαντικά από την αρχιτεκτονική των ινών του PAN (μονοδιευθυντικές ίνες, δισδιάστατο πλέγμα, τρισδιάστατο πλέγμα). Ο τρόπος διευθέτησης των ινών αυτών καθορίζει και το βαθμό ανισοτροπίας των ανθρακονημάτων που προκύπτουν και μπορεί να ποικίλλει από την πλήρη ισοτροπία ως την πλήρη ανισοτροπία.
  - Η δυνατότητα επιλογής, από ένα μεγάλο εύρος τιμών της θερμοκρασίας κάθε σταδίου παραγωγής ανθρακονημάτων, δίνει την ευχέρεια παραγωγής ανθρακονημάτων διαφορετικού βαθμού γραφίτιωσης και διαφορετικών ιδιοτήτων (οι μηχανικές και οι φυσικές ιδιότητες, όπως η θερμική και η ηλεκτρική αγωγιμότητα, εξαρτώνται από το βαθμό γραφίτιωσης και το βαθμό ανισοτροπίας). Γενικά, όσο καλύτερα προσανατολισμένες είναι οι ίνες και όσο υψηλότερη περιεκτικότητα σε γραφίτη διαθέτουν τόσο καλύτερες μηχανικές ιδιότητες επιδεικνύουν.
  - Τέλος, το κόστος παραγωγής των ινών γραφίτη είναι δέκα φορές τουλάχιστον υψηλότερο από το κόστος παραγωγής των ινών γυαλιού.
- Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα παραγωγής σύνθετων υλικών ρητίνης νεολάκη με ίνες άνθρακα είναι η κατασκευή σύμφωνα με την μέθοδο prepreg. Ρητίνη νεολάκη παρασκευάζεται με πολυμερισμό της φαινόλης με φορμαλδεΰδη (γραμμομοριακή αναλογία 1: 0,82), με την παρουσία του οξαλικού οξέος ως καταλύτη (. 1,5 κ.β. -% προς φαινόλη). Η σκλήρυνση της ρητίνης νεολάκης διεξήχθη παρουσίας εξαμεθυλενοτετραμίνης , ενώ η κατάλληλη αναλογία προσδιορίστηκε με τη χρήση του φασματοσκόπου.

Δείγματα των νεολάκη / HEXA (αναλογία βάρους 14:01) ενισχυμένα με ίνες άνθρακα διατίθενται στο εμπόριο, ενώ ήταν κατασκευασμένες υπό διαφορετικές συνθήκες (π.χ. διαφορετικά θερμικά προγράμματα και διαφορετικές αναλογίες των ινών άνθρακα). Οι μηχανικές ιδιότητες των δειγμάτων που κατασκευάστηκαν (όπως αντοχή σε κάμψη, αντοχή σε εφελκυσμό, κ.τ.λ.) προσδιορίστηκαν και η δομή τους εξετάστηκε με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης.

Με την αύξηση της αναλογίας όγκου των ινών άνθρακα, όχι μόνο όλες οι μηχανικές ιδιότητες του σύνθετου υλικού ήταν αυξημένες, αλλά επίσης οι συνθήκες παραγωγής είχαν μεγαλύτερη αύξηση. Όσον αφορά τα δείγματα που παράγονται από την ίδια αναλογία ινών άνθρακα (π.χ. 15 vol -%), οι μηχανικές ιδιότητες τους βελτιώθηκαν με την αύξηση της σκλήρυνσης της νεολάκης. Ο βαθμός σκλήρυνσης της νεολάκης κατά την αρχική φάση και κατά την τελική φάση (μετά την σκλήρυνση) μπορούν να παρακολουθηθούν με τη βοήθεια των φασμάτων της σκληρυμένης ρητίνης, ενώ ο βαθμός της σκλήρυνσης για την ενδιάμεση φάση μπορεί να είναι λαμβάνεται μόνο έμμεσα από τις τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων των αντίστοιχων δειγμάτων.

Από τη συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων της παραγωγής και τις μηχανικές ιδιότητες των δειγμάτων, προέκυψαν οι βέλτιστες συνθήκες για την επεξεργασία σε θερμοπρέσσα για την κατασκευή σύνθετων υλικών με ίνες άνθρακα.[26]

### ΙΝΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ (POLYMER FIBERS)

Οι πιο διαδεδομένες ίνες πολυμερούς είναι οι ίνες από Nylon, πολυαιθυλένιο και Kevlar. Τα νήματα Nylon και πολυεστέρα παράγονται με φυγοκεντρική περιδίνηση τήγματος, ενώ ακρυλικά και κυτταρινικά νήματα παρασκευάζονται με φυγοκεντρική περιδίνηση διαλύματος και συνακόλουθες τεχνικές καθίζησης ιζήματος. Η αντοχή τους δεν ξεπερνά τα 10 Pa, ενώ το μέτρο ελαστικότητας πλησιάζει τα 1000 Pa. Παρόλο που από μηχανικής άποψης δεν κατατάσσονται στις ίνες υψηλής απόδοσης, εντούτοις το χαμηλό κόστος παραγωγής τους τις καθιστά δημοφιλείς στην αγορά.

Η πρώτη υψηλής απόδοσης οργανική ίνα αραμιδίου παρασκευάστηκε από την DuPont και έγινε γνωστή με την εμπορική ονομασία Kevlar και παράγεται σε τρεις τύπους:

- **Kevlar-29:** Με μέτρο ελαστικότητας 60 GPa και αντοχή σε εφελκυσμό 3.6 GPa.
- **Kevlar-49:** Με μέτρο ελαστικότητας 120 GPa και αντοχή σε εφελκυσμό 3.6 GPa.
- **Kevlar-149:** Με μέτρο ελαστικότητας 180 GPa και αντοχή σε εφελκυσμό 3.4 GPa.

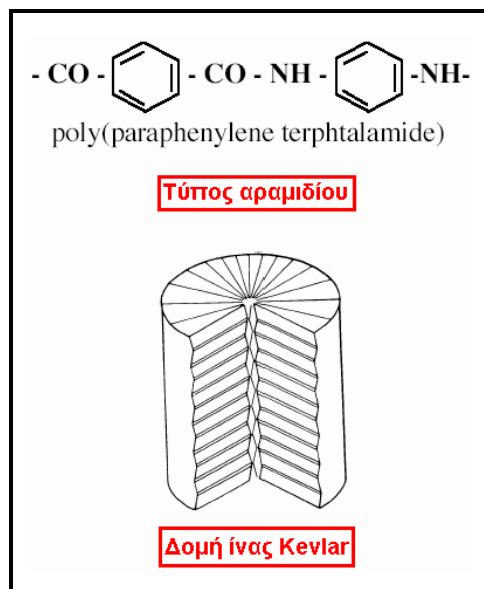
Η πυκνότητα και των τριών τύπων είναι ίδια (1.45 g/cm<sup>3</sup>), ενώ η διαφορετική ελαστικότητα οφείλεται στο γεγονός της βελτιωμένης ευθυγράμμισης των μοριακών αλυσίδων, που αυξάνει τη δυσκαμψία στη διεύθυνση του άξονα της ίνας. Στον Πίνακα 6 παρατίθενται οι βασικές ιδιότητες των ινών Kevlar.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Χαρακτηριστικές ιδιότητες των ινών Kevlar**

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	Kevlar 29	Kevlar 49
Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	60	130
Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	2700	3600
Επιμήκυνση θραύσης (%)	4.5	2
Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	1.45	1.45
Μέγιστη θερμοκρασία χρήσης (°C)	200	200
Θερμοκρασία αστοχίας (°C)	400	425

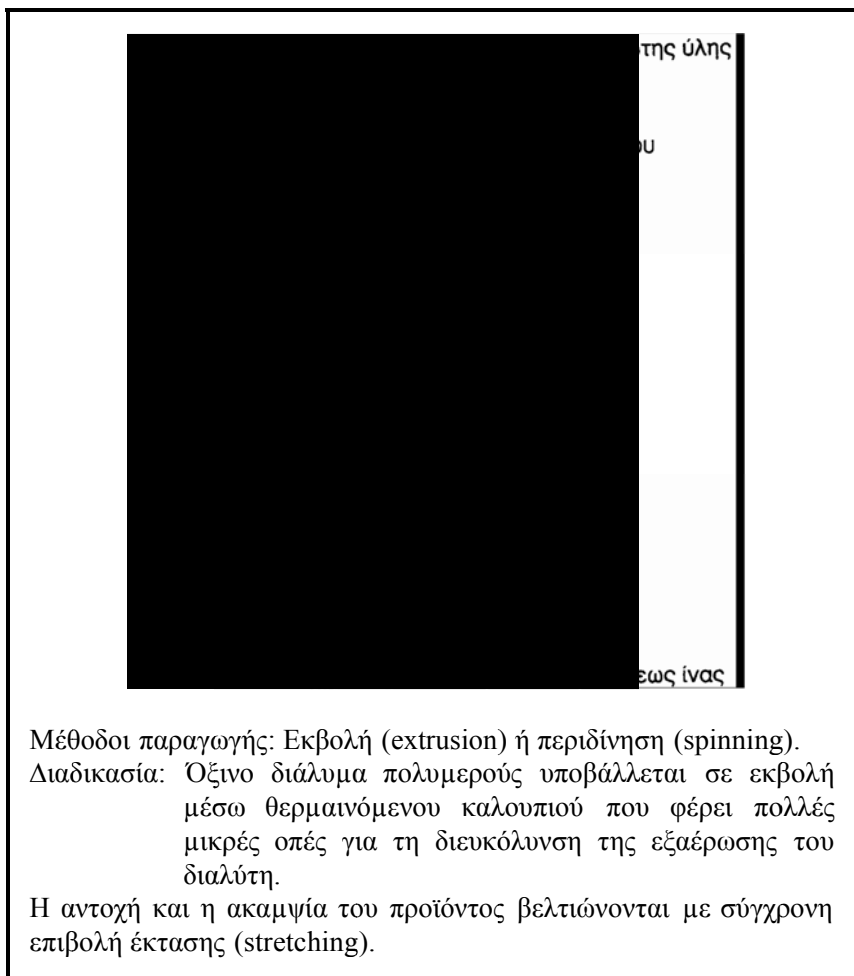


Οι υψηλές τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων του Kevlar οφείλονται στο γεγονός ότι οι πολυμερικές δομικές αλυσίδες του υλικού είναι αυτές καθ' αυτές πιο ισχυρές και συντάσσονται έτσι, ώστε να δημιουργούν ένα σταθερότερο πλέγμα, σε μορφή επίπεδης ταινίας, βλέπε Σχήμα 15. Ο κυλινδρικός φλοιός της ίνας περικλείει και συγκρατεί το υλικό του πυρήνα αποδίδοντας στο προϊόν ιδιαίτερα υψηλές επιδόσεις κατά την αξονική διεύθυνση, αλλά φτωχή συμπεριφορά κατά την εγκάρσια διεύθυνση. Επιπλέον, ενώ στην εφελκυστική καταπόνηση το υλικό συμπεριφέρεται ελαστικά με παραμόρφωση έως και 2%, η μεγάλη του αδυναμία εμφανίζεται στη θλίψη, όπου σε 0,3 % θλιπτική παραμόρφωση αναπτύσσεται πλαστικού τύπου αστοχία. Αξιοσημείωτο, όμως, είναι ότι η αστοχία αυτή δεν είναι καταστροφική, αλλά έχει τη μορφή πτυχώσεων (kink bands).



Σχήμα 15

Στο Σχήμα 16 φαίνεται η διαδικασία παραγωγής ενισχυτικών ινών πολυαμιδίου.



**Σχήμα 16: Διάταξη παραγωγής ινών πολυαμιδίου**

## **ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΙΝΕΣ**

Διάφορα μέταλλα όπως το βόριο (B), το βηρύλλιο (Be) και το βολφράμιο (W) θα μπορούσαν να αποτελέσουν εξαιρετικά ενισχυτικά συνθέτων υλικών, αφού παρουσιάζουν υψηλή τιμή ακαμψίας σε σχέση με το ειδικό βάρος τους (ειδική ακαμψία). Το βόριο είναι το περισσότερο υποσχόμενο υλικό για την κατασκευή ινών ενίσχυσης, ωστόσο οι τεχνικές παραγωγής μεταλλικών ινών ενίσχυσης εξακολουθούν να παραμένουν πολύ δαπανηρές.

Σήμερα χρησιμοποιούνται δύο τεχνικές για την παραγωγή ινών βορίου:

### **ΑΝΑΓΩΓΗ ΑΠΟ ΑΛΟΓΟΝΙΔΙΟ ΤΟΥ ΒΟΡΙΟΥ**

Αλογονίδιο του βορίου (συνήθως  $\text{BCl}_3$ ) ανάγεται από υδρογόνο σε έναν κλειστό θάλαμο υψηλής θερμοκρασίας ( $1100\text{ }^\circ\text{C}$ ) και αποτίθεται σε πολύ λεπτό νήμα βολφραμίου, διαμέτρου 10-15  $\mu\text{m}$ , όπως φαίνεται στο Σχ. 17. Η διάμετρος των παραγόμενων ινών με αυτήν την τεχνική κυμαίνεται μεταξύ 100/200  $\mu\text{m}$ , ενώ οι ίνες παρουσιάζουν εξαιρετική δυσκαμψία και μηχανική αντοχή.



Σχήμα 17: Παραγωγή ινών βορίου με αναγωγή αλογονιδίου του βορίου

### **ΑΠΟΘΕΣΗ ΜΕ ΤΕΧΝΙΚΗ CVD**

Το βόριο αποτίθεται σε νήμα άνθρακα ή βολφραμίου με την τεχνική της χημικής εναπόθεσης ατμών (CVD). Η τεχνική αυτή είναι οικονομικότερη από την προηγούμενη, αλλά το προϊόν έχει χαμηλότερη μηχανική αντοχή.

Οι ίνες βορίου έχουν υψηλή μηχανική αντοχή ( $E = 300/420$  GPa,  $UTS = 3000/3700$  MPa), ενώ οι τιμές των ιδιοτήτων τους διατηρούνται σταθερές ως τους  $500$  °C. Για τη χρήση τους σε υψηλότερες θερμοκρασίες, θα πρέπει να χρησιμοποιείται προστατευτικό επίστρωμα καρβιδίου του πυριτίου (ίνες Borsic) ή νιτριδίου του βορίου. Τα επιστρώματα αυτά αποτρέπουν την αντίδραση του υλικού ενίσχυσης με αυτό της μήτρας, δεδομένου ότι σε υψηλές θερμοκρασίες, κυρίως σε σύνθετα με μεταλλική μήτρα τιτανίου ή αλουμινίου, ευνοούνται η διάχυση μέσω της διεπιφάνειας ίνας-μήτρας και οι αντιδράσεις σε στερεά κατάσταση που οδηγούν στο σχηματισμό εύθραυστων μεσομεταλλικών ενώσεων και αστοχία του συνθέτου.

### **ΚΕΡΑΜΙΚΕΣ ΙΝΕΣ**

Οι κεραμικές ίνες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών. Χαρακτηρίζονται από υψηλή αντοχή, στιβαρότητα και θερμική ευστάθεια. Οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες κεραμικές ίνες είναι οι ίνες καρβιδίου του πυριτίου (SiC) και αλούμινας ( $Al_2O_3$ ), ενώ σπανιότερα συναντώνται και ίνες  $Si_3N_4$ , BeO,  $B_4C$  και  $ZrO_2$ .

Το καρβίδιο του πυριτίου (SiC) είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως ενισχυτικό υλικό είτε με τη μορφή ινών είτε με τη μορφή φυλλιδίων. Οι ίνες SiC παρουσιάζουν υψηλές τιμές αντοχής και ανώτερες μηχανικές ιδιότητες από τα φυλλίδια.

### **ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

(α) Με χημική εναπόθεση ατμών (CVD) χλωριούχου σιλανίου σε ίνες άνθρακα.

Οι παραγόμενες ίνες έχουν πυρήνα διαμέτρου  $10/25$   $\mu m$  και εξωτερική διάμετρο  $100/150$   $\mu m$ .

(β) Από πολυμερικές ίνες (Nicalon).

Θέρμανση σε κενό σε θερμοκρασία  $850$  °C μετατρέπει την πολυμερική ίνα σε ανόργανο SiC, ενώ θέρμανση σε υψηλότερη θερμοκρασία ( $>1000$  °C) προκαλεί κρυστάλλωση σε  $\beta$ -SiC. Οι παραγόμενες ίνες έχουν διάμετρο  $10/15$   $\mu m$ .

(γ) Τριχίτες SiC από φλοιό ρυζιού.

Ο φλοιός του ρυζιού περιέχει  $\sim 15\%$  κ.β.  $SiO_2$ . Θέρμανση σε θερμοκρασία  $700/900$  °C οδηγεί σε υπόλειμμα  $SiO_2$  και ελεύθερο άνθρακα. Θέρμανση του υπολείμματος σε θερμοκρασία  $\sim 1500$  °C και σε περιβάλλον αζώτου ή αμμωνίας οδηγεί στο σχηματισμό SiC.

Οι παραγόμενοι τριχίτες έχουν διάμετρο  $\sim 0.1/1$   $\mu m$  και μήκος  $\sim 50$   $\mu m$ .

Συγκριτικός πίνακας των ιδιοτήτων των ινών που παράγονται από κάθε μέθοδο παρουσιάζεται αμέσως παρακάτω (Πίνακα 7).

Γενικά, οι μέθοδοι παρασκευής κεραμικών ινών είναι ιδιαίτερα δαπανηρές.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7: Συγκριτικός πίνακας ιδιοτήτων ινών SiC (μέσες τιμές)**

Μέθοδος	CVD	Nicalon	Τριχίτες
<b>Ιδιότητα</b>			
Πυκνότητα, $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	3.3	2.6	-
Αντοχή, UTS (MPa)	3500	2000	7000
Μέτρο ελαστικότητας, E (GPa)	430	180	480
Διάμετρος ίνας, d ( $\mu$ m)	140	15	<1

Το SiC παρουσιάζει σταθερή μηχανική αντοχή ως τους 1400 °C, ωστόσο η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία χρήσης του, περιορίζεται στους 900 °C, λόγω της σημαντικής δραστηριότητάς του πάνω από τη θερμοκρασία αυτή.

Οι μονοκρυσταλλικές ίνες αλουμίνας (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) διαμέτρου 250  $\mu$ m έχουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες. Λόγω της ισχυρής φύσεως των χημικών δεσμών, η σταθερότητα των μηχανικών τους ιδιοτήτων διατηρείται ως τους 800 °C. Οι μονοκρυσταλλικές ίνες αλουμίνας είναι εξαιρετικά ευαίσθητες έναντι επιφανειακής φθοράς που οδηγεί ταχύτατα σε αστοχία.

### ΤΡΙΧΙΤΕΣ (WHISKERS)

Οι τριχίτες είναι νηματικοί μονοκρύσταλλοι που παράγονται με αποσύνθεση άλατος μετάλλου σε αναγωγική ατμόσφαιρα, κάτω από αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Η διάμετρος τους είναι της τάξης του 1 $\mu$ m, ενώ το μήκος τους μπορεί να φτάσει τα μερικά χιλιοστά και παρουσιάζουν τις μηχανικές ιδιότητες ενός τέλει κρυστάλλου. Οι εξωτερικές τους επιφάνειες είναι λείες και δεν παρουσιάζουν ζώνες συγκέντρωσης τάσεων.

Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι τριχίτες είναι από αλούμινα, γραφίτη, καρβίδιο του πυριτίου, βηρυλλία και νιτρίδιο του πυριτίου. Η παραγωγή τριχιτών σε βιομηχανική κλίμακα είναι δύσκολη. Στον Πίνακα 8 γίνεται σύγκριση των ιδιοτήτων ινών και τριχιτών από SiC και Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8: Συγκριτικός πίνακας ιδιοτήτων και τριχιτών από SiC και Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	SiC <sub>INA</sub>	SiC <sub>ΤΡΙΧΙΤΗΣ</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sub>INA</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sub>ΤΡΙΧΙΤΗΣ</sub>
Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	480	840	500	755
Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	2300	21000	2000	19500
Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	3,2	3,2	4,0	4,0
Μέγιστη θερμοκρασία χρήσης (°C)	900	1600	800	1300

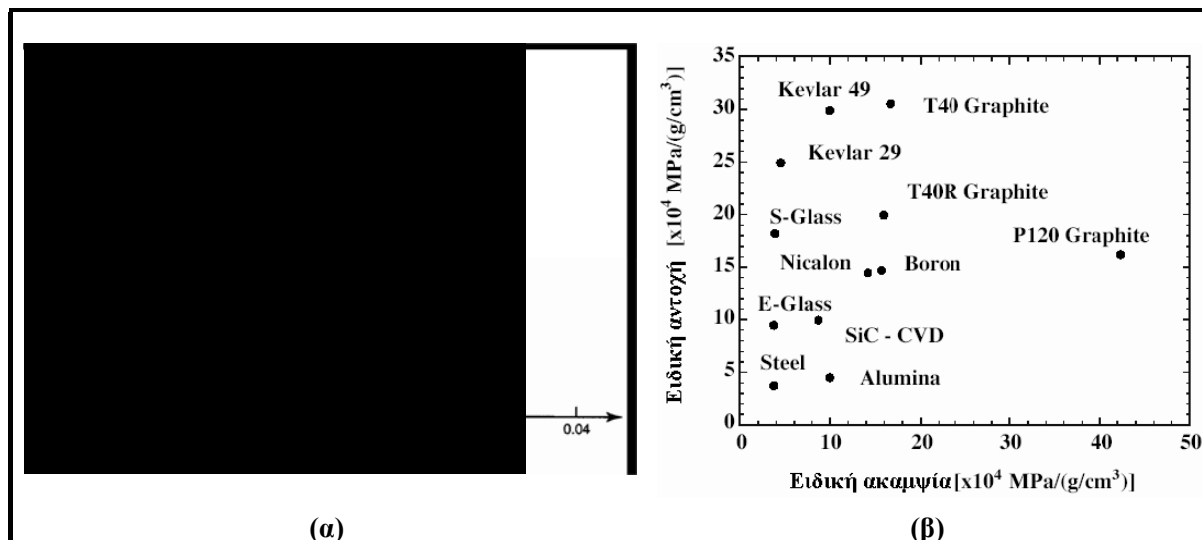
### ΙΝΕΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ

Αρκετά ορυκτά που βρίσκονται σε ινώδη ή φυλλώδη μορφή, μπορούν να αποτελέσουν φθηνό ενισχυτικό υλικό, αλλά χαμηλών προδιαγραφών. Ευρύτερα χρησιμοποιούμενα τέτοια ορυκτά είναι ο αμιάντος και η μαρμαρυγία (mica). Οι ίνες αμιάντου αποτελούνται από 500 περίπου στοιχειώδη ινίδια, διαμέτρου ~20 nm, και έχουν διάμετρο ~10  $\mu$ m και μήκος αρκετά cm. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέχρι θερμοκρασία 500°C, οπότε η μηχανική αντοχή του υλικού μειώνεται σημαντικά. Το μέτρο ελαστικότητας της ίνας είναι της τάξης των 160 GPa, ενώ η μηχανική αντοχή μπορεί να φτάσει μέχρι 5500 GPa. Ο αμιάντος λόγω του χαμηλού του κόστους χρησιμοποιείται ευρύτατα. Οι μαρμαρυγίες ανήκουν στην κατηγορία των φυλλοπυριτικών ορυκτών, χαρακτηρίζονται από τέλει σχισμό και αποχωρίζονται εύκολα από το πέτρωμα με μορφή φυλλιδίων, τα οποία χρησιμοποιούνται ως συστατικό ενίσχυσης του συνθέτου υλικού. Η αντοχή σε εφελκυσμό μπορεί να φτάσει μέχρι 2500 MPa (τέλεια φυλλίδια), ενώ, λόγω ατελειών στις άκρες των φυλλιδίων, οι

συνήθεις τιμές της αντοχής κυμαίνονται στην περιοχή 700÷900 MPa. Το μέτρο ελαστικότητας των μαρμαρυγιών είναι περίπου 220 GPa και η πυκνότητα τους 2.8 g/cm<sup>3</sup>.

### ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

(α) Ως προς την ειδική αντοχή και ειδική ακαμψία (Σχήμα 18)



Σχήμα 18: (α) Χαρακτηριστικές καμπύλες σ-ε, (β) Συσχετισμός ειδική αντοχής και ειδικής ακαμψίας για διάφορα υλικά ενισχυτικών ινών.

(β) Ως προς τη θερμική ευστάθεια (Πίνακας 9)

ΠΙΝΑΚΑΣ 9: Σύγκριση θερμικής ευστάθειας ινών

Ίνα	T <sub>max</sub> (°C)
Spectra	150
Kevlar	250
Glass	800
SiC	1000
Alumina	1370
Carbon	2000*

\* Παρουσία οξυγόνου: T<sub>max</sub>=500 °C

(γ) Ως προς την παραμόρφωση θραύσης (Πίνακας 10)

ΠΙΝΑΚΑΣ 10: Σύγκριση παραμόρφωσης θραύσης ινών

Ίνα	Παραμόρφωση θραύσης (%)
Kevlar	3-4
Glass	2
Carbon	1
Ceramic	<1

### 4.3 ΜΗΤΡΑ[18]

Ο ρόλος της μήτρας συνίσταται σε:

- Συγκράτηση των ινών μεταξύ τους.
- Προστασία των ινών από περιβαλλοντικές φθορές και προσβολές.
- Μεταβίβαση των μηχανικών τάσεων που ασκούνται συνολικά στο σύνθετο υλικό προς τις ίνες.

- Ανακοπή της διάδοσης των ρωγμών, που ξεκινούν από θραύση των ινών.

Για να ικανοποιεί το ρόλο, με τον οποίο είναι επιφορτισμένη η μήτρα, πρέπει να χαρακτηρίζεται από:

- Ολκιμότητα.
- Ανθεκτικότητα.
- Σχετική ευκαμψία.
- Σημείο τήξης μεγαλύτερο από τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του συνθέτου υλικού.

Οι ιδιότητες αυτές πρέπει επίσης να παρουσιάζουν «συμβατότητα» με τις αντίστοιχες ιδιότητες των ενισχυτικών ινών.

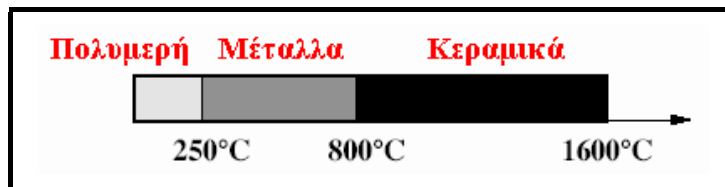
Συνήθως, το υλικό της μήτρας έχει χαμηλότερη πυκνότητα, αντοχή και δυσκαμψία από τις ίνες.

Τέλος, για τη σωστή λειτουργία του συνθέτου υλικού, καθοριστικός παράγοντας είναι η καλή πρόσφυση ίνας – μήτρας.

Ανάλογα με το υλικό της μήτρας διακρίνουμε τις ακόλουθες ομάδες υλικών μήτρας για σύνθετα υλικά:

- Οργανικές.
- Μεταλλικές.
- Κεραμικές.

Η επιλογή κατάλληλης μήτρας εξαρτάται από τη θερμοκρασία και το περιβάλλον χρήσης του συνθέτου. Μία γενική οδηγία αναφορικά με τα θερμοκρασιακά όρια για κάθε ομάδα υλικών παρουσιάζεται στο Σχήμα 19.



Σχήμα 19: Θερμοκρασιακά όρια χρήσης των υλικών

Τα αντίστοιχα σύνθετα υλικά χαρακτηρίζονται με τις ακόλουθες συντμήσεις:

PMC: Polymer Matrix Composite, MMC: Metal Matrix Composite, CMC: Ceramic Matrix Composite

#### ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΜΗΤΡΕΣ

Οι οργανικές μήτρες διακρίνονται σε:

(α) Θερμοπλαστικές: Πρόκειται για πολυμερή με γραμμικές αλυσίδες. Παρουσιάζουν δομή, όπου οι μοριακές αλυσίδες διασυνδέονται με ασθενείς δυνάμεις Van der Waals, που λύνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας με αντιστρεπτή όμως διαδικασία, καθιστώντας το υλικό μαλακότερο σε υψηλές θερμοκρασίες. Λόγω του χαμηλού τους κόστους, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές ευρείας κατανάλωσης. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αποτελούν οι μήτρες πολυαιθυλενίου (PE) και πολυστυρενίου (PS). Ως ενισχυτικά υλικά θερμοπλαστικών μητρών χρησιμοποιούνται φθηνά υλικά (αμίαντος, μαρμαρυγίες, κ.α.), ώστε και το τελικό προϊόν να είναι χαμηλής τιμής.

(β) Θερμοσκληρυνόμενες: Χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου απαιτούνται καλύτερες μηχανικές ιδιότητες. Τα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή παρουσιάζουν τρισδιάστατη δομή πλέγματος από πρωτογενείς ισχυρούς δεσμούς μεταξύ των μοριακών αλυσίδων. Αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνει το πλήθος των διαμοριακών δεσμών καθιστώντας τα υλικά αυτά σκληρότερα και ψαθυρότερα. Τέτοιες μήτρες είναι:

- Πολυεστερικές ρητίνες που ενισχύονται με ίνες γυαλιού.
- Εποξυδικές ρητίνες με μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους 200° C, καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από τις προηγούμενες και χρήση στη αεροναυπηγική.
- Φαινολικές ρητίνες, οι οποίες έχουν χαμηλή πλαστικότητα και μέτριες μηχανικές ιδιότητες. Η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας τους φτάνει τους 400°C.

### ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΜΗΤΡΕΣ

Μέταλλα, όπως το αλουμίνιο, το τιτάνιο και το νικέλιο, χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο ως υλικά μήτρες προσφέροντας σημαντικά πλεονεκτήματα. Για εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών επιβάλλεται η χρήση μεταλλικών ή κεραμικών μήτρων, αφού η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία χρησιμοποίησης οργανικών μήτρων είναι πολύ χαμηλή (~300 °C), ενώ οι ανθρακούχες μήτρες οξειδώνονται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από 500 °C.

Σε σχέση με τις οργανικές μήτρες, οι μεταλλικές παρουσιάζουν πλεονεκτήματα, αλλά και μειονεκτήματα, τα σπουδαιότερα των οποίων φαίνονται στον Πίνακα 11.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 11: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μεταλλικών μητρών (έναντι των οργανικών μητρών).**

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Μεγαλύτερη ολκιμότητα και καλλίτερες μηχανικές ιδιότητες.</li> <li>- Βελτίωση μηχανικών ιδιοτήτων του συνθέτου σε καταπονήσεις ασκούμενες σε διευθύνσεις διαφορετικές από αυτές του προσανατολισμού των ινών.</li> <li>- Βελτίωση της ακαμψίας και αύξηση του μέτρου ελαστικότητας του συνθέτου.</li> <li>- Μείωση της ευαισθησίας του συνθέτου στην παρουσία διαλυτών και διεύρυνση των θερμοκρασιακών ορίων χρήσης του συνθέτου.</li> <li>- Βελτίωση της θερμικής και ηλεκτρικής αγωγιμότητας του συνθέτου για ειδικές εφαρμογές.</li> <li>- Ευκολότερη σύνδεση τεμαχίων του συνθέτου υλικού (συγκόλληση, κόλληση).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Δημιουργία εύθραυστων μεσομεταλλικών ενώσεων στη διεπιφάνεια μετάλλου-ίνας συμβάλλουν στην αποκόλληση ινών από τη μήτρα που οδηγεί στη μικρορωγμάτωση και τη θραύση των ινών.</li> <li>- Μεγαλύτερη πυκνότητα και επομένως μεγαλύτερο βάρος της συνολικής κατασκευής.</li> <li>- Φαινόμενα διάλυσης ινών στη μήτρα, σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ. διάλυση ινών SiO<sub>2</sub> σε μήτρα Al).</li> <li>- Ασυνέχεια της καμπύλης εφελκυσμού των συνθέτων υλικών στο όριο διαρροής της μήτρας.</li> <li>- Δύσκολη παραγωγή συνθέτου υλικού και μεγαλύτερο κόστος.</li> </ul>

### ΚΕΡΑΜΙΚΕΣ ΜΗΤΡΕΣ

Τα κεραμικά υλικά είναι σκληρά, δύστηκτα, μεγάλης στιβαρότητας και μεγάλης αντοχής στη διάβρωση και την χημική προσβολή.

Στην περίπτωση της κεραμικής μήτρας, οι ίνες αποβλέπουν αφενός στη βελτίωση της αντοχής του κεραμικού στους θερμικούς αιφνιδιασμούς και αφετέρου στην αύξηση της μηχανικής του αντοχής. Η ολκιμότητα και το ποσοστό των ινών επιδρούν ευνοϊκά στη βελτίωση της αντοχής της μήτρας.

Το σημαντικότερο πρόβλημα στη χρήση κεραμικών μητρών εντοπίζεται στη συνάφεια ινών – μήτρας και οφείλεται στη μεγάλη διαφορά μεταξύ των συντελεστών γραμμικής διαστολής της κεραμικής μήτρας και των συνήθων ενισχυτικών ινών.

Μεγάλη εφαρμογή βρίσκουν, επίσης, οι μήτρες άνθρακα, ενώ ειδική περίπτωση κεραμικής μήτρας αποτελεί το τσιμέντο. Είναι γνωστές οι οικοδομικές κατασκευές τσιμέντου με ενίσχυση χάλυβα (οπλισμένο σκυρόδεμα), ινών αμιάντου (ελενίτ), ινών γυαλιού, καθώς επίσης και οι κατασκευές από γύψο με ενίσχυση ινών γυαλιού ή αμιάντου.

#### 4.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΙΝΩΝ ΚΑΙ ΜΗΤΡΑΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΙΝΩΔΩΝ ΣΥΝΘΕΤΩΝ

Κατά την επιλογή των υλικών ενίσχυσης και μήτρας, κατά το σχεδιασμό ενός σύνθετου υλικού, είναι αναγκαίο να λαμβάνονται υπόψη και άλλες παράμετροι όπως: η διάμετρος, το μήκος, η κατ' όγκο περιεκτικότητα των ινών στο σύνθετο υλικό, η ευθυγράμμιση και χωρική διάταξη των ινών εντός του υλικού της μήτρας και η συμβατότητα των υλικών ινών και μήτρας. Όλες αυτές οι ιδιότητες συντιθέμενες προσδιορίζουν και τις τελικές ιδιότητες του ινώδους σύνθετου υλικού.

##### ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΙΝΩΝ

Βασική παράμετρος είναι ο *συντελεστής σχήματος* της ίνας (*s*) (*aspect ratio*) που είναι ο λόγος του μήκους (*A*) προς την ακτίνα (*r*) των ινών και αποτελεί κριτήριο για το χαρακτηρισμό των ινών ως συνεχών ή ασυνεχών. Οι πρώτες προσδίδουν στο σύνθετο μεγαλύτερη αντοχή από τις δεύτερες. Γενικά, η αντοχή των ινών αυξάνεται με αύξηση του μήκους και μείωση της διαμέτρου τους.

Στις ασυνεχείς ίνες υπάρχει ένα κρίσιμο μήκος ( $A_c$ ), για δεδομένη διάμετρο ίνας (*d*), που ορίζεται από τη σχέση

$$A_c = \frac{\sigma_f d}{2\tau_i}$$

όπου:  $\sigma_f$  η αντοχή της ίνας σε εφελκυσμό και  $\tau_i$  η διατμητική τάση στη διεπιφάνεια ίνας-μήτρας.

Αν το μήκος της ίνας είναι μικρότερο του κρίσιμου μήκους  $A_c$ , η ενίσχυση που προσφέρει στο σύνθετο είναι πολύ μικρή, ενώ, αν είναι μεγαλύτερο ( $> 15A_c$ ), η ίνα συμπεριφέρεται ως συνεχής.

##### ΠΟΣΟΣΤΟ ΙΝΩΝ

Η αντοχή και η στιβαρότητα ενός σύνθετου υλικού, αυξάνονται, με αύξηση της κατ' όγκο αναλογίας των περιεχόμενων ινών. Για ποσοστά υψηλότερα του 80%, τίθενται προβλήματα στην κατασκευή του σύνθετου, αφού οι ίνες δεν μπορούν να καλυφθούν πλήρως από το υλικό της μήτρας.

Πολλές φορές, για την καλύτερη ενίσχυση της μήτρας δεν χρησιμοποιείται ένας, μόνον, τύπος ινών, αλλά μίγμα δύο ή περισσότερων τύπων. Τα παραγόμενα ονομάζονται υβριδικά σύνθετα (*hybrid composites*).

##### ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΙΝΩΝ

Οι συνεχείς, μονοδιευθυντικές ίνες παρουσιάζουν ισχυρή ανισοτροπία και η μηχανική τους αντοχή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διεύθυνση επιβολής του φορτίου. Ίνες διαφόρων προσανατολισμών είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν, ώστε η προσφερόμενη ενίσχυση του σύνθετου να είναι όσο το δυνατόν ισότροπη. Από το Σχήμα 20 συνάγεται ότι για σύνθετο υλικό με μονοδιευθυντικές ίνες, η βέλτιστη στιβαρότητα (μέτρο της οποίας είναι το μέτρο ελαστικότητας, *E*) και η βέλτιστη αντοχή, *UTS* επιτυγχάνονται εάν η εφαρμοζόμενη τάση είναι πάντοτε παράλληλη προς τον προσανατολισμό των ινών.





**Σχήμα 20: Επίδραση του προσανατολισμού των ινών στην αντοχή σε εφελκυσμό συνθέτου υλικού εποξυδικής μήτρας με ίνες E-γυαλιού.**

Συνήθως, όμως, ένα σύνθετο υλικό δεν είναι μονοστρωματικό, αλλά πολυστρωματικό. Όταν οι ίνες κάθε στρώσης έχουν τον ίδιο προσανατολισμό, το σύνθετο συμπεριφέρεται ως ανισότροπο, ενώ, όταν η ενίσχυση μονοδιευθυντικών ινών βρίσκεται υπό τη μορφή διαδοχικών στρώσεων διαφορετικού προσανατολισμού, το σύνθετο αποκτά ισότροπη συμπεριφορά.

#### **ΣΥΝΑΦΕΙΑ ΙΝΩΝ-ΜΗΤΡΑΣ**

Η καλή συνάφεια ινών-μήτρας είναι πολύ σημαντική για την καλή λειτουργία του συνθέτου. Η διεπιφάνεια ίνας-μήτρας, ορίζεται ως η κοινή επιφάνεια μεταξύ των δύο συστατικών υλικών, καθώς και η περιοχή στα σύνορα αυτής της επιφάνειας. Οι αναπτυσσόμενοι δεσμοί στη διεπιφάνεια ίνας-μήτρας πρέπει να είναι αρκετά ισχυροί, ώστε να εξασφαλίζεται η μεταφορά των τάσεων μεταξύ των δύο συστατικών του συνθέτου.

Η κακή συνάφεια έχει ως αποτέλεσμα την εκρίζωση (pull out) των ινών από τη μήτρα, που οδηγεί σε ταχύτερη αστοχία του υλικού. Γι' αυτό το λόγο, κατά το σχεδιασμό του συνθέτου, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συντελεστές θερμικής διαστολής μήτρας και ίνας και η αναγκαιότητα επικάλυψης των ινών με κάποιο συνδετικό υλικό:

- Οι ίνες γυαλιού επενδύονται με ουσίες που εξασφαλίζουν τη συνάφεια με τη μήτρα και την αντίσταση του συνθέτου στην υγρασία.
  - Οι ίνες άνθρακα επικαλύπτονται με οργανικές ουσίες, για αύξηση της συνάφειάς τους με τη μήτρα ή με Ni, όταν χρησιμοποιούνται με μεταλλικές μήτρες (Ag, Al).
  - Οι ίνες βορίου επικαλύπτονται με BN ή SiC, όταν συνδυάζονται με μήτρα αλουμινίου.
- Ίνες B  
με επικάλυψη SiC αναφέρονται ως Borsic.

#### **ΤΕΛΙΚΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ**

Στους Πίνακες 12-14 δίνονται παραδείγματα των συνηθέστερων συνθέτων υλικών οργανικής, μεταλλικής και κεραμικής μήτρας με ενίσχυση διαφόρων τύπων ινών και οι εφαρμογές τους στην κατασκευαστική βιομηχανία.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 12: Χαρακτηριστικά παραδείγματα συνθέτων υλικών οργανικής μήτρας**

ΜΗΤΡΑ	ΙΝΕΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
Εποξειδική	Kevlar	Αεροναυπηγική και ναυπηγική βιομηχανία. Βιομηχανία αθλητικών ειδών (ρακέτες τέννις, μπαστούνια golf, είδη τοξοβολίας, καλάμια ψαρέματος)
Πολυεστερική	Γραφίτη	Αεροναυπηγική και αυτοκινητο - βιομηχανία. Μέρη αεροσκαφών, πλοιαρίων και αυτοκινήτων, μικρού βάρους και υψηλής αντοχής σε διάβρωση.
Πολυμερική	Γυαλιού	Αθλητικός εξοπλισμός

**ΠΙΝΑΚΑΣ 13: Χαρακτηριστικά παραδείγματα συνθέτων υλικών μεταλλικής μήτρας**

ΜΗΤΡΑ	ΙΝΕΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
Al	Borsic	Πτερύγια στροβιλοκινητήρων αεροσκαφών.
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Εμβολα μηχανών Diesel.
	SiC	Πτερύγια εκτόξευσης βλημάτων.
	Γραφίτη	Ιστοί κεραίων τηλεσκοπίου Hubble.
Κραμάτων Cu	SiC	Υψηλής αντοχής προπέλες σκαφών.
Κράματα Ti και W	SiC & B <sub>4</sub> N	Πτερύγια και δίσκοι στροβίλων.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 14: Χαρακτηριστικά παραδείγματα συνθέτων υλικών κεραμικής μήτρας**

ΜΗΤΡΑ	ΙΝΕΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
Ανθρακα	Ανθρακα	Μέρη αεροσκαφών και διαστημοπλοίων υψηλών προδιαγραφών (επιτρεπτή η λειτουργία ως τους 3000 °C). Δισκόφρενα σε αγωνιστικά αυτοκίνητα
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiC, ZrO <sub>2</sub> , Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> και κεραμικά γυαλιά	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> & SiC	Αγωγοί εναλλακτών θερμότητας, συστήματα θερμομόνωσης.

## 4.5 ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η μορφοποίηση ινωδών συνθέτων υλικών περιλαμβάνει συνήθως τα ακόλουθα τρία στάδια:

- Παραγωγή των ινών.
- Διάταξη-διευθέτηση των ινών σε ιστό, πλέγμα ή πακέτα (yarn, tow, roving), όπου οι μεμονωμένες ίνες ομαδοποιούνται κατάλληλα ανά 100-100.000.
- Εισαγωγή των ινών στη μήτρα.

Με βάση το υλικό της μήτρας, οι μέθοδοι μορφοποίησης ινωδών συνθέτων υλικών μπορούν να καταταγούν στις εξής κατηγορίες:

### A. Μορφοποίηση συνθέτου οργανικής μήτρας

#### A1. Ασυνεχής μορφοποίηση συνθέτου (Σχήμα 21)

- Χειροποίητη στρώση (hand lay-up)
- Χύτευση θαλάμου πίεσης (pressure bag)
- Χύτευση σε διαιρετό καλούπι (matched die-moulding)

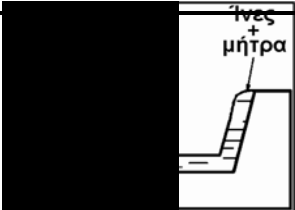

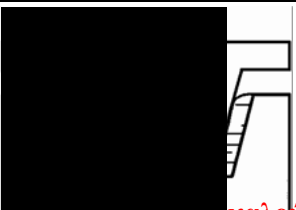
#### A2. Συνεχής μορφοποίηση συνθέτου (Σχήματα 22-24)

- Περιέλιξη νήματος (filament winding)
- Συνεχής μορφοποίηση ελάσματος (sheet moulding process, SMC)
- Μορφοποίηση με εμβάπτιση (pultrusion)

### B. Μορφοποίηση συνθέτου μεταλλικής μήτρας (Σχήματα 25-27)

- Συνδιέλαση (co-extrusion)
- Μορφοποίηση με χύτευση (casting process)
- Συμπύεση σε στερεή κατάσταση
- Απόθεση υλικού μήτρας

### Γ. Μορφοποίηση συνθέτου κεραμικής μήτρας

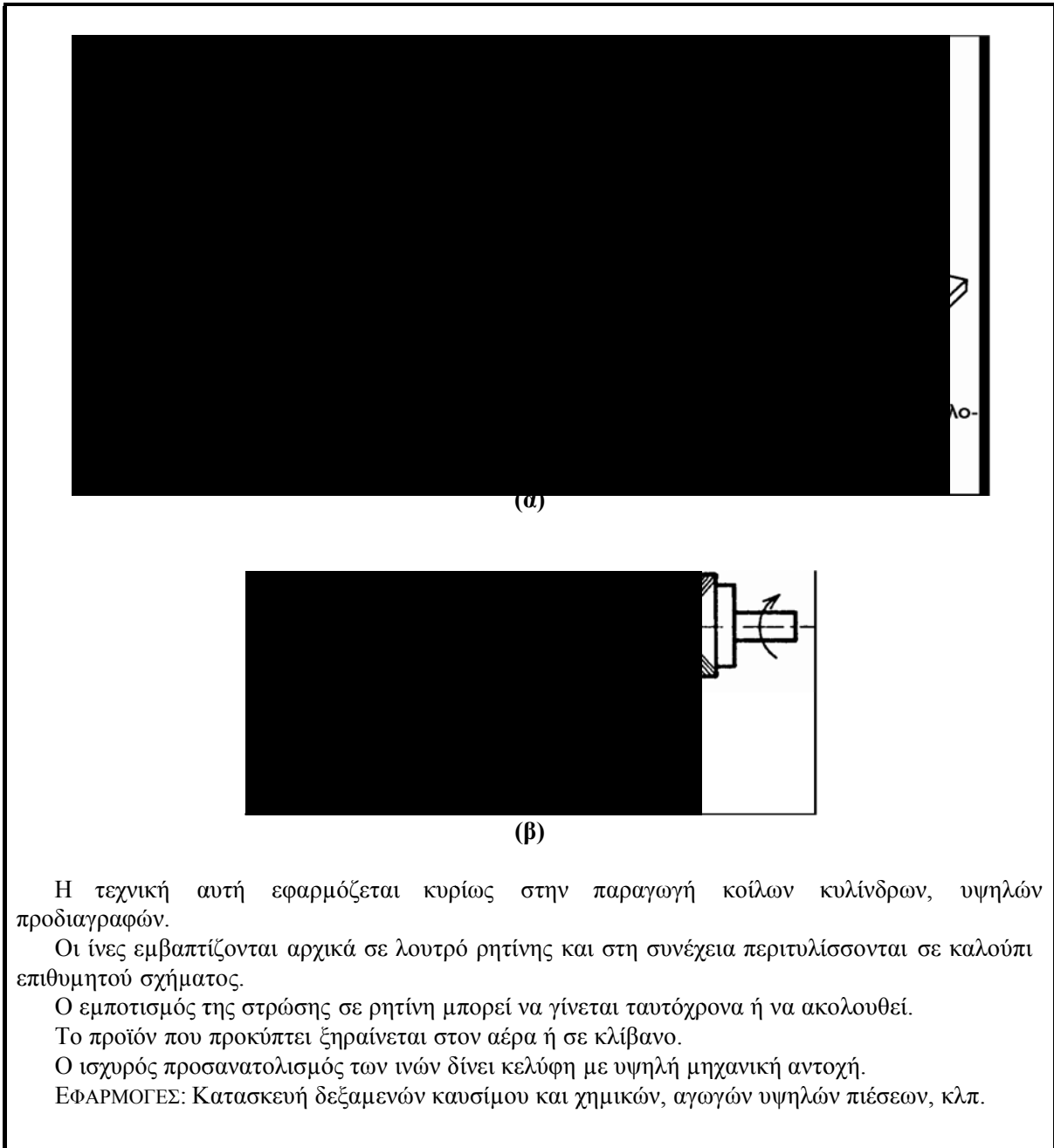
 <p><b>Χειροποίητη στρώση (hand lay-up)</b> (α)</p> <p>Απλή τεχνική, αλλά αργή και επίπονη. Πλέγματα ινών τοποθετούνται κατά στρώσεις σε καλούπι.</p> <p>Η ρητίνη (μαζί με τους καταλύτες και επιταχυντές) απλώνεται στις ίνες (με έγχυση ή επάλειψη ή ψεκασμό).</p> <p>Ακολουθεί συμπίεση με ρολό προς μείωση πορώδους και εξασφάλιση καλής συνάφειας ινών-μήτρας.</p> <p>Η πλάκα συνθέτου υποβάλλεται σε ξήρανση.</p>	 <p><b>Χύτευση θαλάμου πίεσης (pressure bag)</b> (β)</p> <p>Παραλλαγή της χειροποίητης στρώσης. Το πιεστικό μέσο της μήτρας είναι αέριο υπό πίεση.</p>	 <p><b>Χύτευση σε διαιρετό καλούπι (match die-moulding)</b> (γ)</p> <p>Η όλη διαδικασία μορφοποίησης του συνθέτου λαμβάνει χώρα μέσα σε διμερές καλούπι με την αντίστοιχη τεχνική χύτευσης.</p>
--	---	--

**Σχήμα 21:** Ασυνεχής μορφοποίηση συνθέτου: (α) χειροποίητη στρώση, (β) χύτευση θαλάμου πίεσης, (γ) χύτευση σε διαιρετό καλούπι.

Οι ίνες διατίθενται στην αγορά σε δεσμίδες τυλιγμένες γύρω από ένα κυλινδρικό οδηγό. Μπορεί να είναι ευθυγραμμισμένες ή πτεπλεγμένες.

Οι ασυνεχείς (μικρού μήκους) ίνες συνδυάζονται με το υλικό μήτρας είτε σε τυχαία διάταξη, είτε όσο το δυνατόν προσανατολισμένες.

Οι συνεχείς (μεγάλους μήκους) ίνες είτε ευθυγραμμίζονται σε μία διεύθυνση σε μορφή ταινίας είτε διατάσσονται σε πλεγμένα στρώματα (υαλοϋφασμα).



Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται κυρίως στην παραγωγή κοίλων κυλίνδρων, υψηλών προδιαγραφών.

Οι ίνες εμβαπτίζονται αρχικά σε λουτρό ρητίνης και στη συνέχεια περιτυλίσσονται σε καλούπι επιθυμητού σχήματος.

Ο εμποτισμός της στρώσης σε ρητίνη μπορεί να γίνεται ταυτόχρονα ή να ακολουθεί.

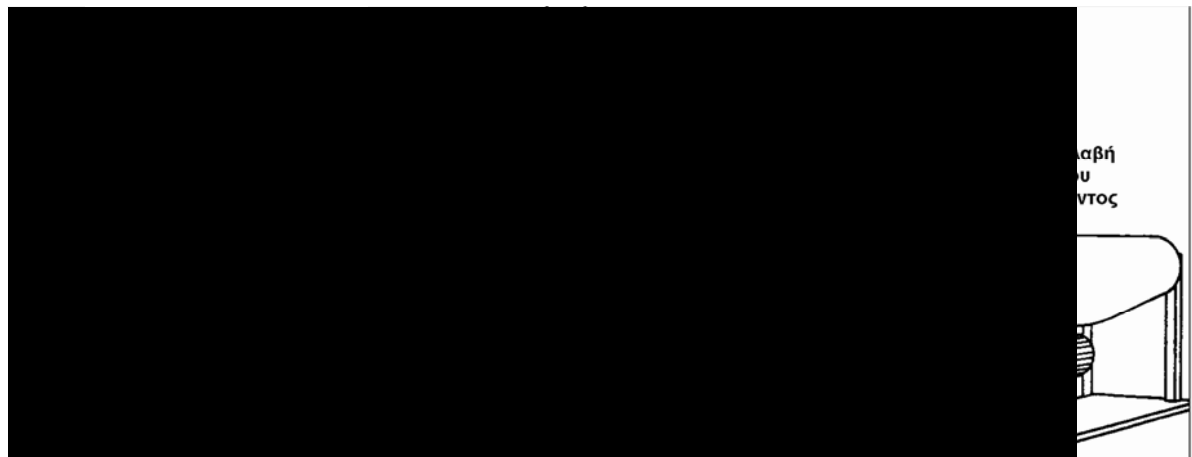
Το προϊόν που προκύπτει ξηραίνεται στον αέρα ή σε κλίβανο.

Ο ισχυρός προσανατολισμός των ινών δίνει κελύφη με υψηλή μηχανική αντοχή.

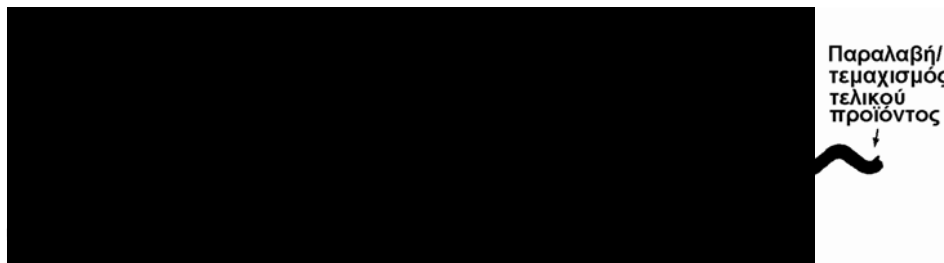
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ: Κατασκευή δεξαμενών καυσίμου και χημικών, αγωγών υψηλών πιέσεων, κλπ.

**Σχήμα 22: Συνεχής μορφοποίηση συνθέτου με περιέλιξη νήματος (filament winding)**

**(α) Διάταξη μορφοποίησης,  
(β) Σχηματική παράσταση διαδικασίας.**



(α)



(β)

Πρόκειται για σχετικά νέα τεχνική, με ευρεία εφαρμογή στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Συνεχείς ίνες γυαλιού τεμαχίζονται σε ίνες μικρού μήκους (5 cm) και αποτίθενται απευθείας σε στρώμα ρητίνης που κινείται σε λεπτό φιλμ πολυαιθυλενίου (PE).

Δεύτερο στρώμα ρητίνης αποτίθεται με όμοιο τρόπο πάνω στο πρώτο, δημιουργώντας έτσι ένα sandwich υλικό με πυρήνα τις ενισχυτικές ίνες.

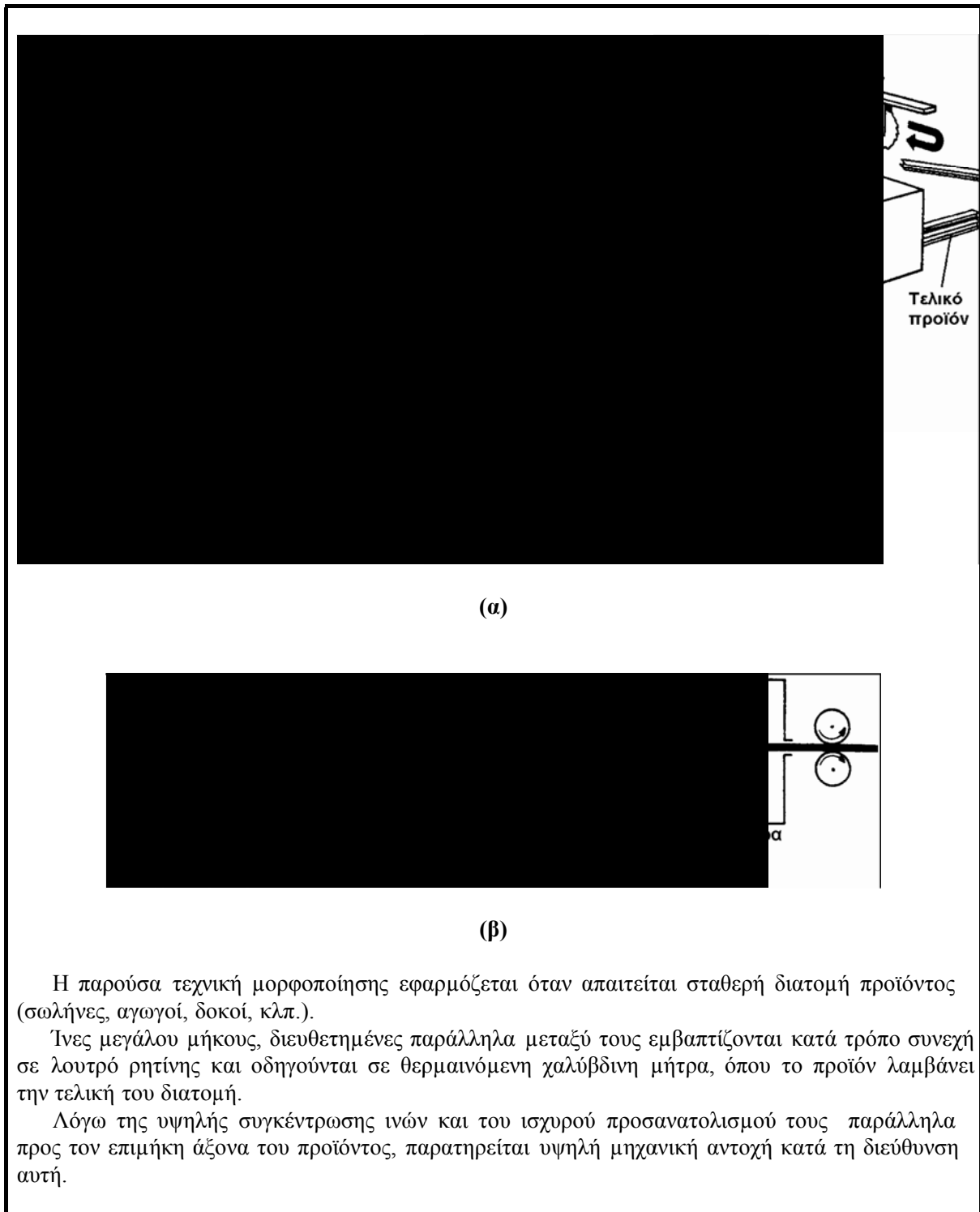
Το σύνθετο υλικό που προκύπτει τυλίσσεται σε ρολούς και αφήνεται να στερεοποιηθεί επί 1÷4 ημέρες, οπότε και επιτυγχάνεται καλή συνάφεια μεταξύ ινών-μήτρας.

Μετά το πέρας της διαμόρφωσης, η πλάκα συνθέτου κόβεται σε επιθυμητό μέγεθος και γεωμετρία και τοποθετείται σε θερμό μεταλλικό καλούπι, σε θερμοκρασία ~150 °C, όπου εφαρμόζεται υδραυλική πίεση και το αρχικό έλασμα μορφοποιείται σε τελικό προϊόν.

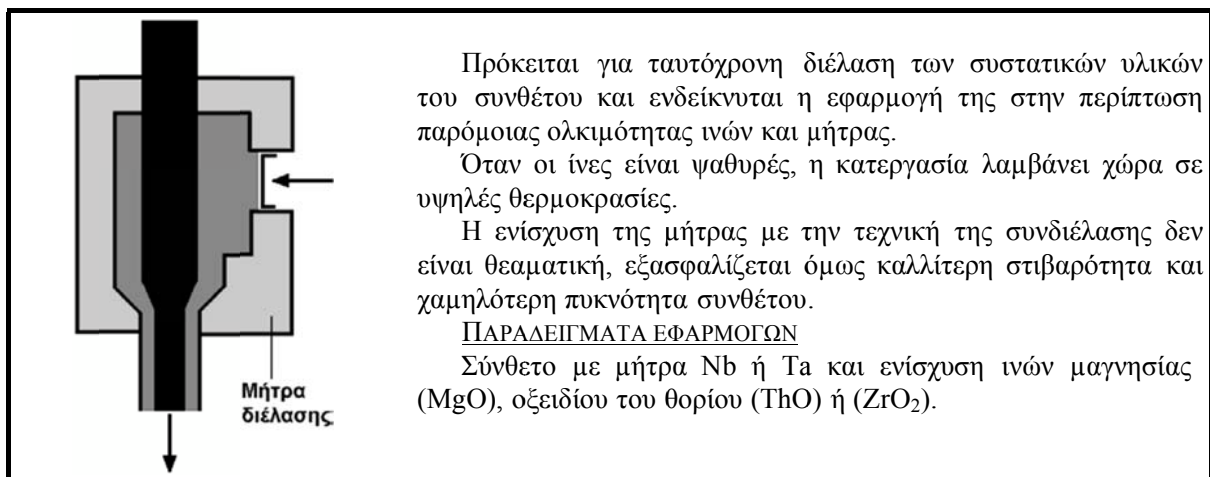
Τα προϊόντα της μεθόδου έχουν μεγάλες διαστάσεις και υψηλή ομοιογένεια.

**Σχήμα 23: Συνεχής μορφοποίηση ελάσματος (sheet moulding process, SMC)**

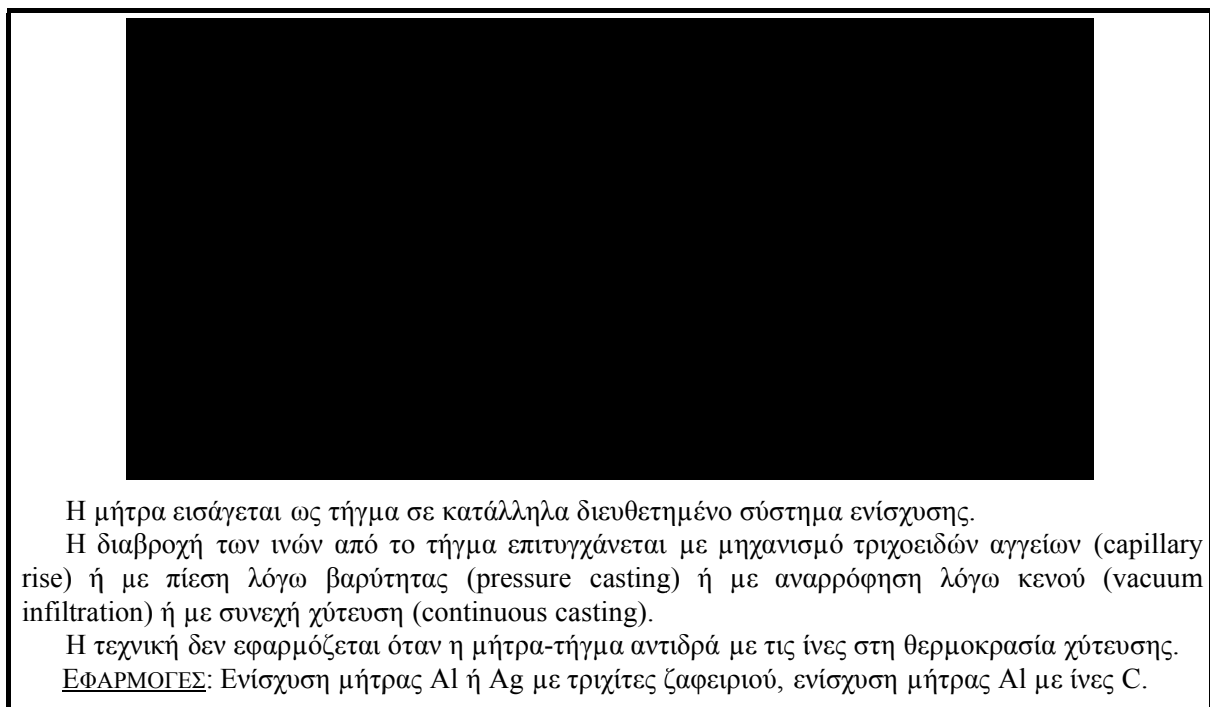
**(α) Διάταξη μορφοποίησης,  
(β) Σχηματική παράσταση διαδικασίας.**



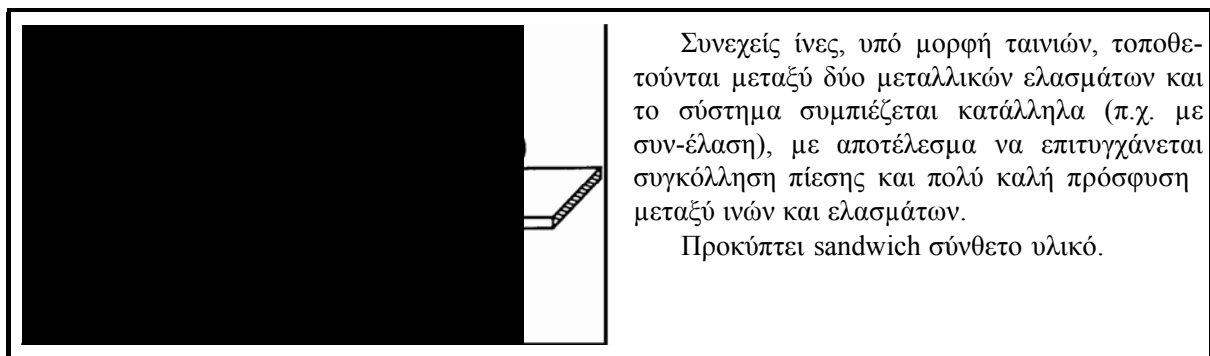
**Σχήμα 24: Μορφοποίηση με εμβάπτιση (pultrusion)**  
**(α) Διάταξη μορφοποίησης,**  
**(β) Σχηματική παράσταση διαδικασίας.**



Σχήμα 25: Συνδιέλαση (co-extrusion)



Σχήμα 26: Μορφοποίηση με: (α) χύτευση με τη βοήθεια τριχοειδών φαινομένων, (β) πίεση βαρύτητας, (γ) εφαρμογή κενού και (δ) συνεχή χύτευση.



Σχήμα 27: Μορφοποίηση συνθέτων μεταλλικής μήτρας με συμπίεση.

Η απόθεση υλικού μήτρας στις ενισχυτικές ίνες γίνεται με τη μέθοδο της χημικής εναπόθεσης ατμών (CVD) ή με ηλεκτραπόθεση.

#### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ - ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

1) Με CVD αποτίθενται Al και Ni σε ίνες C.

Με ηλεκτραπόθεση από διάφορα διαλύματα τους αποτίθενται Al, Cu και Ni σε ενισχυτικές ίνες κάθε τύπου.

Μετά την απόθεση υλικού οι επικαλυμμένες ίνες υποβάλλονται σε έψηση που εξασφαλίζει καλλίτερη συνάφεια μεταξύ ινών-μήτρας.

Οι τεχνικές μορφοποίησης συνθέτων κεραμικής μήτρας στηρίζονται στις τεχνικές μορφοποίησης των κεραμικών υλικών με διαδικασίες έψησης.

Η κεραμική μήτρα, υπό τη μορφή σκόνης, το συνδεδετικό υλικό (για εξασφάλιση καλής πρόσφυσης ινών-μήτρας) και οι ίνες υποβάλλονται σε έψηση σε υψηλή θερμοκρασία.

Στην περίπτωση υαλωδών κεραμικών, οι ενισχυτικές ίνες προστίθενται στη μήτρα, η οποία ευρίσκεται υπό μορφή τήγματος.

2) Σύνθετα κεραμικής μήτρας με ενισχυτικές ίνες SiC.

Σύνθετα με μήτρα νιτρίδιο του πυριτίου και ενίσχυση ινών W, SiC ή C.

Όταν το παραγόμενο σύνθετο υλικό πρέπει να λαμβάνει μη επίπεδη μορφή, η στρωματοποίηση επιτελείται μέσα σε καλούπια με ειδικές μεθόδους μορφοποίησης, π.χ. με έγχυση (injection moulding) ή με ψεκασμό (spray moulding).

Πιο πρόσφατα, με την ανάπτυξη 3-D (τρισεδιάστατων) συνθέτων υλικών, έχουν εξελιχθεί πιο πολύπλοκες διαδικασίες, ελεγχόμενες με υπολογιστή. Αφού το τρισεδιάστατο πλέγμα ινών στηθεί, το υλικό της μήτρας διαχέεται με πίεση εντός της διάταξης, όπου τελικά υφίσταται σκλήρυνση και παραδίδεται προς χρήση.

3) Νεολάκη ρητίνη αναμιγνύεται με λιγνίτη σε διαφορετικές αναλογίες, σκληρύνεται και ακολούθως θερμαίνεται μέχρι 1000 ° C. Τα εκλυόμενα αέρια CH<sub>4</sub> και CO κατά την θέρμανση μετρήθηκαν, καθώς και η απώλεια βάρους και η συρρίκνωση των δειγμάτων. Έχει βρεθεί, ότι η θερμική αποικοδόμηση των δειγμάτων σε θερμοκρασίες τουλάχιστον 800 ° C είναι αναγκαία. Έχει βρεθεί, ότι οι αναλογίες νεολάκης-λιγνίτη σε μίγματα μπορούν να επιλέγονται έτσι ώστε τα τελικά υλικά να μοιάζουν με εκείνα που παράγονται από καθαρό λιγνίτη ή από καθαρή νεολάκη.[25]

4) Σύνθετα υλικά ρητίνης νεολάκη και η βιομάζα που προέρχεται από κουκούτσια ελιάς, σε διάφορες αναλογίες, έχουν σκληρυνθεί με εξαμεθυλοτετραμίνη (HTA) και θερμάνθηκαν έως 900 ° C. Η διαδικασία θέρμανσης παρακολούθηθηκε χρησιμοποιώντας TGA και αέρια χρωματογραφία. Οι σημαντικοί παράμετροι των υλικών που χρησιμοποιούνται προσδιορίστηκαν. Τα παραγόμενα σύνθετα υλικά παρουσιάζουν σε θερμοκρασίες μέχρι περίπου 600 ° C μικρότερες απώλειες βάρους από ό, τι αναμένεται από τον κανόνα των μιγμάτων, λόγω πρόσθετες διασυνδέσεις της λιγνίνης με HTA. Αυτό το αποτέλεσμα σταθεροποίησης, εξαφανίστηκε κατά την θέρμανση σε υψηλότερες θερμοκρασίες λόγω της διάλυσης των άλλων χημικών δεσμών. Ένας ρυθμός θέρμανσης 10 ° C / min ήταν αναγκαίος



για τις διαδικασίες θέρμανσης των μιγμάτων προκειμένου να προκύψει η ελάχιστη απώλεια βάρους του υλικού και ο ελάχιστος χρόνος θέρμανσης.[27 , 28]

5) Νεολάκη ρητίνη με εξαμεθυλοτετραμίνη (HTA) σκληρύνθηκε με βιομάζα λιγνίνης ή υδροξυμεθυλιωμένης λιγνίνης ή κυτταρίνης. Το γεωργικό / βιομηχανικό υποπροϊόν της πέτρας ελιάς χρησιμοποιήθηκε ως βιομάζα. Λιγνίνη, υδροξυμεθυλιωμένη λιγνίνη και κυτταρίνη είχαν απομονωθεί από τη βιομάζα. Η διαδικασία παρακολουθήθηκε με DSC και IR φασματοσκοπία. Με βάση τα φάσματα IR των υλικών και τις χαρακτηριστικές ζώνες τους, η αναλογία της νεολάκης / βιομάζας επιλέχθηκε να είναι 50/50 για την παρασκευή μιγμάτων νεολάκης. Γενικώς, η θέρμανση όλων των υλικών ήταν μια αντίδραση πρώτης τάξης, υποδεικνύοντας ότι ο μηχανισμός σκλήρυνσης της νεολάκης παραμένει ο ίδιος. Η ενσωμάτωση της βιομάζας στη μάζα της νεολάκης-HEXA οδηγεί σε αύξηση των E και ko.[29 , 30]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

### ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί μέχρι τώρα στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται κατανοητό πως τα σύνθετα υλικά πρωταγωνιστούν πλέον σε πολλούς τομείς της ζωής μας. Παρόλο που δεν αποτελούν σίγουρα την οικονομικότερη επιλογή σε σχέση με άλλα πιο παραδοσιακά υλικά, έχουν πλέον επικρατήσει σε πολλές εφαρμογές εξαιτίας του συνδυασμού ιδιοτήτων που παρουσιάζουν. Ακόμη προτιμούνται λόγω της μοναδικότητας που συχνά εμφανίζουν αλλά και λόγω των αυξημένων τεχνολογικών απαιτήσεων που έχει επιβάλλει η εποχή μας. Προκειμένου να γίνει καλύτερη εξοικονόμηση βάρους και ενέργειας αλλά και να πετύχουμε μέγιστες μηχανικές αντοχές στις περισσότερες εφαρμογές υψηλής τεχνολογίας χρησιμοποιούνται σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας. Για αυτούς όλους τους λόγους, η προσοχή της παγκόσμιας επιστημονικής κοινότητας έχει στραφεί προς την εξέλιξη και την βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων των σύνθετων υλικών. Η ρητίνη νεολάκη, όπως και η ευρύτερη κατηγορία των φαινολικών ρητίνων επιλέγεται ως μήτρα για τα σύνθετα λόγω των ακόλουθων ιδιοτήτων της : είναι χαμηλού κόστους , είναι θερμικός μονωτής , προσφέρει ηχομόνωση , έχει χαμηλή αναφλεξιμότητα , βοηθάει στην απόσβεση κραδασμών.

Στην παρούσα εργασία επιδιώκεται η κατασκευή σύνθετων υλικών με μήτρα ρητίνη νεολάκης με διαφορετικά είδη ξύλου. Απώτερος στόχος των δοκιμών που θα κατασκευαστούν να έχουν ικανοποιητικές μηχανικές ιδιότητες και ταυτόχρονα χρωματοαπορροφητικές ικανότητες. Ακολουθεί η αναλυτική εξήγηση της πειραματικής διαδικασίας.

#### ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Με τη χρήση του ιγδίου πορσελάνης θα κονιοποιήσουμε διαδοχικά τα αντιδραστήρια μέχρι λεπτής σκόνης. Ακολούθως θα ζυγιστούν οι απαιτούμενες ποσότητες και θα ομογενοποιηθούν εντός ποτηρίου. Στη συνέχεια το προϊόν θα μεταφερθεί εντός του εκγλύφου τμήματος της μήτρας. Μετά το ανάγλυφο τμήμα, καθώς και το σύνολο της μήτρας θα τοποθετηθεί εντός της θερμοπρέσσας. Ακολουθεί η διαδικασία της σκλήρυνσης, η οποία λαμβάνει χώρα σε πίεση 10000 kg και θερμοκρασία 160°C για χρονικό διάστημα 10 min. Τέλος οι θερμαινόμενες πλάκες θα αφήνονται να ψυχθούν και αποπιέζοντας τη θερμοπρέσσα θα απομακρύνεται το μορφοποιημένο προϊόν.

Τα παρακάτω όργανα και συσκευές θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας:

- i. Ιγδίων πορσελάνης
- ii. Θερμοπρέσσα
- iii. Μήτρες μορφοποίησης

Τα παρακάτω αντιδραστήρια απαιτούνται και στις αντίστοιχες ποσότητες:

- i. Ρητίνη νεολάκης 12,5g
- ii. Πριονίδι (διαφορετικού είδους-πεύκου, οξιάς, καρυδιάς, μελαμίνης-σε κάθε επανάληψη) 12,5g
- iii. Εξαμεθυλενοτετραμίνη (HEXA) 2g
- iv. Οξειδίο μαγνησίου 1g
- v. Στεατικό ασβέστιο 0,5g



## **Β' ΜΕΡΟΣ : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°**

#### **ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ**

Σε αυτό το τμήμα της διπλωματικής αναφέρονται αναλυτικά τα καταστήματα των προμηθευτών των πρώτων υλών, καθώς και τα απαραίτητα στοιχεία τους. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων συλλέχθηκαν από τις προιονοκορδέλες(ειδικό μηχάνημα κοπής ξύλου). Προς διευκρίνιση, όλοι οι προμηθευτές θεωρούνται εξειδικευμένοι στο είδος του ξύλου που επεξεργάζονται, για το λόγο αυτό οι πρώτες ύλες βρίσκονται σε καθαρότητα σχεδόν 100%.

Οι προμηθευτές είναι οι εξής:

1) για την καρυδιά:

υπολείματα ξυλουργείου – πριονιστηρίου

2) για την οξιά:

**Ξυλοτορνευτήριο Πέτρος Β. Κεϊσογλου**  
**Διεύθυνση: Αλ. Παναγούλη 19, Αχαρναί**  
**Τηλ: 210 - 2381249**

3) για την μελαμίνη:

Κων/νος Κουνουβέλης & ΣΙΑ Ο.Ε.  
Διεύθυνση : Σαπουντζάκη 7 , Νέα Ιωνία  
Τηλ. : 210 - 2759822

4) για το πεύκο:

Wooden profiles  
Θωμάϊδη Ι. Υιοί Ο.Ε.  
Τηλ: 210-2797609  
Διεύθυνση: Ανδρέα Κάλβου 105, Νέα Ιωνία

## 7° ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

#### ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΡΗΤΙΝΗΣ – ΚΥΤΤΑΡΙΝΗΣ

##### 7.1 Αντιδράσεις διασταυρώσεως πλέγματος (σκλήρυνση) και Πλέγματα

Τα μακρομόρια των διάφορων πολυμερών διαφέρουν όχι μόνο ως προς τη σύσταση της αλυσίδας και τη σύνδεση ή αντίστοιχα τη διαδοχή των δομικών μονάδων, αλλά επίσης διαφέρουν και στη μοριακή αρχιτεκτονική. Η τελευταία καθορίζεται από τον τρόπο με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους οι επί μέρους μακρομοριακές αλυσίδες. Διακρίνονται γραμμικές (ή μη διακλαδωμένες) αλυσίδες, διακλαδωμένες και πλέγματα αλυσίδων. Όλα αυτά θεωρούνται ως μια περίπτωση ισομέρειας δομής, εφόσον το μακρομόριο (αλυσίδα) προέρχεται από το ίδιο μονομερές (ίδια δομική μονάδα).

Στα πολυμερή πλέγματος (networks) υπάρχουν διασταυρούμενες συνδέσεις των αλυσίδων των μακρομορίων ή διασταυρώσεις ή σταυροδεσμοί (cross-linking = διασταύρωση πλέγματος), έτσι ώστε να σχηματίζεται ένα πλέγμα που να μπορεί να αναπτύσσεται σε δύο διαστάσεις ή συνήθως στις τρεις διαστάσεις του χώρου. Τέτοια πλέγματα μπορούν να είναι διευθετημένα (να έχουν τάξη) ή όχι. Τα πολυμερή πλέγματος περιέχουν ανά αλυσίδα τουλάχιστον δύο γέφυρες προς την ίδια αλυσίδα ή προς άλλες αλυσίδες. Πλέγμα μπορεί δηλαδή να δημιουργηθεί και με διαμοριακές δυνάμεις (δυνάμεις μεταξύ γειτονικών μορίων). Γενικά το πλέγμα μπορεί να δημιουργηθεί με χημική διασταύρωση (όπου η σύνδεση γίνεται με κάποιο χημικό δεσμό), οπότε προκύπτουν χημικά πλέγματα πολυμερών (chemical networks) ή με φυσική διασταύρωση, οπότε πρόκειται για φυσικά πλέγματα πολυμερών (physical networks). Η φυσική διασταύρωση προκύπτει π.χ. με δημιουργία κάποιου «κόμπου» μεταξύ αλυσίδων, με τοπική αναδίπλωση μεταξύ δύο αλυσίδων ή με συνενώσεις (assemblies) πολλών αλυσίδων που συγκρατούνται μαζί με μη χημικούς δεσμούς (δηλαδή με δεσμούς χαμηλής ενέργειας δεσμού). Τέτοιες συνενώσεις τμημάτων από διάφορες αλυσίδες (μακρομόρια) αναιρούνται σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Δηλαδή τα φυσικά πλέγματα πολυμερών μπορούν επίσης συχνά να διαλύονται σε κατάλληλους διαλύτες.

Η παρουσία κατά τον πολυμερισμό ενώσεων με περισσότερες από δύο δραστικές ομάδες οδηγεί στον σχηματισμό διακλαδωμένων μακρομορίων και μακρομορίων πλέγματος.

Για να χαρακτηριστεί μια μακρομοριακή ένωση ως διακλαδωμένη ή ως πλέγματος εξαρτάται από το μήκος των αλυσίδων (δηλαδή από το μοριακό βάρος ή τον βαθμό πολυμερισμού), την γραμμικότητα της αλυσίδας και τον βαθμό των διασταυρώσεων (αντίστοιχα πυκνότητα του πλέγματος). Εφόσον η

μακρομοριακή ένωση είναι ακόμα διαλυτή, έχουμε γενικά διακλαδώσεις (ή επίσης πλευρικές αλυσίδες). Όταν η ένωση είναι αδιάλυτη σε όλους τους διαλύτες, τότε έχουμε πλέγμα. Σε αυτήν την κατάσταση όλα τα άτομα όλης της ουσίας του πολυμερούς είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με κύριους δεσμούς. Τα μακρομόρια πλέγματος είναι αδιάλυτα σε όλους τους διαλύτες, όμως ανάλογα με τον βαθμό διασταυρώσεων μπορούν να διαποτίζονται από τον διαλύτη περισσότερο ή λιγότερο. Ο βαθμός πήγματος μπορεί να χρησιμεύσει ως σχετικό μέτρο για τον βαθμό των διασταυρώσεων.

Όπως αναφέρθηκε, ως διασταυρώσεις πλέγματος χαρακτηρίζονται οι συνδέσεις των αλυσίδων των μακρομορίων μεταξύ τους με κύριους ή δευτερεύοντες δεσμούς. Κατά την αρχική φάση της δημιουργίας των διασταυρώσεων πλέγματος το πολυμερές είναι ακόμα διαλυτό σε κάποιο διαλύτη, έτσι ώστε σε αυτήν τη φάση έχουμε γενικά διακλαδώσεις. Εάν όμως συνεχιστούν οι αντιδράσεις διασταυρώσεως πλέγματος, τότε σύντομα τα συνδεδεμένα μεταξύ τους μακρομόρια φτάνουν σε ένα κρίσιμο μέγεθος, έτσι ώστε να εμφανίζεται αδιαλυτότητα του πολυμερούς σε όλους τους διαλύτες. Αυτό, βέβαια, ισχύει για τις διασταυρώσεις πλέγματος με κύριους δεσμούς. Για διασταυρώσεις πλέγματος με δευτερεύοντες δεσμούς είναι χαρακτηριστικό ότι υπάρχουν διαλύτες που εξουδετερώνουν τις θέσεις συνδέσεως μεταξύ των μακρομορίων και μάλιστα τέτοια πολυμερή είναι συνήθως θερμοαντιστρεπτά.

Οι γέφυρες που συνδέουν τμήματα της ίδιας αλυσίδας του μακρομορίου ή διαφορετικές αλυσίδες μακρομορίων μπορεί να αποτελούνται από τις ίδιες ή διαφορετικές δομικές μονάδες ως προς αυτές των μακρομορίων του πολυμερούς. Συνήθως στις αντιδράσεις διασταυρώσεως πλέγματος χρησιμοποιείται ένα κατάλληλο μέσο, το οποίο λόγω του μεγάλου μήκους των μακρομορίων αρκεί ακόμα και σε μικρή ποσότητα για να προκαλέσει ολοκληρωτική διασταύρωση πλέγματος δηλαδή σύνδεση όλων των μακρομορίων του πολυμερούς. Η ποσότητα αυτή είναι τόσο μικρότερη, όσο μεγαλύτερο είναι το μοριακό βάρος του πολυμερούς πριν από τις διασταυρώσεις πλέγματος. Οι διασταυρώσεις πλέγματος αναπτύσσονται με διάφορους μηχανισμούς. Γενικά οι αντιδράσεις που οδηγούν σε διασταυρώσεις πλέγματος μπορούν να καταταχθούν σε τρεις κατηγορίες:

- a. Αντιδράσεις διασταυρώσεως πλέγματος
- b. Αντιδράσεις διασταυρώσεως πλέγματος με δραστικές ομάδες και
- c. Αντιδράσεις διασταυρώσεως πλέγματος με συνδυασμό ελευθέρων ριζών

## 7.2 Σκλήρυνση νεολάκης

Η ρητίνη νεολάκη παράγεται με σταδιακό πολυμερισμό (περίπτωση πολυσυμπυκνώσεως) μεταξύ φαινόλης και φορμαλδεΐδης παρουσία οξέως ως καταλύτη. Για να μην οδηγείται η αντίδραση εξ αρχής σε διασταυρωμένα μακρομόρια τίθεται στην αρχική αναλογία φαινόλης – φορμαλδεΐδης μια περίσσεια φαινόλης. Η παραγόμενη νεολάκη, λόγω της περισσειας φαινόλης, έχει φαινολικές ακραίες ομάδες. Η νεολάκη είναι σταθερή κατά την αποθήκευση για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα. Το τελικό προϊόν είναι θερμοπλαστικό και επομένως τήκεται και είναι διαλυτό σε οργανικούς διαλύτες, όπως σε αλκοόλες, κετόνες, εστέρες, καθώς και σε αραιά καυστικά διαλύματα.

Κατά την περαιτέρω επεξεργασία της νεολάκης με ή χωρίς πρόσθετα λαμβάνει χώρα η λεγόμενη σκλήρυνση. Κατά τη διάρκειά της τα μόρια της ρητίνης με παραπέρα συμπύκνωση σχηματίζουν διασταυρώσεις και έτσι το τελικό προϊόν είναι θερμοσκληρυνόμενο. Η σκλήρυνση της νεολάκης γίνεται με προσθήκη εξαμεθυλοτετραμίνης με σκοπό να συνδεθούν οι αρωματικοί δακτύλιοι της νεολάκης μέσω γεφυρών μεθυλενίου. Αυτές οι συνδέσεις γίνονται κατά προτίμηση στη θέση -4 του φαινολικού συγκροτήματος με απομάκρυνση αμμωνίας.

### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

#### 1)ΠΟΡΕΙΑ

Με τη χρήση του ιγδίου πορσελάνης κονιοποιούμε διαδοχικά τα αντιδραστήρια μέχρι λεπτής σκόνης.

Ακολούθως ζυγίζονται οι απαιτούμενες ποσότητες και ομογενοποιούνται εντός ποτηρίου.

Στη συνέχεια το προϊόν μεταφέρεται εντός του εκγλύφου τμήματος της μήτρας.

Μετά το ανάγλυφο τμήμα, καθώς και το σύνολο της μήτρας εισέρχεται εντός της θερμοπρέσσας. Ακολουθεί η διαδικασία της σκλήρυνσης, η οποία λαμβάνει χώρα σε πίεση 10000 kg και θερμοκρασία 160°C για χρονικό διάστημα 10 min (οι τιμές για τη θερμοκρασία και τον χρόνο παραμονής προέκυψαν από βιβλιογραφία). Από τη στιγμή που η μήτρα με θερμοκρασία περιβάλλοντος, εισέρχεται στο χώρο της θερμοπρέσσας, που έχει σταθερή θερμοκρασία 160° C, το φαινόμενο εξελίσσεται ως εξής:

Στην αρχή έχουμε μίγμα στερεών, ακολουθεί τήξη, σκλήρυνση, στερεοποίηση.

Τέλος οι θερμαινόμενες πλάκες αφήνονται να ψυχθούν και αποπιέζοντας τη θερμοπρέσσα, απομακρύνεται το μορφοποιημένο προϊόν.

## 2)ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΟΡΓΑΝΑ

Τα παρακάτω όργανα και συσκευές χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας:

- i. Ιγδίων πορσελάνης
- ii. Θερμοπρέσσα
- iii. Μήτρες μορφοποίησης

## 3)ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΑ

Τα παρακάτω αντιδραστήρια απαιτούνται και στις αντίστοιχες ποσότητες:

- i. Ρητίνη νεολάκης 12,5g
- ii. Πριονίδι (διαφορετικού είδους-πεύκου, οξιάς, καρυδιάς, μελαμίνης-σε κάθε επανάληψη) 12,5g
- iii. Εξαμεθυλενοτετραμίνη (HEXA) 2g
- iv. Οξειδίο μαγνησίου 1g
- v. Στεατικό ασβέστιο 0,5g

Η αναλογία νεολάκης – HEXA που επιλέχθηκε προέκυψε από βιβλιογραφία. Αν και μια αναλογία της τάξης 14/1 θα ήταν καλή, για λόγους εξασφάλισης της επιτυχής διεκπεραίωσης των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε η αναλογία 12,5/2.

## **ΜΗΤΡΑ**

Ως μήτρα χρησιμοποιήθηκε μεταλλικό καλούπι δύο θέσεων με διαστάσεις η μια 21cm μήκος και 1cm πλάτος και η άλλη 21cm μήκος και 1,7cm πλάτος. Το πάχος του τελικού προϊόντος καθορίστηκε χρησιμοποιώντας ειδικές λάμες, φτιαγμένες από αλουμίνιο, να είναι 3mm. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας η μήτρα ήταν ανοιχτή στα δύο άκρα και τα διάφορα τμήματά της τα συγκρατούσαν βίδες.



## **ΘΕΡΜΟΠΡΕΣΣΑ**

Η πρέσσα που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα ήταν της “Dake Corporation GR and Heaven”. Οι συνθήκες λειτουργίας της ήταν τάση 240V και ισχύς 4800W. Αυτή είχε συστήματα θέρμανσης και ψύξης αυτόματα ρυθμιζόμενα.

## **ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΟ**

Το σκληρόμετρο που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της σκληρότητας των δοκιμίων ήταν τύπου A της εταιρίας “Shore Instruments - Instron”. Ήταν εφοδιασμένο με μεταλλική ακίδα και η διαδικασία της μέτρησης γινόταν ως εξής:

- A) τοποθέτηση του ως προς εξέταση δοκιμίου σε μια οριζόντια επιφάνεια
- B) με το σκληρόμετρο κάθετο στο δοκίμιο, εφαρμόζαμε πίεση μέχρι την πλήρη επαφή του δοκιμίου με το κάτω μέρος του σκληρόμετρου
- Γ) διαβάζαμε το δείκτη στην επιφάνεια του σκληρόμετρου και καταγράφαμε την ένδειξη.

Το καλιμπράρισμα του σκληρόμετρου είχε γίνει σύμφωνα με το ASTM D-2240.

Το σκληρομέτρο είναι ένα από τα πολλά μέτρα της σκληρότητας του υλικού. Η σκληρότητα μπορεί να ορίζεται ως αντίσταση ενός υλικού σε μόνιμη οδόντωση. Η κλίμακα του σκληρόμετρου ορίστηκε από τον Albert F. Shore, ο οποίος ανέπτυξε μια συσκευή μέτρησης που ονομάζεται σκληρόμετρο τη δεκαετία του 1920. Χρησιμοποιείται σαν ένα μέτρο της σκληρότητας σε πολυμερή, ελαστομερή και λάστιχα. [4]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup>

### ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

#### 8.1 Μηχανικών ιδιοτήτων

Μετρήθηκαν η αντοχή των δοκιμίων σε κάμψη και σε διάτμηση. Οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν τρεις φορές και η μεγαλύτερη από τις τρεις καταγράφηκε. Αυτό συνέβη διότι στις μετρήσεις αυτές ενδιαφέρει η μέγιστη δυνατότητα του δοκιμίου. Το σχετικό σφάλμα ήταν  $\pm 7\%$ .

##### 1) Αντοχή σε κάμψη

###### A) Μέθοδος μέτρησης

Έγινε κάμψη “τριών σημείων” σύμφωνα με το DIN – 53452. Τα δοκίμια είχαν διαστάσεις: 11mm x 3mm , ενώ η απόσταση των σημείων στηρίξεως ήταν 10cm.

###### B) Συσκευή

Χρησιμοποιήθηκε χειροκίνητη συσκευή, η οποία σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε από το προσωπικό του μηχανουργείου της Έδρας Μηχανικής Α. Η δύναμη μετρήθηκε με δυναμόμετρο ακρίβειας 10N.

###### Γ) Μετρήσεις

Η αντοχή σε κάμψη  $\sigma_B$  υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$\sigma_B = \frac{3}{2} \frac{P_{max}}{b d^2} L_S$$

Όπου:  $P_{max}$  = μέγιστη δύναμη φόρτισης του δοκιμίου σε MPa

$L_S$  = απόσταση των σημείων στήριξης σε mm

b = πλάτος του δοκιμίου σε mm

d = πάχος του δοκιμίου σε mm

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΕΙΔΟΣ ΞΥΛΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΝΔΕΙΞΗ ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΟΥ	ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΣΕ $P_{max}$ (N)	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ $\sigma_B$ (MPa)
ΟΞΙΑ	1,2	19,2	29,09
ΚΑΡΥΔΙΑ	3,9	62,7	94,99
ΠΕΥΚΟ	2,0	32,2	48,79
ΜΕΛΑΜΙΝΗ	3,1	49,8	75,45

### 2) Αντοχή σε διάτμηση

#### A) Μέθοδος μέτρησης

Η μέτρηση της διατμητικής αντοχής έγινε βάσει του πειράματος της κάμψης μειώνοντας την απόσταση των σημείων στήριξης προς το πάχος του δοκιμίου, σύμφωνα με το ASTM – NORM D 2344 – 65T. Η απόσταση των σημείων ήταν 15mm, δηλαδή 5:1 ως προς το πάχος. Διαστάσεις δοκιμίων: 17mm x 3mm.

#### B) Συσκευή

Η ίδια συσκευή με την κάμψη με διαφορετική θέση στα σημεία στήριξης.

#### Γ) Μετρήσεις

Η αντοχή σε διάτμηση  $T_B$  υπολογίστηκε από τον τύπο:

$$T_B = 0,75 \frac{P_{max}}{b d}$$

Όπου:  $P_{max}$  = μέγιστη δύναμη φόρτισης του δοκιμίου σε MPa

b = πλάτος του δοκιμίου σε mm

d = πάχος του δοκιμίου σε mm

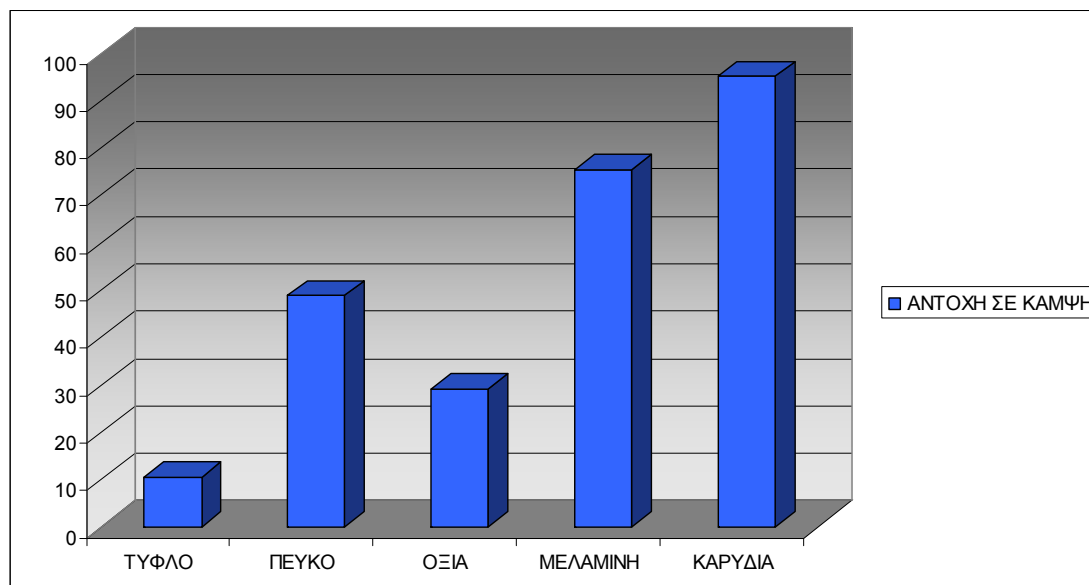
## ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

ΕΙΔΟΣ ΞΥΛΟΥ	ΜΕΓΙΣΤΗ ΕΝΔΕΙΞΗ ΔΥΝΑΜΟΜΕΤΡΟΥ	ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΣΗ ΣΕ $P_{max}$ (N)	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ $T_B$ (MPa)
ΟΞΙΑ	16,0	257,23	3,86
ΚΑΡΥΔΙΑ	20,0	321,54	4,82
ΠΕΥΚΟ	16,5	265,27	3,98
ΜΕΛΑΜΙΝΗ	19,0	305,47	4,58

Ακολουθούν τα διαγράμματα που απεικονίζουν πιο παραστατικά τα είδη ξύλου και τις μετρήσεις στις αντοχές σε κάμψη και σε διάτμηση. Το δείγμα που τιτλοφορείται ως “τυφλό” δεν περιέχει καθόλου πριονίδι και χρησιμοποιήθηκε για να γίνει πιο φανερή η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων.

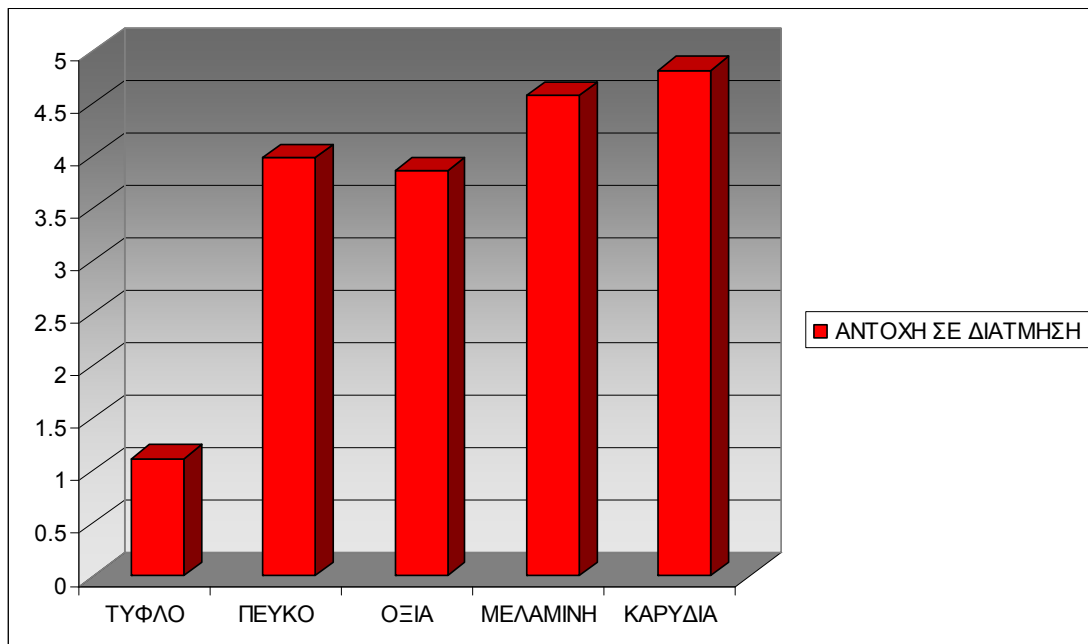
## ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

ΕΙΔΟΣ	ΑΝΤΟΧΗ $\sigma_B$ (MPa)
ΤΥΦΛΟ	10.5
ΠΕΥΚΟ	48.79
ΟΞΙΑ	29.09
ΜΕΛΑΜΙΝΗ	75.45
ΚΑΡΥΔΙΑ	94.99



## ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

ΕΙΔΟΣ	ΑΝΤΟΧΗ ΤΒ (MPa)
ΤΥΦΛΟ	1.12
ΠΕΥΚΟ	3.98
ΟΞΙΑ	3.86
ΜΕΛΑΜΙΝΗ	4.58
ΚΑΡΥΔΙΑ	4.82



## **8.2 Χρωματοπροσροφητικών ιδιοτήτων**

### A) Μέθοδος μέτρησης

Τα δοκίμια βάφτηκαν με δύο τρόπους : με πινέλο και με εμβάπτιση. Στον πρώτο τρόπο υπήρχε μία επαφή κάθε πλευράς του δοκιμίου με το πινέλο, ενώ στο δεύτερο το κάθε δοκίμιο εμβαπτιζόταν στο δοχείο για 10 δευτερόλεπτα και αφηνόταν να στεγνώσει για άλλα 10 δευτερόλεπτα. Μετά το πέρας της διαδικασίας της βαφής μετρήθηκε το πάχος των δοκιμίων. Η διαφορά του αρχικού πάχους με το τελικό είναι η ποσότητα του χρώματος που προσροφήθηκε από το εκάστοτε δοκίμιο.

### B) Συσκευή

Στην μέθοδο με πινέλο χρησιμοποιήθηκε απλό πινέλο του εμπορίου, ενώ στην εμβάπτιση ένα δοχείο που περιείχε το χρώμα. Το χρώμα ήταν λευκό και είχε παρασκευαστεί στο χώρο του εργαστηρίου στις 29/5/2012. Τέλος και στις δύο μεθόδους χρησιμοποιήθηκε παχύμετρο.

### Γ) Μετρήσεις

#### a) με χρήση πινέλου

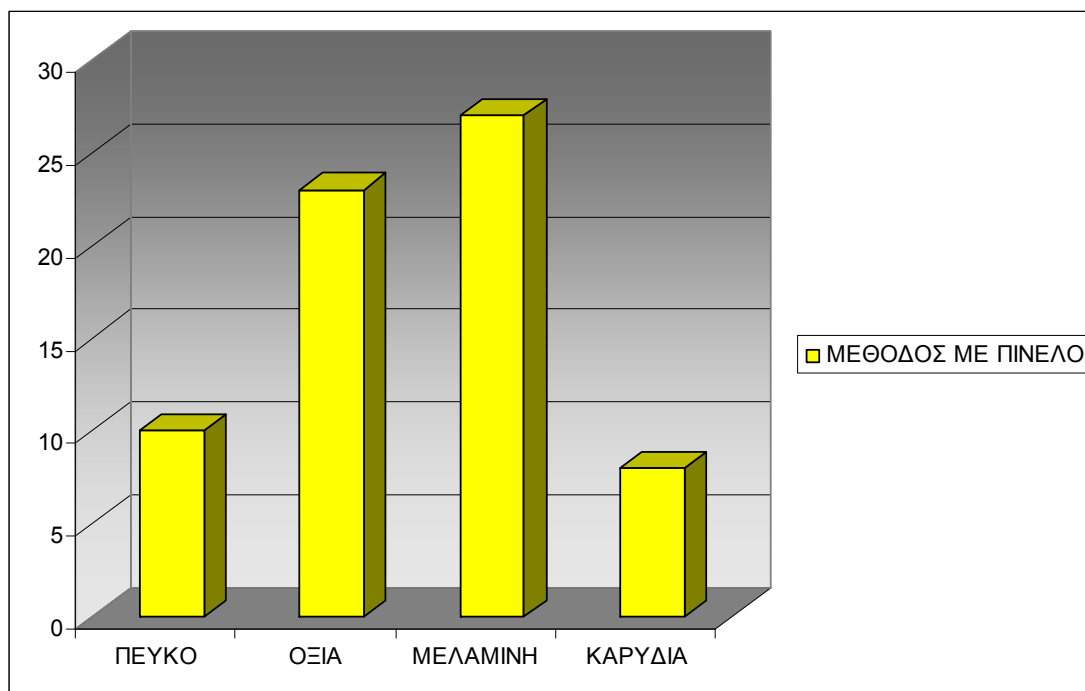
- 1) μελαμίνη 27mm
- 2) οξιά 23mm
- 3) πεύκο 10mm
- 4) καρυδιά 8mm

#### b) με τη μέθοδο της εμβάπτισης

- 1) οξιά 98mm
- 2) μελαμίνη 73mm
- 3) πεύκο 55mm
- 4) καρυδιά 46mm

**ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΧΡΩΜΑΤΟΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ –  
ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΠΙΝΕΛΟ**

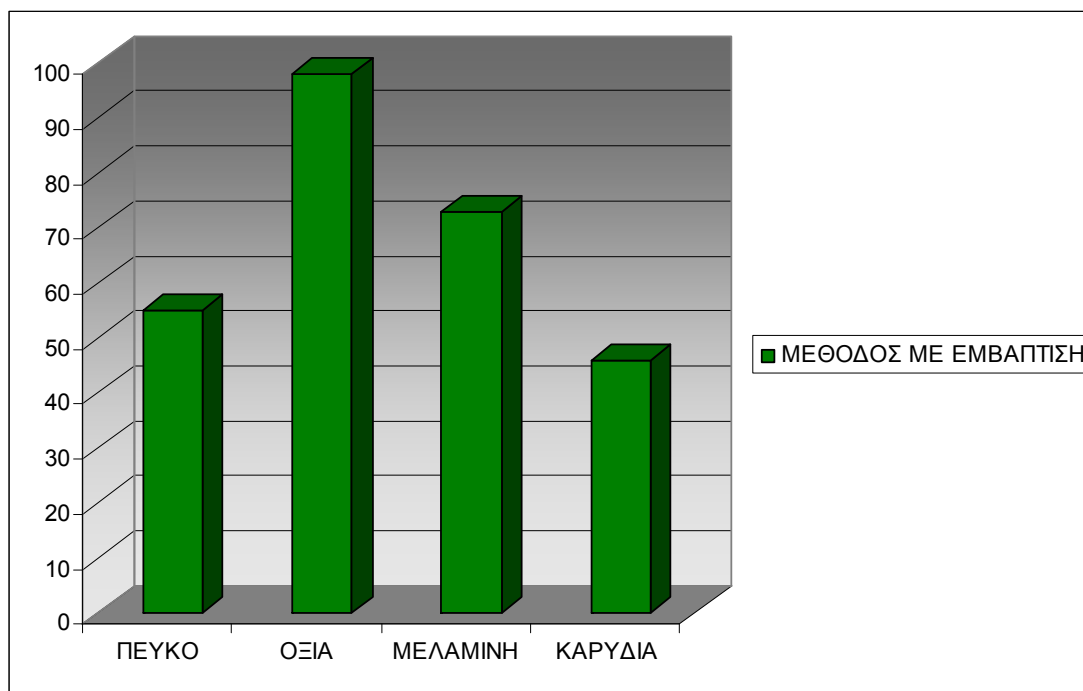
<b>ΕΙΔΟΣ</b>	<b>ΔΙΑΦΟΡΑ (mm)</b>
ΠΕΥΚΟ	10
ΟΞΙΑ	23
ΜΕΛΑΜΙΝΗ	27
ΚΑΡΥΔΙΑ	8





**ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: ΧΡΩΜΑΤΟΠΡΟΣΡΟΦΗΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ –  
ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΕΜΒΑΠΤΙΣΗ**

<b>ΕΙΔΟΣ</b>	<b>ΔΙΑΦΟΡΑ (mm)</b>
ΠΕΥΚΟ	55
ΟΞΙΑ	98
ΜΕΛΑΜΙΝΗ	73
ΚΑΡΥΔΙΑ	46



### **8.3 Σκληρότητας**

#### A) Μέθοδος μέτρησης

Η διαδικασία της μέτρησης γινόταν ως εξής:

- 1) τοποθέτηση του ως προς εξέταση δοκιμίου σε μια οριζόντια επιφάνεια
- 2) με το σκληρόμετρο κάθετο στο δοκίμιο, εφαρμόζαμε πίεση μέχρι την πλήρη επαφή του δοκιμίου με το κάτω μέρος του σκληρόμετρου
- 3) διαβάζαμε το δείκτη στην επιφάνεια του σκληρόμετρου και καταγράφαμε την ένδειξη. Η μονάδα μέτρησης είναι ημι-εμπειρική και ορίζεται από το βάθος διείσδυσης της βελόνας.

#### B) Συσκευή

Το σκληρόμετρο που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο της σκληρότητας των δοκιμίων ήταν "Shore – D" τύπου A της εταιρίας "Shore Instruments - Instron". Ήταν εφοδιασμένο με μεταλλική βελόνα και είχε βαθμονομηθεί σύμφωνα με το ASTM D – 2240.

#### Γ) Μετρήσεις

Εξετάστηκαν τα δοκίμια που είχαν βαφτεί τόσο με πινέλο, όσο και με τη μέθοδο της εμβάπτισης. Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής:

##### a) με χρήση πινέλου

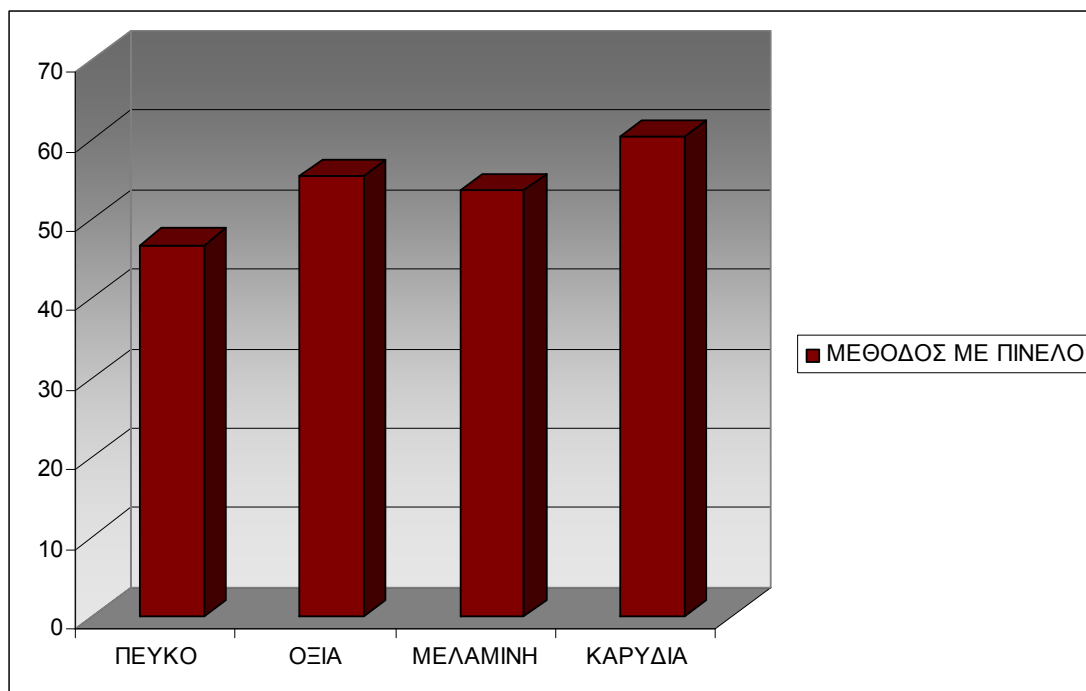
- |    |          |      |
|----|----------|------|
| 1) | καρυδιά  | 60,3 |
| 2) | οξιά     | 55,4 |
| 3) | μελαμίνη | 53,5 |
| 4) | πέυκο    | 46,7 |

##### b) με τη μέθοδο της εμβάπτισης

- |    |          |      |
|----|----------|------|
| 1) | καρυδιά  | 58,8 |
| 2) | μελαμίνη | 57,8 |
| 3) | οξιά     | 40,8 |
| 4) | πέυκο    | 39,3 |

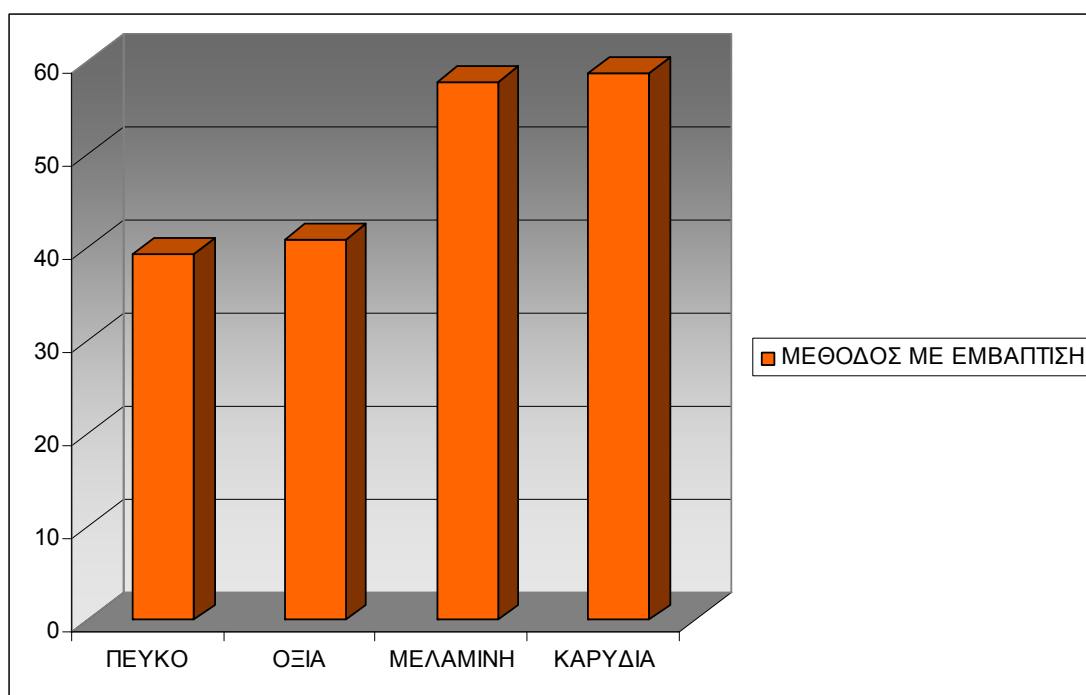
### ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 5: ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ – ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΠΙΝΕΛΟ

ΕΙΔΟΣ	ΗΜΙ-ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ
ΠΕΥΚΟ	46.7
ΟΞΙΑ	55.4
ΜΕΛΑΜΙΝΗ	53.5
ΚΑΡΥΔΙΑ	60.3



## ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 6: ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ – ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΕΜΒΑΠΤΙΣΗ

ΕΙΔΟΣ	ΗΜΙ-ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ
ΠΕΥΚΟ	39.3
ΟΞΙΑ	40.8
ΜΕΛΑΜΙΝΗ	57.8
ΚΑΡΥΔΙΑ	58.8



## ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ

Από τις μετρήσεις λάβαμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

### A. αντοχή σε κάμψη

- 1) καρυδιά 94,99 MPa
- 2) μελαμίνη 75,45 MPa
- 3) πεύκο 48,79 MPa
- 4) οξιά 29,09 MPa

### B. αντοχή σε διάτμηση

- 1) καρυδιά 4,82 MPa
- 2) μελαμίνη 4,58 MPa
- 3) πεύκο 3,98 MPa
- 4) οξιά 3,86 MPa

### Γ. μετρήσεις χρώματος(διαφορά πάχους)

a) με χρήση πινέλου

- 1) μελαμίνη 27mm
- 2) οξιά 23mm
- 3) πεύκο 10mm
- 4) καρυδιά 8mm

b) με τη μέθοδο της εμβάπτισης

- 1) οξιά 98mm
- 2) μελαμίνη 73mm
- 3) πεύκο 55mm
- 4) καρυδιά 46mm

### Δ. μετρήσεις σκληρόμετρου (ημι-εμπειρική η μονάδα μέτρησης)

a) με χρήση πινέλου

- 1) καρυδιά 60,3
- 2) οξιά 55,4
- 3) μελαμίνη 53,5
- 4) πεύκο 46,7

b) με τη μέθοδο της εμβάπτισης

- 1) καρυδιά 58,8
- 2) μελαμίνη 57,8
- 3) οξιά 40,8
- 4) πεύκο 39,3

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup>

### ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Σύμφωνα με τον παραπάνω συγκεντρωτικό πίνακα εξάγουμε τα συμπεράσματα :

- Πρώτον όσον αφορά στην αντοχή σε κάμψη παρατηρούμε ότι το είδος του ξύλου το οποίο προτιμάται είναι η καρυδιά , στη συνέχεια η μελαμίνη , μετά το πεύκο και τέλος η οξιιά.
- Δεύτερον όσον αφορά στην αντοχή σε διάτμηση παρατηρούμε ότι το είδος του ξύλου το οποίο προτιμάται είναι η καρυδιά , στη συνέχεια η μελαμίνη , μετά το πεύκο και τέλος η οξιιά.  
Δηλαδή έχουμε την ίδια σειρά προτίμησης που προέκυψε και από τις μετρήσεις που σχετίζονται με την αντοχή σε κάμψη.  
Επομένως, οι μηχανικές ιδιότητες εξαρτώνται άμεσα από το είδος του ξύλου και φανερώνουν την ανθεκτικότητα του κάθε ενός.
- Τρίτον όσον αφορά στο χρώμα έχουμε δύο μεθόδους βαφής. Η σειρά προτιμήσεως αλλάζει ανάλογα με την μέθοδο που επιλέγουμε και φανερώνει ποιο είδος ξύλου εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα όταν βαφτεί. Η πρώτη μέθοδος είναι με την χρήση πινέλου και παρουσιάζει ποσοτικά αρχικά την μελαμίνη, στη συνέχεια την οξιιά, μετά το πεύκο και τελευταία την καρυδιά. Η δεύτερη μέθοδος , αυτή της εμβάπτισης, εμφανίζει ποσοτικά αρχικά την οξιιά, στη συνέχεια την μελαμίνη, μετά το

πεύκο και τελευταία την καρυδιά. Η σειρά άλλαξε αλλά εάν παρατηρήσουμε τα αποτελέσματα θα δούμε ότι τουλάχιστον τα συμπεράσματα της πρώτης μεθόδου για την μελαμίνη και την οξιά βρίσκονται αρκετά κοντά. Άρα από προσωπική πρωτοβουλία θα θεωρήσουμε την οξιά ως το πιο επιθυμητό είδος ξύλου για βαφή.

- Τέταρτον με τις μετρήσεις του σκληρόμετρου στην μέθοδο με πινέλο έχουμε πρώτα την καρυδιά, στην συνέχεια την οξιά, μετά την μελαμίνη και τέλος το πεύκο. Ενώ με την μέθοδο της εμβάπτισης έχουμε πρώτα την καρυδιά, στην συνέχεια την μελαμίνη, μετά την οξιά και τέλος το πεύκο.

Τέλος υποβάλλαμε τα δοκίμια σε μία ποιοτική μέτρηση βαφής, η οποία χρησιμοποιείται εκτενώς στην βιομηχανία στην χώρα μας. Η μέθοδος είναι εμπειρική και εφαρμόζεται με την χρήση κολλητικής ταινίας. Η διεξαγωγή της μεθόδου λαμβάνει χώρα με την επικόλλησή της πάνω στο εκάστοτε ξύλινο δοκίμιο και την βίαια απομάκρυνσή της από την επιφάνειά του. Τα αποτελέσματα της μεθόδου ελέγχονται οπτικά από τον πειραματιστή. Σκοπός της μεθόδου είναι ο ποιοτικός έλεγχος της απορρόφησης της βαφής από το ξύλο. Ακολουθεί φωτογραφικό υλικό με τα αποτελέσματα της παραπάνω αναφερόμενης μεθόδου. Θεωρείται σκόπιμο να παρατηρηθεί πως δύσκολα μπορούν να διαπιστωθούν διαφορές. Όχι γιατί φταίει η εικόνα, αλλά επειδή δεν υπάρχουν. Τα δοκίμια εμφάνισαν ανέλπιστα καλή πρόσφυση στη βαμμένη επιφάνειά τους.

ΠΡΙΝ



ΜΕΤΑ





ΠΡΙΝ



ΜΕΤΑ



## ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Ως θέματα για περαιτέρω έρευνα μπορούν να θεωρηθούν οι διάφορες αναλογίες μεταξύ των πριονιδίων και της νεολάκης (στην παρούσα εργασία η αναλογία αυτή ήταν 1/1). Επίσης, επιπλέον διερεύνηση χρίζει το θέμα της απορρόφησης νερού στα δοκίμια από κάποιο υδάτινο περιβάλλον (χρόνος ζωής δοκιμίων, υποβάθμιση ιδιοτήτων ανάλογα με το χρόνο παραμονής στο υδάτινο περιβάλλον). Επιπρόσθετα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν άλλα είδη ξύλου, εκτός από αυτά που εξετάστηκαν εδώ. Τέλος έλεγχος μπορεί να γίνει και στις άλλες ιδιότητες που αναφέρθηκαν στο θεωρητικό μέρος, όπως για παράδειγμα για τις ηλεκτρικές ιδιότητες των δοκιμίων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Ι. Σιμιτζής, Γ. Τσαγκάρης, Λ. Ζουμπουλάκης, "ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ", ΕΜΠ, Αθήνα, 2010, σελ. Α' μέρους 1 – 105, σελ. Β' μέρους 11-59.
- 2) Ι. Σιμιτζής, "ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ (ΠΟΛΥΜΕΡΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ)", ΕΜΠ, Αθήνα, 2010, σελ 2 – 13.
- 3) Π.Α. Ταραντίλη, ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ, ΕΜΠ, Αθήνα, 2009, σελ. 9-22, 38 - 41, 93 – 106.
- 4) Wikipedia πληροφορίες για "durometer"
- 5) Μαρία Όξενκιουν – Πετροπούλου, "ΦΑΣΜΑΤΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ", Β' Έκδοση, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 2008, σελ 269 – 279, 321 – 347.
- 6) Γ. Σιμιτζής, "Aktivkohle aus Phenolharz mit gepressten Olivenkerren als Fullstoff", Angew. Makromolek. Chemie, 153, 1987, 165-176
- 7) Α. Λεγάκη, Σύνθεση φαινολικών ιοεναλλακτικών ρητινών, Αθήνα 2000
- 8) Γ. Μαντάνης, "ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΞΥΛΟΥ – ΜΕΡΟΣ ΙΙ. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ", Παράρτημα Καρδίτσας, ΤΕΙ Λάρισας, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις, 2003, σελ. 5 – 92, πηγή αναζήτησης : [www. google. com](http://www.google.com)\*
- 9) Γ. Κακαρά, "ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΞΥΛΟΥ ΙΙ ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΞΥΛΟΥ", Παράρτημα Καρδίτσας, ΤΕΙ Λάρισας, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις, 2003, σελ. 4 – 117, πηγή αναζήτησης : [www. google. com](http://www.google.com)\*
- 10) James Sunday Fabiyi, Joseph Adeola Fuware, Babatola Olufemi, "Surface chemistry and thermo-mechanical analysis of some Nigerian wood species Original Research Article Thermochemica Acta", Volume 524, Issues 1–2, 20, 2011, Pages 80-87
- 11) Η. Βουλγαρίδης, Προστασία ξύλου σε υπηρεσία από προσβολές μυκήτων και εντόμων, Δασικά Χρονικά, 1986
- 12) Mounir Chaouch, Mathieu Pétrissans, Anélie Pétrissans, Philippe Gérardin, "Use of wood elemental composition to predict heat treatment intensity and decay resistance of different softwood and hardwood species", Original Research Article Polymer Degradation and Stability, Volume 95, Issue 12, 2010, Pages 2255-2259

- 13) Ι. Φιλίππου , Θερμαντική αξία διαφόρων ελληνικών ειδών δασικής βιομάζας, ΑΠΘ, 1982
- 14) Ι. Φιλίππου , Χημεία και χημική τεχνολογία του ξύλου, εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, 1986
- 15) D. Yeoh, M. Fragiacomio, B. Deam, "Experimental behaviour of LVL–concrete composite floor beams at strength limit state", *Engineering Structures*, Volume 33, Issue 9, 2011, Pages 2697-2707
- 16) Maiju Hietala, Erik Samuelsson, Jouko Niinimäki, Kristiina Oksman, "The effect of pre-softened wood chips on wood fibre aspect ratio and mechanical properties of wood–polymer composites ", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Volume 42, Issue 12, 2011, Pages 2110-2116
- 17) I. Połec, P.J. Hine, M.J. Bonner, I.M. Ward, D.C. Barton, "Die drawn wood polymer composites. I. Mechanical properties", *Composites Science and Technology*, Volume 70, Issue 1, January 2010, Pages 45-52
- 18) Α. Κοτρώτσος, "Υγρο–θερμική κόπωση σε ινώδη σύνθετα υλικά με τροποποιημένη πολυμερική μήτρα. Παρακολούθηση της απορρόφησης υγρασίας μέσω της μεταβολής των ηλεκτρικών ιδιοτήτων", Μεταπτυχιακή εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, 2011
- 19) Γ. Σιμιτζής, Γ. Σφυράκης, "Adsorption of phenols on carbonaceous adsorbents produced from phenol-formaldehyde-resin mixed with olive stones", *Angew. Makromolek. Chemie*, 163, 1988, 47-61
- 20) Γ. Σιμιτζής, Γ. Σφυράκης, " Production of carbonaceous adsorbents by using novolac-resin and cottonseed", *J. Appl. Polym. Sci.*,36,1988,1769-1779
- 21) Γ. Σιμιτζής, Γ. Σφυράκης, " Pyrolysis of lignin biomass-novolac resin for the production of polymeric carbon adsorbents", *J. Anal.& Appl. Pyrolysis*, 26,1993,37-52
- 22) Γ. Σιμιτζής, Γ. Σφυράκης, " Activated carbon from lignocellulosic biomass-phenolic resin",*J. Appl. Polym. Sci.*,54,1994,2091-2099
- 23) Γ. Σιμιτζής, Γ. Σφυράκης, Α. Φαλιάγκας, " Influence of pyrolysis temperature on the adsorptive properties of adsorbents produced from novolac and biomass", *J. Appl. Polym. Sci.*,55,1995,1739-1746
- 24) Γ. Σιμιτζής, Γ. Σφυράκης, Α. Φαλιάγκας,,"Adsorption properties and micro-porous structure of adsorbents produced from phenolic resin and biomass", *J. Appl. Polym. Sci.*,58,1995,541-550

- 25) Γ. Σιμιτζής, "Composites von Novolak-Lignit zur Herstellung von Aktivkohle", *Angew. Makromolek. Chemie*, 148, 1987,41-52
- 26) Γ. Σιμιτζής, "Correlation between the production parameters and the mechanical properties of novolac resins reinforced with carbon fibers" *Angew. Makromolek. Chemie*, 165,1989,21-34
- 27) Γ. Σιμιτζής, "Composites of furfuryl alcohol-formaldehyde resins and olive stones for production of activated carbons", *Angew. Makromolek. Chemie*, 184,1991,41-53
- 28) Γ. Σιμιτζής, "High temperature pyrolysis of novolac resin biomass composites", *J. Anal. & Appl. Pyrolysis*, 30, 1994,161-171
- 29) Γ. Σιμιτζής,Κ. Καραγιάννης, Λ. Ζουμπουλάκης, "Curing of novolac-lignocellulosic composites", *Polymer Intern.*, 38,1995,183-189
- 30) Γ. Σιμιτζής,Κ. Καραγιάννης, Λ. Ζουμπουλάκης, "Influence of biomass on the curing of novolac-composites", *Eur. Polym. J.*, 1995,(accepted),(manuscript : pp.1-Tables: 3, Figures : 5)
- 31) Francesca Lionetto, Mariaenrica Frigione , "Effect of novel consolidants on mechanical and absorption properties of deteriorated wood by insect attack", *Journal of Cultural Heritage*, Volume 13, Issue 2, 2012, Pages 195-203

\* ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΕΙΔΙΚΗ  
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ & ΑΡΧΙΚΗ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗ  
(Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ. II)

