



**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**  
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΑΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ  
ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΩΝ ΧΕΙΡΙΣΜΩΝ  
ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ  
ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ  
ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ  
ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΩΝ**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ Θ. ΛΥΚΙΔΗΣ  
ΔΑΣΟΛΟΓΟΣ - ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2004

## **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

- Αθανάσιος Γρηγορίου, Καθηγητής (Επιβλέπων)
- Ιωάννης Φιλίππου, Καθηγητής (Μέλος)
- Ιωάννης Μπαρμπούτης, Λέκτορας (Μέλος)

---

«Η έγκριση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής από το Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα»

(Νόμος 5343/32, άρθρο 202, παρ. 2).

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ο συγγραφέας επιθυμεί να ευχαριστήσει:

- § Τον επιβλέποντα της Διατριβής, και Καθηγητή του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, κ. Αθανάσιο Γρηγορίου για την πολύτιμη καθοδήγηση και τη μεταφορά γνώσεων,
- § Τα Μέλη της Συμβουλευτικής Επιτροπής κ. Ιωάννη Φιλίππου, Καθηγητή και κ. Ιωάννη Μπαρμπούτη, Λέκτορα για τις συμβουλές τους,
- § Τον Κ<sup>ο</sup> Δημήτριο Παπαδόπουλο, Διευθυντή Παραγωγής της βιομηχανίας ΒΑΛΚΑΝ – ΕΞΠΟΡΤ για την προμήθεια των πρώτων υλών της έρευνας,
- § Τον Κ<sup>ο</sup> Ιωάννη Παπαδόπουλο, Γενικό Τεχνικό Διευθυντή και την Κ<sup>α</sup> Αθηνά Παπακωνσταντίνου Διευθύντρια Διοικητικού της Ελληνικής Βιομηχανίας Οχημάτων για την τεχνική βοήθεια στην διεξαγωγή της έρευνας,
- § Τους Κ<sup>οις</sup> Αθανάσιο Αδαμίδη και Κωνσταντίνο Μίμμη για την κατασκευή της συσκευής υδροθερμικού χειρισμού και τη δωρεάν τεχνική υποστήριξη σε πολλές περιπτώσεις,

Τέλος, χωρίς αυτό να υποβαθμίζει την βοήθεια τους, ο συγγραφέας επιθυμεί να ευχαριστήσει την οικογένειά του για την αμέριστη ηθική και υλική συμπαράσταση που του προσέφερε.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>7</b>
<b>2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....</b>	<b>8</b>
2.1  ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ - ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΑ .....	8
2.1.1.  ΓΕΝΙΚΑ – ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΞΥΛΟΥ.....	8
2.1.2.  ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΑ .....	9
2.1.3.  ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΩΝ .....	12
2.1.4.  ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΩΝ .....	17
2.2  Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΞΥΛΟΥ.....	21
2.2.1.  ΑΤΜΟΣ – ΓΕΝΙΚΑ .....	21
2.2.2.  ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΞΥΛΟΥ.....	24
2.2.3.  Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΙΣΗΣ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΞΥΛΟΥ.....	26
2.2.3.1.  ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΑ ΧΗΜΙΚΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΑ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΑ.....	26
2.2.3.2.  ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ .....	27
2.2.3.3.  ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	28
2.2.3.4.  ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΧΡΩΜΑ .....	31
2.2.3.5.  ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΟΞΥΤΗΤΑ.....	31
<b>3. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ .....</b>	<b>33</b>
<b>4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....</b>	<b>34</b>
4.1  ΥΛΙΚΑ .....	34
4.1.1.  ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ.....	34
4.1.1.1.  ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΑ.....	34
4.1.1.2.  ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΗ ΟΥΣΙΑ.....	34
4.1.1.3.  ΠΡΟΣΘΕΤΑ.....	35
4.1.2.  ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΩΝ.....	35
4.1.2.1.  ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΥΛΙΚΟΥ .....	35
4.1.2.2.  ΞΗΡΑΝΣΗ .....	35
4.1.2.3.  ΑΝΑΜΙΞΗ ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ – ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ .....	36
4.1.2.4.  ΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ – ΠΡΟΠΙΕΣΗ .....	37
4.1.2.5.  ΘΕΡΜΗ ΠΙΕΣΗ.....	37
4.1.2.6.  ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΟΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ .....	38
4.1.3.  ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΩΝ.....	45

4.2	ΜΕΘΟΔΟΙ.....	49
4.2.1.1.	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ.....	49
4.2.1.2.	ΞΗΡΑΝΣΗ ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ .....	49
4.2.1.3.	ΑΝΑΜΙΞΗ ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ – ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ .....	49
4.2.1.4.	ΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΥΛΙΚΟΥ - ΠΡΟΠΙΕΣΗ.....	50
4.2.1.5.	ΘΕΡΜΗ ΠΙΕΣΗ.....	50
4.2.1.6.	ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ .....	52
4.2.2.	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΟΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ ....	52
4.2.3.	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ.....	54
4.2.3.1.	ΜΕΤΡΟ ΘΡΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΜΨΗ .....	56
4.2.3.2.	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ.....	56
4.2.3.3.	ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΥΓΡΑΣΙΑ.....	57
4.2.3.4.	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΞΑΓΩΓΗ ΒΙΔΑΣ.....	57
4.2.3.5.	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ .....	57
4.2.3.6.	ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΦΟΡΜΑΛΔΕΪΔΗΣ .....	58
4.2.3.7.	ΚΑΤΑ ΠΑΧΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗ, ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑ ΠΑΧΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗ.....	59
4.2.3.8.	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	59
4.2.3.9.	ΧΩΡΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ .....	60
4.2.4.	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	60
<b>5.</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....</b>	<b>61</b>
5.1.1.1.	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ.....	61
5.1.1.1.1.	ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ.....	61
5.1.1.1.2	ΧΩΡΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ .....	63
5.1.1.2.	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ.....	66
5.1.1.3.	ΠΑΧΟΣ .....	67
5.1.1.4.	ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ .....	68
5.1.1.4.1.	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ .....	68
5.1.1.4.2	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΞΑΓΩΓΗ ΒΙΔΑΣ.....	71
5.1.1.4.3	ΜΕΤΡΟ ΘΡΑΥΣΗΣ ΣΕ ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΜΨΗ.....	74
5.1.1.4.4	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΜΨΗ.....	77
5.1.1.5.	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΦΟΡΜΑΛΔΕΪΔΗ.....	80
5.1.1.6.	ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	82
5.1.1.6.1	ΚΑΤΑ ΠΑΧΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΣΕ ΝΕΡΟ (24h,48h).....	82
5.1.1.6.2	ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΝΕΡΟΥ (24h,48h).....	86

5.1.1.6.3 ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑ ΠΑΧΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗ.....	89
5.1.1.6.4 ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΥΓΡΑΣΙΑ.....	91
5.1.1.7. ΑΛΛΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ .....	93
<b>6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>94</b>
<b>7. ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....</b>	<b>96</b>
<b>8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>98</b>
<b>9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>107</b>
9.1 ΣΧΗΜΑΤΑ.....	107
9.2 ΕΙΚΟΝΕΣ .....	108
9.3 ΠΙΝΑΚΕΣ .....	110

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αποτελεί αναμφισβήτητο γεγονός ότι στη σημερινή εποχή η ανάγκη για προστασία του περιβάλλοντος και για άνοδο του ανθρώπινου βιοτικού επιπέδου είναι αναγκαία όλο και περισσότερο. Η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη πέραν των πολλών θετικών αλλαγών που επέφερε στην ανθρώπινη ζωή, οδήγησε και σε υποβάθμιση του περιβάλλοντος η οποία συνίσταται στη βαθμιαία εξάντληση των φυσικών πόρων, στην περιβαλλοντική ρύπανση κ.α.

Η διαχείριση των αστικών και βιομηχανικών απορριμμάτων αποτελεί σήμερα ένα από τα κύρια προβλήματα για τα οποία η εύρεση ορθολογικών μεθόδων αντιμετώπισης είναι απαραίτητη. Μια από τις σημαντικότερες διεξόδους στο πρόβλημα της διαχείρισης απορριμμάτων αποτελεί η ανακύκλωση, εξαιτίας της καθολικής της αποδοχής από το κοινό.

Ειδικότερα στον τομέα των προϊόντων ξύλου οι προσπάθειες για ανακύκλωση αν και όλο και πιο έντονες, είναι ακόμα σχετικά περιορισμένες παγκοσμίως. Ειδικότερα σε ότι αφορά την Ελλάδα, δεν υπάρχει καμία οργανωμένη σχετική δραστηριότητα. Τα απορρίμματα ξύλου (ξύλινα έπιπλα, ξύλινες κατασκευές κλπ) συνηθίζεται να καίγονται με σκοπό την παραγωγή ενέργειας ή πλημμυρίζουν τους χώρους εναπόθεσης απορριμμάτων (χωματερές).

Με δεδομένα ότι το ξύλο αποτελεί μια πολύτιμη πρώτη ύλη για πλήθος προϊόντων και ότι η καύση και η ταφή του αποτελούν την πλέον απαξιωτική και εχθρική στο περιβάλλον χρήση, κάθε προσπάθεια ανακύκλωσης ή επαναχρησιμοποίησής του θα ήταν ωφέλιμη.

Από την άλλη πλευρά η όλο και πιο έντονη έλλειψη κατάλληλου φθηνού ξύλου σε συνδυασμό με το συνεχώς γενικά αυξανόμενο κόστος πρώτων υλών, δημιουργούν προβλήματα στις βιομηχανίες παραγωγής συγκολλημένων προϊόντων ξύλου με αποτέλεσμα να επιζητούν εναλλακτικές πρώτες ύλες και να στρέφονται προς την ανακύκλωση απορριμμάτων ξύλου.

Μεταξύ των απορριμμάτων ξύλου μεγάλο ποσοστό καταλαμβάνουν οι παλαιές ξύλινες κατασκευές εσωτερικών χώρων συμπεριλαμβανομένων και των επίπλων τα οποία μετά το πέρας του χρόνου χρήσης τους είναι διαθέσιμα για αξιοποίηση. Οι ανωτέρω κατασκευές τουλάχιστον όσο αφορά τον ευρωπαϊκό χώρο είναι σε μεγάλο ποσοστό δομημένες με ξυλοπλάκες που ανήκουν στην κατηγορία των μοριοπλακών και των ινοπλακών. Δεδομένου ότι οι ξυλοπλάκες αυτές αποτελούνται σε ποσοστό τουλάχιστον 90% από ξύλο, η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση του ξύλου παλαιών ξυλοπλακών στην παραγωγή νέων αποτελεί την πλέον ορθολογική διεξόδο αξιοποίησης αυτών των απορριμμάτων.

Αντικείμενο της παρούσας έρευνας είναι οι δυνατότητες ανάκτησης πρώτων υλών από ξυλοπλάκες τύπου μοριοπλάκας και η επαναχρησιμοποίησή τους (ανακύκλωση) στην παραγωγή νέων πλακών.

## **2.ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ**

### **2.1 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ - ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΑ**

#### **2.1.1.ΓΕΝΙΚΑ – ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΞΥΛΟΥ**

Η ανθρώπινη δραστηριότητα συνοδεύεται σχεδόν πάντα από κατανάλωση πρώτων υλών και προκαλεί τη δημιουργία απορριμμάτων. Παλιότερα, η μοναδική επιλογή χειρισμού των απορριμμάτων ήταν η εναπόθεσή τους σε σκουπιδότοπους, επιλογή που μέχρι και τις μέρες μας έχει αφήσει τα –ορατά και αόρατα- σημάδια της στο περιβάλλον. Οι σύγχρονες πρακτικές χειρισμού των απορριμμάτων παρέχουν περισσότερες και φιλικότερες στο περιβάλλον διεξόδους, με σημαντικότερη –κατά κοινή πεποίθηση- την ανακύκλωση (Thurgood, 1995).

Η ανακύκλωση, αν και αποτελεί ένα νέο σχετικά όρο, είναι μια δραστηριότητα του ανθρώπου που τον συνοδεύει από την εποχή της πρώτης χρήσης μετάλλων. Η παλαιότερη απόδειξη αυτού τοποθετείται στο 6500 π.Χ. στην Ευρασία όπου πραγματοποιούνταν ανακύκλωση χάλκινων εργαλείων και όπλων (Nijkerk, 1995). Η ανακύκλωση αποτελεί όμως και μια βαθιά φυσική διεργασία κατά την οποία στοιχεία και θρεπτικά συστατικά μέσω ενός κυκλώματος συνεχούς δέσμευσης- μεταποίησης- μεταφοράς διακινούνται στη φύση (Ντάφης, 1986).

Για πολλούς, ακόμα και στις μέρες μας, η έννοια «ανακύκλωση» συνδέεται αποκλειστικά με συλλογή παλιών γυάλινων ή αλουμινένιων δοχείων, παλιόχαρτου κ.α. Παρόλα αυτά υπάρχουν και άλλα υλικά που μπορούν (και πρέπει) να ανακυκλώνονται ή να επαναχρησιμοποιούνται όπως το ξύλο και τα προϊόντα του.

Εκατομμύρια τόνοι απορριμμάτων ξύλου προκύπτουν ετησίως δημιουργώντας προβληματισμό σε ότι αφορά τον ορθολογικό χειρισμό τους. Παρόλα αυτά τα απορρίμματα ξύλου μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμη πρώτη ύλη.



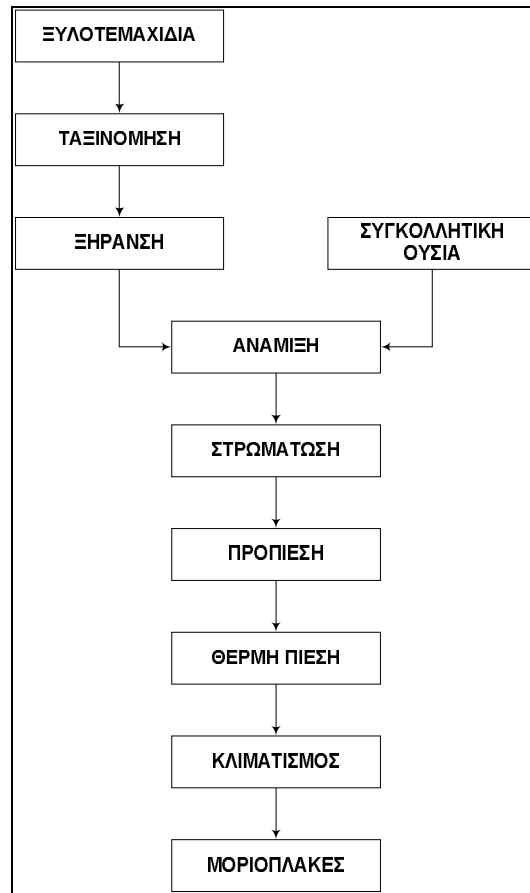


Εικόνα 1: Απορρίμματα ξύλου (Auburn Machinery, 2003)

Υπολείμματα πρωτογενούς κατεργασίας του ξύλου, όπως πριονίδι και εξακρίδια κατά την πρισματοποίηση του ξύλου σε πριστήρια, σε μεγάλο ποσοστό τους μπορούν να χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη από τις βιομηχανίες χαρτιού - χαρτοπολτού και μοριοπλάκας – ινοπλάκας, ενώ σε μικρότερα ποσοστά να χρησιμοποιούνται για χουμποποίηση, στην κτηνοτροφία για υποστρώματα αλλά και για παραγωγή ενέργειας μέσω καύσης (Falk 1997). Αρκετοί ερευνητές έχουν ασχοληθεί ερευνητικά με τις δυνατότητες χρησιμοποίησης απορριμμάτων ξύλου για την παραγωγή συγκολλημένων προϊόντων ξύλου και κυρίως μοριοπλακών και ινοπλακών (Rowell et al 1991, Rowell et al 1993, Smith 1996, Araman et al 1997, Randolph 2000, Wolff και Siempelkamp 2000, Magic et al 2001). Επίσης ερευνητικές προσπάθειες καταβάλλονται για την εύρεση τρόπων χρήσης των απορριμμάτων ξύλου στην παραγωγή σύνθετων προϊόντων ξύλου-πολυμερών (wood fiber-plastic composites) (Deaner και Heikkila 1996, Hettinga 1996). Επίσης διάφοροι επιστήμονες έχουν ασχοληθεί με τις δυνατότητες επαναχρησιμοποίησης ξύλου το οποίο έχει εμποτιστεί με ουσίες για την προστασία του από προσβολές εντόμων και μυκήτων (Dimeski et al 1996, Munson και Kamdem 1998, Mengeloglou και Gardner 2000). Τέλος προσπάθειες καταβάλλονται (Plume 1996, Auburn Machinery 2003) σε ότι αφορά την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση δομικών στοιχείων από μεγάλες ξυλοκατασκευές (ξυλόσπιτα κλπ) μετά την καταστροφή ή αποικοδόμησή τους.

### **2.1.2. ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΑ**

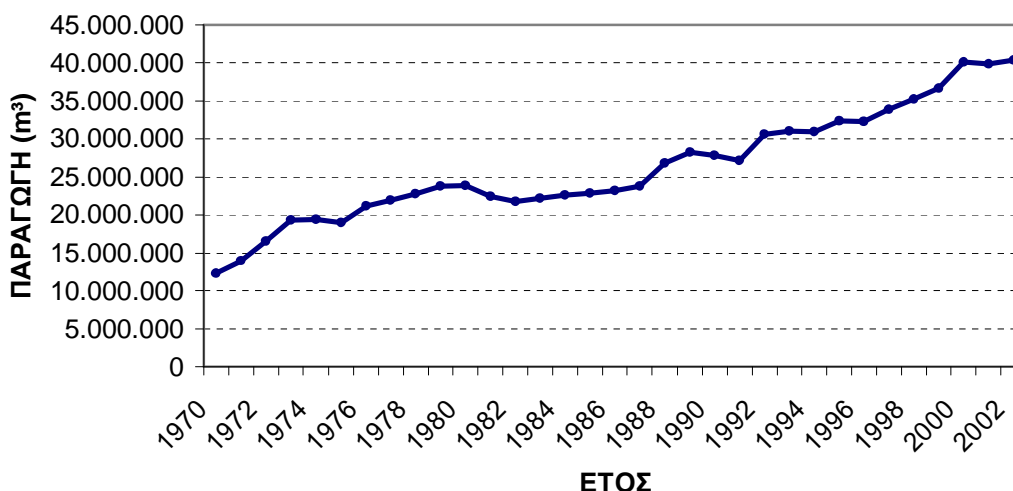
Ένα από τα πιο γνωστά συγκολλημένα προϊόντα ξύλου αποτελεί η μοριοπλάκα ή μοριοσανίδα η οποία είναι ένα προϊόν ξύλου με μορφή πλάκας αποτελούμενης από τεμαχίδια ξύλου ή άλλων λιγνινοκυτταρινικών υλών τα οποία αφού αναμιχθούν με κατάλληλη συγκολλητική ουσία συγκολλούνται με συμπίεση σε θερμή πρέσα (Γρηγορίου 1996, Τσουμής 1999). Η Εικόνα 1 αποτελεί μια απλοποιημένη σχηματική παράσταση βιομηχανικής παραγωγής των μοριοπλακών.



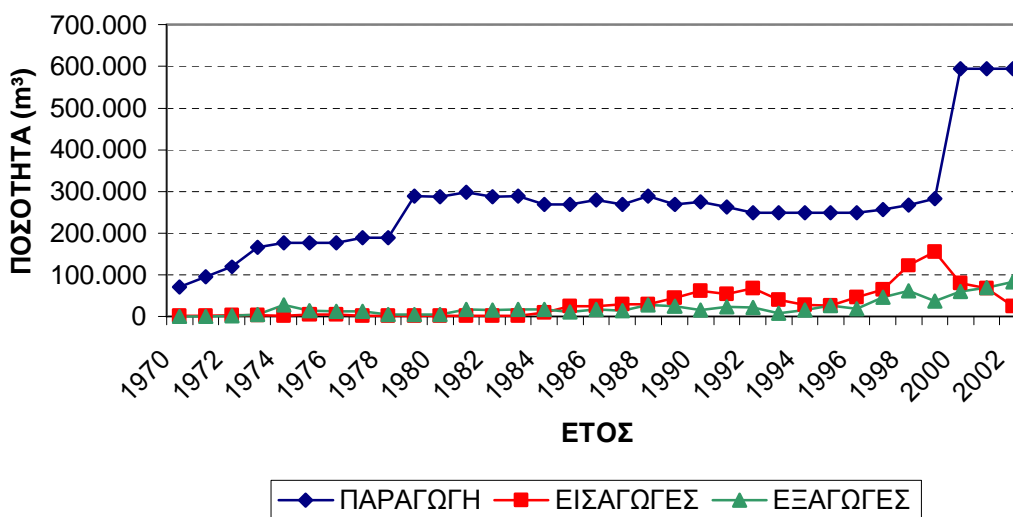
Εικόνα 2: Σχηματική παράσταση των φάσεων παραγωγής μοριοπλάκας

Η μοριοπλάκα αποτελεί, όπως και τα περισσότερα συγκολλημένα προϊόντα ξύλου ένα σχετικά νέο προϊόν η έναρξη της βιομηχανικής παραγωγής του οποίου χρονολογείται το 1941 (Maloney 1993, Γρηγορίου 1996, Τσουμής 1999). Στα χρόνια που μεσολάβησαν ως τις μέρες μας, η μοριοπλάκα αναπτύχθηκε με ταχείς ρυθμούς και πλέον χρησιμοποιείται ευρύτατα σε ποικίλες χρήσεις σημαντικότερη εκ των οποίων είναι η επιπλοποιία και άλλες κατασκευές εσωτερικών χώρων.

Στην Ευρώπη οι ξυλοπλάκες και κυρίως οι μοριοπλάκες –μαζί με τις ινοπλάκες μέσης πυκνότητας- έχουν υποσκελίσει τη συμπαγή ξυλεία και καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό πρώτων υλών για την παραγωγή επίπλων (Roffael et al 2002, Riddiough 2002). Στα επόμενα Σχήματα (1 και 2) φαίνεται η μεταβολή της ετήσιας παραγωγής μοριοπλακών στην Ευρώπη, και την Ελλάδα.



Σχήμα 1: Παραγωγή μοριοπλακών στην Ευρώπη (Πηγή: <http://www.fao.org>, 2003)



Σχήμα 2: Παραγωγή, εισαγωγές και εξαγωγές μοριοπλακών στην Ελλάδα (Πηγή: <http://www.fao.org>, 2003)

Ο μέσος χρόνος χρησιμοποίησης των επίπλων είναι περί τα 20 χρόνια (Michanicki 1996A) μετά την πάροδο του οποίου τα χρησιμοποιημένα έπιπλα χαρακτηρίζονται ως απορρίμματα κάτι που σημαίνει ότι αυτά τα υλικά έχουν χάσει την αξία τους (Rowell et al 1991, Rowell et al 1993). Ήδη οι ποσότητες των απορριμμάτων από ξυλοπλάκες είναι σημαντικές και προκαλούν προβλήματα (McKeever et al 1995) ενώ στο μέλλον αναμένεται

να αυξηθούν ακόμα περισσότερο (Michanicki 1996A, Michanicki 1996B). Η πιο πιθανή κατάληξη τους, όπως και όλων των απορριμμάτων ξύλου, είναι η καύση, η ταφή ή η επαναχρησιμοποίηση. Παρόλα αυτά όμως η καύση και η ταφή τους αποτελούν επιλογές που αποθαρρύνονται διεθνώς και στο μέλλον θα εγκαταλειφθούν λόγω των μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν. Είναι χαρακτηριστικό ότι η ατελής καύση μοριοπλακών συγκολλημένων με συγκολλητικές ουσίες ουρίας – φορμαδεΰδης παράγει μεταξύ άλλων και υδροκυάνιο όπως επίσης και χλωριωμένα οργανικά προϊόντα στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται χλωριωμένοι σκληρυντές για την παραγωγή τους, ενώ η εναπόθεση των απορριμμάτων σε χωματερές, ακόμα και στην περίπτωση που αυτές είναι στεγανοποιημένες, προκαλεί ρύπανση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με τοξικές ουσίες. (Marutzky και Schriever 1986, Digernes και Ophus 1996, Γρηγορίου 1998)

Η ανακύκλωση είναι μια επιλογή χειρισμού απορριμμάτων η οποία ενθαρρύνεται όλο και περισσότερο παγκοσμίως αφού λόγω των σύγχρονων προβλημάτων και των συνθηκών που αυτά διαμορφώνουν, οι πηγές πρώτων υλών βρίσκονται υπό αναθεώρηση (Loken και Mumma 1996). Στις Η.Π.Α. η Υπηρεσία Περιβαλλοντικής Προστασίας (EPA) έχει θέσει ως στόχο την αύξηση της ανακύκλωσης από 9 σε 25% (Rowell et al 1993).

Η συνεχής μείωση των πρώτων υλών για την παραγωγή συγκολλημένων προϊόντων ξύλου όπως οι μοριοπλάκες, η ανάγκη για προστασία των ήδη υποβαθμισμένων δασών και η συνεχής αύξηση της αξίας του ξύλου έχουν οδηγήσει τις βιομηχανίες προϊόντων ξύλου στην αναζήτηση νέων πρώτων υλών που θα μειώσουν το κόστος παραγωγής χωρίς να επιφέρουν σοβαρή επίπτωση στις ιδιότητες των προϊόντων τους (Matthews 1997, Wolff και Siempelkamp 2000, Rowell et al 1993). Έτσι στην σημερινή εποχή οι προσπάθειες επαναχρησιμοποίησης των απορριμμάτων ξύλου πληθαίνουν όλο και περισσότερο (McKeever et al 1995, Falk 1997).

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, εντατική έρευνα διεξάγεται σε πολλές χώρες με σκοπό την εύρεση μεθόδων επιτυχούς ανακύκλωσης της μοριοπλάκας. Ο χειρισμός με ατμό (άτμιση ή υδροθερμικός χειρισμός ή θερμικός χειρισμός) θεωρείται από πολλούς ερευνητές μια ικανοποιητική τεχνική για την ανάκτηση του ξύλου των μοριοπλακών (Franke και Roffael 1998, Roffael et al 2003).

### **2.1.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΩΝ**

Η πρώτη κατοχυρωμένη πατέντα σχετική με ανακύκλωση συγκολλημένων προϊόντων ξύλου έγινε από τον Sandberg (1965). Σε αυτήν περιγράφεται μεθοδολογία με την οποία είναι δυνατή η επαναχρησιμοποίηση υπολειμμάτων (κυρίως εξακριδίων που απομένουν μετά από παρύφωση) κατά την παραγωγή μοριοπλακών ή άλλων συγκολλημένων προϊόντων ξύλου. Σύμφωνα με τον ερευνητή, τα υπολείμματα αυτά μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ξυλοπλακών από ξυλοτεμαχίδια ή ίνες μετά από άτμιση τους σε πιέσεις μεταξύ 1 και 5 atm και για χρόνους μεταξύ 30min και 4h ανάλογα με τις συνθήκες άτμισης και την κάθε φορά χρησιμοποιούμενη συγκολλητική ουσία. Αμέσως μετά τον υδροθερμικό χειρισμό των υπολειμμάτων και πριν την εξαγωγή τους από το θάλαμο στον

οποίο πραγματοποιείται ο υδροθερμικός χειρισμός, ακολουθεί εξάτμιση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και έτσι το προκύπτον υλικό είναι ξηρό και έτοιμο να χρησιμοποιηθεί άμεσα για την παραγωγή μοριοπλακών ή άλλων παρόμοιων συγκολλημένων προϊόντων ξύλου, όπως η ινοπλάκα. Επίσης είναι δυνατό να προκύψουν συσσωματώματα ξυλοτεμαχιδίων τα οποία εύκολα και με ειδικό χειρισμό μπορούν να διασπαστούν.

Ανάλογη πατέντα κατοχυρώθηκε από την Εταιρεία Pfeleiderer Unternehmensverwalt (1994). Σε αυτήν περιγράφεται μέθοδος ανάκτησης των ξυλοτεμαχιδίων με τα οποία παράγονται συγκολλημένα προϊόντα ξύλου και ειδικά αυτά στα οποία η χρησιμοποιούμενη συγκολλητική ουσία είναι τύπου ουρίας-φορμαλδεΐδης. Τα αρχικό υλικό (χρησιμοποιημένες ξυλοπλάκες με ή χωρίς επικαλύψεις με πλαστικά φύλλα) θρυμματίζεται σε μικρότερα τεμάχια και έτσι είναι δυνατός ο αποχωρισμός μέσων σύνδεσης (μεταλλικών ή μη). Στο επόμενο στάδιο το υλικό που προέκυψε εκτίθεται σε κορεσμένο ατμό και διασπάται στα αρχικά του τεμαχίδια ξύλου τα οποία και μπορούν έπειτα να χρησιμοποιηθούν μαζί με κατάλληλα τροποποιημένη συγκολλητική ουσία για την παραγωγή νέων πλακών. Επίσης περιγράφεται και ένα προαιρετικό στάδιο κατά το οποίο το ανακτημένο υλικό μπορεί να υποστεί καθαρισμό (συνήθως με νερό) για την έκπλυση των υπολειμμάτων συγκολλητικής ουσίας και έτσι το νέο υλικό μπορεί να συγκολληθεί με τη χρησιμοποίηση συγκολλητικών ουσιών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ξυλοπλακών από παρθένο ξύλο.

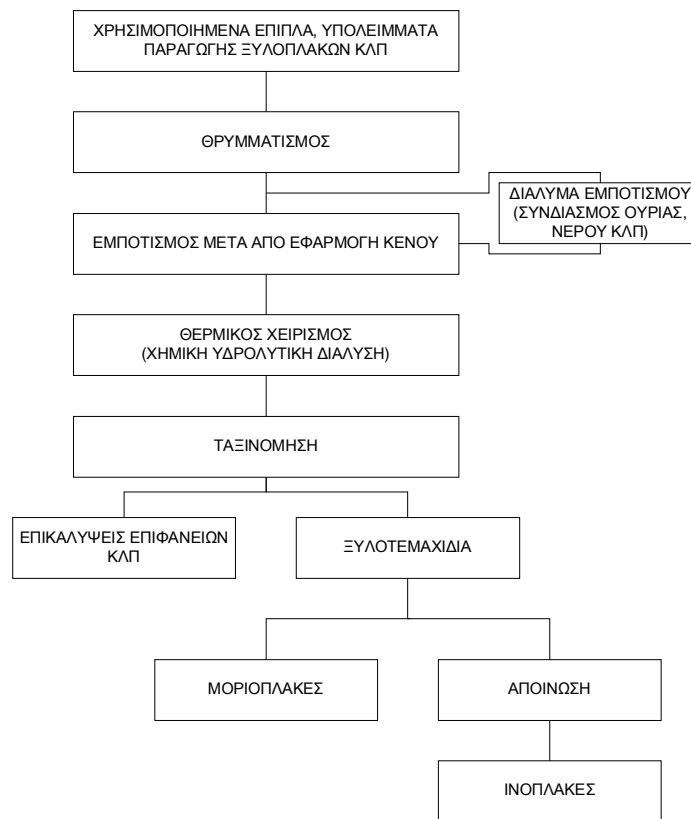
Ο Roffael (1996) κατοχύρωσε μια μέθοδο επαναχρησιμοποίησης ξυλοτεμαχιδίων από μοριοπλάκες και ινοπλάκες χρησιμοποιώντας ως συγκολλητική ουσία με βάση ταννίνες και φορμαλδεΐδη η οποία παράγεται από την υδρολυτική διάσπαση των συγκολλητικών ουσιών των επαναχρησιμοποιούμενων πλακών κατά τη θερμή συμπίεση.

Σχετική πατέντα δημοσιεύθηκε από τον Moeller (1993) στην οποία περιγράφεται μεθοδολογία για την ανακύκλωση προϊόντων ξύλου και απορριμμάτων που περιέχουν ξύλο. Κατά την εφαρμογή της μεθόδου χρησιμοποιείται μηχανικός χειρισμός των απορριμμάτων τα οποία ακολούθως επεξεργάζονται για την παραγωγή ημιέτοιμων ή τελικών προϊόντων.

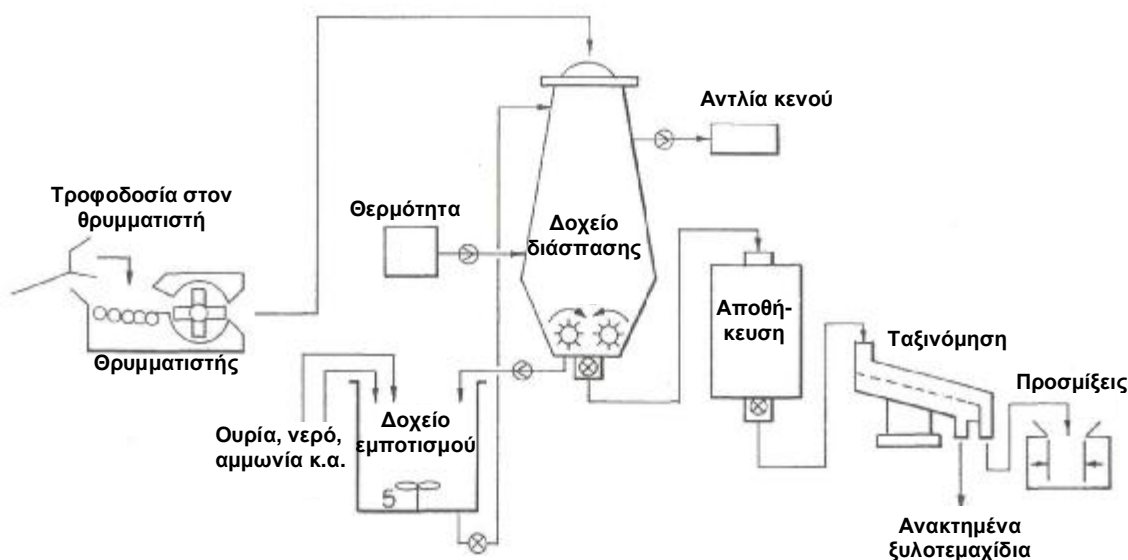
Από τους Boehme και Michanickl (1998) παρουσιάστηκε και κατοχυρώθηκε μεθοδολογία η οποία ανήκει στο Γερμανικό Ερευνητικό Ινστιτούτο W.K.I. με την οποία είναι δυνατή η ανάκτηση ξυλοτεμαχιδίων και ινών από απορρίμματα προϊόντων ξύλου, παλιά έπιπλα, υπολείμματα παραγωγής και άλλα προϊόντα ξύλου.



Εικόνα 3: Πιλοτική γραμμή ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων από ξυλοπλάκες με τη μεθοδολογία των Michanicki και Boehme στο Γερμανικό ερευνητικό Ινστιτούτο WKI (<http://www.wki.fraunhofer.de>, 2003)



Εικόνα 4: Διαδικασία παραγωγής μοριοπλακών από παλιά έπιπλα και υπολείμματα παραγωγής ξυλοπλακών με ανακύκλωση (Boehme και Michanicki, 1998)



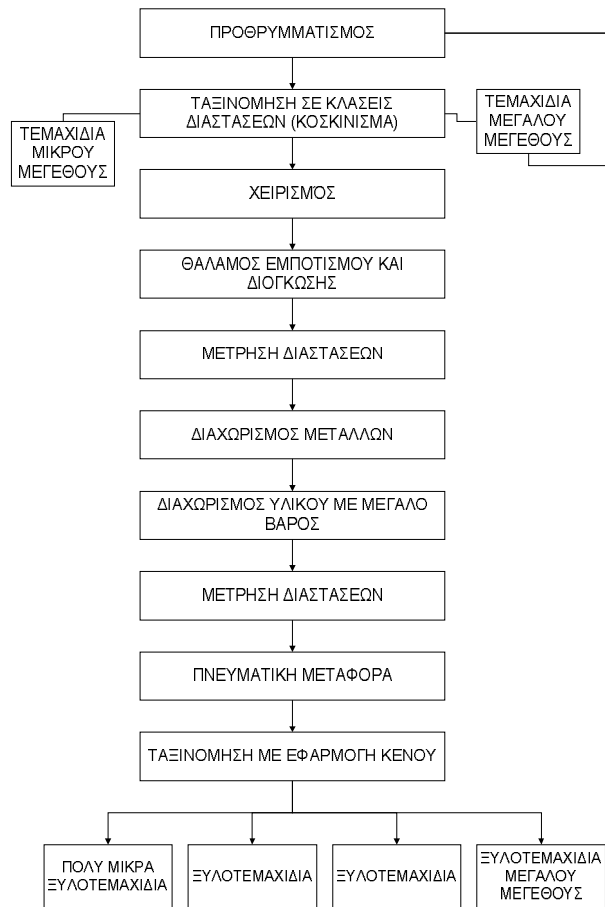
Εικόνα 5: Ροή σταδίων ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων από παλιές μοριοπλάκες (Boehme και Michanickl, 1998)

Αρχικά τα απορρίμματα ξύλου και τα άλλα προϊόντα ξύλου θρυμματίζονται από σπαστήρα για να αποκτήσουν διαστάσεις 10-20cm περίπου. Έπειτα εμποτίζονται με εμποτιστικό ή κορεσμένο διάλυμα και αφήνονται να διογκωθούν μέχρι να απορροφήσουν τουλάχιστο 50% του βάρους τους σε διάλυμα. Το εμποτιστικό υδατικό διάλυμα αποτελείται από ουρία 0,5-3%, αμμωνία 0,1-1% ή σόδα 0,5% ενώ μπορεί να προστίθεται και άλλα συστατικά για να προσδώσουν επιθυμητές ιδιότητες όπως παραφίνες για την μείωση της υγροσκοπικότητας και της εκλυόμενης φορμαλδεΰδης. Μετά τον εμποτισμό τους, τα προϊόντα ξύλου θερμαίνονται στους 80-120°C είτε σε ατμοσφαιρική πίεση είτε σε κλειστά δοχεία για την ανάπτυξη υψηλότερων πιέσεων μέχρις ότου, υπό την υδρολυτική επίδραση των θερμοκρασιών και του εμποτιστικού διαλύματος, διαλυθούν οι δεσμοί μεταξύ των ινών και των ξυλοτεμαχιδίων. Τα ξυλοτεμαχίδια και οι ίνες που προκύπτουν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκ νέου παραγωγή μοριοπλακών και ινοπλακών με ιδιότητες εφάμιλλες ή και καλύτερες των μητρικών πλακών. Σύμφωνα με τους συγκεκριμένους ερευνητές τα ξυλοτεμαχίδια που ανακτώνται δεν έχουν υποστεί καμία ή έχουν υποστεί ελάχιστη ζημιά και μπορούν να συγκολληθούν χωρίς προβλήματα ενώ είναι πιθανό να συμβαίνει επανενεργοποίηση της συγκολλητικής ουσίας που περιείχαν πριν τη διάλυση, κάτι που μπορεί να επιφέρει μείωση της απαιτούμενης συγκολλητικής ουσίας αλλά και μείωση της εκλυόμενης φορμαλδεΰδης από τις ανακυκλωμένες μοριοπλάκες.

Οι ίδιοι ερευνητές κατοχύρωσαν πατέντα στην οποία υπάρχει και τροποποίηση της ως άνω μεθόδου για την ανάκτηση ξυλοτεμαχιδίων από απορρίμματα προϊόντων ξύλου (Michanickl και Boehme 2003, Boehme και

Michanicki 2003). Σκοπός της τροποποίησης ήταν η βελτίωση της οικονομικότητας εφαρμογής της μεθόδου που παρουσιάστηκε το 1998. Σύμφωνα με τις τροποποιήσεις, η περίσσεια ατμού που χρησιμοποιείται για την προθέρμανση των απορριμμάτων προϊόντων ξύλου διοχετεύεται μέσω βαλβίδας εκτόνωσης στο δοχείο όπου διατηρείται το διάλυμα εμπλοτισμού με σκοπό την θέρμανση του διαλύματος. Όταν επιτευχθεί η προθέρμανση, το διάλυμα διοχετεύεται στο δοχείο που βρίσκονται τα απορρίμματα μέχρι να προσροφηθεί από τα απορρίμματα τόσο διάλυμα ώστε το βάρος τους να αυξηθεί τουλάχιστον κατά 50%. Έπειτα η βαλβίδα εκτόνωσης κλείνει και πραγματοποιείται υδροθερμικός χειρισμός των απορριμμάτων και διάσπαση της συγκολλητικής ουσίας με αποτέλεσμα την ανάκτηση των αρχικών ξυλοτεμαχιδίων.

Ευρεσιτεχνία σχετική με την επαναχρησιμοποίηση προϊόντων ξύλου δημοσιεύθηκε από τον Hesch (2002). Η μεθοδολογία που παρουσίασε ο ερευνητής και φαίνεται σχηματικά στην Εικόνα 6 περιλαμβάνει θρυμματισμό των χρησιμοποιημένων υλικών, τα οποία μπορεί πέραν των προϊόντων ξύλου να είναι και άλλα σύνθετα και παρεμφερή υλικά.



Εικόνα 6: Ροή ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων (Hesch 2002)



#### 2.1.4. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΜΕΝΩΝ ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΩΝ

Οι Franke και Roffael (1998A, 1998B) μελέτησαν την επίδραση υδροθερμικών χειρισμών στην οξύτητα και την έκλυση φορμαλδεΐδης από ανακτημένα ξυλοτεμαχίδια μοριοπλακών και ινοπλακών. Ως μέτρο σύγκρισης χρησιμοποιήθηκαν ξυλοτεμαχίδια πεύκης χωρίς χειρισμό. Οι υδροθερμικοί χειρισμοί πραγματοποιήθηκαν σε αντιδραστήρα όπου τοποθετήθηκαν τεμαχίδια μοριοπλακών / ινοπλακών και νερό για χρονικά διαστήματα 1, 3, 6 ωρών και σε θερμοκρασίες 140 και 160°C. Ο προσδιορισμός της εκλυόμενης φορμαλδεΐδης έγινε με τη μέθοδο της φιάλης WKI (EN 717.03). Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι η έκλυση φορμαλδεΐδης από τα ανακυκλωμένα ξυλοτεμαχίδια ήταν μεγαλύτερη από ότι από τα ξυλοτεμαχίδια πεύκης και με ρυθμό έκλυσης τόσο μεγαλύτερο όσο μεγαλύτερη ήταν και η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια των εν λόγω χειρισμών. Επίσης φάνηκε ότι όσο μεγαλύτερος ήταν ο χρόνος υδροθερμικού χειρισμού, τόσο υψηλότερη ήταν και η τελική οξύτητα των ανακυκλωμένων ξυλοτεμαχιδίων. Ακόμα μελετήθηκε η επίδραση υδροθερμικού χειρισμού σε θερμοκρασία 200°C στην περιεκτικότητα του ξύλου σε πεντόζες (ομάδες των ημικυτταρινών του ξύλου) και σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η περιεκτικότητα σε πεντόζες μειώθηκε από 12% σε 6%, 3,8% και 3,4% περίπου μετά από χειρισμούς διάρκειας 2,4 και 6 ωρών αντίστοιχα.

Οι Fleischer και Marutzky (2000) ερεύνησαν την υδρόλυση συγκολλητικών ουσιών ουρίας – φορμαλδεΐδης (UF) που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή μοριοπλακών όπως επίσης και τη σημασία αυτής στις διαδικασίες ανακύκλωσης μοριοπλακών με υδροθερμικούς χειρισμούς. Στα αποτελέσματα της έρευνάς τους φαίνεται ότι η συνολική έκλυση φορμαλδεΐδης από σκέτη πολυμερισμένη συγκολλητική ουσία UF αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας υδρόλυσης και της οξύτητας κατά την υδρόλυση.

Οι Roffael και Franke (1995) σε εισήγηση τους αναφέρουν ότι μοριοπλάκες που κατασκευάστηκαν με τη χρησιμοποίηση ανακυκλωμένων μοριοπλακών παρουσιάζουν μειωμένα επίπεδα έκλυσης φορμαλδεΐδης σε σχέση με κοινές μοριοπλάκες. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε και ο Michanickl (1996A, 1996B) ο οποίος επιπροσθέτως αναφέρει ότι ανακτημένα ξυλοτεμαχίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη βιομηχανική παραγωγή μοριοπλακών σε μίξη με φρέσκα ξυλοτεμαχίδια χωρίς να προκαλέσουν αισθητές διαφορές στην ποιότητα τους (Πίνακας 1). Σε ανάλογη εργασία ο Michanickl, (1996B) έκανε σύγκριση μοριοπλακών του 1964 με ανακυκλωμένες που προέκυψαν από ανάκτηση αυτών. Οι ανακυκλωμένες πλάκες παρουσίασαν καλύτερες μηχανικές αλλά χειρότερες υγροσκοπικές ιδιότητες και μικρότερα ποσοστά περιεχόμενης φορμαλδεΐδης σε σύγκριση με τις αρχικές (μη ανακυκλωμένες). Τα αποτελέσματα όμως αυτών των δυο κατηγοριών μοριοπλακών δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα δεδομένου ότι οι ανακυκλωμένες μοριοπλάκες είχαν κατά 0,090 g/cm<sup>3</sup> μεγαλύτερη πυκνότητα απ' ότι οι μη ανακυκλωμένες (βλ. Πίνακα 2).

Πίνακας 1: Τεχνικές ιδιότητες και τιμές έκλυσης φορμαλδεΐδης βιομηχανικών μοριοπλακών από φρέσκα και ανακτημένα ξυλοτεμαχίδια (Michanicki, 1996A)

		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>Γ</b>
Πάχος	(mm)	18,43	18,44	18,40
Πυκνότητα	(g/cm <sup>3</sup> )	0,672	0,693	0,698
Μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη	(N/mm <sup>2</sup> )	2100	2250	2300
Μέτρο θραύσης σε κάμψη (//)	(N/mm <sup>2</sup> )	16,42	15,98	16,77
Μέτρο θραύσης σε κάμψη (⊥)	(N/mm <sup>2</sup> )	12,79	13,03	13,95
Αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό μεσαίας στρώσης	(N/mm <sup>2</sup> )	0,43	0,40	0,39
Διόγκωση σε νερό 24h	(%)	16,88	17,30	16,91
Προσρόφηση νερού 24h	(%)	56,25	55,96	57,44
Περιεχόμενη φορμαλδεΐδη (Μέθοδος Perforator)	(mg/100g)	8,9	7,5	7,6
Περιεχόμενη υγρασία σε κλίμα 20°/65%	(%)	9,6	9,6	9,6

**A** : Βιομηχανική μοριοπλάκα από 100% φρέσκα ξυλοτεμαχίδια

**B, Γ**: Βιομηχανικές μοριοπλάκες από 14% ανακυκλωμένα και 86% φρέσκα ξυλοτεμαχίδια

Πίνακας 2: Τεχνικές ιδιότητες και τιμές έκλυσης φορμαλδεΐδης μοριοπλακών παραγωγής 1964 και μοριοπλακών που προέκυψαν με ανακύκλωση αυτών. (Michanicki, 1996B, Michanicki και Boehme 1996)

		<b>A</b>	<b>B</b>
Πυκνότητα	(g/cm <sup>3</sup> )	0,621	0,712
Μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη	(N/mm <sup>2</sup> )	3020	3730
Μέτρο θραύσης σε κάμψη	(N/mm <sup>2</sup> )	18,11	23,63
Αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό μεσαίας στρώσης	(N/mm <sup>2</sup> )	0,30	0,34
Αντοχή σε αποκόλληση επιφανειακής στρώσης	(N/mm <sup>2</sup> )	1,05	1,22
Αντοχή σε διάτμηση	(N/mm <sup>2</sup> )	1,21	1,72
Διόγκωση σε νερό 24h	(%)	7,99	14,59
Προσρόφηση νερού 24h	(%)	40,73	63,64
Περιεχόμενη φορμαλδεΐδη (Μέθοδος Perforator)	(mg/100g)	14,6	9,5
Περιεχόμενη υγρασία σε κλίμα 20°/65%	(%)	10,3	9,8

**A:** Μοριοπλάκα του 1964

**B:** Μοριοπλάκα από ξυλοτεμαχίδια ανακτημένα από μοριοπλάκα του 1964

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται από τους Boehme και Michanickl (1998) οι ιδιότητες ανακυκλωμένων μοριοπλάκων σε σύγκριση με νέες μοριοπλάκες. Όπως προκύπτει από τον Πίνακα, οι μηχανικές ιδιότητες των ανακυκλωμένων μοριοπλάκων είναι υποδεέστερες αυτών που παρουσιάζουν μοριοπλάκες από φρέσκα ξυλοτεμαχίδια. Επίσης είναι εμφανές ότι οι ανακυκλωμένες μοριοπλάκες εμφανίζουν μικρότερες ποσότητες περιεχόμενης φορμαλδεΐδης και μικρότερη ισοδύναμη υγρασία από μοριοπλάκες που παράχθηκαν με φρέσκα ξυλοτεμαχίδια.

Πίνακας 3: Ιδιότητες ανακυκλωμένων εργαστηριακών μοριοπλάκων σε σύγκριση με εργαστηριακές και βιομηχανικές μοριοπλάκες από φρέσκα ξυλοτεμαχίδια (Boehme και Michanickl, 1998)

		<b>A</b>	<b>B</b>	<b>Γ</b>
Πάχος	(mm)	19 mm	19 mm	19 mm
Πυκνότητα	(g/cm <sup>3</sup> )	0,703	0,674	0,673
Μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη	(N/mm <sup>2</sup> )	2410	2460	2600
Μέτρο θραύσης σε κάμψη	(N/mm <sup>2</sup> )	11,99	12,55	15,20
Αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό μεσαίας στρώσης	(N/mm <sup>2</sup> )	0,529	0,520	0,668
Αντοχή σε αποκόλληση επιφανειακής στρώσης	(N/mm <sup>2</sup> )	1,10	1,17	1,27
Αντοχή σε διάτμηση	(N/mm <sup>2</sup> )	1,71	1,48	1,70
Περιεχόμενη φορμαλδεΐδη (Μέθοδος Perforator)	(mg/100g)	6,8	5,4	8,1
Περιεχόμενη υγρασία σε κλίμα 20°/65%	(%)	10	9,5	10,1

**A:** Μοριοπλάκα επιπλοποιίας χωρίς επικάλυψη

**B:** Εργαστηριακή μοριοπλάκα από ανακυκλωμένα ξυλοτεμαχίδια

**Γ:** Εργαστηριακή μοριοπλάκα από φρέσκα ξυλοτεμαχίδια

Με δεδομένο, όπως προαναφέρθηκε, ότι στις περισσότερες τεχνικές ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων από μοριοπλάκες ουρίας-φορμαλδεΐδης χρησιμοποιείται η άτμιση για την αποικοδόμηση των πλακών, αναπτύσσεται στο επόμενο κεφάλαιο η αξιοποίηση του ατμού στη βιομηχανική παραγωγή των προϊόντων ξύλου και οι σχετικές επιδράσεις στις ιδιότητες αυτών.

## 2.2 Η ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ ΣΤΟΝ ΤΟΜΕΑ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΞΥΛΟΥ

### 2.2.1. ΑΤΜΟΣ – ΓΕΝΙΚΑ

Ατμός (steam) στη Φυσική ονομάζεται κάθε σώμα που βρίσκεται σε αέρια κατάσταση (Microsoft Encarta Encyclopedia, 2002). Θεωρητικά θα μπορούσε να ονομαστεί και ως αέριο, αλλά στην πράξη ο όρος «ατμός» χρησιμοποιείται για σώματα που στη φυσική τους κατάσταση είναι υγρά ή στερεά όπως το νερό, η βενζίνη κ.α. Έχει προταθεί η χρήση του όρου «ατμός» να περιορίζεται σε αέρια σώματα τα οποία βρίσκονται σε κατάσταση κάτω από το *κρίσιμο σημείο* δηλ. τη θερμοκρασία στην οποία μπορούν, με την επίδραση επαρκούς πίεσης, να συμπυκνωθούν και να υγροποιηθούν, ενώ αντίθετα ο όρος αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σώματα που έχουν υπερβεί το κρίσιμο σημείο και έτσι δεν είναι δυνατή η παρουσία της ουσίας σε υγρή ή στερεά κατάσταση.

Η θερμική κίνηση στα υγρά συνεπάγεται την αποβολή μερικών σωματιδίων από αυτά. Όταν ο χώρος πάνω από το υγρό είναι κλειστός δημιουργείται σε αυτόν μια φάση αερίων από τα σωματίδια του υγρού. Τα σωματίδια αυτά κρούουν πάνω στα τοιχώματα του δοχείου και δημιουργούν κάποια πίεση επονομαζόμενη ως *πίεση* ή *τάση ατμών* (Ignatowitz και Haering 1990). Η πίεση ατμών αντιπροσωπεύει το βαθμό στον οποίο μόρια υγρού μεταφέρονται (δεσμεύοντας ενέργεια) στην αέρια φάση ([www.iaps.org](http://www.iaps.org), 2000). Όσο η θερμοκρασία του υγρού αυξάνεται, τόσο αυξάνεται και η πίεση των παραγόμενων ατμών. Όταν η τάση ατμών υπερβεί την πίεση του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται, τότε παρατηρείται το φαινόμενο του βρασμού της ουσίας και ο παραγόμενος ατμός σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται *κορεσμένος ατμός* (saturated steam) ενώ αναφέρεται και ως υγρός ατμός (wet steam). Περαιτέρω θέρμανση του κορεσμένου ατμού οδηγεί στο σχηματισμό του λεγόμενου *υπέρθερμου ατμού* (superheated steam).

Το νερό μεταβάλλει τη φάση του από υγρό σε ατμό κάτω από σταθερές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Για τις συνήθεις συνθήκες του περιβάλλοντος οι αντίστοιχες τιμές πίεσης και θερμοκρασίας βρασμού του νερού είναι 1,0133 bar και 100°C. Όταν η ατμοσφαιρική πίεση είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από αυτή (κάτι το οποίο συμβαίνει κάθε στιγμή) τότε αντίστοιχα αυξάνει ή μειώνεται και η θερμοκρασία βρασμού του νερού. Για παράδειγμα, αν η ατμοσφαιρική πίεση είναι 1 bar τότε η θερμοκρασία βρασμού (και συνεπώς παραγωγής κορεσμένου ατμού) είναι 99,632°C (Πάττας, 1978). Η πίεση και η θερμοκρασία του νερού-ατμού σε κατάσταση κορεσμού καταγράφονται σε σχετικούς πίνακες (Πίνακες 4 και 5) κοινά αποδεκτούς στην επιστήμη της Θερμοδυναμικής (Πάττας, 1978).

Πίνακας 4: Πίεση και θερμοκρασία ατμού σε κατάσταση κορεσμού (Πίνακας θερμοκρασίας) (Πάπτας, 1978)

<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)</b>	<b>ΠΙΕΣΗ (bar)</b>		
0	0,00611	180	10,027
5	0,00872	185	11,233
10	0,01227	190	12,551
15	0,01704	195	13,987
20	0,02337	200	15,549
25	0,03166	205	17,243
30	0,04241	210	19,077
35	0,05622	215	21,060
40	0,07375	220	23,198
45	0,09582	225	25,501
50	0,12335	230	27,976
55	0,15741	235	30,632
60	0,19920	240	33,478
65	0,25010	245	36,523
70	0,31160	250	39,776
75	0,38550	255	43,246
80	0,47360	260	46,943
85	0,57800	265	50,877
90	0,70110	270	55,058
95	0,84530	275	59,496
100	1,01330	280	54,202
105	1,20800	285	69,186
110	1,43270	290	74,461
115	1,69060	295	80,037
120	1,98540	300	85,927
125	2,32100	310	98,700
130	2,70130	320	112,89
135	3,13100	330	128,63
140	3,61400	340	146,05
145	4,15500	350	165,35
150	4,76000	360	186,75
155	5,43300	370	210,54
160	6,18100	371	213,06
165	7,00800	372	215,62
170	7,92000	373	218,20
175	8,92400	374	220,81
		374,15	221,20

Πίνακας 5: Πίεση και θερμοκρασία ατμού σε κατάσταση κορεσμού (Πίνακας πίεσης) (Πάττας, 1978)

<b>ΠΙΕΣΗ (bar)</b>	<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)</b>		
0,01	6,98	4,50	147,92
0,02	13,04	5,00	151,84
0,02	17,51	6,00	158,84
0,025	21,10	7,00	164,96
0,03	24,10	8,00	170,41
0,040	28,98	9,00	175,36
0,050	32,90	10,00	179,88
0,060	36,18	12,00	187,96
0,080	41,53	14,00	195,04
0,10	45,83	16,00	201,37
0,12	49,45	18,00	207,11
0,15	54,00	20,00	212,37
0,20	60,09	22,00	217,24
0,25	64,99	24,00	221,78
0,30	69,12	26,00	226,04
0,40	75,89	28,00	230,05
0,50	81,35	30,00	233,84
0,60	85,95	32,00	237,45
0,70	89,96	34,00	240,88
0,80	93,51	36,00	244,16
0,90	96,71	38,00	247,31
1,00	99,63	40,00	250,33
1,10	102,32	42,00	253,24
1,20	104,81	44,00	256,05
1,30	107,13	46,00	258,75
1,40	109,32	48,00	261,37
1,50	111,37	50,00	263,91
1,60	113,32	60,00	275,55
1,80	116,93	70,00	285,79
2,00	120,23	80,00	294,97
2,20	123,27	90,00	303,31
2,40	126,09	100,00	310,96
2,60	128,73	110,00	318,05
2,80	131,20	120,00	324,65
3,00	133,54	130,00	330,83
3,20	135,75	140,00	336,64
3,40	137,86	150,00	342,13
3,60	139,86	160,00	347,33
3,80	141,78	180,00	356,96
4,00	143,62	200,00	365,70
		220,00	373,69
		221,20	374,15

Για την ανάπτυξη πιέσεων υψηλότερων (ή και χαμηλότερων) της ατμοσφαιρικής, είναι αναγκαίο το νερό να βρίσκεται σε κλειστά δοχεία ανθεκτικά στις πιέσεις αλλά και τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες. Τα δοχεία αυτά βιομηχανικά ονομάζονται *λέβητες* και πιο συγκεκριμένα όταν πρόκειται για ατμό ονομάζονται *ατμολέβητες*.

### 2.2.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΑΤΜΙΣΗΣ ΣΤΗΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΞΥΛΟΥ

Ο ατμός χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η πλέον γνωστή εφαρμογή του εντοπίζεται στις ατμομηχανές και τους ατμοστρόβιλους όπου παράγεται με θέρμανση νερού (η οποία προκύπτει από την καύση ξυλάνθρακα) και η ενέργεια που αποθηκεύει μετατρέπεται -με εκτόνωση- μέσω εμβόλων ή στροβίλων σε κινητική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την κίνηση τρένων, πλοίων κλπ.

Πέρα όμως από τις παραπάνω εφαρμογές του, ο ατμός χρησιμοποιείται πολλαπλώς στη βιομηχανία του ξύλου (Kubinsky, 1971).

Το ξύλο χαρακτηρίζεται ως ελαστικό υλικό δηλ. υλικό που φέρει την ιδιότητα να μην παραμορφώνεται μόνιμα μετά από φορτίσεις σε επίπεδα κατώτερα του ορίου θραύσης του. Η άτμιση αποτελεί έναν προπαρασκευαστικό χειρισμό του ξύλου, ή κάποιων συγκολλημένων προϊόντων ξύλου όπως το αντικολλητό, που έχει ως σκοπό την πλαστικοποίηση του και συνεπώς την μόνιμη παραμόρφωσή του για παραγωγή καμπύλων στοιχείων. Επίσης η πλαστικοποίηση του ξύλου με άτμιση αποτελεί σημαντικό τεχνολογικό στάδιο κατά την παραγωγή ξυλοφύλλων γιατί επιφέρει τη δημιουργία βελτιωμένων επιφανειών λόγω της ευκολότερης τομής του συμπαγούς ξύλου από τα κοπτικά μέσα.

Άτμιση εφαρμόζεται στην πριστή ξυλεία οξυάς και άλλων ειδών αμέσως μετά την πρίση τους (Εικόνα 7) με σκοπό την αποστείρωση και τη βελτίωση του χρώματος της (Wang et al 1994 ). Συγκεκριμένα με την άτμιση η οξυά αποκτά ένα ελκυστικό ερυθρό χρωματισμό (Τσουμής, 1999). Γενικότερα με την άτμιση μειώνεται η χρωματική αντίθεση μεταξύ σομφού και εγκάρδιου ξύλου (Voulgaridis, Passialis και Grigoriou 1997).

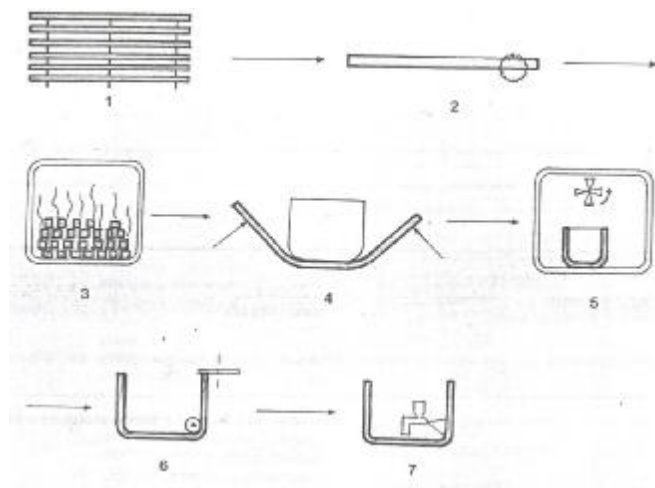


Εικόνα 7: Εγκαταστάσεις άτμισης πριστής ξυλείας



Μια άλλη εφαρμογή της άτμισης είναι ο προκαταρκτικός χειρισμός της ξυλείας με άτμιση προ της ξήρανόσής της με σκοπό αφενός την ταχύτερη και οικονομικότερη ξήρανόση και αφετέρου την μείωση της πιθανότητας δημιουργίας σφαλμάτων ξήρανόσης (Rosen et al 1983, Vermaas και Kuun 1989, Haslett et al 1999, Haslet και Dakin 2001).

Μετά από άτμιση, και με τη βοήθεια κατάλληλων βοηθημάτων ή μητρών (καλουπιών) τα οποία προτιμώνται να είναι μεταλλικά, δίδονται στο ξύλο και τα προϊόντα του καμπύλες μορφές. Η άτμιση συμβάλλει στην πλαστικοποίηση του ξύλου και στην ευκολότερη μορφοποίησή του (Kollmann και Côté 1968, Ratti 1983). Στην Εικόνα 8 φαίνεται σχηματικά η διαδικασία καμπύλωσης ξύλου με άτμιση.



Εικόνα 8: Σχηματική διαδικασία παραγωγής καμπύλων στοιχείων με άτμιση. 1. Πριστή ξυλεία, 2. Πρίση, 3. Άτμιση, 4. Κάμψη, 5. Ξήρανόση, 6. Βαφή, 7. Φινίρισμα (Ratti, 1983)

Η χρησιμοποίηση ατμού για την αποϊνώση του ξύλου, αλλά και άλλων λιγνινοκυτταρινικής φύσεως υλικών όπως τα υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών, πραγματοποιείται με μια διαδικασία γνωστή ως *steam explosion pulping* και χρησιμοποιείται στην παραγωγή χαρτιού και ινοπλακών. Η μέθοδος ανακαλύφθηκε το 1926 από τον Mason και έδωσε σημαντική ώθηση στη βιομηχανική παραγωγή των ινοπλακών (Γρηγορίου, 1996). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, τεμαχίδια ξύλου ατμίζονται για 1-10 λεπτά σε πίεση ως 90 bar (Garrote et al 1999) και θερμοκρασία που συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 210 και 285°C (Γρηγορίου, 1996) αλλά έχουν χρησιμοποιηθεί και θερμοκρασίες 190°C. Με απότομη αποσυμπίεση το ξύλο αποικοδομείται σε ίνες.

Ο Erickson (1976) σε σχετική εργασία του απέδειξε ότι η άτμιση το ξύλου μπορεί να βοηθήσει στην εύκολη αποφλοίωσή του μετά το θρυμματισμό του.

Επίσης, οι Morris et al (1997) ερεύνησαν την επιρροή της άτμισης στον εμποτισμό του ξύλου.

Η άτμιση ξύλου ή άλλων λιγνινοκυτταρινικών υλών αποτελεί έναν αποτελεσματικό προκαταρκτικό χειρισμό για την παραγωγή σημαντικών χημικών προϊόντων με πληθώρα χρήσεων (Singh et al 1986, Aoyama et al 1995, Montane et al 1997, Garrote et al 1999).

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται επίσης και εργαστηριακές προσπάθειες άτμισης στρογγύλης ξυλείας με υψηλές θερμοκρασίες και παράλληλη συμπίεσή της (Thermo-Hydro-Mechanical Treatment) με σκοπό τη δημιουργία τετραγωνικών ή πολυγωνικών διατομών (Inoue et al 1993, Navi et al 1996, Ito et al 1998A, Ito et al 1998B, Liu yixing et al. 2000, Navi και Girardet 2000).

### **2.2.3. Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΤΜΙΣΗΣ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΞΥΛΟΥ**

#### **2.2.3.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΑ ΧΗΜΙΚΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΤΑ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΑ**

Τα βασικά δομικά συστατικά του ξύλου είναι η κυτταρίνη, η λιγνίνη και οι ημικυτταρίνες. Η επίδραση του θερμού ατμού σε αυτά προκαλεί αλλαγές οι οποίες εξαρτώνται όχι μόνο από το ύψος της θερμοκρασίας αλλά και από τη διάρκεια χειρισμού, το βαθμό πολυμερισμού και κρυσταλλικότητας των δομικών συστατικών του ξύλου και την παρουσία άλλων ενώσεων κατά το χειρισμό (Nikitin 1966).

Από τα δομικά συστατικά του ξύλου τα περισσότερα ευπαθή στην επίδραση θέρμανσης είναι οι ημικυτταρίνες ενώ η λιγνίνη και η κυτταρίνη είναι ανθεκτικότερες (Nikitin 1966, Φιλίππου 1986). Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και άλλοι ερευνητές (Chauvette et al 1985, De Groot et al 1988) εφαρμόζοντας θερμοβαρομετρικές μεθόδους (Simcovic et al 1995).

Σύμφωνα με τον Nikitin (1966) με επίδραση θερμοκρασιών άνω των 120°C η κυτταρίνη αποπολυμερίζεται μέτρια ενώ σε θερμοκρασίες άνω των 240°C προκαλείται τροποποίηση του επαναλαμβανόμενου μονομερούς (γλυκόζης) στο μακρομόριο της. Σε θερμοκρασίες 150°C για 96 ώρες ο βαθμός πολυμερισμού της κυτταρίνης βαμβακιού μειώθηκε από 2000 σε 140. Η επίδραση της θερμοκρασίας στην κυτταρίνη είναι ιδιαίτερα εκτενής όταν η θέρμανση επιδρά υπό την παρουσία υγρασίας στον αέρα. Σε δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε ξηρές ίνες βισκόζης (προϊόν χημικής τροποποίησης της κυτταρίνης) και σε ξηρό περιβάλλον παρατηρήθηκε ότι με θέρμανση στους 150°C για 4 ώρες προέκυψε μείωση της αντοχής της κατά 4%. Στην περίπτωση έκθεσης της σε ατμοσφαιρικό αέρα η μείωση ήταν της τάξης του 6% και στην περίπτωση που οι ίνες περιείχαν υγρασία 12% η μείωση ήταν 55%.

Ο Φιλίππου (1986) αναφέρει ότι η κυτταρίνη είναι αρκετά ανθεκτική σε θερμοκρασίες 100-120°C και ότι σε θερμοκρασίες 150-160°C αρχίζει να μειώνεται ο βαθμός πολυμερισμού της. Πλήρης διάσπαση της κυτταρίνης συμβαίνει σε θερμοκρασίες άνω των 200°C. Για την λιγνίνη ο ίδιος συγγραφέας αναφέρει ότι είναι ανθεκτικότερη από τους πολυσακχαρίτες στην επίδραση της θερμότητας. Θέρμανση ως τους 150-160°C δεν της

προκαλεί σημαντικές δομικές αλλοιώσεις ενώ στους 170-200°C και ανάλογα με την υγρασία του ξύλου και τον τύπο της η λιγνίνη παρουσιάζει το φαινόμενο της υαλώδους μετάπτωσης στο οποίο το ξύλο πλαστικοποιείται και γίνεται περισσότερο ευκατέργαστο. Η θερμική διάσπαση της λιγνίνης συμβαίνει σε θερμοκρασίες από 200-300°C.

Η θερμική αποικοδόμηση του ξύλου μπορεί να ξεκινήσει σε θερμοκρασίες κάτω των 100°C εάν το ξύλο θερμανθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ξύλο που εκτίθεται σε θερμοκρασία 120°C για 1 μήνα χάνει το 10% της μηχανικής αντοχής του, ενώ το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να προέλθει με έκθεση σε θερμοκρασία 140°C για 1 εβδομάδα (Shafizadeh και Chin 1977).

Οι Cai, Wang και Li (1995) με αναφορά τους στον Hsu et al (1988) παρατηρούν ότι θερμικοί χειρισμοί στο ξύλο μπορεί να προκαλέσουν μερική υδρόλυση των ημικυτταρινών με αποτέλεσμα την αύξηση της συμπίεστικότητας του ξύλου γεγονός το οποίο μειώνει σημαντικά τη δημιουργία εσωτερικών τάσεων κατά τη διάρκεια της θερμής συμπίεσης για την παραγωγή μοριοπλακών.

Είναι αποδεκτό γενικά ότι η θερμική αποικοδόμηση των ημικυτταρινών συμβαίνει σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από αυτές της κυτταρίνης (Shafizadeh και Chin 1977). Ο Goldstein (1973) αναφέρει ότι οι ξυλάνες και οι γλυκομανάνες παρουσιάζουν φαινόμενα αποπολυμερισμού στους 117 και 127°C αντίστοιχα. ενώ κυτταρίνη παρουσιάζει αποπολυμερισμό στους 156-170°C. Οι Shafizadeh και Chin (1977) υποστηρίζουν ότι η αποσύνθεση των ημικυτταρινών συμβαίνει σε θερμοκρασίες 225-325°C, της κυτταρίνης στους 325-375°C και της λιγνίνης στους 250-500°C.

Έρευνες που διεξήγαγε ο Garrote και οι συνεργάτες του (1999) έδειξαν ότι σε θερμοκρασίες ως τους 230°C συμβαίνει μικρή αποικοδόμηση της κυτταρίνης.

Οι Choong, Shupe και Chen (1999) αναφέρουν ότι η επίδραση του ατμού στο ξύλο επιφέρει απομάκρυνση ή ανακατανομή των εκχυλισμάτων. Στα ίδια συμπεράσματα καταλήγουν και άλλοι ερευνητές (Nicholas και Thomas 1968, Kininmonth 1971, Chen και Workman 1980, Garrote et al 1999)

### 2.2.3.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

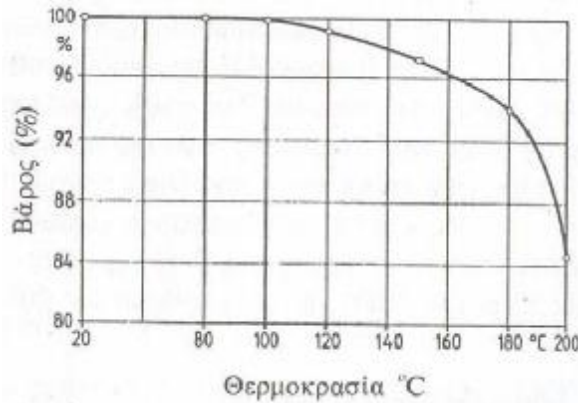
Σχετικά με την επίδραση του ατμού στις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου, ο Haslett και οι συνεργάτες του (1999) σε αναφορά τους στον Stamm (1956) αναφέρουν ότι υπερβολική έκθεση του ξύλου σε συνθήκες άτμισης μετά την ξήρανση μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων λόγω υδρόλυσης των δομικών συστατικών του.

Οι Yilgor, Unsal και Kartal (2001) μελέτησαν τις φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες ατμισμένου ξύλου οξυάς και βρήκαν ότι υπάρχει υποβάθμιση στις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου.

Οι Cai, Wang και Li (1995) όπως και ο Taylor (1987) αναφέρουν ότι μοριοπλάκες από ατμισμένα ξυλοτεμαχίδια συγκολλημένα με συγκολλητική ουσία ουρίας - φορμαλδεΐδης παρουσίασαν, σε σύγκριση με απλές

μοριοπλάκες (χωρίς χειρισμό ξυλοτεμαχιδίων), υψηλότερο μέτρο ελαστικότητας.

Σύμφωνα με τον Φιλίππου (1986) θέρμανση του ξύλου ως τους 100°C μειώνει τις μηχανικές του αντοχές χωρίς όμως μονιμότητα της επίδρασης αφού επαναφορά σε κανονικές συνθήκες ανακτάται η αρχική του αντοχή. Η επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες αρχίζει να γίνεται μόνιμη όταν η θέρμανση γίνεται σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 100°C, ανάλογα και με το χρόνο επίδρασης και την υγρασία του ξύλου.



Εικόνα 9: Απώλεια βάρους ξύλου *Picea abies* μετά από έκθεση σε διάφορες θερμοκρασίες για 24 ώρες (Φιλίππου, 1986)

Ο Hsu και οι συνεργάτες του (Hsu et al, 1988) διεξήγαγαν εκτεταμένη έρευνα για τη διερεύνηση της επίδρασης υδροθερμικού χειρισμού ξυλοτεμαχιδίων στις ιδιότητες παραγόμενων από αυτά μοριοπλακών. Εφάρμοσαν υδροθερμικούς χειρισμούς ξυλοτεμαχιδίων στους 200°C για 1,2,3,4 και 5 λεπτά και έλεγξαν τις ιδιότητες των μοριοπλακών που κατασκευάστηκαν με αυτά. Από τα αποτελέσματα φάνηκε ότι η αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό και το μέτρο θραύσης αυξήθηκαν με χειρισμούς 1,2 και 3 min ενώ άρχισαν να μειώνονται με χειρισμούς 4 και 5 min. Το μέτρο ελαστικότητας παρουσίασε αύξηση σε χειρισμούς μέχρι τα 4 min. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με αποτελέσματα της προαναφερθείσας έρευνας του Taylor.

### 2.2.3.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Από τα χημικά συστατικά του ξύλου τα περισσότερο υγροσκοπικά είναι οι ημικυτταρίνες και έπειτα η κυτταρίνη. Η λιγνίνη είναι το λιγότερο υγροσκοπικό συστατικό (Nikitin 1966, Φιλίππου 1986). Η παρουσία υδροξυλίων (-OH) στα μόρια των ημικυτταρινών και της κυτταρίνης είναι υπεύθυνη για την υγροσκοπικότητά τους.

Ο θερμικός χειρισμός του ξύλου σε θερμοκρασίες 100-200°C προκαλεί τη δημιουργία δεσμών υδρογόνου που δεσμεύουν τα ελεύθερα υδροξύλια ώστε δεν είναι διαθέσιμα για προσρόφηση μορίων νερού. Η επίδραση θερμικών χειρισμών στην υγροσκοπικότητα των δομικών συστατικών του ξύλου παρουσιάζεται στον Πίνακα 6 ενώ στον Πίνακα 7 παρουσιάζεται η επίδραση θερμικών χειρισμών του ξύλου στην υγροσκοπικότητα μοριοπλακών.

Πίνακας 6: Επίδραση θερμικών χειρισμών στην υγροσκοπικότητα συστατικών του ξύλου (Nikitin, 1966)

Αρχικό υλικό	Θερμικός χειρισμός		Υγροσκοπικότητα σε σχετική υγρασία 98% (%)
	θερμοκρασία (°C)	Χρόνος (h)	
Κυτταρίνη (βαμβάκι)	Χωρίς χειρισμό		23,12
	160	8	20,00
	170	8	17,73
	180	8	16,62
Λιγνίνη	Χωρίς χειρισμό		12,58
	170	8	10,80
Ημικυτταρίνες (Ξυλάνες)	Χωρίς χειρισμό		106,81
	170	8	133,48

Πίνακας 7: Επίδραση των θερμικών χειρισμών ξύλου ελάτης στην υγροσκοπικότητα των μοριοπλακών από ξύλο ελάτης (Nikitin, 1966)

Θερμικός χειρισμός		Υγροσκοπικότητα σε σχετική υγρασία 98% (%)	Κατά πάχος διόγκωση (%)
θερμοκρασία (°C)	Χρόνος (h)		
Χωρίς χειρισμό		29,07	124,13
160	4	27,39	50,00
160	6	27,26	42,12
160	8	25,96	43,11
170	4	25,73	39,16
170	6	25,71	33,63
170	8	25,22	31,39
180	4	24,97	31,65
180	6	23,39	31,44
180	8	22,31	29,43

Από τους παραπάνω Πίνακες καθίσταται εμφανές ότι η επίδραση των θερμικών χειρισμών έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της υγροσκοπικότητας του ξύλου. Εξαίρεση αποτελεί η υγροσκοπικότητα των ξυλανών η οποία αυξάνεται λόγω της πιθανής δημιουργίας υδρόφιλων ενώσεων.

Σε ότι αφορά την επίδραση της θέρμανσης στην υγροσκοπικότητά του ξύλου, οι Kolin και Danon (1997) αναφέρουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει την μείωση της υγροσκοπικότητας και της ρίκνωσης και διόγκωσης του. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε και ο Burmester (1973) σε σχετική έρευνα κατά την οποία εξετάστηκε η επίδραση υδροθερμικών χειρισμών στη διαστασιακή σταθερότητα ξύλου δρυός, οξυάς, πεύκης και ελάτης.

Εκτεταμένη είναι η εφαρμογή των παραπάνω διαπιστώσεων στην παραγωγή μοριοπλακών και ινοπλακών με βελτιωμένη διαστασιακή σταθερότητα. Ο χειρισμός ξυλοτεμαχιδίων με κορεσμένο ατμό πριν την παραγωγή μοριοπλακών μπορεί να προσδώσει στις παραγόμενες μοριοπλάκες μικρότερες μεταβολές διαστάσεων σε μεταβολές της υγρασίας τους (Irle et al 1998). Οι Cai, Wang και Li (1995) ασχολήθηκαν σε σχετική έρευνα και διαπίστωσαν ότι μοριοπλάκες κατασκευασμένες από ατμισμένα ξυλοτεμαχίδια και συγκολλημένα με συγκολλητική ουσία ουρίας - φορμαλδεΰδης παρουσίασαν πολύ μικρότερη κατά πάχος διόγκωση μετά από εμβάπτιση σε νερό θερμοκρασίας χώρου εργαστηρίου για 24 και 72 ώρες απ' ότι παρουσίασαν απλές (χωρίς χειρισμό ξυλοτεμαχιδίων) μοριοπλάκες.

Οι Rowel, Lange και Davis (2000) αναλύουν τους μηχανισμούς αύξησης της διαστασιακής σταθερότητας μοριοπλακών που παράγονται από ξυλοτεμαχίδια μετά από υδροθερμικούς χειρισμούς. Συγκεκριμένα αναφέρουν ότι η διαστασιακή σταθερότητα αυξάνεται με: 1) αποικοδόμηση των υγροσκοπικών ημικυτταρινών και μετατροπή τους σε σάκχαρα που μπορούν να μετατραπούν σε λιγότερο υγροσκοπικούς πολυσακχαρίτες, 2) αποικοδόμηση των ημικυτταρινών σε ελεύθερα σάκχαρα από τα οποία προκύπτουν φουράνες οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να πολυμεριστούν κατά τη διάρκεια θερμής πίεσης και να σχηματίσουν δεσμούς συγκόλλησης, 3) θερμικό μαλάκωμα της λιγνίνης και τη δημιουργία ενός νέου πλέγματος με μικρότερες εσωτερικές τάσεις στα κυτταρικά τοιχώματα, 4) διάσπαση των ημικυτταρινών και τη μετατροπή τους σε αέριες ενώσεις οι οποίες διαφεύγουν κατά τη θερμή συμπίεση.

Από τους Sekino, Inoue και Irle (1998) η χρησιμοποίηση του ατμού κατά την παραγωγή μοριοπλακών και ινοπλακών ταξινομείται σε 3 ομάδες: 1) Άτμιση των ξυλοτεμαχιδίων πριν την συμπίεσή τους σε θερμή πρέσσα, 2) άτμιση κατά τη θερμή πίεση (Steam injection pressing) και 3) άτμιση μετά την παραγωγή των πλακών. Από τις τρεις αυτές ομάδες χειρισμών, σύμφωνα με τους εν λόγω ερευνητές ως βέλτιστη για την επίτευξη βελτιωμένης διαστασιακής σταθερότητας μοριοπλακών θεωρείται η άτμιση ξυλοτεμαχιδίων πριν την συμπίεσή τους. Οι ίδιοι ερευνητές διεξήγαγαν έρευνα για τη διερεύνηση της επίδρασης υδροθερμικών χειρισμών ξυλοτεμαχιδίων σε διάφορες συνθήκες στις ιδιότητες παραγόμενων μοριοπλακών. Από τα αποτελέσματα της έρευνας φάνηκε ότι το μέτρο θραύσης επηρεάζεται αρνητικά από την επίδραση της θερμοκρασίας ενώ ανάλογη συμπεριφορά παρουσιάζει και η αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό.

Από τον Hsu και τους συνεργάτες του (1988) αναφέρεται ότι η κατά πάχος διόγκωση μοριοπλακών συγκολλημένων με ουρία-φορμαλδεΰδη μειώθηκε

περίπου στο 1/3 με χρήση ξυλοτεμαχιδίων που ατμίστηκαν στους 200°C σε σχέση με πλάκες που κατασκευάστηκαν από ξυλοτεμαχίδια χωρίς χειρισμό.

Ο Γρηγορίου (1984) αναφέρει ότι με θερμική επεξεργασία ξυλοτεμαχιδίων στους 250 -270°C επιτυγχάνεται σημαντικός περιορισμός της διόγκωσης των παραγόμενων πλακών.

Μετά από έρευνα (Taylor 1987) κατά την οποία πραγματοποιήθηκε παραγωγή μοριοπλακών από ατμισμένα ξυλοτεμαχίδια και έλεγχος των διαστασιακών μεταβολών τους μετά από εμβάπτιση σε νερό για 24/ 72 ώρες προέκυψε ότι αυτές έδειξαν κατά 50-70% μειωμένη διόγκωση σε σχέση με μοριοπλάκες που παρήχθησαν από ξυλοτεμαχίδια χωρίς χειρισμό. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν και κατά τον έλεγχο των διαστασιακών μεταβολών μετά από μεταβολή της σχετικής υγρασίας από 50 σε 90%. Επιπροσθέτως, η βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας φάνηκε να είναι ανάλογη του χρόνου άτμισης.

#### **2.2.3.4. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΟ ΧΡΩΜΑ**

Σε ότι αφορά στην επίδραση της άτμισης στο χρώμα του ξύλου, οι Haslett και Dakin (2001) αναφέρουν ότι η μόνη δυσμενής επίδραση της άτμισης στο συμπαγές ξύλο της *Pinus radiata*, είναι μια ελαφρά αλλά αξιοπρόσεκτη τάση του να γίνεται πιο σκούρο.

Οι McGinnes και Rosen (1984) ερεύνησαν τις μεταβολές που προκύπτουν στο χρώμα διαφόρων ειδών ξύλου μετά από άτμιση τους. Οι εν λόγω ερευνητές διαπίστωσαν ότι η άτμιση επέφερε σε όλα τα είδη ξύλου σημαντικά σκουρότερο χρώμα.

Οι Hsu et al (1988) αναφέρουν ότι με άτμιση ξυλοτεμαχιδίων πεύκης και λεύκης σε πίεση 1,55Mpa (15,5bar/200°C) για 1,2,3,4 και 5 λεπτά παρατηρήθηκε καστανός χρωματισμός τους ο οποίος εντάθηκε με αύξηση του χρόνου χειρισμού.

Σε έρευνα κατά την οποία μελετήθηκε η τροποποίηση του χρώματος του ξύλου με την εφαρμογή άτμισης (Tolvaj και Faix 1996) διαπιστώθηκε ότι οι μεταχρωματισμοί εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και απαιτούν υψηλή περιεχόμενη υγρασία στο ξύλο. Υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν σημαντική μεταβολή χρώματος μόνο υπό την παρουσία υψηλών ποσοστών υγρασίας (Schmidt, 1986). Ο Sundqvist (2002) αποδίδει το μεταχρωματισμό σε υδρόλυση και μετακίνηση ομάδων που ευθύνονται για το χρωματισμό του ξύλου.

#### **2.2.3.5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΟΞΥΤΗΤΑ**

Είναι κοινή αποδοχή ότι η άτμιση του ξύλου επιφέρει αύξηση της οξύτητας του δηλαδή μείωση του pH (Kolin και Danon 1997). Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Hsu et al (1988) μετά από άτμιση ξυλοτεμαχιδίων πεύκης και λεύκης στους 200°C συμπληρώνοντας ότι με αύξηση του χρόνου υδροθερμικού χειρισμού αυξάνεται και η οξύτητα του ξύλου.

Οι Sekino, Inoue και Irie (1998) με υδροθερμικούς χειρισμούς διάρκειας 10 λεπτών που διεξήγαγαν σε ξυλοτεμαχίδια βρήκαν ότι με την αύξηση της

θερμοκρασίας υδροθερμικού χειρισμού αυξάνεται η οξύτητα του ξύλου (Πίνακας 8).

Πίνακας 8: Επίδραση υδροθερμικών χειρισμών διάρκειας 10 λεπτών στην οξύτητα ξυλοτεμαχιδίων ξύλου Akamatsu (*Pinus densiflora*) (Sekino, Inoue και Irlle 1998)

<b>Θερμοκρασία άτμισης</b>	<b>pH</b>
160°C	4,15
180°C	4.01
190°C	3.93
200°C	3.91
210°C	3.63
Χωρίς χειρισμό	4,38



### 3. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Από την ανάλυση του προηγούμενου Κεφαλαίου είναι αντιληπτό ότι ήδη υπάρχουν δημοσιευμένες μεθοδολογίες ανακύκλωσης μοριοπλακών. Κάθε μεθοδολογία περιλαμβάνει τη χρήση κάποιων μέσων ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων. Το μέσο αυτό μπορεί να είναι ο θρυμματισμός, οι υδροθερμικοί χειρισμοί, η χρήση αντιδραστηρίων εμποτισμού ή συνδυασμοί των παραπάνω. Από τη βιβλιογραφία λείπουν συγκεκριμένα επιστημονικά δεδομένα σε ότι αφορά τις ιδιότητες ανακυκλωμένων μοριοπλακών και τη απόλυτη σύγκρισή τους με μοριοπλάκες-μάρτυρες της ίδιας πυκνότητας.

Σκοπός της παρούσης έρευνας ήταν η διερεύνηση των επιπτώσεων των συνθηκών υδροθερμικών χειρισμών με τους οποίους ανακτώνται ξυλοτεμαχίδια μοριοπλάκας στις ιδιότητες των ανακυκλωμένων μοριοπλακών που κατασκευάστηκαν από αυτά. Επίσης διερευνήθηκαν οι επιπτώσεις στις ιδιότητες μοριοπλακών που προέκυψαν με 2<sup>η</sup> ανακύκλωση ακολουθώντας ίδια μεθοδολογία ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων και παραγωγής πλακών.

Η παρούσα μεθοδολογία ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων διαφοροποιείται από τις παραπάνω στη βιβλιογραφία αναφερόμενες μεθοδολογίες στο ότι οι προς ανάκτηση ξυλοτεμαχιδίων μοριοπλάκες δεν υπέστησαν κανένα θρυμματισμό, ούτε χρησιμοποιήθηκε κανένα εμποτιστικό διάλυμα για την υποβοήθηση της αποικοδόμησης τους. Επίσης, όλες οι μοριοπλάκες που κατασκευάστηκαν κατά την παρούσα έρευνα είχαν την ίδια πυκνότητα και έτσι κατέστη δυνατή η απρόσκοπτη σύγκριση των ιδιοτήτων μεταξύ αυτών.

## 4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 4.1 ΥΛΙΚΑ

Για τη διεξαγωγή της έρευνας κατασκευάστηκαν εργαστηριακές μοριοπλάκες με πρώτες ύλες από βιομηχανία παραγωγής μοριοπλακών.

#### 4.1.1. ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

##### 4.1.1.1. ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΑ

Η προμήθεια των ξυλοτεμαχιδίων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή της έρευνας έγινε από βιομηχανία παραγωγής προϊόντων ξύλου της Βορείου Ελλάδας και προέκυψαν από θρυμματισμό μίξης ξύλου λεύκης, ελάτης, πεύκης αλλά και χρησιμοποιημένου ξύλου. Η υγρασία του υλικού κατά την προμήθειά του ήταν 10-11%.

##### 4.1.1.2. ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΗ ΟΥΣΙΑ

Η συγκολλητική ουσία που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των εργαστηριακών μοριοπλακών ήταν τύπου ουρίας – φορμαλδεΰδης κλάσης E2 (με δυναμικότητα έκλυσης φορμαλδεΰδης 8 - 30mg/100g ξηρού βάρους πλάκας, σύμφωνα με το ευρωπαϊκά πρότυπο EN322:2003) με χώρα προέλευσης τη Σερβία και η προμήθειά της έγινε από βιομηχανία παραγωγής προϊόντων ξύλου της Βορείου Ελλάδας.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε ώστε η προμήθεια της συγκολλητικής ουσίας να μην απείχε χρονικά από την ημερομηνία παραγωγής της και έτσι να αποφευχθεί πιθανός πολυμερισμός της στη διάρκεια της αποθήκευσής της κατά τη διεξαγωγή της έρευνας. Για τον ίδιο λόγο, η αποθήκευση της συγκολλητικής ουσίας έγινε σε χώρο με θερμοκρασία 10°C (Maloney, 1993).

Προ της παραγωγής των εργαστηριακών μοριοπλακών πραγματοποιήθηκε ποιοτικός έλεγχος της συγκολλητικής ουσίας ο οποίος περιελάμβανε τον προσδιορισμό των εξής ιδιοτήτων: 1) Οξύτητα (pH), 2) Περιεχόμενα στερεά συστατικά (Total solids content), 3) Χρόνος πήξης (Gelation time), 4) Ιξώδες (Viscosity) με τη συσκευή μέτρησης Brookfield και 5) Πυκνότητα (Glue Density). Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον παρακάτω Πίνακα:

Πίνακας 9: Ιδιότητες της συγκολλητικής ουσίας ουρίας-φορμαλδεΰδης

A/A	ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΤΙΜΗ
1.	Οξύτητα (pH)	8,61
2.	Περιεχόμενα στερεά συστατικά (%)	67,61
3.	Χρόνος πήξης (sec) 2,00% NH <sub>4</sub> Cl	84
4.	Ιξώδες (mPa.s)	1600
5.	Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	1,30

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μετά τον κλιματισμό της συγκολλητικής ουσίας σε θερμοκρασία 22,5°C.

#### 4.1.1.3. ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Ως σκληρυντής για τη μείωση του χρόνου πολυμερισμού της συγκολλητικής ουσίας (Maloney 1993) και τη βελτιστοποίηση των παραγόμενων συγκολλήσεων κατά τη θερμή συμπίεση, χρησιμοποιήθηκε χλωριούχο αμμώνιο ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) του οποίου η προμήθεια έγινε σε ξηρή μορφή από την ως άνω αναφερόμενη βιομηχανία.

#### 4.1.2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΩΝ

Το σύνολο της παραγωγικής διαδικασίας έγινε με τον εξοπλισμό του Εργαστηρίου Δασικής Τεχνολογίας στις εγκαταστάσεις του Φοίνικα.

##### 4.1.2.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΥΛΙΚΟΥ

Για την ταξινόμηση του υλικού (απομάκρυνση ανεπιθύμητου κλάσματος  $\kappa < 1,5\text{mm}$ ) χρησιμοποιήθηκε εργαστηριακό κόσκινο (διαμέτρου 60cm) τύπου Allgaier με κίνηση σε όλα τα επίπεδα (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Κόσκινο τύπου Allgaier

##### 4.1.2.2. ΞΗΡΑΝΣΗ

Η ξήρανση του υλικού έγινε σε εργαστηριακό ξηραντήριο διαστάσεων 140 x 100 x 120 cm το οποίο φέρει θερμαντικά στοιχεία και απαγωγό για τη διακίνηση του αέρα (Εικόνα 11).



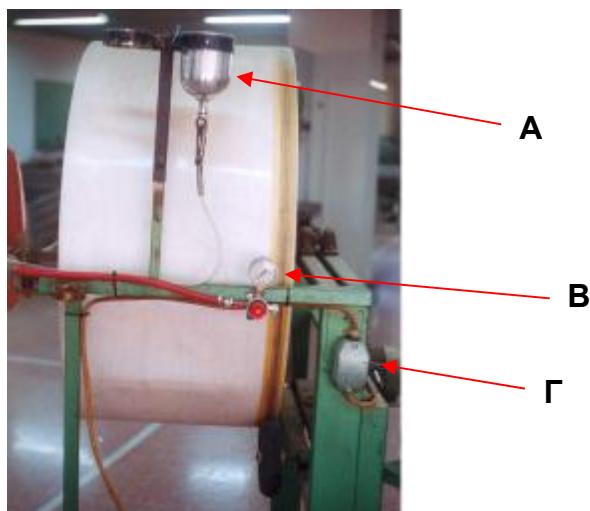
Εικόνα 11: Ξηραντήριο ξυλοτεμαχιδίων

#### 4.1.2.3. ΑΝΑΜΙΞΗ ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ – ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ

Η ανάμιξη ξυλοτεμαχιδίων – συγκολλητικής ουσίας έγινε σε εργαστηριακό αναμικτήρα τύπου περιστρεφόμενου τύμπανου (Εικόνες 12, 13, 14). Η συσκευή αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο κυλινδρικό δοχείο διαμέτρου 1m και πλάτους 0,5m (χωρητικότητα 0,393m<sup>3</sup>) το οποίο παίρνει κίνηση μέσω ελαστικού ιμάντα από ηλεκτροκινητήρα. Η κατανομή της συγκολλητικής ουσίας στα ξυλοτεμαχίδια γίνεται με τη βοήθεια ψεκαστήρα ο οποίος είναι προσαρμοσμένος στο εσωτερικό του κυλίνδρου.



Εικόνα 12: Εμπρόσθια όψη του αναμικτήρα. Διακρίνεται το πιστόλι ψεκασμού της συγκολλητικής ουσίας και η είσοδος-έξοδος του υλικού



Εικόνα 13: Πλάγια όψη του αναμικτήρα. Διακρίνεται το δοχείο τροφοδοσίας μίγματος συγκολλητικής ουσίας (Α), ο ρυθμιστής πίεσης αέρα (Β) και ο διακόπτης λειτουργίας (Γ)



Εικόνα 14: Το πιστόλι ψεκασμού της συγκολλητικής ουσίας και οι αγωγοί αέρα (κόκκινο) και συγκολλητικής ουσίας (διαφανές)

#### 4.1.2.4. ΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ – ΠΡΟΠΙΕΣΗ

Η στρωμάτωση του υλικού έγινε χειροκίνητα με τη βοήθεια εργαστηριακής μήτρας διαστάσεων 30x35cm κατασκευασμένης από αντικολλητό. Η ψυχρή πίεση (προπίεση) πραγματοποιήθηκε επίσης χειροκίνητα με τη βοήθεια σχετικής κατασκευής.

#### 4.1.2.5. ΘΕΡΜΗ ΠΙΕΣΗ

Η θερμή πίεση των μοριοπλακών πραγματοποιήθηκε σε υδραυλική θερμαινόμενη πρέσα τύπου Becker van Hullen (Εικόνα 15).

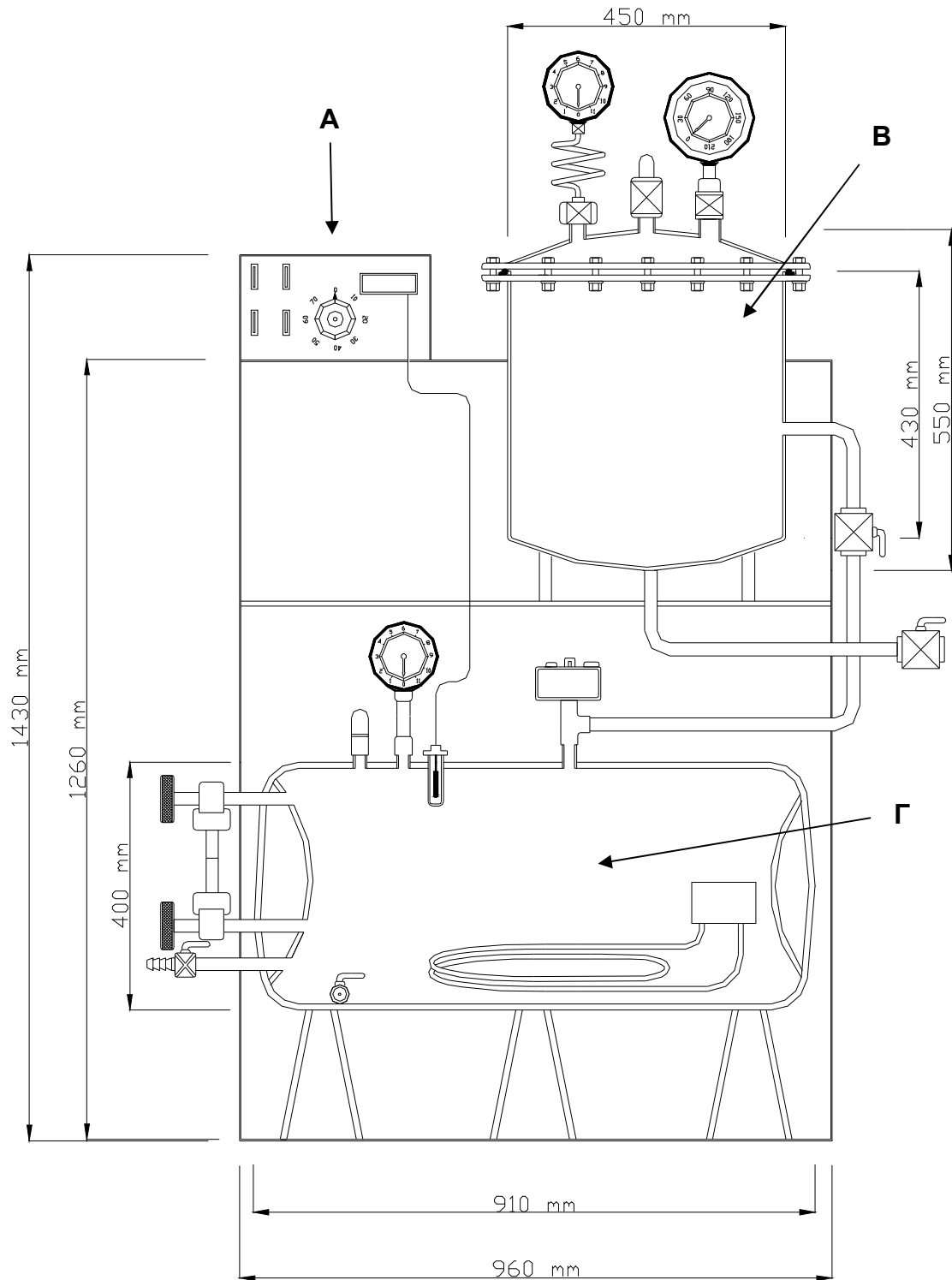


Εικόνα 15: Θερμαινόμενη εργαστηριακή πρέσα

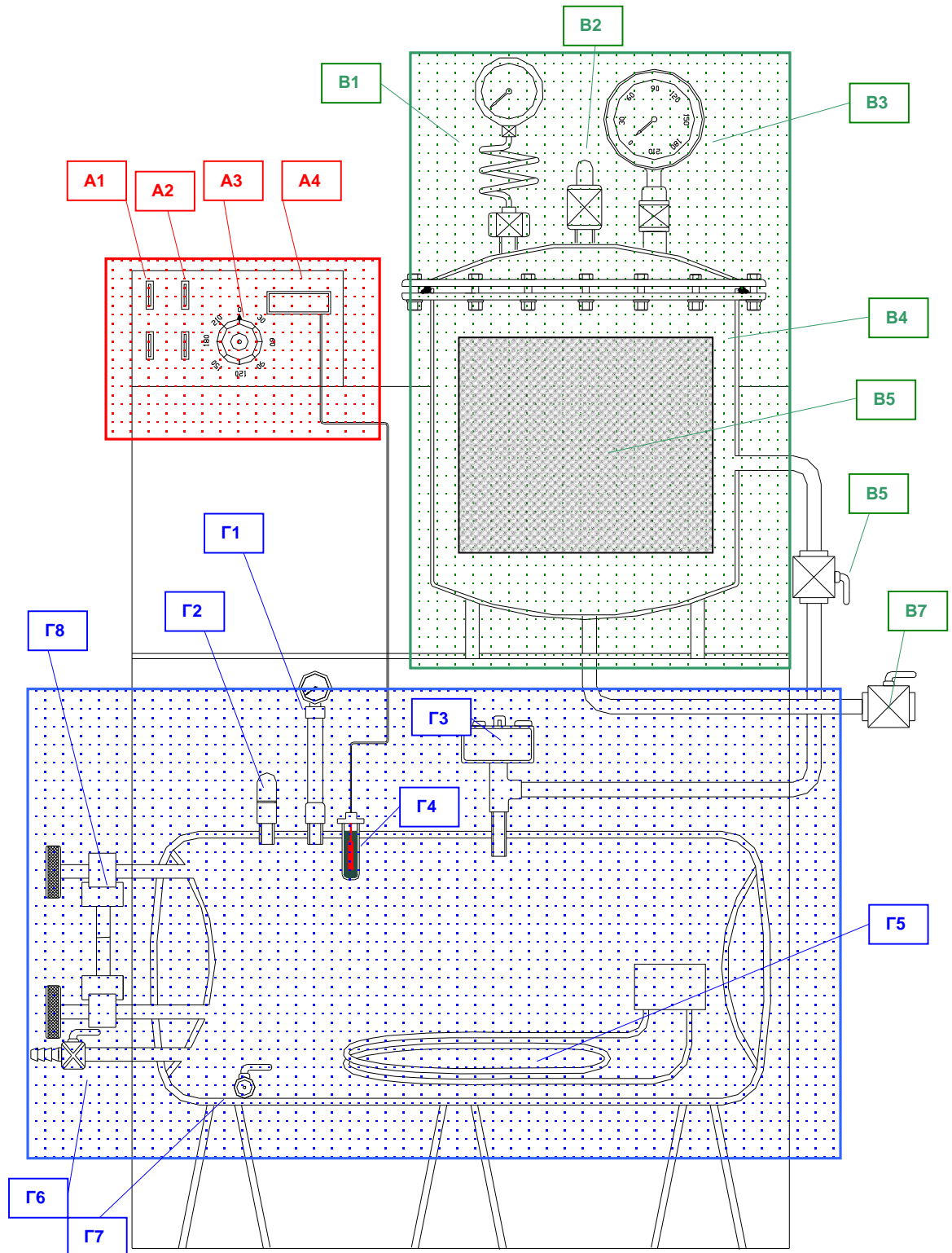
#### 4.1.2.6. ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΟΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ

Για την ανάκτηση των ξυλοτεμαχιδίων από τα οποία κατασκευάστηκαν οι εργαστηριακές μοριοπλάκες χρησιμοποιήθηκε συσκευή υδροθερμικού χειρισμού (άτμισης). Η συσκευή αυτή παράγει κορεσμένο ατμό θερμοκρασίας 100-170°C και απόλυτης πίεσης 1-8 bar. Ο ατμός διοχετεύεται σε αντιδραστήρα όπου πραγματοποιείται και ο υδροθερμικός χειρισμός των μοριοπλακών. Υπό την επίδραση του ατμού (σε διάφορες πιέσεις/θερμοκρασίες και για διαφόρους χρόνους) η συγκολλητική ουσία ουρίας - φορμαλδεΰδης υδρολύεται και έτσι συμβαίνει αποκόλληση των ξυλοτεμαχιδίων μεταξύ τους τα οποία και μπορούν έπειτα να επαναχρησιμοποιηθούν για την παραγωγή νέων μοριοπλακών.

Η συσκευή κατασκευάσθηκε υπό την επίβλεψη του συγγραφέα και παρουσιάζεται πιο διεξοδικά παρακάτω:



Εικόνα 16: Σχέδιο της συσκευής υδροθερμικού χειρισμού (Α. Πίνακας Ελέγχου, Β. Αντιδραστήρας, Γ. Μονάδα παραγωγής ατμού)



Εικόνα 17: Τα βασικά μέρη της συσκευής υδροθερμικού χειρισμού



**Μέρη της συσκευής υδροθερμικού χειρισμού (Εικόνα 17)****A) Πίνακας ελέγχου**

- A1. Ενδεικτική λυχνία και διακόπτης λειτουργίας ατμοπαραγωγού
- A2. Ενδεικτική λυχνία και διακόπτης λειτουργίας προθέρμανσης αντιδραστήρα
- A3. Ροοστάτης ρύθμισης θερμοκρασίας προθέρμανσης αντιδραστήρα
- A4. Ψηφιακή ένδειξη και ρυθμιστής θερμοκρασίας ατμοπαραγωγού μονάδας

**B) Αντιδραστήρας**

- B1. Ένδειξη πίεσης
- B2. Βαλβίδα ασφαλείας
- B3. Ένδειξη θερμοκρασίας
- B4. Εσωτερικό αντιδραστήρα
- B5. Κάδος τοποθέτησης μοριοπλακών
- B6. Ρυθμιστής εισαγωγής ατμού
- B7. Ρυθμιστής εξαγωγής ατμού

**Γ) Μονάδα παραγωγής ατμού**

- Γ1. Ένδειξη πίεσης λειτουργίας
- Γ2. Βαλβίδα ασφαλείας
- Γ3. Ρυθμιστής πίεσης λειτουργίας
- Γ4. Αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας
- Γ5. Ηλεκτρικά θερμαντικά στοιχεία
- Γ6. Βάνα εισαγωγής νερού
- Γ7. Βάνα εξαγωγής νερού
- Γ8. Ένδειξη στάθμης νερού

**A) Ο Πίνακας ελέγχου.**

Ο Πίνακας ελέγχου (Εικόνα 18) φέρει τους διακόπτες λειτουργίας της ατμοπαραγωγού μονάδας και των θερμαντικών στοιχείων του αντιδραστήρα, ρυθμιστή θερμοκρασίας του αντιδραστήρα και όργανο ελέγχου και ρύθμισης της θερμοκρασίας της ατμοπαραγωγού μονάδας.



Εικόνα 18: Ο Πίνακας ελέγχου

### Β) Ο αντιδραστήρας.



Εικόνα 19: Αντιδραστήρας



Εικόνα 20: Κάδος υλικού

Πρόκειται για κυλινδρικό δοχείο, από ανοξείδωτη λαμαρίνα, χωρητικότητας 65 λίτρων το οποίο φέρει:

- Σιφώνιο τροφοδοσίας από την ατμοπαραγωγό μονάδα
- Σιφώνιο εξόδου ατμού
- Θερμαντικά στοιχεία για την προθέρμανση του στους 20-90°C
- Μανόμετρο εύρους 0-10 bar με σπειροειδές σιφώνιο για την προστασία του από τις υψηλές θερμοκρασίες του ατμού (Εικόνες 20, 21)

- Θερμόμετρο (διμεταλλικό) 0-200°C με αισθητήρα μήκους 10cm (Εικόνες 20, 22)
- Διάτρητο ανοξείδωτο κάδο τοποθέτησης του προς χειρισμό υλικού με κυκλικές οπές διαμέτρου 1,4mm (Εικόνα 20)
- Βαλβίδα ασφαλείας του αντιδραστήρα από υψηλές πιέσεις με δυνατότητα ρύθμισης 0-12 bar
- Θερμομόνωση από υαλοβάμβακα για τη μείωση των θερμικών απωλειών



Εικόνα 21: Αντιδραστήρας (αριστερά: όργανο μέτρησης πίεσης, δεξιά: όργανο μέτρησης θερμοκρασίας, κέντρο: βαλβίδα ασφαλείας)



Εικόνα 22: Όργανο μέτρησης πίεσης



Εικόνα 23: Όργανο μέτρησης θερμοκρασίας

### Γ) Η μονάδα παραγωγής ατμού.

Η μονάδα παραγωγής ατμού (Εικόνα 24) είναι ένας ατμολέβητας χωρητικότητας 60 λίτρων, ο οποίος χρησιμοποιεί ως μέσο θέρμανσης του νερού ηλεκτρικές αντιστάσεις δυναμικότητας 14KW και είναι θερμομονωμένος με ορυκτοβάμβακα για την μείωση των θερμικών απωλειών.



Εικόνα 24: Η μονάδα παραγωγής ατμού

Ο ατμολέβητας φέρει τα εξής όργανα ελέγχου και μετρήσεων:

- Μανόμετρο 0-16 bar για τη μέτρηση της πίεσης ατμού
- Θερμοζεύγος συνδεδεμένο με το ρυθμιστή θερμοκρασίας που βρίσκεται στον Πίνακα ελέγχου για τη ρύθμιση και μέτρηση της θερμοκρασίας ατμού στην μονάδα παραγωγής ατμού
- Ηλεκτρικό πιεσοστάση λειτουργίας 0-10 bar
- Βαλβίδα προστασίας από υψηλές πιέσεις 0-12 bar
- Δείκτη στάθμης νερού με κοχλίες ασφαλείας (Εικόνα 24)



Εικόνα 25: Ο δείκτης στάθμης νερού της ατμοπαραγωγού μονάδας

#### **4.1.3. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΩΝ**

Για τις κλασματικές αναλύσεις των ξυλοτεμαχιδίων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των πλακών χρησιμοποιήθηκε κόσκινο τύπου Endecotts testsieve shaker με παραγόμενη δόνηση σε οριζόντιο επίπεδο (Εικόνα 26).

Τα επιμέρους χρησιμοποιούμενα κόσκινα είχαν διάμετρο 200mm



Εικόνα 26: Κόσκινο τύπου δονητή για κοκκομετρική ανάλυση

Για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των μοριοπλακών (μέτρο θραύσης και μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, αντοχή σε εξαγωγή βίδας, αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό) χρησιμοποιήθηκε δυναμόμετρο τύπου Shimatzu UH-300kNA (Εικόνα 27)



Εικόνα 27: Δυναμόμετρο για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων

Για τον προσδιορισμό του πάχους και των μεταβολών του μετά από εμβάπτιση σε νερό χρησιμοποιήθηκε σχετική κατασκευή με μικρόμετρο ακριβείας (Εικόνα 28)



Εικόνα 28: Μικρόμετρο μέτρησης πάχους

Ο προσδιορισμός της υγρασίας έγινε με τη βοήθεια κλιβάνου τύπου Binder (Εικόνα 29)



Εικόνα 29: Κλίβανος τύπου Binder

Για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης φορμαλδεΐδης χρησιμοποιήθηκε συσκευή Perforator και φασματοφωτόμετρο τύπου Hitachi U-2000 (Εικόνες 31 και 30 αντίστοιχα).



Εικόνα 30: Φασματοφωτόμετρο για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης φορμαλδεΐδης



Εικόνα 31: Συσκευή Perforator για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης φορμαλδεΐδης

Για τον προσδιορισμό της ισοδύναμης υγρασίας των πλακών χρησιμοποιήθηκε αεροστεγής υάλινος θάλαμος (Εικόνα 32). Στον πυθμένα του θαλάμου τοποθετήθηκε δοχείο με κορεσμένο διάλυμα νιτρώδους νατρίου ( $\text{NaNO}_2$ ) το οποίο σε σταθερή θερμοκρασία  $22^\circ\text{C}$  δημιουργήσε ατμούς με σταθερή σχετική υγρασία 74% (Schneider 1960, Κάββουρας 2000). Στην οροφή του θαλάμου προσαρμόστηκε κατάλληλος ανεμιστήρας ο οποίος λειτουργούσε για 5 λεπτά σε κάθε ώρα με σκοπό την διακίνηση του αέρα και την ομοιόμορφη κατανομή της υγρασίας στο χώρο του θαλάμου.



Εικόνα 32: Θάλαμος κλιματισμού για τον προσδιορισμό της ισοδύναμης υγρασίας



## **4.2 ΜΕΘΟΔΟΙ**

Στη συνέχεια αναπτύσσονται οι μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν κατά την εργαστηριακή παραγωγή των μοριοπλακών, τους υδροθερμικούς χειρισμούς και τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των πειραματικών πλακών.

### **4.2.1.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ**

Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά περίπου 70kg ξυλοτεμαχιδίων, εκ των οποίων απομακρύνθηκε το κλάσμα  $k < 1,5\text{mm}$ . Η απόφαση αυτή πάρθηκε με γνώμονα την ελαχιστοποίηση της ενδεχόμενης απώλειας λεπτού υλικού τόσο κατά τη διάρκεια της ξήρανσης όσο και κατά τη διάρκεια των υδροθερμικών χειρισμών, γεγονός που θα επέφερε την αλλοίωση των αποτελεσμάτων. Οι απώλειες θα μπορούσαν να προκύψουν αφενός από το άνοιγμα των κόσκινων του ξηραντηρίου και αφετέρου από το πορώδες του κάδου της συσκευής υδροθερμικού χειρισμού τα οποία ήταν 1,4mm.

Ο ως άνω διαχωρισμός έγινε σε κόσκινο τύπου Allgaier (βλ. Κεφάλαιο 4.1.2.1) με αργή τροφοδοσία και το κλάσμα  $k > 1,5\text{mm}$  που προέκυψε είχε βάρος 38 Kg.

### **4.2.1.2. ΞΗΡΑΝΣΗ ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ**

Μετά το στάδιο της ταξινόμησης, ακολούθησε η ξήρανση των ξυλοτεμαχιδίων. Η αρχική υγρασία τους ήταν 10-11% και η ξήρανση έγινε μέχρι υγρασίας 3,5%. Κατόπιν το υλικό αναμίχθηκε επαρκώς για να ομογενοποιηθεί. Έπειτα διαμορφώθηκε σε κωνικό σωρό και αφού διαχωρίστηκε σε ίσες δόσεις των 2435g (υλικό για την κατασκευή 3 πλακών) τοποθετήθηκε προσεκτικά σε πλαστικές σακούλες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE) με σκοπό να διατηρηθεί η υγρασία του μέχρι τη χρησιμοποίησή του για την παραγωγή των εργαστηριακών μοριοπλακών. Από το διαμορφωθέντα κωνικό σωρό έγινε επίσης δειγματοληψία 3 τυχαίων δειγμάτων ξυλοτεμαχιδίων μάζας περίπου 150g για την προσδιορισμό των κλασμάτων (κλασματική ανάλυση) και της χωρικής πυκνότητας του αρχικού υλικού με σκοπό τη σύγκριση τους με τα ανακτηθέντα υλικά που θα προέκυπταν μετά τους υδροθερμικούς χειρισμούς.

### **4.2.1.3. ΑΝΑΜΙΞΗ ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ – ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ**

Για τη συγκόλληση των ξυλοτεμαχιδίων χρησιμοποιήθηκε συγκολλητική ουσία σε ποσοστό 7% ανά ξηρή μάζα ξυλοτεμαχιδίων. Η συγκολλητική ουσία αραιώθηκε με νερό πριν την εφαρμογή της δημιουργώντας υδατικό διάλυμα 50% κατά βάρος. Ο σκληρυντής (χλωριούχο αμμώνιο) χρησιμοποιήθηκε ως υδατικό διάλυμα 20% κατά βάρος και σε ποσοστό 2% ανά ξηρή μάζα συγκολλητικής ουσίας. Η προσθήκη της ποσότητας του διαλύματος του σκληρυντή στο διάλυμα της συγκολλητικής ουσίας γινόταν λίγο πριν τον ψεκασμό της στα ξυλοτεμαχίδια.

Ο συνολικός χρόνος ανάμιξης συγκολλητικής ουσίας και ξυλοτεμαχιδίων ήταν 4 λεπτά. Στα 2 πρώτα λεπτά πραγματοποιήθηκε ο ψεκασμός του μίγματος συγκολλητικής ουσίας και σκληρυντή και στα υπόλοιπα δύο συνεχίστηκε η ανάμιξη του υλικού για καλύτερη ομοιογένεια του μίγματος ξυλοτεμαχιδίων – συγκολλητικής ουσίας. Κατά τον ψεκασμό εφαρμόστηκε πίεση αέρα 4bar ενώ η παροχή του διαλύματος της συγκολλητικής ουσίας έγινε δίχως εφαρμογή πίεσης αλλά με την τοποθέτηση του δοχείου της συγκολλητικής ουσίας σε υψηλότερο επίπεδο. Η υγρασία του υλικού μετά την ανάμιξη ήταν 9-10%

#### 4.2.1.4. ΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ ΥΛΙΚΟΥ - ΠΡΟΠΙΕΣΗ

Η στρωμάτωση του υλικού πραγματοποιήθηκε για όλες τις πλάκες στην παραπάνω αναφερόμενη μήτρα ενώ η προπίεση έγινε χειρονακτικά με σχετική κατασκευή όπως φαίνεται στις παρακάτω Εικόνες:



Εικόνα 33: Στρωμάτωση – Προπίεση – Στρωματωμένου υλικού

#### 4.2.1.5. ΘΕΡΜΗ ΠΙΕΣΗ

Οι συνθήκες θερμής συμπίεσης ήταν οι εξής:

Θερμοκρασία: 185°C

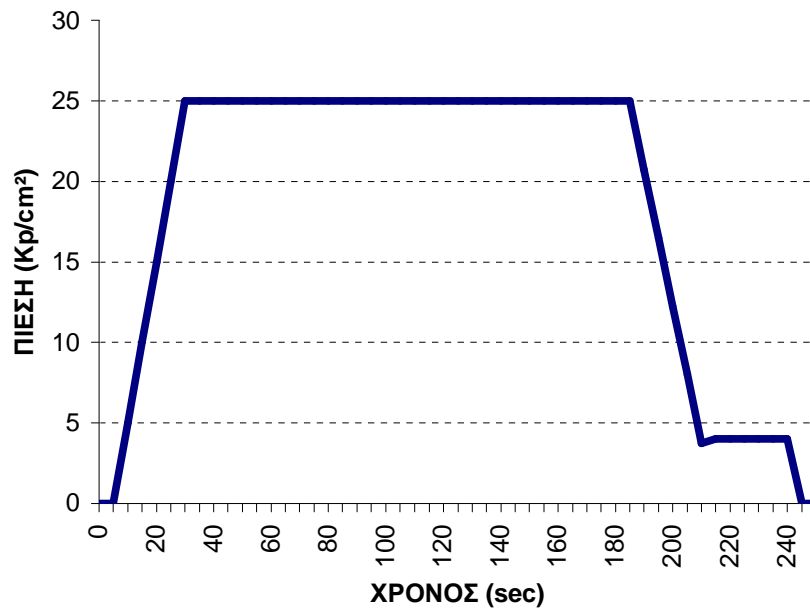
Μέγιστη πίεση: 25 Kp/cm<sup>2</sup>

Συνολική διάρκεια: 240 sec

Συνθήκες πίεσης:

Τοποθέτηση του υλικού και των οδηγών – κλείσιμο πρέσας	5 sec
Αύξηση της πίεσης ως το μέγιστο (25 Kp/cm <sup>2</sup> )	30 sec
Διατήρηση της πίεσης στο μέγιστο (25 Kp/cm <sup>2</sup> )	150 sec
Μείωση της πίεσης στα 4 Kp/cm <sup>2</sup>	30 sec
Διατήρηση της πίεσης στα 4 Kp/cm <sup>2</sup>	30 sec
Άνοιγμα πρέσας - εξαγωγή πλάκας	5 sec

Στο Σχήμα 3 παρατίθεται το διάγραμμα πίεσης.



Σχήμα 3: Διάγραμμα θερμής πίεσης



Εικόνα 34: Τοποθέτηση υλικού στην πρέσα - κλείσιμο πρέσας

Για την επίτευξη του επιθυμητού πάχους των μοριοπλακών χρησιμοποιήθηκαν μεταλλικοί οδηγοί πάχους 12mm. Γενικά ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε κατά την παραγωγή των εργαστηριακών μοριοπλακών ώστε αυτές να μην εμφανίζουν αποκλίσεις στην πυκνότητά τους ώστε να διαφανούν διαφορές που δεν έχουν σχέση με την παραγωγή των πλακών αλλά με τις διαδικασίες ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων στις διάφορες συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού.

#### 4.2.1.6. ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ

Μετά την έξοδο από τη θερμή πρέσα, οι πλάκες στοιβάχτηκαν και κλιματίστηκαν στο χώρο του εργαστηρίου μέχρι της κοπής τους.

#### 4.2.2. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΜΟΡΙΟΠΛΑΚΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΟΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ

Αρχικά παράχθηκαν εργαστηριακώς κάτω από τις ίδιες συνθήκες (βλ. Κεφάλαια 4.2.1.2, 4.2.1.3, 4.2.1.4, 4.2.1.5) 42 πλάκες εργαστηριακώς. Από αυτές διαχωρίστηκαν οι 3 πλάκες που αποτέλεσαν την παράμετρο-μάρτυρα και δεν υπέστησαν κανένα περαιτέρω χειρισμό. Επίσης άλλες 3 πλάκες χρησιμοποιήθηκαν για τη διεξαγωγή προκαταρκτικής έρευνας.

Η προκαταρκτική έρευνα πραγματοποιήθηκε με σκοπό τον προσδιορισμό του απαιτούμενου χρόνου για ανάκτηση των ξυλοτεμαχιδίων στις διάφορες συνθήκες χειρισμών. Συγκεκριμένα από τις 3 πλάκες που χρησιμοποιήθηκαν για το σκοπό αυτό κατασκευάστηκαν όμοια δοκίμια τα οποία υποβλήθηκαν σε υδροθερμικό χειρισμό σε όλες τις συνθήκες χειρισμών (Βλ. Πίνακα 10) μέχρις ότου το υλικό που προέκυπτε να διαχωρίζεται εύκολα (χωρίς θρυμματισμό) σε ξυλοτεμαχίδια μετά την παθητική κίνησή του πάνω σε δονούμενο κόσκινο τύπου Allgaier.

Οι υπόλοιπες 36 πλάκες χωρίστηκαν με τυχαία δειγματοληψία σε 4 ομάδες των 9 πλακών. Κάθε μια εκ των ομάδων αυτών υπέστη διαφορετικό υδροθερμικό χειρισμό (πίεση- θερμοκρασία -διάρκεια) σύμφωνα με τον κατωτέρω Πίνακα. Κάθε υδροθερμικός χειρισμός περιελάμβανε τοποθέτηση ολόκληρων των εργαστηριακών πλακών (30x35 cm) στον κάδο (Εικόνα 35) του αντιδραστήρα της συσκευής που περιγράφηκε (Κεφάλαιο 4.1.2.6) και εφαρμογή του προβλεπόμενου σύμφωνα με τις παραμέτρους χειρισμού.



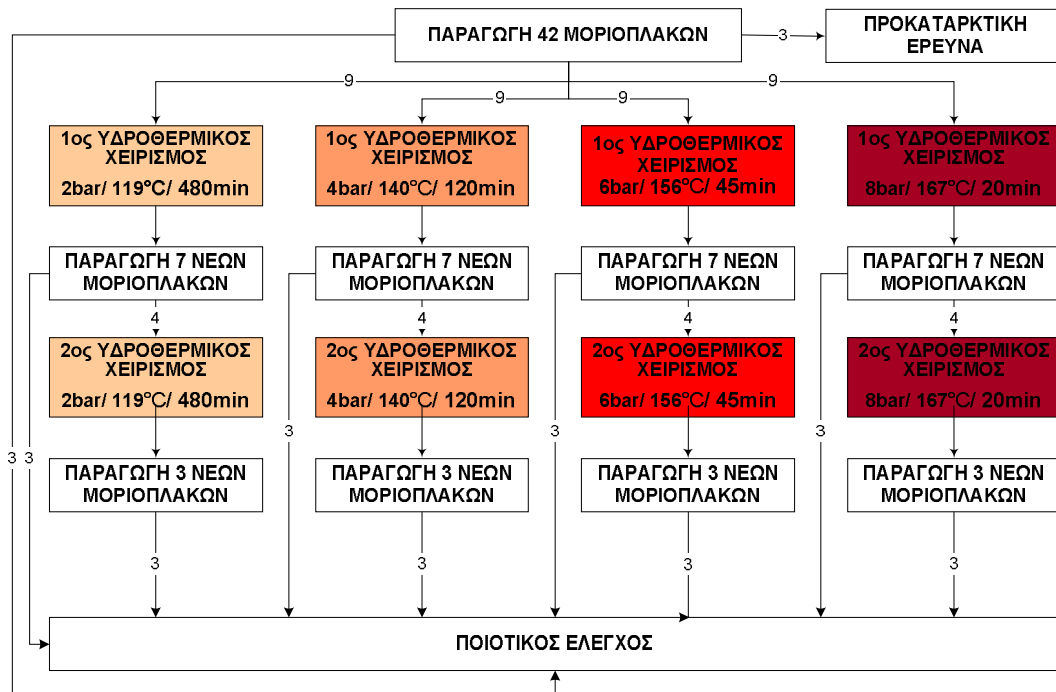
Εικόνα 35: Τοποθέτηση των προς υδροθερμικό χειρισμό μοριοπλακών στον διάτρητο κάδο

Για κάθε ομάδα ο χρόνος χειρισμού ήταν ο απαιτούμενος για την υδρόλυση της συγκολλητικής ουσίας των αρχικών πλακών και την ανάκτηση των ξυλοτεμαχιδίων τους. Οι απαραίτητοι χρόνοι για κάθε θερμοκρασία/ πίεση ατμού προέκυψαν μετά από σχετική προκαταρκτική έρευνα που διεξήχθη.

Πίνακας 10: Συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού των πλακών

	Απόλυτη Πίεση (bar)	Θερμοκρασία (°C)	Χρόνος χειρισμού (min)
1 <sup>η</sup> ομάδα	2	119	480
2 <sup>η</sup> ομάδα	4	140	120
3 <sup>η</sup> ομάδα	6	156	45
4 <sup>η</sup> ομάδα	8	167	20

Με τα ξυλοτεμαχίδια που ανακτήθηκαν από τους 4 διαφορετικούς υδροθερμικούς χειρισμούς κατασκευάστηκαν για κάθε ομάδα 7 νέες πλάκες με τις ίδιες ακριβώς συνθήκες. Από κάθε ομάδα διαχωρίστηκαν 3 πλάκες για προσδιορισμό των ιδιοτήτων τους (1<sup>η</sup> ανακύκλωση) ενώ οι υπόλοιπες 4 από κάθε ομάδα υπέστησαν εκ νέου τους υδροθερμικούς χειρισμούς που αναφέρονται στον Πίνακα 10. Με τα ξυλοτεμαχίδια που ανακτήθηκαν από τις πλάκες αυτές κατασκευάστηκαν (με τις ίδιες πάντα συνθήκες) 3 νέες πλάκες για κάθε ομάδα (2<sup>η</sup> ανακύκλωση). Η όλη διαδικασία χειρισμών- ανάκτησης- παραγωγής αναπαρίσταται συνολικά στην Εικόνα 36.



Εικόνα 36: Διάγραμμα υδροθερμικών χειρισμών για την 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> ανακύκλωση πλακών

Επιπλέον για την αξιολόγηση της επίδρασης που έχει μόνο ο υδροθερμικός χειρισμός (χωρίς ανακύκλωση) στις ιδιότητες των πλακών, κατασκευάστηκαν πλάκες των οποίων τα ξυλοτεμαχίδια υπέστησαν προηγουμένως υδροθερμικό χειρισμό όμοιο με εκείνο της ομάδας 3, δηλ σε συνθήκες 6bar/ 156°C/ 45min.

Συγκεντρωτικά λοιπόν προέκυψαν 10 τύποι (παράμετροι) πλακών οι οποίοι παρουσιάζονται συνολικά στον παρακάτω Πίνακα 11:

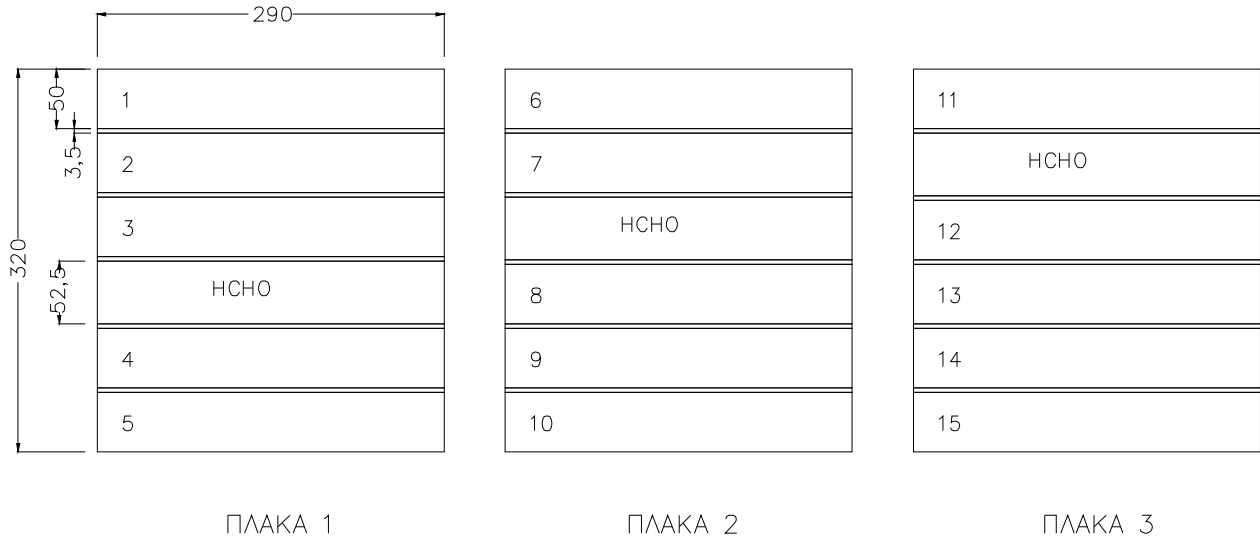
Πίνακας 11: Παράμετροι παραγωγής εργαστηριακών μοριοπλακών

Α/Α	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ	ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΟΥ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ		
			Θερμοκρασία (C°)	Πίεση (bar)	Χρόνος (min)
1	0	-----	ΑΡΧΙΚΟ ΥΛΙΚΟ	-----	
2	2.1	1 <sup>H</sup>	119	2	480
3	2.2	2 <sup>H</sup>	119	2	480
4	4.1	1 <sup>H</sup>	140	4	120
5	4.2	2 <sup>H</sup>	140	4	120
6	6.1	1 <sup>H</sup>	156	6	45
7	6.2	2 <sup>H</sup>	156	6	45
8	8.1	1 <sup>H</sup>	167	8	20
9	8.2	2 <sup>H</sup>	167	8	20
10	A	*	156	6	45

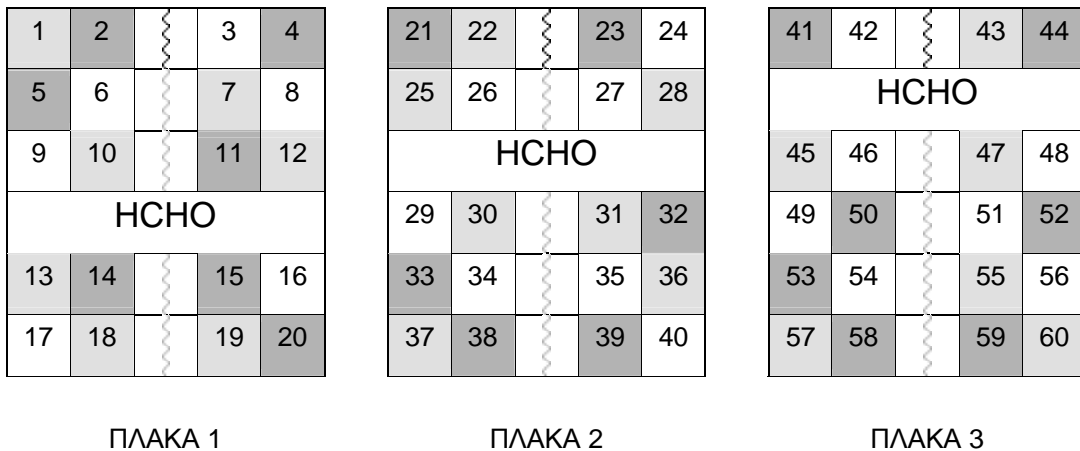
\*: Πραγματοποιήθηκε υδροθερμικός χειρισμός του αρχικού υλικού και έπειτα παραγωγή των πλακών

#### 4.2.3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ

Για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων χρησιμοποιήθηκαν 3 εργαστηριακές πλάκες ανά παράμετρο. Όλες οι πλάκες μετά τον κλιματισμό τους παρυφώθηκαν κατά 1,5cm από κάθε πλευρά για την απομάκρυνση των σαθρών άκρων τους. Η δειγματοληψία δοκιμίων για κάθε παράμετρο έγινε σύμφωνα με τις Εικόνες 37 και 38. Όπως φαίνεται από την Εικόνα 37, αρχικά κατασκευάστηκαν δοκίμια διαστάσεων 290x50mm για να χρησιμοποιηθούν για τα τεστ αντοχής σε κάμψη (μέτρο θραύσης και μέτρο ελαστικότητας).



Εικόνα 37: Δειγματοληψία δοκιμών για προσδιορισμό του μέτρου θραύσης σε κάμψη του μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη (αριθμοί 1-15) και της περιεχόμενης φορμαλδεΐδης (HCHO)



ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΔΟΚΙΜΙΑ									
ΔΙΟΓΚΩΣΗ 24h ΝΕΡΟ	1	7	10	12	13	18	19	22	25	28
	30	31	36	37	43	45	47	55	57	60
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	2	4	5	11	14	15	20	21	23	32
	33	38	39	41	44	50	52	53	58	59
ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΞΑΓΩΓΗ ΒΙΔΑΣ	3	6	8	9	16	17	24	26	27	29
	34	35	40	42	46	48	49	51	54	56



: Περιοχή θραύσης μετά από τεστ στατικής κάμψης

Εικόνα 38: Δειγματοληψία δοκιμών για προσδιορισμό της αντοχής σε εγκάρσιο εφέλκυσμό, αντοχής σε εξαγωγή βίδας, διόγκωσης μετά από εμβάπτιση σε νερό. Τα κεντρικά μέρη αναπαριστούν την περιοχή θραύσης μετά τα τεστ κάμψης

Μετά το πέρας αυτών των δοκιμών ακολούθησε νέα δειγματοληψία, όπως αυτή παρουσιάζεται στην Εικόνα 38, για τη δημιουργία δοκιμών που θα χρησιμοποιούνταν για τον προσδιορισμό των υπολοίπων ιδιοτήτων των πλακών.

Όλες οι τομές κατά τη δειγματοληψία πραγματοποιήθηκαν με παλινδρομικό δισκοπρίονο με πλάτος κοπής 0,35mm.

#### 4.2.3.1. ΜΕΤΡΟ ΘΡΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΜΨΗ

Οι προσδιορισμοί πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 310. Δημιουργήθηκαν 15 δοκίμια διαστάσεων 290x50mm ανά παράμετρο σύμφωνα με το σχέδιο δειγματοληψίας που παρουσιάζεται στην Εικόνα 37. Τα δοκίμια αφού κλιματίστηκαν σε θερμοκρασία 20-22°C και σχετική υγρασία 60-65% μετρήθηκε το πάχος και το πλάτος τους στην κεντρική τους περιοχή (όπου και ασκήθηκε η φόρτιση). Στη συνέχεια έγινε ο υπολογισμός της αντοχής τους σε στατική κάμψη από όπου -με τη χρησιμοποίηση των αντίστοιχων τιμών βέλους κάμψης- προέκυψαν και οι τιμές των μέτρων ελαστικότητας και θραύσης. Η φόρτιση έγινε με κεφαλή διαμέτρου 30mm και μήκους 100mm στο κέντρο των δοκιμών και με σταθερή ταχύτητα τέτοια, ώστε η μέγιστη ένδειξη δύναμης να εμφανιζόταν σε 60±30 sec από την έναρξη της φόρτισης. Η απόσταση των υποστηριγμάτων ήταν ίση με το εικοσαπλάσιο του μέσου πάχους των δοκιμών για κάθε προέλευση, δηλαδή 225mm. Οι υπολογισμοί έγιναν σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$\text{Μέτρο θραύσης: } f_m = \frac{3F_{\max}l_1}{2bt^2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$\text{Μέτρο ελαστικότητας: } E_m = \frac{l_1^3(F_2 - F_1)}{4bt^3(\alpha_2 - \alpha_1)} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

όπου:  $F_{\max}$ : Η μέγιστη δύναμη σε κάμψη,  $l_1$ : Η απόσταση των υποστηριγμάτων κατά την άσκηση της δύναμης,  $b$ : Το πλάτος του δοκιμίου στην περιοχή φόρτισης,  $t$ : Το πάχος του δοκιμίου στην περιοχή φόρτισης,  $F_2$ : Η δύναμη που αντιστοιχεί στο 0,4 της  $F_{\max}$ ,  $F_1$ : Η δύναμη που αντιστοιχεί στο 0,1 της  $F_{\max}$ ,  $\alpha_1$ : Το βέλος κάμψης που αντιστοιχεί κατά την άσκηση δύναμης  $F_1$  στο δοκίμιο,  $\alpha_2$ : Το βέλος κάμψης που αντιστοιχεί κατά την άσκηση δύναμης  $F_2$  στο δοκίμιο

#### 4.2.3.2. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Ο προσδιορισμός της πυκνότητας έγινε σύμφωνα με την Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 323 και προέκυψε από μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν σε όλα τα δοκίμια διαστάσεων 50x50mm, δηλαδή σε 60 δοκίμια ανά παράμετρο. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν αφού τα δοκίμια κλιματίστηκαν σε σχετική υγρασία 60-65% και θερμοκρασία 20-22°C. Η ακρίβεια των μετρήσεων ήταν 0,01mm για το μήκος, το πλάτος και το πάχος και 0,01g για το βάρος.

Ο υπολογισμός της πυκνότητας έγινε με τη βοήθεια του παρακάτω τύπου:



$$r = \frac{m}{b_1 \cdot b_2 \cdot t} \cdot (\text{g/cm}^3)$$

όπου: m: Η μάζα (σε g) του δοκιμίου,  $b_1$ : Το μήκος (σε cm) του δοκιμίου,  $b_2$ : Το πλάτος (σε cm) του δοκιμίου, t: Το πάχος (σε cm) του δοκιμίου στο κέντρο του

#### 4.2.3.3. ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

Για τον προσδιορισμό της ισοδύναμης υγρασίας ακολουθήθηκε η διαδικασία που προβλέπεται από το σχετικό Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 322 για τον προσδιορισμό της υγρασίας ξυλοπλακών. Χρησιμοποιήθηκαν 5 δοκίμια διαστάσεων 50x50mm ανά παράμετρο. Τα δοκίμια αφού κλιματίστηκαν μέχρι σταθερού βάρους στο θάλαμο που περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 4.1.3 με αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες σχετικής υγρασίας 75% και θερμοκρασίας 22°C ζυγίστηκαν με ακρίβεια 0,01g και τοποθετήθηκαν σε κλίβανο με θερμοκρασία 103°C μέχρι σταθερού βάρους.

#### 4.2.3.4. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΞΑΓΩΓΗ ΒΙΔΑΣ

Ο προσδιορισμός έγινε σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 320. Χρησιμοποιήθηκαν 20 δοκίμια διαστάσεων 50x50mm ανά παράμετρο σύμφωνα με το σχέδιο δειγματοληψίας που παρουσιάζεται στην Εικόνα 38. Στο κέντρο κάθε δοκιμίου και παράλληλα προς το πάχος διανοίχτηκε κάθετη προς την επιφάνεια των δοκιμίων διαμπερής οπή διαμέτρου 2,7 mm στην οποία έγινε έμπηξη βίδας διαστάσεων 4,2x38 mm και σε βάθος τέτοιο ώστε να προεξέχει το κωνικό μέρος της βίδας από την πίσω επιφάνεια των δοκιμίων. Στα μισά δοκίμια η έμπηξη της βίδας έγινε από την πάνω επιφάνεια της πλάκας και στα υπόλοιπα από την κάτω. Τα δοκίμια ακολούθως κλιματίστηκαν σε θερμοκρασία 20-22°C και σχετική υγρασία 60-65% και μετρήθηκε η μέγιστη αντοχή σε εξαγωγή της βίδας. Η φόρτιση έγινε με σταθερή ταχύτητα 10mm/min. Ο υπολογισμός της αντοχής σε εξαγωγή βίδας για κάθε δοκίμιο έγινε με διαίρεση του μέγιστου φορτίου κατά την εξαγωγή βίδας προς το πάχος του δοκιμίου στο σημείο έμπηξής της.

#### 4.2.3.5. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

Ο προσδιορισμός έγινε σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 319. Επιλέχθηκαν 20 δοκίμια διαστάσεων 50x50mm ανά παράμετρο σύμφωνα με το σχέδιο δειγματοληψίας που παρουσιάζεται στην Εικόνα 38. Πραγματοποιήθηκε συγκόλληση των δοκιμίων με μεταλλικά πλακίδια χρησιμοποιώντας θερμοπλαστική κόλλα και ακολούθησε κλιματισμός τους σε θερμοκρασία 20-22°C και σχετική υγρασία 60-65%. Έπειτα μετρήθηκε η αντοχή των δοκιμίων σε εγκάρσιο εφελκυσμό. Η φόρτιση έγινε με σταθερή ταχύτητα τέτοια, ώστε η μέγιστη ένδειξη δύναμης να εμφανιζόταν σε 60±30 sec από την έναρξη της φόρτισης. Ο υπολογισμός της αντοχής σε εγκάρσιο εφελκυσμό έγινε σύμφωνα με τον τύπο:

$$\text{Αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό: } S = \frac{F}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

όπου: F: Η μέγιστη δύναμη σε εγκάρσιο εφελκυσμό, A: η επιφάνεια αποκόλλησης (μήκος x πλάτος δοκιμίου),



Εικόνα 39: Θραύση δοκιμίου μετά από τεστ αντοχής σε εγκάρσιο εφελκυσμό

#### 4.2.3.6. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗΣ ΦΟΡΜΑΛΔΕΪΔΗΣ

Ο προσδιορισμός έγινε σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 120. Επιλέχθηκαν 60 δοκίμια διαστάσεων 25x25mm ανά παράμετρο σύμφωνα με το σχέδιο δειγματοληψίας που φαίνεται στις Εικόνες 37,38. Τα δοκίμια σφραγίστηκαν ερμητικά σε πλαστικές σακούλες και τοποθετήθηκαν σε ψυγείο στους 10°C μέχρι τη χρησιμοποίησή τους για τη διεξαγωγή του εν λόγω τεστ. Πριν τη χρησιμοποίησή τους για τους προσδιορισμούς, τα δοκίμια κλιματίστηκαν σε συνθήκες θερμοκρασίας εργαστηρίου (20-22°C) για 12 ώρες. Η διαδικασία προσδιορισμού περιλαμβάνει τη λήψη 110g δοκιμίων και την εκχύλισή τους με 600ml τολουολίου στη συσκευή perforator. Στον εκχυλιστήρα τοποθετούνται 1000ml απεσταγμένου νερού και η εκχύλιση διαρκεί 2 ώρες μετά το πέρας της οποίας το νερό (και η περιεχόμενη σε αυτό εκχυλισθείσα φορμαλδεΐδη) μεταγγίζονται σε φιάλη 2l η οποία πληρώνεται με νερό. Από το διάλυμα που προκύπτει λαμβάνονται 2 δείγματα και προσδιορίζεται η συγκέντρωση φορμαλδεΐδης χρησιμοποιώντας τη φωτοτομετρική μέθοδο της ακετυλοακετόνης (acetylaceton method, Pizzi 1989, Γρηγορίου 1996).

Ο υπολογισμός της τιμής Perforator έγινε με τη βοήθεια του τύπου:

$$\text{Τιμή Perforator} = \frac{(A_S - A_B) \cdot f \cdot (100 + H) \cdot V}{m_H} \text{ mg/100g ξηρής μοριοπλάκας}$$

όπου: A<sub>S</sub>: Η απορρόφηση του διαλύματος που προέκυψε από την εκχύλιση, A<sub>B</sub>: Η απορρόφηση δείγματος απεσταγμένου ή απιονισμένου νερού (Blank), f: Η κλίση (σε mg/ml) της χρησιμοποιούμενης πρότυπης καμπύλης H: Το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας της μοριοπλάκας, V: Ο όγκος της ογκομετρικής φιάλης (2000ml), m<sub>H</sub>: Η μάζα (σε g) των δοκιμίων μοριοπλάκας που χρησιμοποιήθηκαν για την εκχύλιση

Ακολούθως έγινε υπολογισμός της τιμής FF, η οποία αποτελεί (σύμφωνα με την προδιαγραφή EN 312:2003) αναγωγή της τιμής Perforator σε ισοδύναμη υγρασία ξυλοπλάκων ίσης με 6,5%. Η τιμή FF ισοδυναμεί με το γινόμενο της

τιμής Perforator επί του συντελεστού F, ο υπολογισμός του οποίου έγινε με τη βοήθεια του τύπου:

$$F = -0,133H + 1,86$$

όπου: H: Το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας των δοκιμίων.

Η διαδικασία προσδιορισμού έγινε 2 φορές για κάθε τύπο μοριοπλάκας και η τιμή της περιεχόμενης φορμαλδεΐδης προέκυψε από τον αριθμητικό μέσο αυτών.

#### 4.2.3.7. ΚΑΤΑ ΠΑΧΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗ, ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑ ΠΑΧΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗ

Οι προσδιορισμοί έγιναν σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 317. Λήφθηκαν 20 δοκίμια διαστάσεων 50x50mm ανά παράμετρο σύμφωνα με το σχέδιο δειγματοληψίας που παρουσιάζεται στην Εικόνα 38. Αφού μετρήθηκε το βάρος και το πάχος στο κέντρο των δοκιμίων (με ακρίβεια 0,01g και 0,01mm αντίστοιχα) τοποθετήθηκαν σε νερό θερμοκρασίας 20°C για 24h και 48h και ακολούθως έγιναν οι ίδιες μετρήσεις από τις οποίες, σε σχέση με τις αρχικές, προέκυψαν τα ποσοστά αύξησης πάχους (διόγκωσης) και βάρους (προσρόφησης). Οι τύποι που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι εξής:

$$\text{Κατά πάχος διόγκωση } d_{24h}(\%) = \frac{d_{24h} - d_0}{d_0} 100, \quad d_{48h}(\%) = \frac{d_{48h} - d_0}{d_0} 100$$

$$\text{Προσρόφηση νερού } w_{24h}(\%) = \frac{w_{24h} - w_0}{w_0} 100, \quad w_{48h}(\%) = \frac{w_{48h} - w_0}{w_0} 100$$

όπου:  $d_0$ : Το αρχικό πάχος του δοκιμίου  $w_0$ : Το αρχικό βάρος του δοκιμίου,  $d_{24}$ : Το πάχος του δοκιμίου μετά από 24h εμβάπτισης σε νερό,  $d_{48}$ : Το πάχος του δοκιμίου μετά από 48h εμβάπτισης σε νερό,  $w_{24}$ : Το βάρος του δοκιμίου μετά από 24h εμβάπτισης σε νερό,  $w_{48}$ : Το βάρος του δοκιμίου μετά από 48h εμβάπτισης σε νερό.

Τα παραπάνω δοκίμια χρησιμοποιήθηκαν και για τον προσδιορισμό της μόνιμης κατά πάχος διόγκωσης. Συγκεκριμένα, μετά την πάροδο των 24/48h εμβάπτισης σε νερό, κλιματίστηκαν μέχρι σταθερού βάρους σε συνθήκες εργαστηρίου (Θερμοκρασία: 20-22°C, σχετική υγρασία: 60-65%). Η μόνιμη κατά πάχος διόγκωση υπολογίστηκε με τη βοήθεια του τύπου:

$$\text{Μόνιμη κατά πάχος διόγκωση } d_{24h}(\%) = \frac{d_{\text{μόνιμη}} - d_0}{d_0} 100$$

όπου:  $d_0$ : Το αρχικό πάχος του δοκιμίου (προ της εμβάπτισης),  $d_{\text{μόνιμη}}$ : Το πάχος του δοκιμίου μετά από τον κλιματισμό σε συνθήκες εργαστηρίου.

#### 4.2.3.8. ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για την κοκκομετρική ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 3 δείγματα των 150g περίπου από τα ξυλοτεμαχίδια που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των πλακών κάθε παραμέτρου. Η δειγματοληψία ήταν αντιπροσωπευτική του υλικού και πραγματοποιήθηκε μετά την ξήρανσή του σε υγρασία 3-4%.

Τα κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν είχαν άνοιγμα 4mm, 2mm και 1mm και τα σχηματιζόμενα κλάσματα ήταν τα εξής 4:  $\kappa > 4$ ,  $4 < \kappa < 2$ ,  $2 < \kappa < 1$ ,  $\kappa < 1$ . Η διάρκεια κοσκίνησης ήταν 20 λεπτά της ώρας για όλες τις επαναλήψεις.

#### 4.2.3.9. ΧΩΡΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Για τον προσδιορισμό της χωρικής πυκνότητας ελήφθησαν 4 δείγματα ξυλοτεμαχιδίων από κάθε παράμετρο. Τα δείγματα στρωματώθηκαν ελεύθερα σε γυάλινο ογκομετρικό δοχείο μέχρις όγκου 600ml και μετρήθηκε το καθαρό βάρος τους. Η χωρική πυκνότητα κάθε δείγματος υπολογίστηκε με διαίρεση του καθαρού βάρους των ξυλοτεμαχιδίων που στρωματώθηκαν προς τον όγκο τους (600ml).



Εικόνα 40: Διαίρεση του υλικού για τον προσδιορισμό της χωρικής πυκνότητας

#### 4.2.4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων εκφράστηκαν για κάθε ιδιότητα σε μέσους όρους, τυπική απόκλιση, ελάχιστη και μέγιστη τιμή. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε για όλα τα ζεύγη μέσων όρων, και για όλες τις προσδιορισθείσες ιδιότητες στις οποίες ο αριθμός των επαναλήψεων ( $n$ ) ήταν μεγαλύτερος ή ίσος με 15, έλεγχος της διαφοράς των μέσων όρων ανεξάρτητων δειγμάτων με τη μέθοδο  $t$  ( $t$ -test) σε επίπεδο σημαντικότητας (βαθμό στατιστικής ακρίβειας) 95%. Προς τούτο πραγματοποιήθηκε αρχικά έλεγχος ισότητας διακυμάνσεων. Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του στατιστικού προγράμματος SPSS και τα αποτελέσματα επαληθεύτηκαν με κλασσικές μεθόδους στατιστικής ανάλυσης (Φασούλας 1964, Sachs 1974).

## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 5.1.1.1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ

#### 5.1.1.1.1. ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΞΥΛΟΤΕΜΑΧΙΔΙΩΝ

Στον Πίνακα 12 και το Σχήμα 4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κλασματικής ανάλυσης του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των αρχικών πλακών (Παράμετρος 0) αλλά και του υλικού που ανακτήθηκε από την 1<sup>η</sup> και 2<sup>η</sup> ανακύκλωση στις 4 διαφορετικές συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού. Στον ίδιο Πίνακα εκτίθενται και τα αποτελέσματα κλασματικής ανάλυσης των ξυλοτεμαχιδίων μετά από υδροθερμικό χειρισμό που υπέστησαν σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min πριν την παραγωγή μοριοπλακών (Παράμετρος A).

Πίνακας 12: Κλασματική ανάλυση των ξυλοτεμαχιδίων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
<b>K &gt; 4 mm</b> (%)	2,60	9,09	3,25	5,43	6,08	8,98	2,66	7,73	2,28	1,54
<b>4 &lt; K &lt; 2 mm</b> (%)	28,23	31,15	26,69	27,56	28,28	30,83	27,10	31,49	26,80	25,73
<b>2 &lt; K &lt; 1 mm</b> (%)	61,32	51,07	58,26	55,98	54,68	50,97	57,53	51,38	59,05	61,60
<b>K &lt; 1 mm</b> (%)	7,79	8,67	11,78	11,01	10,83	9,31	12,67	9,46	11,74	11,00

Από τις παραπάνω τιμές είναι εμφανές ότι για όλες σχεδόν τις παραμέτρους το ποσοστό κλάσματος  $k < 1 \text{mm}$  αυξάνεται μετά από κάθε ανακύκλωση, κάτι που σημαίνει ότι η ανακύκλωση μοριοπλακάς, σε οποιοσδήποτε συνθήκες κι' αν έχει πραγματοποιηθεί, επιφέρει μερικό θρυμματισμό του υλικού ο οποίος προφανώς επηρεάζει τις ιδιότητες των νέων (ανακυκλωμένων) πλακών.

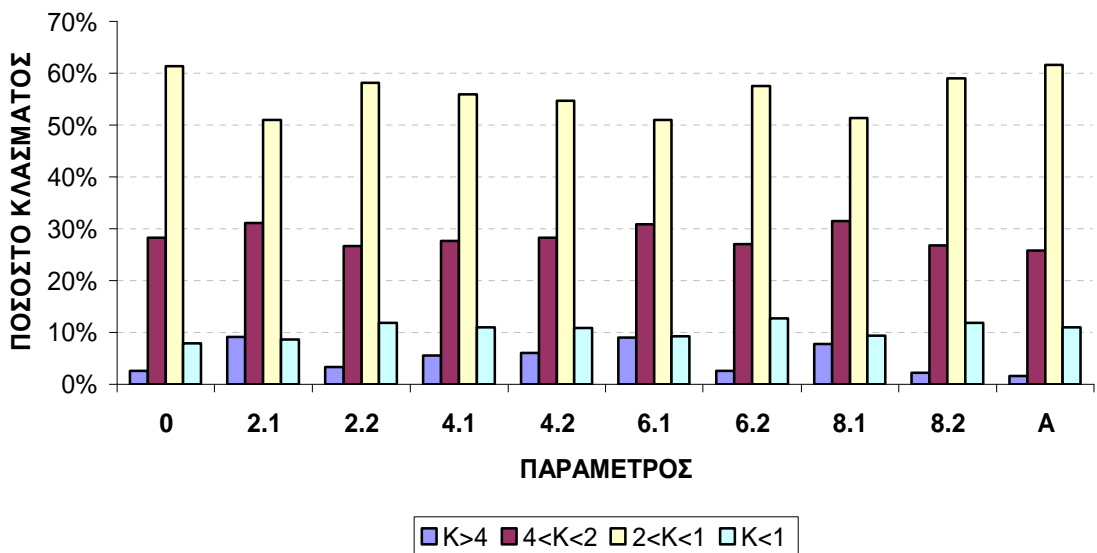
Τα αποτελέσματα δείχνουν επίσης ότι και το υλικό που υπέστη μόνο υδροθερμικό χειρισμό σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min (Παράμετρος A) και το οποίο δεν προέκυψε με ανάκτηση εμφανίζει μείωση των διαστάσεων του. Αυτό το γεγονός οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η μείωση των διαστάσεων των ξυλοτεμαχιδίων κατά την ανακύκλωση δεν οφείλεται μόνο στη διαδικασία παραγωγής των πλακών και τις μηχανικές καταπονήσεις που δέχονται κατά τα στάδια αυτής, αλλά και στον υδροθερμικό χειρισμό που πραγματοποιείται για την ανάκτησή τους. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι το υλικό που κυρίως θρυμματίστηκε μετά την άτμιση ξυλοτεμαχιδίων (Παράμετρος A) ήταν αυτό με τις μεγάλες διαστάσεις ( $k > 4$  και  $4 < k < 2$ ), αφού το κλάσμα  $2 < k < 1$  παρέμεινε ουσιαστικά αμετάβλητο.

Όσο αφορά την επίδραση του βαθμού ανακύκλωσης, με εξαίρεση τις παραμέτρους 4.1 και 4.2, παρατηρείται μείωση των διαστάσεων στα μεγάλα κλάσματα ( $\kappa > 4\text{mm}$  και  $4 < \kappa < 2\text{mm}$ ) και αντίστοιχη αύξηση στα μικρά κλάσματα ( $2 < \kappa < 1\text{mm}$  και  $\kappa < 1\text{mm}$ ) μεταξύ του υλικού της 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης.

Είναι επίσης φανερό ότι στο ανακτημένο υλικό που προέκυψε μετά από κάποιους υδροθερμικούς χειρισμούς πλακών (παραμέτροι 2.1, 2.2, 4.1, 4.2, 6.1, 8.1) παρατηρήθηκε αύξηση, σε σχέση με το αρχικό υλικό, του κλάσματος  $\kappa > 4$ . Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ύπαρξη συσσωματωμάτων ξυλοτεμαχιδίων στα οποία προφανώς η υδρόλυση της συγκολλητικής ουσίας δεν ήταν πλήρης (Βλ. Εικόνα 41). Τα συσσωματώματα αυτά είναι πιθανό να επέδρασαν μειωτικά στις μηχανικές και υγροσκοπικές ιδιότητες των ανακυκλωμένων πλακών.



Εικόνα 41: Συσσωματώματα ξυλοτεμαχιδίων μετά την ανάκτησή τους με υδροθερμικό χειρισμό μοριοπλακών



Σχήμα 4: Ιστόγραμμα κλασματικής ανάλυσης ξυλοτεμαχιδίων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των εργαστηριακών μοριοπλακών

### 5.1.1.1.2 ΧΩΡΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Πίνακας 13: Τιμές χωρικής πυκνότητας του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των εργαστηριακών μοριοπλακών

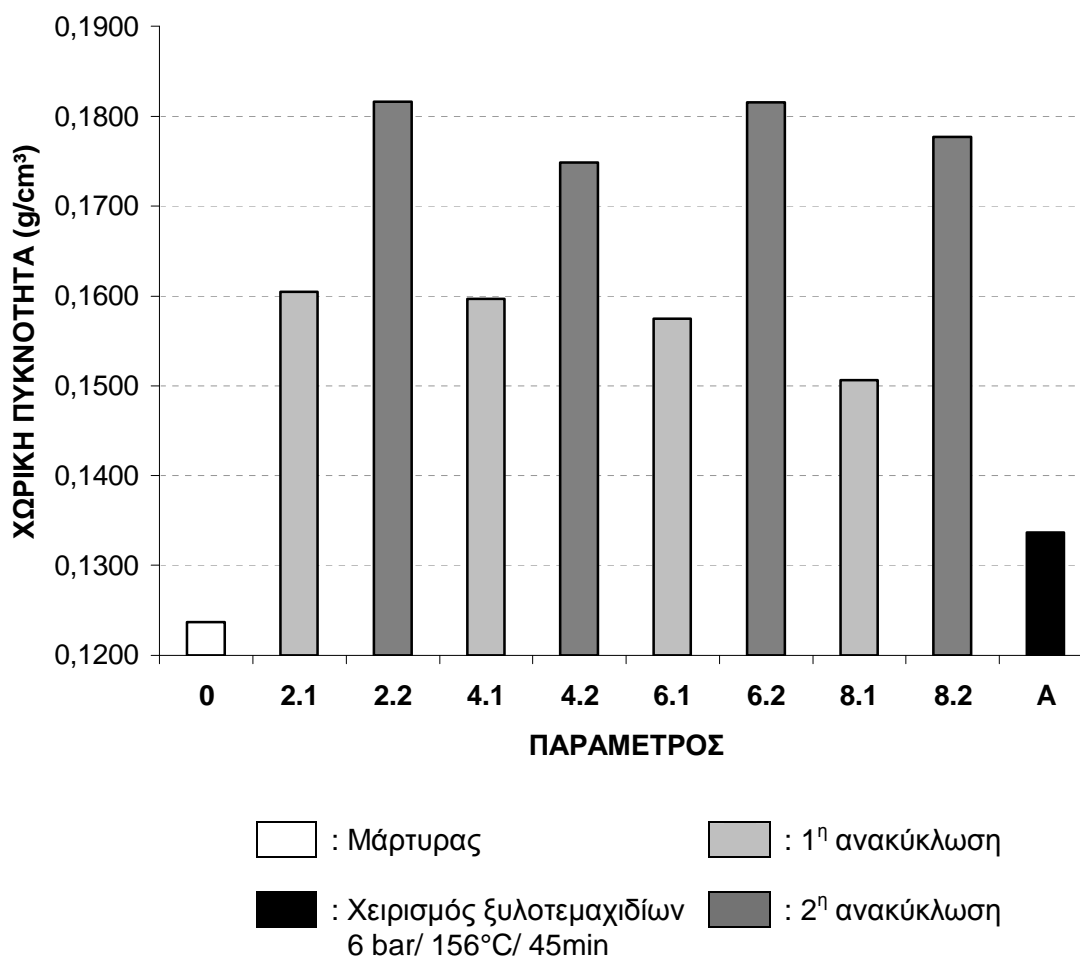
	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
$\bar{x}$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,124	0,160	0,182	0,160	0,175	0,157	0,182	0,151	0,178	0,134
n	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
s	0,0022	0,0074	0,0079	0,0057	0,0033	0,0076	0,0025	0,0036	0,0080	0,0026

Πίνακας 14: t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της χωρικής πυκνότητας του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
0		+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.1			+	-	+	-	+	-	+	+
2.2				+	-	+	-	+	-	+
4.1					+	-	+	+	+	+
4.2						+	+	+	-	+
6.1							+	-	+	+
6.2								+	-	+
8.1									+	+
8.2										+
A										

+: Οι διαφορές των μέσων όρων είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

-: Οι διαφορές των μέσων όρων δεν είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%



Σχήμα 5: Ιστόγραμμα χωρικής πυκνότητας υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των εργαστηριακών μοριοπλακών

Από τα αποτελέσματα που εκτίθενται στους παραπάνω Πίνακες και συγκρίνοντας μεταξύ τους όλες τις Παραμέτρους με τον Μάρτυρα (Παράμετρος 0) προκύπτει ότι η ανάκτηση των ξυλοτεμαχιδίων των μοριοπλακών σε όλες τις συνθήκες χειρισμού επιφέρει σημαντική<sup>1)</sup> αύξηση της χωρικής πυκνότητας. Η αύξηση αυτή οφείλεται προφανώς στο γεγονός ότι τα ανακτημένα μετά την 1ª και 2ª ανακύκλωση ξυλοτεμαχίδια φέρουν στην επιφάνειά τους κατά θέσεις σκληρυμένη συγκολλητική ουσία ουρίας-φορμαλδεΰδης της οποίας το ειδικό βάρος είναι πολύ μεγαλύτερο σε σύγκριση με αυτό του ξύλου των δασικών ειδών από τα οποία παράχθηκαν τα ξυλοτεμαχίδια.

Σύγκριση μεταξύ του υλικού που προέκυψε κατά την 1ª και 2ª ανάκτηση σε όλες τις συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού, δείχνει ότι η χωρική πυκνότητα

<sup>1)</sup>: Στο εξής ο όρος «σημαντικός» θα αναφέρεται σε πιθανότητα στατιστικού λάθους 5%



αυξάνεται σημαντικά. Σύγκριση μεταξύ των υλικών που προέκυψαν μετά την 1<sup>η</sup> ανάκτηση σε όλες τις συνθήκες (Παράμετροι 2.1, 4.1, 6.1, 8.1) δείχνει ότι σε ό,τι αφορά την χωρική πυκνότητα δεν υπάρχουν μεταξύ τους σημαντικές διαφορές. Ανάλογη σύγκριση μεταξύ των υλικών 2<sup>ης</sup> ανάκτησης (Παράμετροι 2.2, 4.2, 6.2, 8.2) έδειξε επίσης μη σημαντικές διαφορές. Αυτό σημαίνει ότι η ανάκτηση ξυλοτεμαχιδίων σε οποιοδήποτε συνθήκες κι αν πραγματοποιηθεί, προκαλεί την ίδια αλλαγή στη χωρική πυκνότητα.

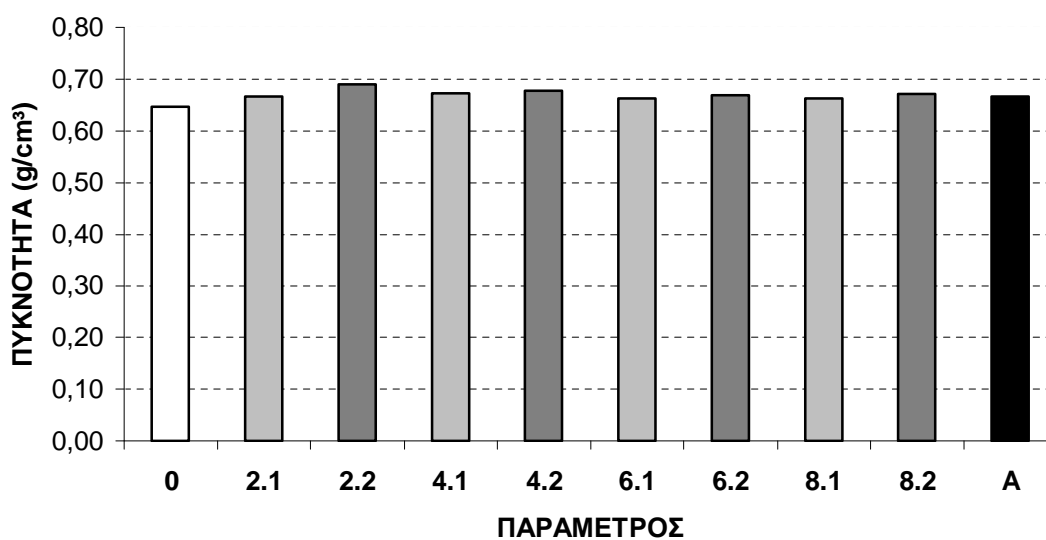
Συγκρίνοντας μεταξύ τους τις Παραμέτρους A (υλικό που υπέστη απλό υδροθερμικό χειρισμό σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min) και 0 (υλικό του μάρτυρα) προκύπτει ότι η χωρική πυκνότητα της Παραμέτρου A είναι σημαντικά μεγαλύτερη. Επίσης σύγκριση της Παραμέτρου A με τις 6.1, 6.2 (υλικά που προέκυψαν μετά από ανάκτηση με υδροθερμικό χειρισμό συνθηκών 6 bar/ 156°C/ 45min) προκύπτει ότι το υλικό 6.1 και 6.2 έχει σημαντικά μεγαλύτερη χωρική πυκνότητα προφανώς λόγω της ύπαρξης στα ξυλοτεμαχίδια αυτά σκληρυμένης συγκολλητικής ουσίας όπως προαναφέρθηκε.

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι η αύξηση της χωρικής πυκνότητας των ξυλοτεμαχιδίων της παραμέτρου A σχέση με αυτά του Μάρτυρα μπορεί να αποδοθεί στο μερικό θρυμματισμό τους κατά τη διάρκεια των υδροθερμικών χειρισμών (συγκρίνατε τις σχετικές κλασματικές αναλύσεις στο Κεφ. 5.1.1.1).

### 5.1.1.2. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Πίνακας 15: Τιμές πυκνότητας των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
$\bar{x}$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,65	0,67	0,69	0,67	0,68	0,66	0,67	0,66	0,67	0,67
n	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
s	0,0481	0,0392	0,0430	0,0362	0,0379	0,0366	0,0438	0,0478	0,0453	0,0484
max (g/cm <sup>3</sup> )	0,72	0,75	0,79	0,73	0,76	0,74	0,75	0,75	0,77	0,76
min (g/cm <sup>3</sup> )	0,50	0,57	0,60	0,57	0,60	0,57	0,57	0,56	0,56	0,56



□ : Μάρτυρας

□ : 1<sup>η</sup> ανακύκλωση

■ : Χειρισμός ξυλοτεμαχιδίων  
6 bar/ 156°C/ 45min

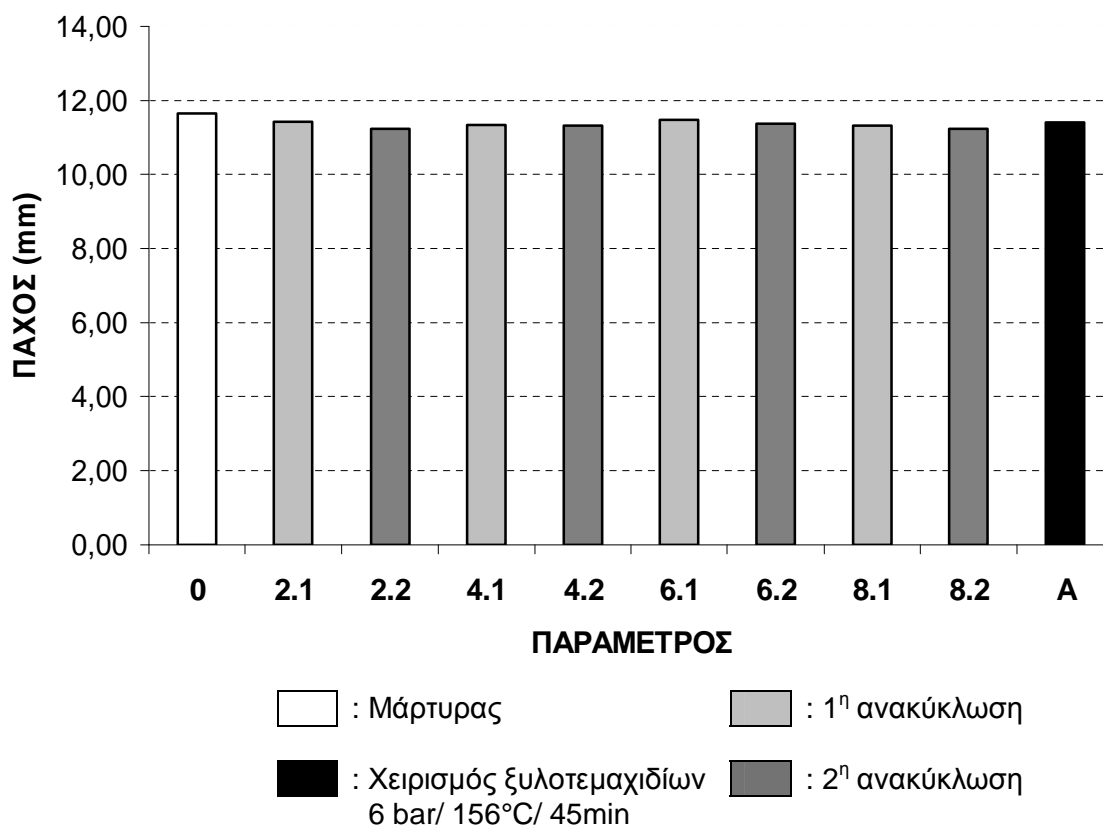
■ : 2<sup>η</sup> ανακύκλωση

Σχήμα 6: Ιστογράμμα μέσω των τιμών πυκνότητας των εργαστηριακών μοριοπλακών

### 5.1.1.3. ΠΑΧΟΣ

Πίνακας 16: Τιμές πάχους των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
$\bar{x}$ (mm)	11,66	11,43	11,25	11,34	11,31	11,47	11,38	11,32	11,24	11,40
n	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
s	0,0618	0,1296	0,0760	0,0720	0,1319	0,1368	0,2234	0,0945	0,1057	0,1514
max (mm)	11,78	11,72	11,47	11,57	11,60	11,72	11,79	11,57	11,57	11,73
min (mm)	11,54	11,25	11,13	11,18	11,13	11,24	11,06	11,16	11,06	11,11



Σχήμα 7: Ιστογράμμα μέσω τιμών πάχους των εργαστηριακών μοριοπλακών

### 5.1.1.4. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

#### 5.1.1.4.1. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΓΚΑΡΣΙΟ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

Πίνακας 17: Τιμές αντοχής σε εγκάρσιο εφελκυσμό των εργαστηριακών μοριοπλακών

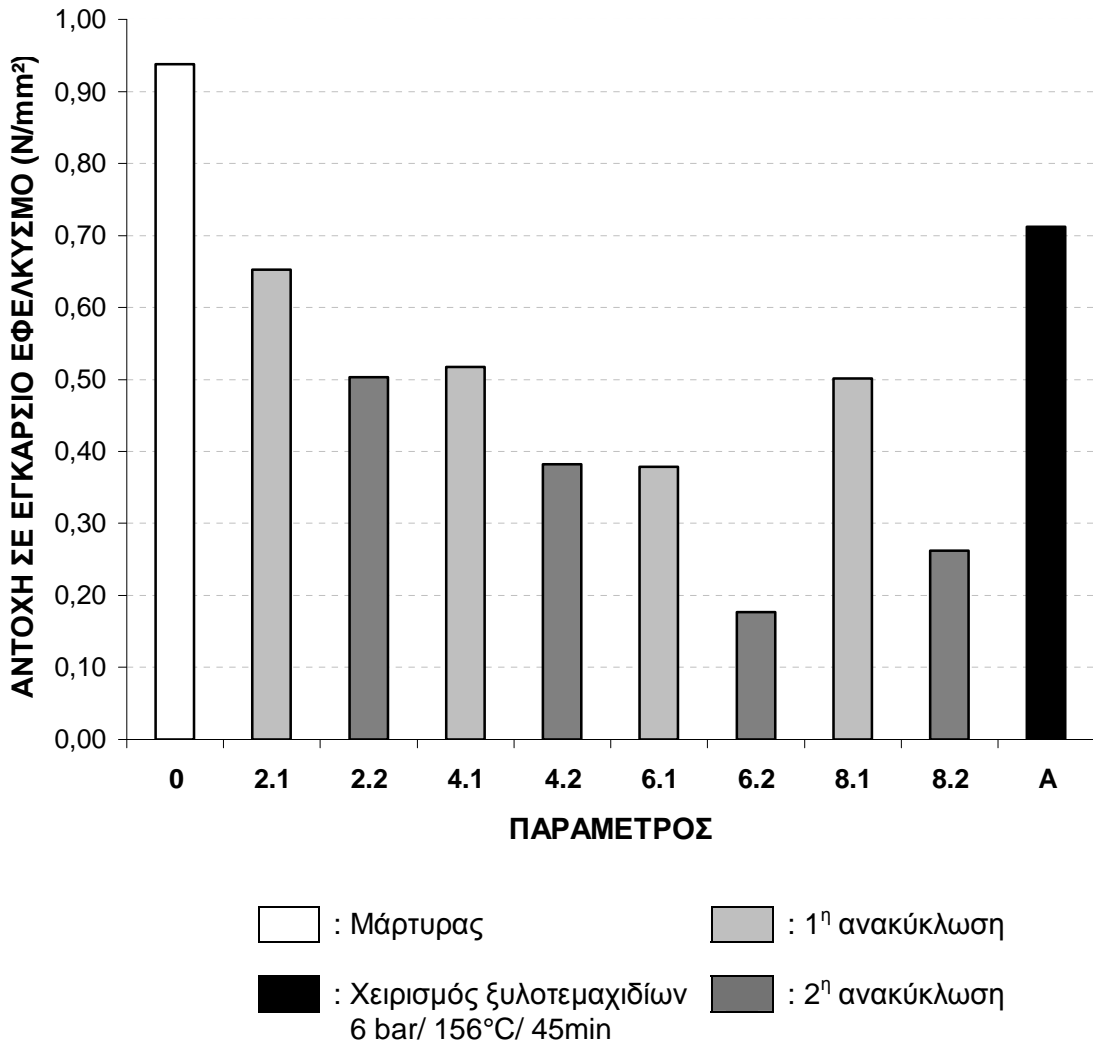
	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	0,94	0,65	0,50	0,52	0,38	0,38	0,18	0,50	0,26	0,71
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
s	0,1500	0,0988	0,0815	0,0812	0,0681	0,0645	0,0672	0,0984	0,0624	0,0988
max (N/mm <sup>2</sup> )	1,208	0,821	0,696	0,661	0,502	0,496	0,303	0,712	0,371	0,891
min (N/mm <sup>2</sup> )	0,647	0,465	0,398	0,338	0,279	0,292	0,086	0,298	0,190	0,546

Πίνακας 18: t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της αντοχής σε εγκάρσιο εφελκυσμό των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
0		+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.1			+	+	+	+	+	+	+	-
2.2				-	+	+	+	-	+	+
4.1					+	+	+	-	+	+
4.2						-	+	+	+	+
6.1							+	+	+	+
6.2								+	+	+
8.1									+	+
8.2										+
A										

+: Οι διαφορές των μέσων όρων είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

-: Οι διαφορές των μέσων όρων δεν είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%



Σχήμα 8: Ιστόγραμμα μέσω τιμών αντοχής σε εγκάρσιο εφελκυσμό των εργαστηριακών μοριοπλακών

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται ότι η ανακύκλωση μοριοπλακών (1η και 2η) έχει αρνητική επίδραση στην αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό των πλακών. Επίσης αρνητική είναι και η επίδραση της απλής άτμισης σε ξυλοτεμαχίδια προ της παραγωγής μοριοπλακών (Παράμετρος A) αποτέλεσμα που συνάδει με αποτελέσματα άλλων ερευνών (Sekino et al 1998). Οι τιμές των πλακών της παραμέτρου A είναι μεγαλύτερες σε σύγκριση με αυτές των ανακυκλωμένων πλακών.

Η αρνητική επίδραση της ανακύκλωσης στην εν λόγω ιδιότητα παρουσιάζεται εντονότερη όσο πιο έντονες είναι οι συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού για ανάκτηση των ξυλοτεμαχιδίων. Εξαίρεση αποτελεί η ανάκτηση

σε συνθήκες 8 bar/ 167°C/ 20min όπου η υποβάθμιση της αντοχής σε εγκάρσιο εφελκυσμό είναι μικρότερη αυτής που προκαλείται κατά την ανακύκλωση σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min. Η διαφοροποίηση αυτή πιθανό να οφείλεται στο συγκριτικά διαφορετικό χρονικό διάστημα υδροθερμικού χειρισμού για την ανάκτηση των ξυλοτεμαχιδίων στις δύο παραπάνω συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης.

Άξιο αναφοράς είναι και το ότι η 2<sup>η</sup> ανακύκλωση πλακών, σε κάθε μια από τις ομάδες υδροθερμικών χειρισμών ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων, επέφερε σημαντική υποβάθμιση της αντοχής σε εγκάρσιο εφελκυσμό των μοριοπλακών σε σχέση με τις μοριοπλάκες 1<sup>ης</sup> ανακύκλωσης.

Όπως και στην περίπτωση της αντοχής σε στατική κάμψη (μέτρο θραύσης) και αντοχής σε εξαγωγή βίδας (βλ. Κεφ. 5.1.1.4.3 και 5.1.1.4.2), ο υδροθερμικός χειρισμός ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min επιφέρει τη μεγαλύτερη υποβάθμιση στην αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό των ανακυκλωμένων μοριοπλακών.

Τα αποτελέσματα που αναφέρθηκαν συμφωνούν με τιμές που προέκυψαν από ανάλογες έρευνες (βλ. Πίνακα 1 και 3 Κεφ. 2.1.4) στις οποίες ανακυκλωμένες πλάκες παρουσίασαν μειωμένη αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό συγκρινόμενες με σχεδόν ίδιας πυκνότητας πλάκες από φρέσκα ξυλοτεμαχίδια. Συμφωνία επίσης υπάρχει και με τα αποτελέσματα έρευνας των Hsu et al (1988).

## 5.1.1.4.2 ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΕΞΑΓΩΓΗ ΒΙΔΑΣ

Πίνακας 19: Τιμές αντοχής σε εξαγωγή βίδας των εργαστηριακών μοριοπλακών

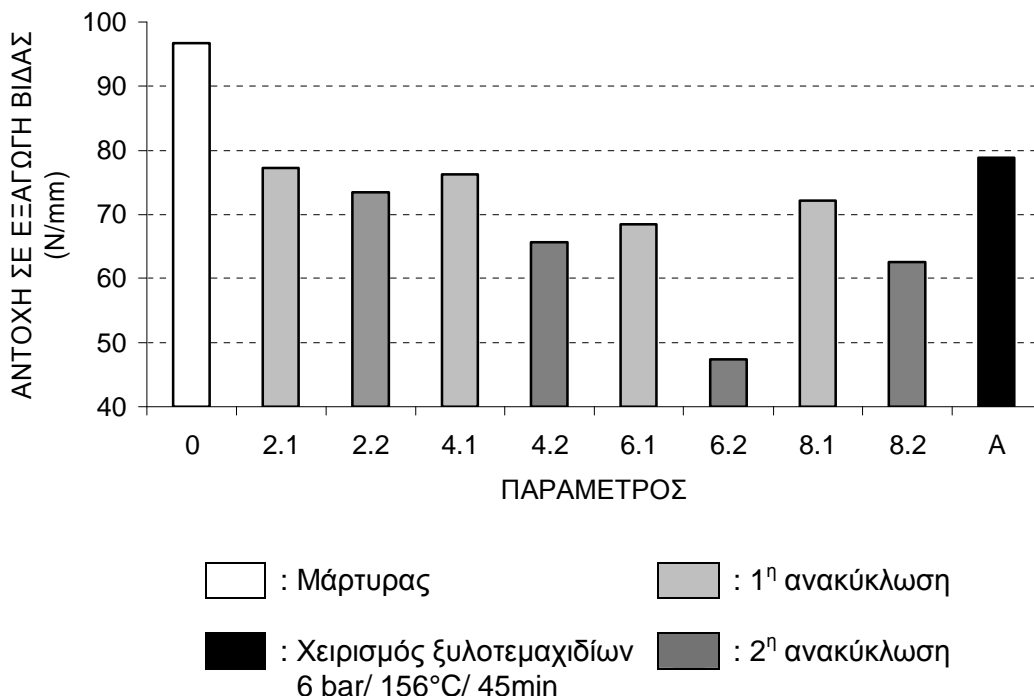
	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
$\bar{X}$ (N/mm)	96,72	77,29	73,49	76,24	65,69	68,51	47,37	72,18	62,49	78,90
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
s	14,786	14,260	12,813	9,479	12,761	13,454	8,772	15,160	13,551	9,755
max (N/mm)	123,12	101,06	104,16	92,42	97,07	99,82	59,45	102,32	98,94	99,74
min (N/mm)	74,61	55,01	44,94	58,44	44,75	45,02	30,04	46,01	40,43	62,79

Πίνακας 20: t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της αντοχής σε εξαγωγή βίδας των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
0		+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.1			-	-	+	-	+	-	+	-
2.2				-	-	-	+	-	+	-
4.1					+	+	+	-	+	-
4.2						-	+	-	-	+
6.1							+	-	-	+
6.2								+	+	+
8.1									+	-
8.2										+
A										

+: Οι διαφορές των μέσων όρων είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

-: Οι διαφορές των μέσων όρων δεν είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%



Σχήμα 9: Ιστόγραμμα μέσω των τιμών αντοχής σε εξαγωγή βίδας των εργαστηριακών μοριοπλακών

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται παραπάνω και συγκρίνοντας μεταξύ τους όλες τις ανακυκλωμένες πλάκες με τη μοριοπλάκα-μάρτυρα γενικά μπορεί να λεχθεί ότι η ανακύκλωση μοριοπλακών σε οποιοσδήποτε συνθήκες ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων, επιφέρει σημαντική υποβάθμιση της αντοχής σε εξαγωγή βίδας. Επίσης μεγαλύτερη υποβάθμιση υφίσταται η εν λόγω ιδιότητα μετά την 2<sup>η</sup> ανακύκλωση. Η υποβάθμιση των ανακυκλωμένων μοριοπλακών σε σχέση με το μάρτυρα μπορεί να αποδοθεί στη μερική θερμική αποικοδόμηση των δομικών συστατικών του ξύλου κατά τους υδροθερμικούς χειρισμούς, η οποία επιφέρει σύμφωνα με αποτελέσματα των Haslett et al (1999) και Yilgor et al (2001) υποβάθμιση και της μηχανικής αντοχής των ανακυκλωμένων πλακών.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, απλώς και μόνο ο υδροθερμικός χειρισμός των ξυλοτεμαχιδίων σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min (Παράμετρος A) προκάλεσε σημαντική μείωση της αντοχής σε εξαγωγή βίδας σε σύγκριση με τη μοριοπλάκα-μάρτυρα (Παράμετρος 0) εύρημα που επίσης συμφωνεί με τα αποτελέσματα των Haslett et al (1999) και Yilgor et al (2001). Όμως παράλληλα η Παράμετρος A εμφανίζει σημαντικά μεγαλύτερη τιμή της εν λόγω ιδιότητας σε σύγκριση με τις πλάκες της 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min (σύγκριση παραμέτρων



A και 6.1, 6.2). Αυτό σημαίνει ότι εκτός της αποικοδόμησης των δομικών συστατικών του ξύλου ως απόρροια των υδροθερμικών χειρισμών υπάρχουν και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με τη διαδικασία της ανακύκλωσης και επιδρούν μειωτικά στην εν λόγω ιδιότητα.

Όσο αφορά τις πλάκες της 1<sup>ης</sup> ανακύκλωσης, αυτές δεν παρουσίασαν μεταξύ τους σημαντικές αποκλίσεις κάτι που σημαίνει ότι για την εν λόγω ιδιότητα η 1<sup>η</sup> ανακύκλωση με οποιεσδήποτε συνθήκες εντός του εύρους 2-8bar/ 119-167°C/ 480-20min κι αν πραγματοποιηθεί επιφέρει την ίδια περίπου μεταβολή.

Όσο αφορά τις πλάκες της 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης, τη μικρότερη υποβάθμιση υπέστησαν πλάκες που ανακυκλώθηκαν με συνθήκες ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων 2 bar/ 119°C/ 480min και τη μεγαλύτερη αυτές που ανακυκλώθηκαν με συνθήκες ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων 6 bar/ 156°C/ 45min.

Αξιοσημείωτο είναι ότι και στις δυο περιπτώσεις της 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης, τις μικρότερες τιμές αντοχής σε εξαγωγή βίδας εμφάνισαν οι πλάκες που ανακυκλώθηκαν με ανάκτηση ξυλοτεμαχιδίων σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min.

### 5.1.1.4.3 ΜΕΤΡΟ ΘΡΑΥΣΗΣ ΣΕ ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΜΨΗ

Πίνακας 21: Τιμές μέτρου θραύσης σε στατική κάμψη των εργαστηριακών μοριοπλακών

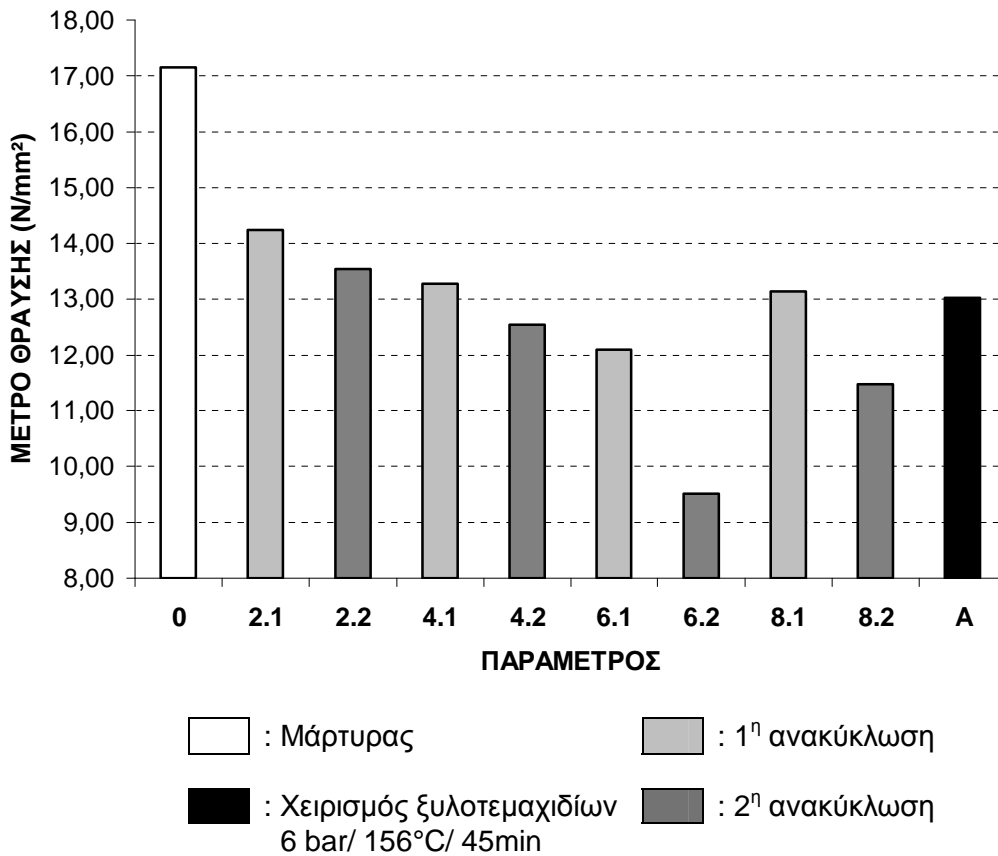
	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
$\bar{X}$ (N/mm <sup>2</sup> )	17,15	14,24	13,55	13,28	12,55	12,11	9,52	13,15	11,47	13,03
n	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
s	2,0338	2,0132	2,0230	1,6896	1,5117	1,3169	2,2027	2,0136	1,7362	2,1724
max (N/mm <sup>2</sup> )	19,51	18,45	15,69	15,90	14,88	14,79	13,35	15,64	14,50	16,30
min (N/mm <sup>2</sup> )	12,96	11,75	9,48	10,18	9,83	9,44	4,68	8,53	9,24	9,44

Πίνακας 22: t - test σύγκρισης των μέσων τιμών του μέτρου θραύσης σε στατική κάμψη των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
0		+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.1			-	-	+	+	+	-	+	-
2.2				-	-	+	+	-	+	-
4.1					-	+	+	-	+	-
4.2						-	+	-	-	-
6.1							+	-	-	-
6.2								+	+	+
8.1									+	-
8.2										+
A										

+: Οι διαφορές των μέσων όρων είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

-: Οι διαφορές των μέσων όρων δεν είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%



Σχήμα 10: Ιστόγραμμα μέσων τιμών μέτρου θραύσης σε στατική κάμψη των εργαστηριακών μοριοπλακών

Συγκρίνοντας τον μάρτυρα (Παράμετρο 0) με όλες τις ανακυκλωμένες (1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης) πλάκες, προκύπτει το γενικό συμπέρασμα ότι το μέτρο θραύσης σε κάμψη επηρεάζεται αρνητικά σε σημαντικό βαθμό μετά από την ανακύκλωση των μοριοπλακών (Πίνακες 21,22). Αυτό το αποτέλεσμα έρχεται σε συμφωνία με αποτελέσματα ανάλογης έρευνας (Michanicki 1996A), όπως και με ευρήματα των Haslett et al (1999) και Yilgor et al (2001).

Σύγκριση μεταξύ των πλακών 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης με υδροθερμικούς χειρισμούς στα 2bar/119°C/480min και 4bar/140°C/120min δείχνει ότι δεν υποβαθμίζεται σημαντικά το μέτρο θραύσης σε κάμψη, κάτι που δεν προκύπτει με ανάλογη σύγκριση στις συνθήκες 6bar/156°C/45min και 8bar/167°C/20min. Αυτό σημαίνει ότι η 2<sup>η</sup> ανακύκλωση σε σχετικά ήπιες συνθήκες ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων (2 bar/ 119°C/480min και 4 bar/ 140°C/120min) δεν επιδρά σημαντικά στο μέτρο θραύσης σε κάμψη των παραγόμενων μοριοπλακών, ενώ η 2<sup>η</sup> ανακύκλωση σε εντονότερες συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων (6

bar/156°C/45min και 8 bar/ 167°C/ 20min) επιφέρει σημαντική υποβάθμιση της εν λόγω ιδιότητας.

Ο υδροθερμικός χειρισμός ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min είναι αυτός που μειώνει σε μεγαλύτερο βαθμό το μέτρο θραύσης σε στατική κάμψη των ανακυκλωμένων πλακών. Απλώς και μόνο υδροθερμικός χειρισμός ξυλοτεμαχιδίων στις ανωτέρω συνθήκες προ της κατασκευής των πλακών μειώνει σημαντικά την αντοχή τους σε σύγκριση με το μάρτυρα (Σύγκριση Παραμέτρων Α και 0) -εύρημα που έρχεται σε συμφωνία με αποτελέσματα των Taylor (1987) και Yilgor et al (2001)- αλλά σε μικρότερο βαθμό από τις πλάκες που ανακυκλώθηκαν με τις ίδιες συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων (Σύγκριση Παραμέτρων Α με 6.1 και 6.2). Αυτό σημαίνει ότι εκτός της υποβάθμισης των χημικών δομικών συστατικών του ξύλου που συμβαίνει κατά τους υδροθερμικούς χειρισμούς υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με τη διαδικασία ανάκτησης και επιδρούν αρνητικά στο μέτρο θραύσης σε στατική κάμψη. Οι παράγοντες αυτοί πρέπει να αναζητηθούν στις διαφορές διαδικασίας παραγωγής μεταξύ των Παραμέτρων Α και 6.1, 6.2. και εντοπίζονται στα ξυλοτεμαχίδια που χρησιμοποιήθηκαν για τις παραμέτρους αυτές. Οι εργαστηριακές μοριοπλάκες της Παραμέτρου Α προέκυψαν με ξυλοτεμαχίδια που υπέστησαν υδροθερμικό χειρισμό σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min, ενώ οι πλάκες των Παραμέτρων 6.1 και 6.2 προέκυψαν μετά από ανάκτηση ξυλοτεμαχιδίων από κατασκευασμένες μοριοπλάκες σε ίδιες συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού. Επομένως οι διαφορές των παραμέτρων σχετίζονται με την κατάσταση των ξυλοτεμαχιδίων (δηλ. αν έχουν μορφή πλάκας ή είναι ελεύθερα) και την παρουσία συγκολλητικής ουσίας σε αυτά κατά τους υδροθερμικούς χειρισμούς.

#### 5.1.1.4.4 ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΜΨΗ

Πίνακας 23: Τιμές μέτρου ελαστικότητας σε στατική κάμψη των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
$\bar{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	2136,61	2248,19	2378,53	2356,54	2517,86	2342,70	2453,22	2402,17	2581,21	2198,22
N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
S	180,71	208,69	348,27	274,30	261,99	219,18	551,66	361,94	389,89	320,92
max (N/mm <sup>2</sup> )	2408,87	2693,38	2809,04	2806,15	2790,14	2710,28	3208,39	2840,99	3121,61	2655,20
min (N/mm <sup>2</sup> )	1786,79	1835,67	1730,16	1873,13	2045,24	1792,69	1130,89	1714,28	2004,17	1726,34

Πίνακας 24: t - test σύγκρισης των μέσων τιμών του μέτρου ελαστικότητας σε στατική κάμψη των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
0		-	+	+	+	+	+	+	+	-
2.1			-	-	+	-	-	-	+	-
2.2				-	-	-	-	-	-	-
4.1					-	-	-	-	-	-
4.2						-	-	-	-	+
6.1							-	-	-	-
6.2								-	-	-
8.1									-	-
8.2										+
A										

+: Οι διαφορές των μέσων όρων είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

-: Οι διαφορές των μέσων όρων δεν είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%



που συμφωνεί με ευρήματα των Cai, Wang, Li (1995) όπως και του Taylor (1987). Οι ανακυκλωμένες μοριοπλάκες 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης στις ως άνω συνθήκες εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές σε σύγκριση με αυτές της παραμέτρου A (Σύγκριση Παραμέτρου A με Παραμέτρους 6.1, 6.2). Το στοιχείο αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, σε ότι αφορά το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη, πέραν της αύξησης που του επιφέρει η άτμιση, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες (που πρέπει να αναζητηθούν στη διαδικασία ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων) οι οποίοι επιφέρουν στατιστικά σημαντική αύξηση της αν λόγω ιδιότητας.

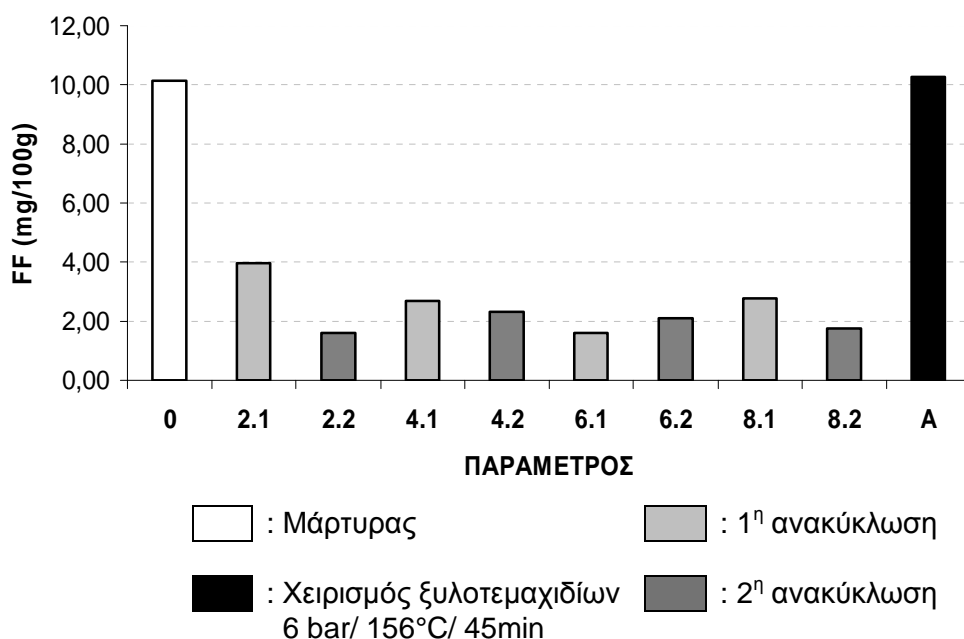
Για όλες τις ομάδες χειρισμών, οι πλάκες 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης (παραμέτροι 2.2, 4.2, 6.2, 8.2) εμφάνισαν μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας από τις αντίστοιχες πλάκες 1<sup>ης</sup> ανακύκλωσης (Παράμετροι 2.1, 4.1, 6.1, 8.1), χωρίς όμως οι διαφορές αυτές να είναι στατιστικά σημαντικές (βλ. Πίνακες 23, 24), κάτι που σημαίνει ότι η εν λόγω ιδιότητα δεν επηρεάζεται σημαντικά αν ανακυκλωμένες μοριοπλάκες ανακυκλωθούν εκ νέου (2<sup>η</sup> ανακύκλωση).

Συγκρίνοντας μεταξύ τους τις ανακυκλωμένες μοριοπλάκες τόσο μετά την 1<sup>η</sup> όσο και μετά τη 2<sup>η</sup> ανακύκλωση, μπορεί να λεχθεί ότι γενικά το μέτρο ελαστικότητας δεν μεταβάλλεται σημαντικά μεταξύ των τεσσάρων διαφορετικών ομάδων υδροθερμικών χειρισμών.

### 5.1.1.5. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΗ ΦΟΡΜΑΛΔΕΪΔΗ

Πίνακας 25: Τιμές περιεχόμενης φορμαλδεΐδης και περιεχόμενης φορμαλδεΐδης αναγόμενης στο 6,5% υγρασίας των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
Τιμή Perforator (mg/100g)	8,85	3,21	1,29	2,18	1,79	1,33	1,71	2,45	1,53	8,18
FF/ 6,5% (mg/100g)	10,16	3,95	1,60	2,70	2,31	1,61	2,11	2,78	1,75	10,26



Σχήμα 12: Ιστόγραμμα μέσω των τιμών περιεχόμενης φορμαλδεΐδης (αναγόμενης στο 6,5% υγρασίας) των εργαστηριακών μοριοπλακών

Από τον Πίνακα 25 προκύπτει ότι οι ανακυκλωμένες μοριοπλάκες παρουσίασαν σημαντικά μικρότερες τιμές περιεχόμενης φορμαλδεΐδης εν συγκρίσει με τις πλάκες-μάρτυρες. Η μείωση ξεπερνάει σε όλες τις περιπτώσεις το 60%.

Η άτμιση ξυλοτεμαχιδίων προ της παραγωγής μοριοπλακών (Παράμετρος A) δεν επέδρασε στις τιμές περιεχόμενης φορμαλδεΐδης των πλακών.



Με βάση τις παραπάνω παρατηρήσεις εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι χαμηλές τιμές περιεχόμενης φορμαλδεΐδης που προσδιορίστηκαν στις ανακυκλωμένες μοριοπλάκες δεν οφείλονται στον υδροθερμικό χειρισμό των ξυλοτεμαχιδίων.

Οι μειωμένες τιμές περιεχόμενης φορμαλδεΐδης μπορεί να αποδοθούν στην ουρία που παραμένει κατά ένα μεγάλο ποσοστό στα ανακτηθέντα ξυλοτεμαχίδια και η οποία ενεργοποιείται κατά την παραγωγή των ανακυκλωμένων μοριοπλακών και ενεργεί ως δεσμευτής (catcher ή scavenger) της περίσσειας φορμαλδεΐδης. Άλλωστε είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία (Γρηγορίου 1986, Pizzi 1989, Γρηγορίου 1996) όπου αναφέρεται ότι η ουρία χρησιμοποιείται ως πρόσθετη ουσία μείωσης των υψηλών ποσοστών φορμαλδεΐδης των ξυλοπλακών.

Το γεγονός ότι μοριοπλάκες από ανακτημένα ξυλοτεμαχίδια εμφανίζουν χαμηλότερο ποσοστά περιεχόμενης φορμαλδεΐδης επιβεβαιώνεται και από άλλους ερευνητές (Roffael και Franke 1995, Michanicki 1996A, Michanicki 1996B)

Σύμφωνα με τους Nakos και Roffael (1998) η συγκολλητική ουσία που προϋπάρχει στα ανακτηθέντα ξυλοτεμαχίδια ενεργοποιείται κατά την παραγωγή των ανακυκλωμένων μοριοπλακών και οι ανακυκλωμένες πλάκες αναμένεται να έχουν βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες. Κάτι τέτοιο όμως δεν προέκυψε στην παρούσα έρευνα προφανώς λόγω της θερμικής αποικοδόμησης που υπέστησαν τα ξυλοτεμαχίδια και η συγκολλητική ουσία κατά την ανάκτησή τους και η οποία υποσκέλισε την ως άνω βελτίωση.

### 5.1.1.6. ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

#### 5.1.1.6.1 ΚΑΤΑ ΠΑΧΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΣΕ ΝΕΡΟ (24h,48h)

Πίνακας 26: Τιμές κατά πάχους διόγκωσης 24h των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
$\bar{x}$ (%)	28,45	37,03	39,21	38,89	39,87	42,10	59,11	37,20	47,62	26,18
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
s	0,0256	0,0423	0,0334	0,0286	0,0296	0,0294	0,0485	0,0412	0,0389	0,0253
max (%)	32,29	46,61	44,84	43,15	46,23	48,07	66,37	42,65	54,35	29,58
min (%)	24,62	28,82	34,90	31,37	35,26	36,36	50,90	30,48	38,06	20,75

Πίνακας 27: t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της διόγκωσης 24h των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
0		+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.1			-	-	+	+	+	-	+	+
2.2				-	-	+	+	-	+	+
4.1					-	+	+	-	+	+
4.2						+	+	+	+	+
6.1							+	+	+	+
6.2								+	+	+
8.1									+	+
8.2										+
A										

+: Οι διαφορές των μέσων όρων είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

-: Οι διαφορές των μέσων όρων δεν είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

Πίνακας 28: Τιμές κατά πάχους διόγκωσης 48h των εργαστηριακών μοριοπλακών

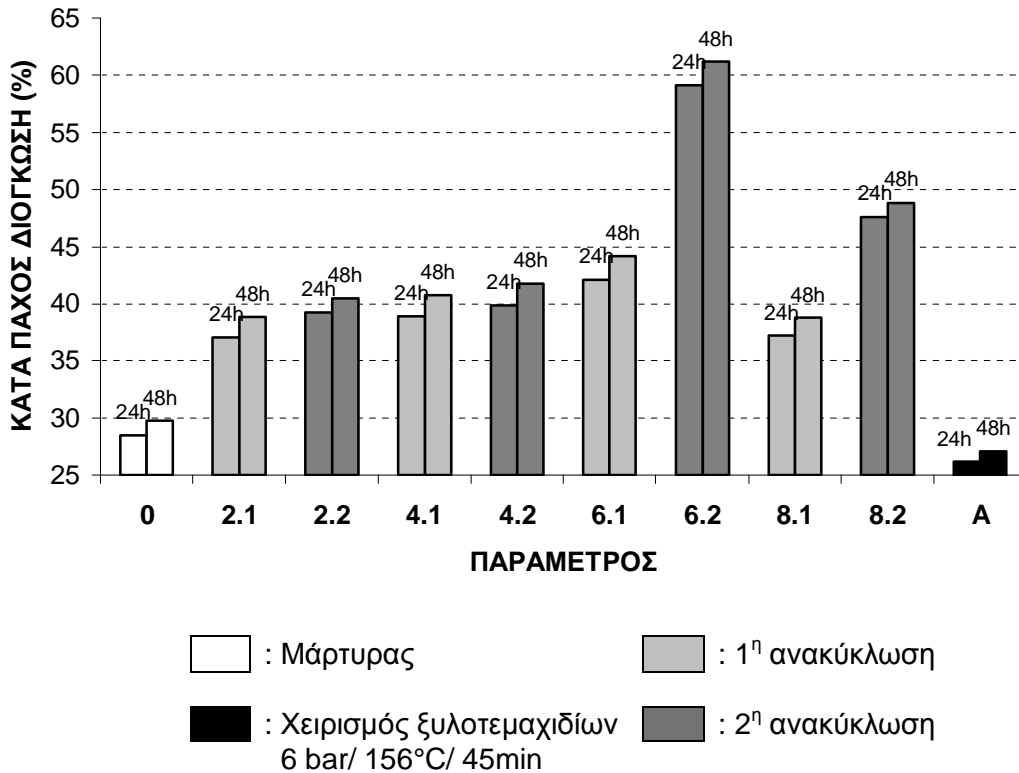
	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
$\bar{x}$ (%)	29,73	38,82	40,48	40,79	41,80	44,17	61,21	38,78	48,83	27,09
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
s	0,0277	0,0405	0,0367	0,0302	0,0304	0,0314	0,0475	0,0428	0,0397	0,0261
max (%)	33,70	46,88	46,98	44,74	47,78	51,32	68,17	44,25	55,75	30,66
min (%)	25,47	30,04	35,71	32,67	37,30	37,55	53,81	32,73	39,47	21,45

Πίνακας 29: t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της διόγκωσης 48h των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
0		+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.1			-	-	+	+	+	-	+	+
2.2				-	-	+	+	-	+	+
4.1					-	+	+	-	+	+
4.2						+	+	+	+	+
6.1							+	+	+	+
6.2								+	+	+
8.1									+	+
8.2										+
A										

+: Οι διαφορές των μέσων όρων είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

-: Οι διαφορές των μέσων όρων δεν είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%



Σχήμα 13: Ιστόγραμμα μέσω τιμών διόγκωσης (24h/48h) των εργαστηριακών μοριοπλακών

Η ανακύκλωση μοριοπλακών σε όλες τις συνθήκες ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων, επέφερε σε σύγκριση με τις πλάκες του μάρτυρα (Παράμετρος 0) σημαντική αύξηση της κατά πάχους διόγκωσης μετά από εμβάπτιση σε νερό για 24/48 ώρες. Τα αποτελέσματα συμφωνούν με αποτελέσματα του Michanicki (1996B). Η αύξηση αυτή είναι πιθανό να οφείλεται σε μειωμένη συγκολλητική ικανότητα των ανακτημένων ξυλοτεμαχιδίων. Η μειωμένη συγκολλητικότητα μπορεί να αποδοθεί στη μερική κάλυψη των επιφανειών των ξυλοτεμαχιδίων με πολυμερισμένη συγκολλητική ουσία η οποία παρεμβάλλεται και δημιουργεί μειωμένη επαφή μεταξύ του ξύλου των ξυλοτεμαχιδίων και της νέας συγκολλητικής ουσίας που προστίθεται κατά την παραγωγή των ανακυκλωμένων μοριοπλακών.

Η 2<sup>η</sup> ανακύκλωση σε συνθήκες 2 bar/ 119°C/ 480min και 4 bar/ 140°C/ 120min, σε σύγκριση με την 1<sup>η</sup> ανακύκλωση στις αντίστοιχες συνθήκες, επέφερε μη σημαντική αύξηση της κατά πάχους διόγκωσης 24/48h ενώ σημαντική αύξηση της κατά πάχους διόγκωσης σημειώθηκε σε ότι αφορά τις ανακυκλωμένες με εντονότερες συνθήκες ανάκτησης 6 bar/ 156°C/ 45min και 8 bar/ 167°C/ 20min πλάκες.

Οι μοριοπλάκες που κατασκευάστηκαν από ατμισμένα σε 6 bar/ 156°C / 45min ξυλοτεμαχίδια (Παράμετρος Α) παρουσίασαν σε σχέση με τις πλάκες του μάρτυρα σημαντική βελτίωση της εν λόγω ιδιότητας. Το γεγονός αυτό έρχεται σε συμφωνία με συμπεράσματα που προέκυψαν από σχετικές εργασίες ερευνητών (Taylor 1987, Irle et al 1998, Rowell et al 2000).

Όπως ήταν αναμενόμενο από τις τιμές των προηγούμενων μηχανικών ιδιοτήτων, τη μεγαλύτερη κατά πάχος διόγκωση εμφανίζουν οι ανακυκλωμένες μοριοπλάκες των οποίων τα ξυλοτεμαχίδια ανακτήθηκαν με υδροθερμικό χειρισμό σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min (Παράμετροι 6.1, 6.2) δηλ αυτές που εμφάνισαν τη μικρότερη αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό και εξαγωγή βίδας προφανώς λόγω ασθενών δεσμών συγκόλλησης.

## 5.1.1.6.2 ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ ΝΕΡΟΥ (24h,48h)

Πίνακας 30: Τιμές προσρόφησης νερού 24h των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
$\bar{X}$ (%)	82,71	92,47	93,76	95,43	96,01	101,33	119,61	95,08	105,44	78,97
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
s	0,0710	0,0705	0,0632	0,0580	0,0507	0,0546	0,0493	0,0786	0,0794	0,0603
max (%)	97,45	106,68	103,19	110,63	108,66	110,39	130,43	109,37	124,95	91,42
min (%)	71,78	81,42	85,97	86,73	87,71	91,34	111,02	81,64	93,16	69,31

Πίνακας 31: t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της προσρόφησης νερού 24h των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
0		+	+	+	+	+	+	+	+	-
2.1			-	-	-	+	+	-	+	+
2.2				-	-	+	+	-	+	+
4.1					-	+	+	-	+	+
4.2						+	+	-	+	+
6.1							+	+	-	+
6.2								+	+	+
8.1									+	+
8.2										+
A										

+: Οι διαφορές των μέσων όρων είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

-: Οι διαφορές των μέσων όρων δεν είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

Πίνακας 32: Τιμές προσρόφησης νερού 48h των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
$\bar{x}$ (%)	89,77	97,75	98,90	101,45	101,88	110,81	125,56	101,96	113,90	83,42
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
s	0,0846	0,0740	0,0697	0,0611	0,0537	0,0577	0,1036	0,1428	0,0910	0,0623
max (%)	105,97	112,90	110,10	117,57	115,93	120,48	136,48	142,64	132,04	96,98
min (%)	69,25	85,74	89,87	92,52	92,79	100,24	88,29	68,51	100,68	73,45

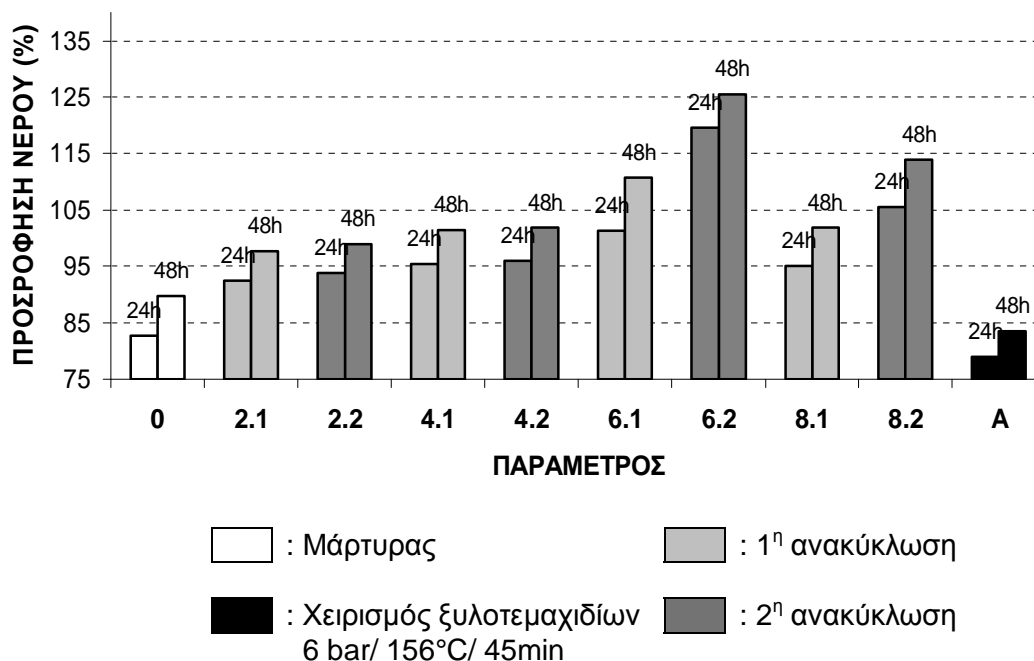
Πίνακας 33: t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της προσρόφησης νερού 48h των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
0		+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.1			-	-	-	+	+	-	+	+
2.2				-	-	+	+	-	+	+
4.1					-	+	+	-	+	+
4.2						+	+	-	+	+
6.1							+	+	-	+
6.2								+	+	+
8.1									+	+
8.2										+
A										

+: Οι διαφορές των μέσων όρων είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

-: Οι διαφορές των μέσων όρων δεν είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

Η προσρόφηση νερού των μοριοπλακών μετά από εμβάπτιση σε νερό για 24/48 ώρες επέφερε αποτελέσματα που ακολουθούν την ίδια συμπεριφορά με αυτήν που παρουσίασαν στην κατά πάχος διόγκωση (βλ. Κεφ. 5.1.1.6.1).



Σχήμα 14: Ιστόγραμμα μέσων τιμών προσρόφησης νερού (24h/48h) των εργαστηριακών μοριοπλάκων

Συγκεκριμένα η ανακύκλωση μοριοπλάκων σε όλες τις συνθήκες ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων, επέφερε σε σύγκριση με τις πλάκες του μάρτυρα (Παράμετρος 0) σημαντική αύξηση της προσρόφησης μετά από εμβάπτιση σε νερό για 24/48 ώρες. Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με αποτελέσματα του Michanicki (1996B). Η εν λόγω αύξηση είναι πιθανό να οφείλεται (όπως και στην περίπτωση της κατά πάχος διόγκωσης) σε μειωμένη συγκολλητική ικανότητα των ανακτημένων ξυλοτεμαχιδίων.

Η 2<sup>η</sup> ανακύκλωση σε συνθήκες 2 bar/ 119°C/ 480min και 4 bar/ 140°C/ 120min, σε σύγκριση με την 1<sup>η</sup> ανακύκλωση στις αντίστοιχες συνθήκες, επέφερε μη σημαντική αύξηση της προσρόφησης νερού 24/48h ενώ σημαντική αύξηση της προσρόφησης σημειώθηκε σε ότι αφορά τις ανακυκλωμένες με εντονότερες συνθήκες ανάκτησης 6 bar/ 156°C/ 45min και 8 bar/ 167°C/ 20min πλάκες.

Οι μοριοπλάκες που κατασκευάστηκαν από ατμισμένα σε 6 bar/ 156°C / 45min ξυλοτεμαχίδια (Παράμετρος A) παρουσίασαν σε σχέση με τις πλάκες του μάρτυρα μη σημαντική μείωση της προσρόφησης νερού.

Η μεγαλύτερη προσρόφηση νερού εμφανίζεται από τις ανακυκλωμένες μοριοπλάκες των οποίων τα ξυλοτεμαχίδια ανακτήθηκαν με υδροθερμικό χειρισμό σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min (Παράμετροι 6.1, 6.2) δηλ αυτές που εμφάνισαν τη μικρότερη αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό και εξαγωγή βίδας προφανώς λόγω ασθενών δεσμών συγκόλλησης.



### 5.1.1.6.3 ΜΟΝΙΜΗ ΚΑΤΑ ΠΑΧΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗ

Πίνακας 34: Τιμές μόνιμης κατά πάχους διόγκωσης των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
$\bar{X}$ (%)	19,28	24,82	23,79	25,32	24,72	28,05	41,10	24,11	29,42	17,49
n	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
s	0,0215	0,0281	0,0287	0,0241	0,0240	0,0244	0,0371	0,0302	0,0317	0,0206
max (%)	22,67	30,17	29,63	28,82	29,68	32,98	45,92	29,15	35,01	20,52
min (%)	15,37	19,13	20,02	19,10	21,23	22,78	33,63	19,20	22,29	13,78

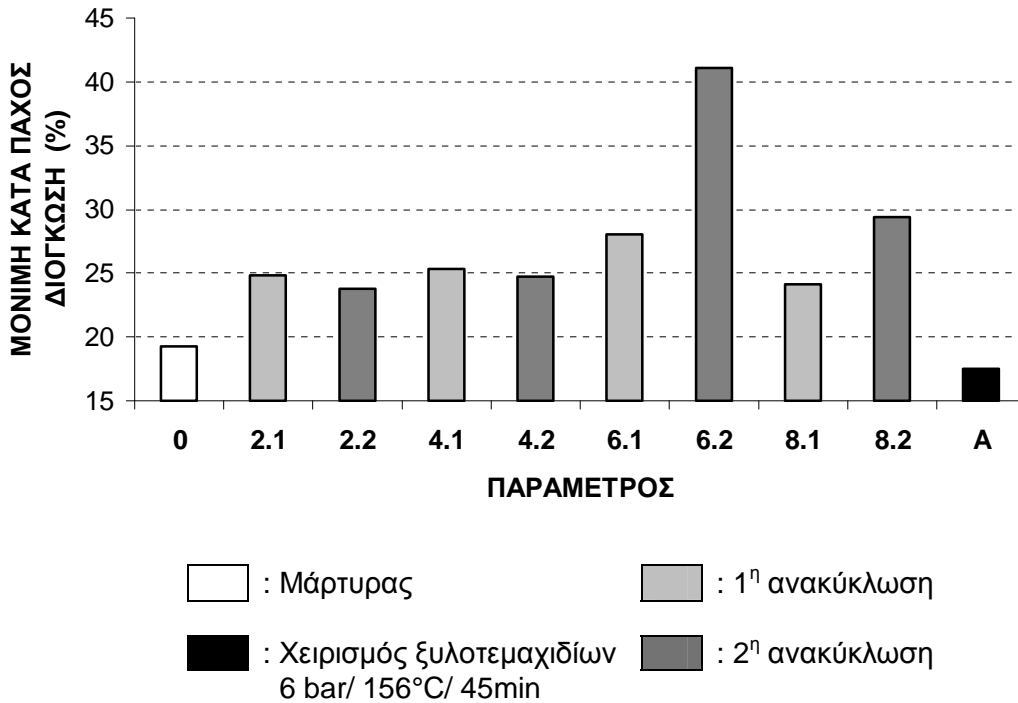
Πίνακας 35: t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της μόνιμης κατά πάχους διόγκωσης των εργαστηριακών μοριοπλακών

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
0		+	+	+	+	+	+	+	+	+
2.1			-	-	-	+	+	-	+	+
2.2				-	-	+	+	-	+	+
4.1					-	+	+	-	+	+
4.2						+	+	-	+	+
6.1							+	+	-	+
6.2								+	+	+
8.1									+	+
8.2										+
A										

+: Οι διαφορές των μέσων όρων είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

-: Οι διαφορές των μέσων όρων δεν είναι σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%

Η μόνιμη διόγκωση που παρουσίασαν τα διάφορα είδη πλακών ακολούθησε σε γενικές γραμμές τις μεταβολές που παρατηρήθηκαν στην κατά πάχος διόγκωση και προσρόφηση νερού.



Σχήμα 15: Ιστόγραμμα μέσω τιμών μόνιμης κατά πάχους διόγκωσης των εργαστηριακών μοριοπλάκων

Συγκεκριμένα σε σύγκριση με τις μοριοπλάκες του μάρτυρα, όλες οι ανακυκλωμένες μοριοπλάκες παρουσίασαν σημαντική αύξηση της μόνιμης κατά πάχους διόγκωσης.

Οι μοριοπλάκες τύπου A έδειξαν σημαντικά μικρότερη μόνιμη κατά πάχος διόγκωση σε σχέση με όλους τους υπόλοιπους τύπους πλακών.

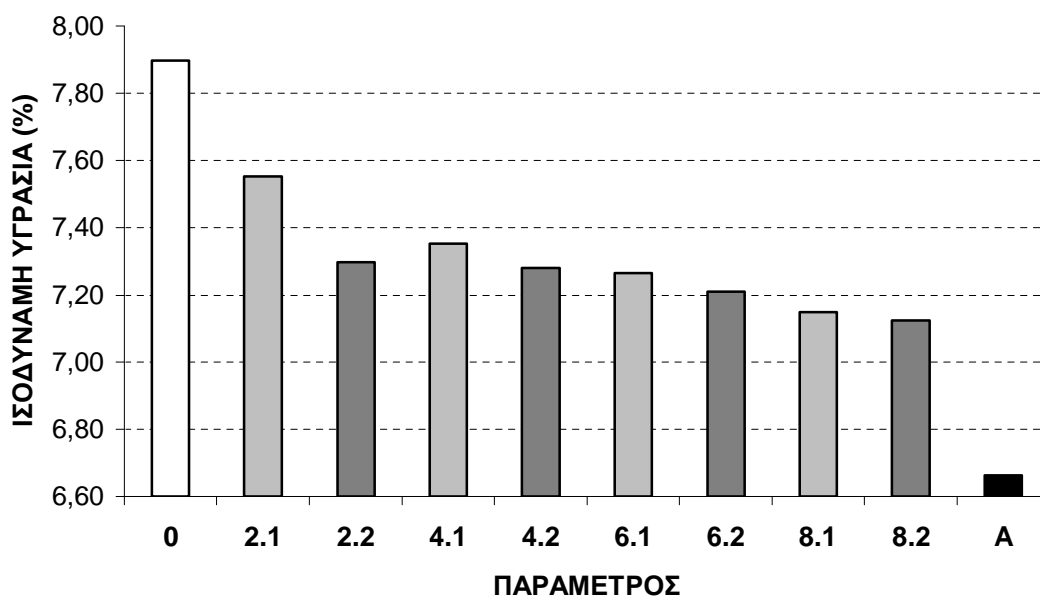
Συγκρίνοντας για κάθε ομάδα χειρισμών τις μοριοπλάκες 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης προκύπτει το συμπέρασμα ότι για τις ομάδες υδροθερμικών χειρισμών 2 bar/ 119°C/ 480min και 4 bar/ 140°C/ 120min με τη 2<sup>η</sup> ανακύκλωση προέκυψαν μοριοπλάκες με στατιστικώς μη σημαντικά μικρότερη μόνιμη κατά πάχος διόγκωση από αυτήν των πλακών 1<sup>ης</sup> ανακύκλωσης. Αντίθετα στις ομάδες υδροθερμικών χειρισμών 6 bar/ 156°C/ 45 min και 8 bar/ 167°C/ 20min οι μοριοπλάκες της 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης παρουσίασαν σημαντικά μεγαλύτερη μόνιμη κατά πάχος διόγκωση από αυτήν των πλακών 1<sup>ης</sup> ανακύκλωσης. Τα αποτελέσματα αυτά συνάδουν με τα αντίστοιχα της κατά πάχος διόγκωσης σε νερό.

Σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των προηγούμενων ιδιοτήτων, τις υψηλότερες τιμές μόνιμης κατά πάχος διόγκωσης (δηλ. τη μεγαλύτερη υποβάθμιση) εμφανίζουν οι ανακυκλωμένες μοριοπλάκες των οποίων τα ξυλοτεμαχίδια προέκυψαν με συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού 6 bar/ 156°C/ 45min.

## 5.1.1.6.4 ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΥΓΡΑΣΙΑ

Πίνακας 36: Τιμές ισοδύναμης υγρασίας μετά από κλιματισμό των εργαστηριακών μοριοπλακών σε κλίμα 22°C/ 74%

	0	2.1	2.2	4.1	4.2	6.1	6.2	8.1	8.2	A
$\bar{x}$ (%)	7,90	7,55	7,30	7,35	7,28	7,27	7,21	7,15	7,12	6,66
n	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
s	0,0008	0,0015	0,0016	0,0005	0,0002	0,0010	0,0009	0,0016	0,0013	0,0011
max (%)	8,00	7,77	7,51	7,41	7,31	7,34	7,31	7,39	7,30	6,78
min (%)	7,82	7,40	7,15	7,28	7,26	7,12	7,10	7,05	7,02	6,54



: Μάρτυρας
  : 1<sup>η</sup> ανακύκλωση  
 : Χειρισμός ξυλοτεμαχιδίων 6 bar/ 156°C/ 45min
  : 2<sup>η</sup> ανακύκλωση

Σχήμα 16: Ιστόγραμμα μέσων τιμών ισοδύναμης υγρασίας των εργαστηριακών μοριοπλακών

Σύμφωνα με τον Πίνακα 36 και το Σχήμα 16, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις της ισοδύναμης υγρασίας των διαφόρων τύπων μοριοπλακών δείχνουν ότι οι ανακυκλωμένες μοριοπλάκες εμφανίζουν ελαφρώς μειωμένη υγροσκοπικότητα σε σύγκριση με αυτή που αποτέλεσε τον μάρτυρα (Παράμετρος 0). Ακόμα μικρότερη υγροσκοπικότητα παρουσίασαν οι πλάκες της παραμέτρου A δηλ. αυτές που κατασκευάστηκαν από ατμισμένα σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min ξυλοτεμαχίδια.

Οι παρατηρούμενες διαφορές της υγροσκοπικότητας των διαφόρων τύπων (Παραμέτρων) μοριοπλακών είναι απόρροια των διαφορετικών συνθηκών υδροθερμικού χειρισμού ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων. Συγκεκριμένα και σε συμφωνία με συμπεράσματα άλλων ερευνητών (Kubinsky, 1971, Irle et al, 1998) αυξανόμενης της θερμοκρασίας του υδροθερμικού χειρισμού των ξυλοτεμαχιδίων, μειώνεται η υγροσκοπικότητα τους.

Συγκρίνοντας τις μοριοπλάκες μεταξύ της 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης για όλες τις ομάδες υδροθερμικών χειρισμών ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων προκύπτει το συμπέρασμα ότι επαναλαμβανόμενες ανακυκλώσεις μειώνουν περαιτέρω, αν και σε μικρό ποσοστό, την υγροσκοπικότητα των ανακυκλωμένων μοριοπλακών. Η μείωση αυτή οφείλεται στην παρουσία επιπλέον συγκολλητικής ουσίας και του επιπλέον υδροθερμικού χειρισμού που υπόκεινται τα ανακτημένα ξυλοτεμαχίδια της 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης μειώνοντας περισσότερο την ισοδύναμη υγρασία των ανακυκλωμένων πλακών Γρηγορίου (1980).

#### 5.1.1.7. ΑΛΛΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι ανακυκλωμένες εργαστηριακές μοριοπλάκες, όπως φαίνεται από την Εικόνα 42, παρουσίασαν σκουρότερο χρώμα από τις αρχικές μοριοπλάκες (μοριοπλάκες μάρτυρες). Το φαινόμενο αυτό έχει παρατηρηθεί και από άλλους ερευνητές (McGinnes και Rosen 1984, Hsu et al 1988) σε έρευνες σχετικές με τις επιδράσεις του ατμού στο ξύλο.



Εικόνα 42: Αριστερά: Μοριοπλάκα μάρτυρας, Δεξιά: Ανακυκλωμένη μοριοπλάκα

Παρατηρήθηκε επίσης ότι το χρώμα των ανακυκλωμένων πλακών εμφανίζεται σκουρότερο όσο πιο έντονες ήταν οι συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων, παρατήρηση που επιβεβαιώνεται και από ευρήματα των Schmidt, (1986), Tolvaj και Faix (1996), Sundqvist (2002).

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ανακύκλωση μοριοπλακών είναι μια περιοχή έρευνας που απασχολεί και πρόκειται μελλοντικά να απασχολήσει ακόμα πιο έντονα τους ερευνητές καθότι οι ποσότητες αυτών των πλακών που απορρίπτονται (κυρίως ως πρώτων υλών επίπλων) δεν τυγχάνουν ορθολογικής διαχείρισης και εκμετάλλευσης ενώ παράλληλα το κόστος πρώτων υλών στις αντίστοιχες βιομηχανίες ξύλου παρουσιάζει αυξητική τάση. Επιπλέον πρέπει να επισημανθεί ότι σήμερα, πέραν της ξυλοπαραγωγής, ολοένα και περισσότερο ο προστατευτικός και αισθητικός ρόλος των δασών αποκτά ιδιαίτερη βαρύτητα και συνεπώς η επαναχρησιμοποίηση των απορριμμάτων ξύλου να αποτελεί επείγουσα ανάγκη.

Μια από τις μέχρι τώρα τεχνικές ανακύκλωσης που έχουν αναπτυχθεί, και η οποία ακολουθήθηκε και στην παρούσα εργασία, περιλαμβάνει την ανάκτηση ξυλοτεμαχιδίων από παλιές μοριοπλάκες με υδροθερμικούς χειρισμούς (άτμιση).

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας που παρουσιάστηκαν διεξοδικά στο προηγούμενο κεφάλαιο, μπορούν να εξαχθούν τα εξής συμπεράσματα:

- Το ανακτημένο από εργαστηριακές πλάκες υλικό των ξυλοτεμαχιδίων, σε οποιοσδήποτε συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού κι αν ανακτήθηκε, παρουσιάζει μεγαλύτερη χωρική πυκνότητα από το αρχικό (μητρικό) υλικό. Σε ότι αφορά τις διαστάσεις του, το υλικό που προέκυψε από ανάκτηση έχει μεγαλύτερα ποσοστά κλάσματος  $k < 1\text{mm}$  ενώ σε μερικές περιπτώσεις εμφανίζεται περιορισμένος αριθμός συσσωματωμάτων.
- Η ανακύκλωση μοριοπλακών με ανάκτηση ξυλοτεμαχιδίων μέσω υδροθερμικών χειρισμών σε συνθήκες 2 bar/ 119°C/ 480min, 4 bar/ 140°C/ 120min, 6 bar/156°C/ 45min, 8 bar/ 167°C/ 20min επηρεάζει την ποιότητα των ανακυκλωμένων πλακών. Ειδικότερα:
  1. Σε σχέση με μη ανακυκλωμένες πλάκες (μάρτυρας), παρουσιάζεται μείωση της αντοχής σε εξαγωγή βίδας, της αντοχής σε εγκάρσιο εφελκυσμό, και του μέτρου θραύσης σε στατική κάμψη των ανακυκλωμένων πλακών.
  2. Το μέτρο ελαστικότητας σε στατική κάμψη βελτιώνεται στις ανακυκλωμένες μοριοπλάκες σε σχέση με μη ανακυκλωμένες πλάκες (μάρτυρας).
  3. Σε ότι αφορά τις υγροσκοπικές ιδιότητες, οι ανακυκλωμένες μοριοπλάκες εμφανίζουν αυξημένη προσρόφηση νερού και διογκώνονται σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με μη ανακυκλωμένες πλάκες (μάρτυρας).
  4. Η μέγιστη υποβάθμιση των πλακών στις μηχανικές και υγροσκοπικές ιδιότητες -με εξαίρεση το μέτρο ελαστικότητας- προκαλείται όταν η ανάκτηση των ξυλοτεμαχιδίων γίνεται με υδροθερμικό χειρισμό σε συνθήκες 6 bar/156°C/ 45min.

5. Σημαντική μείωση σε σχέση με το μάρτυρα, παρατηρείται στις τιμές περιεχόμενης φορμαλδεΐδης που προσδιορίστηκαν στις ανακυκλωμένες μοριοπλάκες, κάτι που σημαίνει ότι ανακυκλωμένες μοριοπλάκες είναι περισσότερο κατάλληλες για χρήσεις σε εσωτερικούς χώρους.
6. Η υγρασία ισορροπίας των ανακυκλωμένων μοριοπλακών είναι σε μικρό ποσοστό χαμηλότερη σε σχέση με τις μη ανακυκλωμένες μοριοπλάκες.
7. Σύγκριση μεταξύ των μοριοπλακών 1<sup>ης</sup> και 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης έδειξε ότι, σε ότι αφορά την αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό, την αντοχή σε εξαγωγή βίδας και το μέτρο θραύσης σε στατική κάμψη, η 2<sup>η</sup> ανακύκλωση προκαλεί περαιτέρω υποβάθμιση των ιδιοτήτων των πλακών. Ανάλογη είναι και η συμπεριφορά των μοριοπλακών στις υγροσκοπικές ιδιότητες. Σύγκριση σε ότι αφορά το μέτρο ελαστικότητας σε στατική κάμψη έδειξε ότι δεν προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.
8. Σύγκριση των πλακών της Παραμέτρου Α (που προέκυψαν από ξυλοτεμαχίδια που υπέστησαν υδροθερμικό χειρισμό σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min) με τις μοριοπλάκες των Παραμέτρων 6.1 και 6.2 (που προέκυψαν από ξυλοτεμαχίδια που ανακτήθηκαν σε συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού 6 bar/ 156°C/ 45min) οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πέραν της υποβάθμισης η οποία προκύπτει ως αποτέλεσμα του υδροθερμικού χειρισμού στα ξυλοτεμαχίδια, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες οι οποίοι έχουν αρνητική επίδραση στις ιδιότητες των ανακυκλωμένων πλακών. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να συγκεκριμενοποιηθούν και να αναλυθεί η επίδραση τους σε σχετικές μελλοντικές έρευνες.

Σε ότι αφορά την αξιοποίηση των παραπάνω αποτελεσμάτων σε βιομηχανική κλίμακα, η μεθοδολογία ανακύκλωσης που ακολουθήθηκε στην παρούσα έρευνα είναι εφικτό να εφαρμοσθεί υπό τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Ανάμιξη των ανακτημένων ξυλοτεμαχιδίων με φρέσκα σε ποσοστό τέτοιο ώστε να μην υποβαθμίζονται σημαντικά οι ιδιότητες των παραγόμενων μοριοπλακών,
- Εφαρμογή κατά το δυνατόν των ηπιότερων συνθηκών υδροθερμικών συνθηκών ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων για την αποφυγή σημαντικής υποβάθμισης της ποιότητάς τους.

Πιο συγκεκριμένες σχετικές προτάσεις μπορούν να προκύψουν με τη διεξαγωγή σχετικών ερευνών.

## 7. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μια από τις σημαντικότερες διεξόδους στο πρόβλημα της διαχείρισης απορριμμάτων αποτελεί η ανακύκλωση, εξαιτίας της καθολικής της αποδοχής από το κοινό. Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση του ξύλου παλαιών ξυλοπλακών στην παραγωγή νέων αποτελεί την πλέον ορθολογική διεξόδο αξιοποίησης τέτοιων απορριμμάτων. Ο χειρισμός με ατμό (άτμιση ή υδροθερμικός χειρισμός) θεωρείται μια ικανοποιητική τεχνική για την ανάκτηση του ξύλου των μοριοπλακών.

Στην παρούσα έρευνα διερευνήθηκαν οι επιπτώσεις των συνθηκών υδροθερμικών χειρισμών με τους οποίους ανακτώνται ξυλοτεμαχίδια μοριοπλάκας στις ιδιότητες των ανακυκλωμένων μοριοπλακών που κατασκευάστηκαν από αυτά. Επίσης διερευνήθηκαν οι επιπτώσεις στις ιδιότητες μοριοπλακών που προέκυψαν με 2<sup>η</sup> ανακύκλωση ακολουθώντας ίδια μεθοδολογία ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων και παραγωγής πλάκων.

Η παρούσα μεθοδολογία ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων διαφοροποιείται από ανάλογες μεθοδολογίες που αναφέρονται στη βιβλιογραφία στο ότι οι προς ανάκτηση ξυλοτεμαχιδίων μοριοπλάκες δεν υπέστησαν κανένα θρυμματισμό, ούτε χρησιμοποιήθηκε κανένα εμποτιστικό διάλυμα για την υποβοήθηση της αποικοδόμησης τους. Επίσης, όλες οι μοριοπλάκες που κατασκευάστηκαν κατά την παρούσα έρευνα είχαν την ίδια πυκνότητα και έτσι κατέστη δυνατή η απρόσκοπτη σύγκριση των ιδιοτήτων μεταξύ αυτών.

Για τη διεξαγωγή της έρευνας κατασκευάστηκαν εργαστηριακές μοριοπλάκες πάχους 12mm με πρώτες ύλες από βιομηχανία παραγωγής μοριοπλακών. Τα ξυλοτεμαχίδια προήλθαν από θρυμματισμό μίξης ξύλου λεύκης, ελάτης, πεύκης αλλά και χρησιμοποιημένου ξύλου. Ως συγκολλητική ουσία χρησιμοποιήθηκε η ουρία – φορμαλδεΐδη κλάσης E2 σε ποσοστό 7% ανά ξηρή μάζα ξυλοτεμαχιδίων και ως σκληρυντής χλωριούχο αμμώνιο (NH<sub>4</sub>Cl). Οι πλάκες υπέστησαν υδροθερμικούς χειρισμούς για ανάκτηση των ξυλοτεμαχιδίων σε 4 διαφορετικές συνθήκες πίεσης- θερμοκρασίας – διάρκειας. Οι συνθήκες αυτές ήταν: 2 bar/ 119°C/ 480min, 4 bar/ 140°C/ 120min, 6 bar/ 156°C/ 45min, 8 bar/ 167°C/ 20min. Με τα ξυλοτεμαχίδια που ανακτήθηκαν από τους 4 διαφορετικούς υδροθερμικούς χειρισμούς κατασκευάστηκαν νέες πλάκες με τις ίδιες ακριβώς συνθήκες. Από κάθε ομάδα διαχωρίστηκαν πλάκες για προσδιορισμό των ιδιοτήτων τους (πλάκες 1<sup>ης</sup> ανακύκλωσης) ενώ οι υπόλοιπες από κάθε ομάδα υπέστησαν εκ νέου τους ίδιους υδροθερμικούς χειρισμούς. Με τα ξυλοτεμαχίδια που ανακτήθηκαν από τις πλάκες αυτές κατασκευάστηκαν (με τις ίδιες πάντα συνθήκες) νέες πλάκες (πλάκες 2<sup>ης</sup> ανακύκλωσης). Επιπλέον για την αξιολόγηση της επίδρασης που έχει μόνο ο υδροθερμικός χειρισμός (χωρίς ανακύκλωση) στις ιδιότητες των πλάκων, κατασκευάστηκαν πλάκες των οποίων τα ξυλοτεμαχίδια υπέστησαν προηγουμένως υδροθερμικό χειρισμό σε συνθήκες 6bar/ 156°C/ 45min.

Για όλες τις μοριοπλάκες που προέκυψαν έγινε προσδιορισμός μηχανικών (αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό, αντοχή σε εξαγωγή βίδας, μέτρο θραύσης και μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη) και υγροσκοπικών (διόγκωση και



προσρόφηση νερού 24-48h, μόνιμη διόγκωση και ισοδύναμη υγρασία) ιδιοτήτων και τη περιεχόμενης σε αυτές φορμαλδεΐδης σύμφωνα με τις σχετικές ευρωπαϊκές προδιαγραφές (EN). Επίσης προσδιορίστηκαν ιδιότητες των ξυλοτεμαχιδίων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των μοριοπλακών (κλασματική ανάλυση, χωρική πυκνότητα).

Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι το ανακτημένο από εργαστηριακές πλάκες υλικό των ξυλοτεμαχιδίων παρουσιάζει μεγαλύτερη χωρική πυκνότητα και έχει μεγαλύτερα ποσοστά κλάσματος  $k < 1\text{mm}$  από το αρχικό (μητρικό) υλικό. Σε μερικές περιπτώσεις στο ανακτηθέν υλικό εμφανίζεται περιορισμένος αριθμός συσσωματωμάτων.

Για τη σύγκριση των μέσων όρων των ιδιοτήτων των διαφόρων παραμέτρων έγινε στατιστική ανάλυση με τη μέθοδο του t-test με στατιστική ασφάλεια 95%.

Η ανακύκλωση μοριοπλακών με ανάκτηση ξυλοτεμαχιδίων μέσω υδροθερμικών χειρισμών επηρεάζει αρνητικά την ποιότητα των ανακυκλωμένων πλακών όσο αφορά τις μηχανικές και υγροσκοπικές ιδιότητες (με εξαίρεση το μέτρο ελαστικότητας). Σημαντική μείωση σε σχέση με το μάρτυρα, παρατηρείται στις τιμές περιεχόμενης φορμαλδεΐδης που προσδιορίστηκαν στις ανακυκλωμένες μοριοπλάκες. Η μέγιστη υποβάθμιση των πλακών προκαλείται όταν η ανάκτηση των ξυλοτεμαχιδίων γίνεται με υδροθερμικό χειρισμό σε συνθήκες 6 bar/156°C/ 45min. Η υγρασία ισορροπίας των ανακυκλωμένων μοριοπλακών είναι σε μικρό ποσοστό χαμηλότερη σε σχέση με τις μη ανακυκλωμένες μοριοπλάκες.

Σύγκριση μεταξύ των μοριοπλακών 1ης και 2ης ανακύκλωσης έδειξε ότι, σε ότι αφορά την αντοχή σε εγκάρσιο εφελκυσμό, την αντοχή σε εξαγωγή βίδας και το μέτρο θραύσης σε στατική κάμψη, η 2η ανακύκλωση προκαλεί περαιτέρω υποβάθμιση των ιδιοτήτων των πλακών. Ανάλογη είναι και η συμπεριφορά των μοριοπλακών στις υγροσκοπικές ιδιότητες. Σύγκριση σε ότι αφορά το μέτρο ελαστικότητας σε στατική κάμψη έδειξε ότι δεν προκύπτουν στατιστικά σημαντικές διαφορές.

Σύγκριση των πλακών που κατασκευάστηκαν από ξυλοτεμαχίδια που υπέστησαν υδροθερμικό χειρισμό σε συνθήκες 6 bar/ 156°C/ 45min με τις μοριοπλάκες που κατασκευάστηκαν από ξυλοτεμαχίδια που ανακτήθηκαν σε συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού 6 bar/ 156°C/ 45min οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πέραν της υποβάθμισης η οποία προκύπτει ως αποτέλεσμα του υδροθερμικού χειρισμού στα ξυλοτεμαχίδια, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες οι οποίοι έχουν αρνητική επίδραση στις ιδιότητες των ανακυκλωμένων πλακών. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να συγκεκριμενοποιηθούν και να αναλυθεί η επίδραση τους σε σχετικές μελλοντικές έρευνες.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Aoyama M., Seki K., Saito N., 1995. Solubilization of Bamboo Grass Xylan by Steaming Treatment. *Holzforschung* 49, pp. 193-196
2. Araman P., Bush R., Reddy V., 1997. Potential Material Sources for Board Products: Used Pallets and Wastewood at Landfills. Proceedings of the 31<sup>th</sup> International Particleboard/ Composite Materials Symposium. Pullman, Washington, USA
3. Auburn Machinery, 2003. Wood Recovery and value adding programs. 11<sup>th</sup> Rinker International Conference on Deconstruction and materials reuse. Gainesville, Florida
4. Boehme C., 2003. Altholz bleibt wichtig für Holzwerkstoffindustrie. *Holz-Zentralblatt*, Num. 4, Seite 101
5. Boehme C., Michanickl A., 1998. Process for recovering chips and fibers from residues of timber-derived materials, old pieces of furniture, production residues, waste and other timber containing materials. Patent No: US5804035, EP 0697941
6. Burmester A., 1973. Einfluß einer Wärme-Druck-Behandlung halbtrockenen Holzes auf seine Formbeständigkeit. *Holz als Roh- und Werkstoff* 31, pp. 237-243
7. Cai L., Wang F., Li J., 1995. Optimum steam pretreating technique of chips for manufacturing of particleboards. *Holz als Roh- und Werkstoff*, (53) pp. 21-23
8. Chauvette G., Heinz M., Rubio M., Khorami J., Chornet E., 1985. TG/DTG as a rapid method for the characterization of solid residues derived from liquefaction of lignocellulosics. *Thermochim. Acta* 84, 1-5
9. Chen P., Workman E., 1980: Effect of Steaming on Some Physical and Chemical Properties of Black Walnut Heartwood. *Wood and Fiber*, 11(4), pp 218-227
10. Choong E., Shupe T., Yong C., 1999: Effect of Steaming and Hot Water Soaking on Extractive distribution and Moisture Diffusivity in Southern Pine during Drying. *Wood and Fiber Science*, 31(2), pp. 143 -150
11. De Groot, W., Pan W., Rahman D., Richards G., 1988. First chemical events in pyrolysis of wood. *J. Anal. Appl. Pyrol.* 13, 221-231
12. Deaner M., Heikkila K., 1996. Waste Wood Fiber-Plastic Composites in Window Applications. Proceedings No 7286: The Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications, Forest Products Society, pp.57-59

13. Digernes V., Ophus E., 1996. Life cycle assessment of a UF resin for particleboard. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Eurowood symposium, Braunschweig, Germany
14. Dimesky J., Iliev B., Gramatikov K., 1996. The Characteristics of Water-Resistant Wood Panels Consisting of Recycled Wood Particles and Veneers. Proceedings No 7286: The Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications, Forest Products Society, pp.213-216
15. EN 120:1992. Wood-based panels - Determination of formaldehyde content. Extraction method called the perforator method
16. EN 310:1993. Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength
17. EN 312:2003. Particleboards – Specifications
18. EN 317:1993. Particleboards and Fibreboards - Determination of swelling in thickness after immersion in water
19. EN 319:1993. Particleboards and Fibreboards - Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board
20. EN 320:1993. Fibreboards - Determination of resistance to axial withdrawal of screws
21. EN 322:1993. Wood-based panels - Determination of moisture content
22. EN 323:1993. Wood-based panels - Determination of density
23. EN 717.03: 1996. Wood-based panels – Determination of formaldehyde release – Part 3: Formaldehyde release by the flask method
24. Erickson J., 1976: Steaming Chips Facilitates Bark Removal. Research Note NC-216, USDA Forest Service, U.S. Department of Agriculture
25. Falk B., 1997. Wood Recycling, Opportunities for the Woodwaste Resource. Forest Products Journal, Vol. 47, No 6, pp. 17-22
26. Fleischer O., Marutzky R., 2000. Hydrolyse von Harnstoff-Formaldehyd-Harzen: Auflösung des Spangefüges in Holzwerkstoffen durch hydrolytischen Abbau der Leimfuge. Holz als Roh- und Werkstoff 58, pp. 295-300
27. Franke R., Roffael E., 1998A. Zum Recycling von Span- und MDF-Platten, Teil 1: Über die Hydrolyseresistenz von ausgehärteten Harnstoff-Formaldehydharzen (UF-Harzen) in Span- und mitteldichten Faserplatten (MDF). Holz als Roh- und Werkstoff 56, pp. 79-82
28. Franke R., Roffael E., 1998B. Zum Recycling von Span- und MDF-Platten. Teil 2: Einfluß der thermischen Behandlung von zerkleinerten UF-gebundenen Span- und MDF-Platten sowie

- Kiefernspänen auf die Formaldehyd- und Ammoniakabgabe. Holz als Roh- und Werkstoff 56, pp. 381-385
29. Garrote G., Dominguez H., Parajo J., 1999. Hydrothermal processing of lignocellulosic materials. Holz als Roh- und Werkstoff 57, pp. 191-202
  30. Goldstein I., 1973. Degradation and Protection of Wood from Thermal Attack. Wood Deterioration and Its Prevention by Preservative Treatments, Volume I: Degradation and Protection of Wood. Syracuse Wood Science Series 5
  31. Haslett A., Davy B., Dakin M., Bates R., 1999: Effects of Pressure Drying and Pressure Steaming on Warp and Stiffness of Radiata Pine Lumber. Forest Products Journal, Vol 49, No 6, pp. 67-71
  32. Haslett A., Dakin M., 2001: Effect of Pressure Steaming on Twist and Stability of Radiata Pine Lumber. Forest Products Journal, Vol 51, No 2, pp. 85-87
  33. Hesch R., 2002. Method and apparatus for breaking down used materials into reusable components, particularly for recycling wood products, used furniture, automobile composite materials and similar products. Patent No: US2002170989
  34. Hettinga S. 1996. Recycled Wood: The Ideal Filler for Plastic. Proceedings No 7286: The Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications, Forest Products Society, pp.82-83
  35. Hsu W., Schwald W., Schwald J., Shields J., 1988. Chemical and physical changes required for producing dimensionally stable wood-based composites, Part 1: Steam pre-treatment. Wood Science and Technology 2, pp. 281-289
  36. <http://www.fao.org>, 2003
  37. <http://www.iaps.org>, 2003
  38. <http://www.wki.fraunhofer.de>, 2003
  39. Ignatowitz E., Haering, 1990: Τεχνική και Επαγγελματική Χημεία, Μετάφρασμένο στην Ελληνική από Γερολυμάτου Τ., Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις
  40. Inoue M., Norimoto M., Tanahashi M., Rowell R., 1993. Steam of heat fixation of compressed wood. Wood and Fiber Science V25(3), pp. 224-235
  41. Irle M., Adcock T., Sekino N., 1998. The Rheological Behaviour and Dimensional Stability of Steam Pre-treated Particles. Proceedings of the 2nd Panel Products Symposium. Llandudno, Wales, UK
  42. Ito Y., Tanahashi M., Shigematsu M., Shinoda Y., 1998A. Compressive-Molding of Wood by High-Pressure Steam-

- Treatment: Part 2. Mechanism of Permanent Fixation  
Holzforschung 52, pp. 217-221
43. Ito Y., Tanahashi M., Shigematsu M., Shinoda Y., Ohta C., 1998B. Compressive-Molding of Wood by High-Pressure Steam-Treatment: Part 1. Development of Compressively Molded Squares from Thinnings. Holzforschung 52, pp. 211-216
  44. Kininmonth J., 1971. Permeability and fine structure of certain hardwoods and effects on drying. Holzforschung 27(1), pp. 26-31
  45. Kolin B., Danon G., 1997. Temperature as a factor of reduction of hygroexpansion and increase of dimensional stability of wood. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on the Development of Forestry and Wood Science/ Technology, Volume I. Serbia, Yugoslavia
  46. Kollman F., Côté W., 1968: Principles of wood science and technology, I. Solid wood, Springer – Verlag
  47. Kubinsky E., 1971: Influence of steaming on the properties of *Quercus rubra* L. wood. Holzforschung Bd. 25 Heft 3, pp. 78-83
  48. Loken S., Mumma T., 1996. Wood Waste-Based materials in Building Applications. The Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications, Forest Products Society, pp.115-119
  49. Liu yixing, Li jian, Wang jinman, Liu junliang, Shen jun, Zhao zhongsheng, 2000. Study on compressive moulding wood by steam treating at high temperature. Proceedings of 5<sup>th</sup> Pacific Bio-Based Composites Symposium, Canberra Australia
  50. Magic C., Goroyias G., Thompson N., Coulson R., 2001. Recycling of Urban Wood Waste into Quality Wood Products. Trends and Prospects for the Future. Proceeding of the 5<sup>th</sup> Panel Products Symposium. Llandudno, Wales, UK
  51. Maloney T., 1993: Modern Particleboard and dry process Fiberboard manufacturing. Updated Edition, Miller Freeman Inc
  52. Marutzky R., Schriever E., 1986. Emissionen bei der Verbrennung von Holzspanplattenresten. Holz als Roh- und Werkstoff 44, pp. 185-191
  53. Matthews B., 1997. The use of Reclaimed Timber. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on the Development of Forestry and Wood Science/ Technology, Serbia/Yugoslavia. Volume II, pp. 548-553
  54. McGinnes A., Rosen H., 1984: Macroscopic and Microscopic Analyses of Colour Changes of Wood Pressure Steam – Dried Above Atmospheric Pressure. Wood and Fiber Science, 16(1), pp. 48-56

55. McKeever D., Youngquist J., English B., 1995. Sources and availability of recovered wood and fiber for composite products. Proceedings of the 29<sup>th</sup> International Particleboard/ Composite Materials Symposium. Washington State University pp. 197-214
56. Mengeloglou F., Gardner D., 2000. Recycled CXA-Treated Lumber in Flakeboards: Evaluation of Adhesives and Flakes. Forest Products Journal Vol.50, No2, pp. 41-45
57. Michanickl A., 1996A. The Material Utilization of Products Made from Wood-based panels. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Eurowood Symposium, Braunschweig, Germany. pp. 1-5
58. Michanickl A., 1996B. Recovery of Fibers and Particles from Wood-Based Products. Proceedings No 7286: The Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications, Forest Products Society, pp.115-119
59. Michanickl A., Boehme C., 1996. Wiedergewinnung von Spänen und Fasern aus Holzwerkstoffen. Soderdruck aus HK Holz- und Kunststoffverarbeitung 4/96, pp. 50-55
60. Michanickl A., Boehme C., 2003. Method for recovering chips and fibers of bonded wood materials involves passing of steam through a vessel with such materials which have been soaked with a heated impregnation solution. Patent No: DE10144793, WO03026859
61. Microsoft Corporation, 2002: Encarta Encyclopedia Standard Edition
62. Moeller A., 1993. Flat or curved semi-finished or finished wood products for packing industry-comprises thin scale like elements of waste wood or wood shavings laid in overlapping parallel rows where contacting areas are glued. Patent No: DE4201201
63. Montane D., Salvado J., Farriol X., 1997. Fractionation of Wheat Straw via Steam-Explosion Pretreatment. Characteristics of the Lignin Obtained by Alkali Delignification of the Steamed Straw. Holzforschung 51, pp. 135-141
64. Morris P., Byrne A., Mackay J., McFarling S., 1997: The effect of steaming prior to pressure treatment on the penetration of borates into western hemlock., Forest Products Journal, Vol. 47, No 3, pp. 62-65
65. Munson J., Kamdem D., 1998. Reconstituted Particleboards from CCA-Treated Red Pine Utility Poles. Forest Products Journal Vol.48, No3, pp. 55-62
66. Nakos P., Roffael E., 1998. Recycling of Old Wood- and Composite Wood Based Particles. Proceedings of the 2nd Panel Products Symposium. Llandudno, Wales, UK
67. Navi P., Huguenin P., Girardet F., 1996. Development of Synthetic-Free Plastified Wood by Thermohygro-mechanical treatment.

- Proceedings No 7286: The Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications, Forest Products Society, pp.168-171
68. Navi P., Girardet F., 2000. Effects of Thermo-Hydro-Mechanical Treatment on the Structure and Properties of Wood. *Holzforschung* 54, pp. 287-293
  69. Nicholas D., Thomas R., 1968: Influence of Steaming on Ultrastructure of Bordered Pit Membrane In Loblolly Pine. *Forest Products Journal* Vol 18, No1, pp. 57-59
  70. Nijkerk A., 1995. Πλούτος στα Απορρίμματα: Ανακύκλωση, Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον. Μετάφραση από Βόγκα Π. στο βιβλίο του: Ανακύκλωση και καθαρότερη παραγωγή. Διεθνής Οργάνωση Βιοπολιτικής
  71. Nikitin N., 1966. The Chemistry of Cellulose and Wood. Academy of Sciences of the USSR, Institute of High Molecular Compounds. Translated by J. Schmorak, Israel Program for Scientific Translations
  72. Pfeleiderer Unternehmensverwalt, 1994. Method of recycling wood materials. Patent No: EP0581039, DE4224629
  73. Pizzi A., 1989. Wood Adhesives, Chemistry and Technology, Volume 2. Marcel Dekker, Inc
  74. Plume G., 1996. Reclaimed Timber: A Modern Construction Material. Proceedings No 7286: The Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications, Forest Products Society, pp.104-107
  75. Randolph R., 2000. Utilization of Urban Wood Waste in Particleboard Manufacture. Proceedings of the 34<sup>th</sup> International Particleboard/ Composite Materials Symposium. Pullman, Washington, USA
  76. Ratti C., 1983: *Technologia del legno curvato*, Ribera Editore, Milano
  77. Riddiough S., 2002. Wood Panel Recycling: An Introduction to the Fibresolve Process. Proceedings of the 6<sup>th</sup> Panel Products Symposium, Llandudno, Wales, UK. pp.159-166
  78. Roffael E., Franke R., 1995. On Recycling of Wood-Based Panels. [www.metla.fi/iufro/iufro95abs/d5pap69.htm](http://www.metla.fi/iufro/iufro95abs/d5pap69.htm)
  79. Roffael E., 1996. Process for the fabrication of chipboards and fibreboards. Patent No: EP0700762, DE4428119
  80. Roffael E., Athanassiadou E., Mantanis G., 2002. Recycling of particle- and fibreboards using the extruder technique. Fachtagung, Umweltschutz in der Holzwerkstoffindustrie, Göttingen, Germany. pp. 56-65
  81. Roffael E., Kraft R., Behn C., 2003. Über den Einfluss des Bindemittels auf das Wasserrückhaltevermögen (WRV-Wert)

von Recyclingfassern und Recyclingspänen. Holz als Roh- und Werkstoff (61), pp. 392-393

82. Rosen H., Bodkin R., Gaddis K., 1983. Pressure steam drying of lumber. Forest Products Journal, Vol. 33, No 1, pp. 17-24
83. Rowell R., Youngquist J., McNatt D., 1991. Composites from Recycled Materials. Proceedings of the 25<sup>th</sup> International Particleboard/ Composite Materials Symposium, Washington State University, pp. 301-314
84. Rowell R., Spelter H., Arola R., Davis P., Friberg T., Hemingway R., Rials T., Luneke D., Narayan R., Simonsen J., White D., 1993. Opportunities for composites from recycled wastewood-based resources: a problem analysis and research plan. Forest Products Journal, Vol. 43, No 1, pp. 55-63
85. Rowel R., Lange S., Davis M., 2000. Steam Stabilization of Aspen Fiberboards. Proceedings of 5th Pacific Bio-Based Composites Symposium, Canberra Australia
86. Sachs L., 1974. Angewandte Statistik, Planung und Auswertung Methoden und modelle. Springer-Verlag
87. Sandberg G., 1965. Verfahren zur Wiedergewinnung von Spanmaterial aus mit ausgehärteten Bindermitteln durchsetzten Abfällen, Sägespänen, Müll usw., zur Herstellung von Spanplatten und ähnlichen geleimten oder gepreßten Erzeugnissen. Patent No: DE1201045
88. Schmidt K., 1986. Untersuchungen über die Ursachen der Verfärbungen von Eichenholz bei der technische Trocknung. Holzforschung und Holzverwertung 38(2) pp. 25-36
89. Schneider A., 1960. Neue Diagramme zur Bestimmung der relativen Luftfeuchtigkeit über gesättigten wässerigen Salzlösungen und wässerigen Schwefelsäurelösungen bei verschiedenen Temperaturen. Holz als Roh- und Werkstoff 18, Heft 7, pp. 269-272
90. Sekino N., Inoue M., Irle M., 1998. The Bond Quality of Steam Pre-Treated Particles. Proceedings of the 2nd Panel Products Symposium. Llandudno, Wales, UK
91. Shafizadeh F., Chin P., 1977. Thermal Deterioration of Wood. Wood Technology: Chemical Aspects, ACS Symposium Series 4, American Chemical Society
92. Simcovic I., Balog K., Csomorova K., 1995. Thermal Degradation and Thermooxidation of O-Acetyl-(4-O-methyl-D-glycurono)-D-xylan and Related Derivatives. Holzforschung 49, pp. 512-516
93. Singh S., Walawender W., Fan L., 1986. Steam Gasification of Cottonwood (Branches) in a Fluidized Bed. Wood and Fiber Science V.18(2), PP. 327-344



94. Smith D., 1996. Utilization of Urban Wood in the Manufacture of Particleboard and MDF. Proceedings No 7286: The Use of Recycled Wood and Paper in Building Applications, Forest Products Society, pp.53-56
95. Stamm A., 1956. Thermal degradation of wood and cellulose. Industrial and Engineering Chemistry 48(3): 413-417
96. Sundqvist B., 2002. Wood Color Control during Kiln-Drying. Forest Products Journal, Vol. 52, No 2, pp. 30-37
97. Taylor J., 1987. Commercial Aspects of Producing Dimensionally stable Wood Composites. Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Particleboard/ Composite Materials Symposium. Pullman, Washington
98. Thurgood M., 1995. Η ανακύκλωση ως μέρος μιας Ολοκληρωμένης Στρατηγικής Διαχείρισης των Απορριμμάτων. Μετάφραση από Βόγκα Π. στο βιβλίο του: Ανακύκλωση και καθαρότερη παραγωγή. Διεθνής Οργάνωση Βιοπολιτικής
99. Tolvaj L., Faix O., 1996: Modification of wood color by steaming. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on the Development of Wood Science/ Technology and Forestry, April 10-12 1996, Sopron, Hungary
100. Vermaas H., Kuun C., 1989. Experimental pressure steam dryer for lumber. Holz als Roh- und Werkstoff 47, pp. 235-241
101. Voulgaridis E., Passialis C., Grigoriou A., 1997: Effect of Steaming on Properties and Air-Drying of Oak Wood (*Quercus conferta* Kit). Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on the Development of Forestry and Wood Science/ Technology, Volume 1, pp 363-369
102. Wang Z., Choong E., Gopu V., 1994. Effect of presteaming on drying stresses of red oak using a coating and bending method. Wood and Fiber Science, 26(4), pp. 527-535
103. Wolff S., Siempelkamp G., 2000. Post-consumer wood waste as raw material for particleboard and MDF. Proceedings of the 5<sup>th</sup> Pacific Bio-Based Composites Symposium. Canberra, Australia pp. 572-579
104. Yilgor N., Unsal O., Kartal S., 2001: Physical, Mechanical and Chemical Properties of Steamed Beech Wood. Forest Products Journal Vol. 51, No 11/12, pp. 89-93
105. Γρηγορίου Α., 1980. Παράγοντες Επηρεάζοντες τις Ιδιότητες των Μοριοπλακών, Μέρος Πρώτο: Μηχανικές Ιδιότητες. Γεωτεχνικά, Τεύχος 3
106. Γρηγορίου Α., 1984. Παράγοντες Επηρεάζοντες τις Ιδιότητες των Μοριοπλακών, Μέρος Δεύτερο: Διαστασιακές Μεταβολές –

Μέθοδοι Βελτιώσεως της Διαστασιακής Σταθερότητας.  
Γεωτεχνικά, Τεύχος 2

107. Γρηγορίου Α., 1986. Έκλυση Φορμαλδεΐδης από Μοριοπλάκες Εγχώριας Παραγωγής και Εισαγόμενες Ινοπλάκες Μέσης Πυκνότητας. Τεχνικά Χρονικά –Γ, Τόμος 6, Τεύχος 1
108. Γρηγορίου Α., 1996. Τεχνολογία Συγκολλημένων Προϊόντων Ξύλου. Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο
109. Γρηγορίου Α., 1998. Σύνθετα Προϊόντα από Χαρτί και Ξυλοτεμαχίδια. Μια Εναλλακτική Αξιοποίηση του Ανακυκλώσιμου Χαρτιού των Απορριμμάτων. Τεχνικά Χρονικά, Επιστημονικές Εκδόσεις Τ.Ε.Ε., V, τεύχος 1-2, σελ. 75- 84
110. Κάββουρας Π., 2000. Οργανικά υλικά II, Συντήρηση αρχαιολογικού ξύλου. Σημειώσεις Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων, Τ.Ε.Ι. Αθήνας
111. Ντάφης Σ., 1986. Δασική Οικολογία. Εκδόσεις Γιαχούδη - Γιαπούλη
112. Πάπτας Κ., 1978. Θερμοδυναμική. Εισαγωγή στα θεμελιώδη και στις τεχνικές εφαρμογές. Μεταφρασμένο στην ελληνική γλώσσα. Πρωτότυπο από τον Baehr H., Springer-Verlag
113. Τσουμής Γ., 1994: Επιστήμη και Τεχνολογία του ξύλου, Τόμος α': Δομή και ιδιότητες, Υπηρεσία δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
114. Τσουμής Γ., 1999: Επιστήμη και Τεχνολογία του ξύλου, Τόμος β': Βιομηχανική αξιοποίηση, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
115. Φασούλας Α., 1964. Στοιχεία Πειραματικής Στατιστικής. Θεσσαλονίκη
116. Φιλίππου Ι., 1986. Χημεία και Χημική Τεχνολογία του Ξύλου. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη

## 9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### 9.1 ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1: Παραγωγή μοριοπλακών στην Ευρώπη (Πηγή: <a href="http://www.fao.org">http://www.fao.org</a> , 2003) .....	11
Σχήμα 2: Παραγωγή, εισαγωγές και εξαγωγές μοριοπλακών στην Ελλάδα (Πηγή: <a href="http://www.fao.org">http://www.fao.org</a> , 2003).....	11
Σχήμα 3: Διάγραμμα θερμής πίεσης.....	51
Σχήμα 4: Ιστόγραμμα κλασματικής ανάλυσης ξυλοτεμαχιδίων που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	62
Σχήμα 5: Ιστόγραμμα χωρικής πυκνότητας υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	64
Σχήμα 6: Ιστόγραμμα μέσων τιμών πυκνότητας των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	66
Σχήμα 7: Ιστόγραμμα μέσων τιμών πάχους των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	67
Σχήμα 8: Ιστόγραμμα μέσων τιμών αντοχής σε εγκάρσιο εφελκυσμό των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	69
Σχήμα 9: Ιστόγραμμα μέσων τιμών αντοχής σε εξαγωγή βίδας των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	72
Σχήμα 10: Ιστόγραμμα μέσων τιμών μέτρου θραύσης σε στατική κάμψη των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	75
Σχήμα 11: Ιστόγραμμα μέσων τιμών μέτρου ελαστικότητας σε στατική κάμψη των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	78
Σχήμα 12: Ιστόγραμμα μέσων τιμών περιεχόμενης φορμαλδεΐδης (αναγόμενης στο 6,5% υγρασίας) των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	80
Σχήμα 13: Ιστόγραμμα μέσων τιμών διόγκωσης (24h/48h) των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	84
Σχήμα 14: Ιστόγραμμα μέσων τιμών προσρόφησης νερού (24h/48h) των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	88
Σχήμα 15: Ιστόγραμμα μέσων τιμών μόνιμης κατά πάχος διόγκωσης των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	90
Σχήμα 16: Ιστόγραμμα μέσων τιμών ισοδύναμης υγρασίας των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	91

## 9.2 ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1: Απορρίμματα ξύλου (Auburn Machinery, 2003) .....	9
Εικόνα 2: Σχηματική παράσταση των φάσεων παραγωγής μοριοπλάκας.....	10
Εικόνα 3: Πιλοτική γραμμή ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων από ξυλοπλάκες με τη μεθοδολογία των Michanicki και Boehme στο Γερμανικό ερευνητικό Ινστιτούτο WKI ( <a href="http://www.wki.fraunhofer.de">http://www.wki.fraunhofer.de</a> , 2003).....	14
Εικόνα 4: Διαδικασία παραγωγής μοριοπλακών από παλιά έπιπλα και υπολείμματα παραγωγής ξυλοπλακών με ανακύκλωση (Boehme και Michanicki, 1998) .....	14
Εικόνα 5: Ροή σταδίων ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων από παλιές μοριοπλάκες (Boehme και Michanicki, 1998) .....	15
Εικόνα 6: Ροή ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων (Hesch 2002) .....	16
Εικόνα 7: Εγκαταστάσεις άτμισης πριστής ξυλείας.....	24
Εικόνα 8: Σχηματική διαδικασία παραγωγής καμπύλων στοιχείων με άτμιση. 1. Πριστή ξυλεία, 2. Πρίση, 3. Άτμιση, 4. Κάμψη, 5. Ξήρανση, 6. Βαφή, 7. Φινίρισμα (Ratti, 1983) .....	25
Εικόνα 9: Απώλεια βάρους ξύλου <i>Picea abies</i> μετά από έκθεση σε διάφορες θερμοκρασίες για 24 ώρες (Φιλίππου, 1986).....	28
Εικόνα 10: Κόσκινο τύπου Allgaier.....	35
Εικόνα 11: Ξηραντήριο ξυλοτεμαχιδίων .....	36
Εικόνα 12: Εμπρόσθια όψη του αναμικτήρα. Διακρίνεται το πιστόλι ψεκασμού της συγκολλητικής ουσίας και η είσοδος-έξοδος του υλικού.....	36
Εικόνα 13: Πλάγια όψη του αναμικτήρα. Διακρίνεται το δοχείο τροφοδοσίας μίγματος συγκολλητικής ουσίας (Α), ο ρυθμιστής πίεσης αέρα (Β) και ο διακόπτης λειτουργίας (Γ) .....	37
Εικόνα 14: Το πιστόλι ψεκασμού της συγκολλητικής ουσίας και οι αγωγοί αέρα (κόκκινο) και συγκολλητικής ουσίας (διαφανές).....	37
Εικόνα 15: Θερμαινόμενη εργαστηριακή πρέσα.....	38
Εικόνα 16: Σχέδιο της συσκευής υδροθερμικού χειρισμού (Α. Πίνακας Ελέγχου, Β. Αντιδραστήρας, Γ. Μονάδα παραγωγής ατμού.....	39
Εικόνα 17: Τα βασικά μέρη της συσκευής υδροθερμικού χειρισμού.....	40
Εικόνα 18: Ο Πίνακας ελέγχου .....	42
Εικόνα 19: Αντιδραστήρας .....	42
Εικόνα 20: Κάδος υλικού .....	42

Εικόνα 21:Αντιδραστήρας (αριστερά: όργανο μέτρησης πίεσης, δεξιά: όργανο μέτρησης θερμοκρασίας, κέντρο: βαλβίδα ασφαλείας).....	43
Εικόνα 22:Όργανο μέτρησης πίεσης .....	43
Εικόνα 23:Όργανο μέτρησης θερμοκρασίας.....	43
Εικόνα 24:Η μονάδα παραγωγής ατμού.....	44
Εικόνα 25:Ο δείκτης στάθμης νερού της ατμοπαραγωγού μονάδας .....	45
Εικόνα 26:Κόσκινο τύπου δονητή για κοκκομετρική ανάλυση .....	45
Εικόνα 27:Δυναμόμετρο για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων .....	46
Εικόνα 28:Μικρόμετρο μέτρησης πάχους.....	46
Εικόνα 29:Κλίβανος τύπου Binder.....	47
Εικόνα 30:Φασματοφωτόμετρο για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης φορμαλδεΐδης .....	47
Εικόνα 31:Συσκευή Perforator για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης φορμαλδεΐδης .....	48
Εικόνα 32:Θάλαμος κλιματισμού για τον προσδιορισμό της ισοδύναμης υγρασίας .....	48
Εικόνα 33:Στρωμάτωση – Προπίεση – Στρωματωμένου υλικού .....	50
Εικόνα 34:Τοποθέτηση υλικού στην πρέσα - κλείσιμο πρέσας .....	51
Εικόνα 35:Τοποθέτηση των προς υδροθερμικό χειρισμό μοριοπλακών στον διάτρητο κάδο.....	52
Εικόνα 36:Διάγραμμα υδροθερμικών χειρισμών για την 1 <sup>η</sup> και 2 <sup>η</sup> ανακύκλωση πλακών .....	53
Εικόνα 37:Δειγματοληψία δοκιμίων για προσδιορισμό του μέτρου θραύσης σε κάμψη του μέτρου ελαστικότητας σε κάμψη (αριθμοί 1-15) και της περιεχόμενης φορμαλδεΐδης (HCHO) .....	55
Εικόνα 38:Δειγματοληψία δοκιμίων για προσδιορισμό της αντοχής σε εγκάρσιο εφελκυσμό, αντοχής σε εξαγωγή βίδας, διόγκωσης μετά από εμβάπτιση σε νερό. Τα κεντρικά μέρη αναπαριστούν την περιοχή θραύσης μετά τα τεστ κάμψης.....	55
Εικόνα 39:Θραύση δοκιμίου μετά από τεστ αντοχής σε εγκάρσιο εφελκυσμό .....	58
Εικόνα 40:Διαίρεση του υλικού για τον προσδιορισμό της χωρικής πυκνότητας.....	60
Εικόνα 41:Συσσωματώματα ξυλοτεμαχιδίων μετά την ανάκτησή τους με υδροθερμικό χειρισμό μοριοπλακών.....	62

Εικόνα 42:Αριστερά: Μοριοπλάκα μάρτυρας, Δεξιά: Ανακυκλωμένη μοριοπλάκα .....	93
---	----

### 9.3 ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1:Τεχνικές ιδιότητες και τιμές έκλυσης φορμαλδεΐδης βιομηχανικών μοριοπλακών από φρέσκα και ανακτημένα ξυλοτεμαχίδια (Michanicki, 1996A).....	18
Πίνακας 2:Τεχνικές ιδιότητες και τιμές έκλυσης φορμαλδεΐδης μοριοπλακών παραγωγής 1964 και μοριοπλακών που προέκυψαν με ανακύκλωση αυτών. (Michanicki, 1996B, Michanicki και Boehme 1996).....	19
Πίνακας 3:Ιδιότητες ανακυκλωμένων εργαστηριακών μοριοπλακών σε σύγκριση με εργαστηριακές και βιομηχανικές μοριοπλάκες από φρέσκα ξυλοτεμαχίδια (Boehme και Michanicki, 1998).....	20
Πίνακας 4:Πίεση και θερμοκρασία ατμού σε κατάσταση κορεσμού (Πίνακας θερμοκρασίας) (Πάττας, 1978) .....	22
Πίνακας 5:Πίεση και θερμοκρασία ατμού σε κατάσταση κορεσμού (Πίνακας πίεσης) (Πάττας, 1978).....	23
Πίνακας 6:Επίδραση θερμικών χειρισμών στην υγροσκοπικότητα συστατικών του ξύλου (Nikitin, 1966) .....	29
Πίνακας 7:Επίδραση των θερμικών χειρισμών ξύλου ελάτης στην υγροσκοπικότητα των μοριοπλακών από ξύλο ελάτης (Nikitin, 1966) .....	29
Πίνακας 8:Επίδραση υδροθερμικών χειρισμών διάρκειας 10 λεπτών στην οξύτητα ξυλοτεμαχιδίων ξύλου Akamatsu (Pinus densiflora) (Sekino, Inoue και Irle 1998).....	32
Πίνακας 9:Ιδιότητες της συγκολλητικής ουσίας ουρίας-φορμαλδεΐδης .....	34
Πίνακας 10: Συνθήκες υδροθερμικού χειρισμού των πλακών.....	53
Πίνακας 11: Παράμετροι παραγωγής εργαστηριακών μοριοπλακών.....	54
Πίνακας 12: Κλασματική ανάλυση των ξυλοτεμαχιδίων που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	61
Πίνακας 13: Τιμές χωρικής πυκνότητας του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	63
Πίνακας 14: t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της χωρικής πυκνότητας του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	63

Πίνακας 15:	Τιμές πυκνότητας των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	66
Πίνακας 16:	Τιμές πάχους των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	67
Πίνακας 17:	Τιμές αντοχής σε εγκάρσιο εφελκυσμό των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	68
Πίνακας 18:	t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της αντοχής σε εγκάρσιο εφελκυσμό των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	68
Πίνακας 19:	Τιμές αντοχής σε εξαγωγή βίδας των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	71
Πίνακας 20:	t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της αντοχής σε εξαγωγή βίδας των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	71
Πίνακας 21:	Τιμές μέτρου θραύσης σε στατική κάμψη των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	74
Πίνακας 22:	t - test σύγκρισης των μέσων τιμών του μέτρου θραύσης σε στατική κάμψη των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	74
Πίνακας 23:	Τιμές μέτρου ελαστικότητας σε στατική κάμψη των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	77
Πίνακας 24:	t - test σύγκρισης των μέσων τιμών του μέτρου ελαστικότητας σε στατική κάμψη των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	77
Πίνακας 25:	Τιμές περιεχόμενης φορμαλδεΐδης και περιεχόμενης φορμαλδεΐδης αναγόμενης στο 6,5% υγρασίας των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	80
Πίνακας 26:	Τιμές κατά πάχους διόγκωσης 24h των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	82
Πίνακας 27:	t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της διόγκωσης 24h των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	82
Πίνακας 28:	Τιμές κατά πάχους διόγκωσης 48h των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	83
Πίνακας 29:	t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της διόγκωσης 48h των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	83
Πίνακας 30:	Τιμές προσρόφησης νερού 24h των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	86
Πίνακας 31:	t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της προσρόφησης νερού 24h των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	86
Πίνακας 32:	Τιμές προσρόφησης νερού 48h των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	87

Πίνακας 33: t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της προσρόφησης νερού 48h των εργαστηριακών μοριοπλακών.....	87
Πίνακας 34: Τιμές μόνιμης κατά πάχους διόγκωσης των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	89
Πίνακας 35: t - test σύγκρισης των μέσων τιμών της μόνιμης κατά πάχους διόγκωσης των εργαστηριακών μοριοπλακών .....	89
Πίνακας 36: Τιμές ισοδύναμης υγρασίας μετά από κλιματισμό των εργαστηριακών μοριοπλακών σε κλίμα 22°C/ 74% .....	91