

## ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΜΕ ΔΑΚΤΥΛΟΕΙΔΕΙΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ (FINGER JOINT) ΑΤΜΙΣΜΕΝΗΣ ΞΥΛΕΙΑΣ ΟΞΙΑΣ (*Fagus sylvatica*) ΜΙΚΡΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΗΣ ΞΥΛΕΙΑΣ

Σ. Καραστεργίου<sup>1</sup>, Β. Βασιλείου<sup>2</sup>, Ι. Μπαρμπούτης<sup>2</sup> και Α. Παπαδόπουλος<sup>1</sup>

1: ΤΕΙ Λάρισας, Παράρτημα Καρδίτσας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου – Επίπλου, Τ.Κ. 43100, Καρδίτσα, email: [karaso@teilar.gr](mailto:karaso@teilar.gr)

2: Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Τομέας Συγκομιδής και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων, Τ.Κ. 54124, Θεσσαλονίκη, email: [vass@for.auth.gr](mailto:vass@for.auth.gr)

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία μελετάται η αξιοποίηση ατμισμένης ξυλείας οξιάς μικρών διαστάσεων στην παραγωγή επικολλητής ξυλείας. Ειδικότερα μελετάται η αντοχή σε κάμψη της κατά μήκος συγκόλλησης με διαφορετικές δακτυλοειδείς συνδέσεις (Finger joints) ξυλείας οξιάς με εργαστηριακή παραγωγή. Εφαρμόστηκαν τέσσερις τύποι δακτυλοειδών συνδέσεων με μήκη δακτύλων 4 mm, 10 mm, 15 mm και 20 mm και συγκολλητική ουσία PVA κατηγορίας D1, εσωτερικών χώρων.

Η αντοχή σε κάμψη - μέτρο θραύσης όλων των συνδέσεων κυμάνθηκε από 65,5 N/mm<sup>2</sup> μέχρι 78,7 N/mm<sup>2</sup>, τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστά από 76,2 % μέχρι 90,8 % του μέσου μέτρου θραύσης του συμπαγούς ατμισμένου ξύλου χωρίς σύνδεση (87,1 N/mm<sup>2</sup>). Ο οριζόντιος προσανατολισμός των δακτύλων έδωσε λίγο μεγαλύτερο μέτρο θραύσης σε σχέση με τον κατακόρυφο προσανατολισμό δακτύλων. Η κατεύθυνση φόρτισης επηρεάζει σχετικά το ΜΘ (μεγαλύτερο στην ακτινική φόρτιση). Όλες οι συνδέσεις παρουσίασαν αυξημένο μέτρο ελαστικότητας από 21,4 % στους δακτύλους 4 mm, μέχρι 6,4 % στους δακτύλους των 20 mm. Η επίδραση του προσανατολισμού των δακτύλων και της κατεύθυνσης φόρτισης δεν επηρέασαν ομοιόμορφα το ΜΕ στα διάφορα μήκη δακτύλων. Γενικά συμπεραίνεται ότι οι αντοχές σε κάμψη όλων των συνδέσεων που δοκιμάστηκαν θεωρούνται εξαιρετικά ικανοποιητικές για τις απαιτήσεις της παραγωγής, ιδιαίτερα των μικρού μήκους δακτύλων των 4 mm και 10 mm για την παραγωγή επικολλητού ξύλου ατμισμένης οξιάς για την επιπλοποιία και την ξυλουργική.

**Λέξεις κλειδιά:** ατμισμένη ξυλεία οξιάς μικρών διαστάσεων, επικολλητή ξυλεία, δακτυλοειδής σύνδεση (finger joint), αντοχή σε κάμψη.

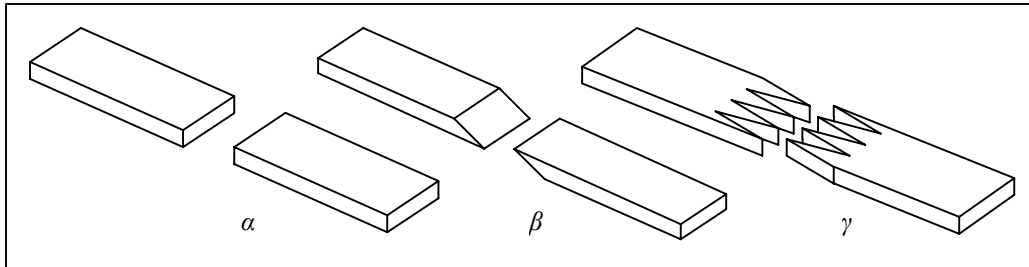
### **1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Η συνολική έκταση των βιομηχανικών δασών πλατυφύλλων ειδών στη χώρα μας ανέρχεται σε 1.929.576 ha, ενώ τα δάση της οξιάς καταλαμβάνουν έκταση 336.640 ha, δηλαδή ποσοστό 17,4 %. Το συνολικό ξυλαπόθεμα βιομηχανικής ξυλείας των δασών μας πλατυφύλλων ειδών ανέρχεται σε 60.757.651 m<sup>3</sup> και από αυτά τα 27.693.914 m<sup>3</sup>, δηλαδή ποσοστό 45,6 % είναι ξυλεία οξιάς. Η συνολική παραγωγή ξύλου των πλατυφύλλων φυλλοβόλων ειδών ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 2.320.000 m<sup>3</sup> το χρόνο, ενώ η ετήσια συνολική παραγωγή ξύλου οξιάς ανέρχεται σε 206.686 m<sup>3</sup> βιομηχανικό ξύλο και 327.801 τόνους καυσοξύλων (μ.ό. 1980 - 1985) (Υπ. Γεωργίας 1992, 1985). Οι ανάγκες της χώρας μας σε τεχνικό ξύλο οξιάς είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από την αντίστοιχη παραγωγή τεχνικού ξύλου των δασών μας, οι οποίες καλύπτονται με εισαγωγές μεγάλων ποσοτήτων ξυλείας.

Η γενική ανάγκη για χρησιμοποίηση τεχνικής ξυλείας μεγάλων σχετικά διαστάσεων με καλές μηχανικές αντοχές οδήγησε στη δημιουργία επικολλητού ξύλου. Το επικολλητό ή σύνθετο ξύλο παράγεται με τη συγκόλληση δύο ή περισσότερων στρώσεων ξύλου με τις ίνες πρακτικά παράλληλες και χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα ύπαρξης μεγάλου μήκους σε σχέση με το πάχος και το πλάτος με τις ίνες παράλληλα με το μήκος. Το επικολλητό ξύλο πλεονεκτεί στο ότι παράγεται σε διάφορα μεγέθη και σχήματα που δεν

μπορούν να παραχθούν λόγω διαστάσεων από μασίφ ξύλο, μπορεί να παραχθεί από ξυλεία μικρών διαστάσεων, έχει βελτιωμένη μηχανική αντοχή γιατί πραγματοποιείται ευκολότερα η ξήρανση και η αφαίρεση σφαλμάτων από τα συνθετικά μέρη του και μπορεί να διαθέτει βελτιωμένη διάρκεια λόγω καλύτερου εμποτισμού των συνθετικών μερών του (Tsoumis, 1991, Pena, 1999).

Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τρόποι για κατά μήκος συγκόλληση ξυλείας οι κυριότεροι των οποίων δίνονται στο Σχήμα 1.1: (α) κατά μήκος σύνδεση των άκρων με εγκάρσια τομή (*butt joint*), (β) κατά μήκος σύνδεση των άκρων με λοξή τομή (*scarf joint*) και (γ) κατά μήκος σύνδεση των άκρων με δακτυλοειδή τομή (*finger joint*).



Σχήμα 1.1. Διάφοροι τρόποι κατά μήκος συγκόλλησης ξυλοτεμαχιών: α: με κάθετες επιφάνειες (*butt joint*), β: με κεκλιμένες επιφάνειες (*scarf joint*), και γ: με δακτυλοειδή μορφή (*finger joint*).

Figure 1.1. Various types of end jointed wood: α: butt joint, β: scarf joint, and γ: finger joint.

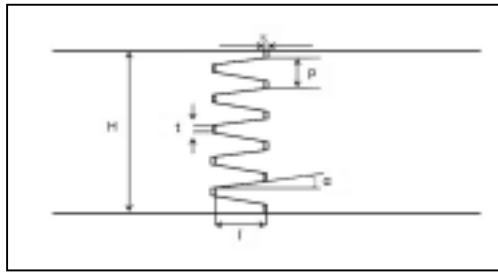
Αρκετοί τρόποι σύνδεσης κατά μήκος πριστών τεμαχιών έχουν σχεδιαστεί, εφαρμοστεί και απορριφθεί εξαιτίας είτε της δυσκολίας δημιουργίας και συγκόλλησής τους είτε διότι παρουσίασαν χαμηλές μηχανικές αντοχές. Παρατηρήθηκε ότι κατά μήκος συγκολλημένο ξύλο με κάθετες επιφάνειες (*butt joint*) παρουσίασε χαμηλή μηχανική αντοχή (River 1994). Γενικά όταν η συγκολλημένη επιφάνεια είναι κάθετη προς την κατεύθυνση των ινών του ξύλου το συγκολλημένο ξύλο παρουσιάζει χαμηλές μηχανικές αντοχές (Smardzewski, 1996, Hernandez, 1998). Το συγκολλημένο κατά μήκος ξύλο με λοξές επιφάνειες (*scarf joint*) παρουσιάζει καλύτερες μηχανικές αντοχές σε σχέση με το συγκολλημένο φύλο με κάθετες επιφάνειες, αλλά υπάρχουν δυσκολίες κατά τη συμπίεσή του σε βιομηχανική παραγωγή (Koch, 1972).

Η έρευνα της κατά μήκος συγκόλλησης με δακτυλοειδή σύνδεση (*finger joint*) ξεκίνησε από το 1950 (Hernandez, 1998) και η παραγωγή του σε βιομηχανική κλίμακα ξεκίνησε τη δεκαετία του 1960, αντικαθιστώντας τις συνδεσμολογίες με κεκλιμένες επιφάνειες (Selbo 1963). Η μορφή των δακτύλων στις συνδέσεις αυτού του τύπου μπορεί να είναι κεκλιμένη ή απλή. Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής του συγκολλημένου ξύλου, τα δόντια μπορεί να βρίσκονται στην άνω ή στην πλαϊνή επιφάνεια ή σε κεκλιμένο επίπεδο (Jokerst, 1981).

Το μέγεθος των δακτύλων που έχουν δοκιμασθεί ποικίλει από 3 mm έως 80 mm. Δάκτυλοι με μήκος 3 mm μέχρι 7 mm χρησιμοποιήθηκαν για επικολλητή ξυλεία που θα κατεργαστεί στην επιλοποιία (Murphey, 1972). Ο Selbo (1963) μελέτησε την επίδραση της γεωμετρίας των δοντιών στην αντοχή σε εφελκυσμό σε δόντια μήκους από 7.4 mm έως 80 mm. Τα αποτελέσματα σε όλες τις περιπτώσεις παρουσίασαν ότι το επικολλητό ξύλο διαθέτει το 60 % έως 85% της αντοχής του συμπαγούς (μασίφ) ξύλου. Εκτός από το μήκος των δακτύλων, η γεωμετρία των δακτύλων και το μέγεθος της ασκούμενης πίεσης επηρεάζουν την αντοχή του επικολλητού ξύλου. Σήμερα, σε βιομηχανική παραγωγή το μήκος των δακτύλων φτάνει συνήθως μέχρι τα 20 mm (Selbo 1963).

Οι τρεις βασικοί συντελεστές παραγωγής που εμπλέκονται στην τεχνολογία κατασκευής της κατά μήκος συγκολλημένης ξυλείας με δακτυλοειδή μορφή και επηρεάζουν τις ιδιότητές της είναι το είδος του ξύλου, η συγκολλητική ουσία και η μορφολογία της παραγόμενης γκοπής. Βασικά χαρακτηριστικά του ξύλου αποτελούν η δομή του (πρώιμο, όψιμο, ανώριμο ξύλο, ελαττώματα δομής), η πυκνότητα και η περιεχόμενη υγρασία. Η πυκνότητα επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη συγκόλληση. Ξύλα με υψηλή πυκνότητα και άρα λιγότερους κενούς χώρους, συγκολλούνται δυσκολότερα σε σχέση με ξύλα χαμηλής πυκνότητας (Tsoumis, 1991). Η υγρασία τη στιγμή της συγκόλλησης δεν συνίσταται να είναι μεγαλύτερη από 15 %, ενώ μεταξύ γειτονικών στρώσεων δεν πρέπει να διαφέρει πάνω από 3 % (Marra, 1992). Ο Tsoumis (1991) αναφέρει ως κατάλληλη περιεχόμενη υγρασία του ξύλου όταν πραγματοποιείται ψυχρή συγκόλληση 8 - 12 %. Ο δεύτερος συντελεστής παραγωγής είναι η συγκολλητική ουσία. Το είδος και το

ποσοστό της συγκολλητικής ουσίας επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τις ιδιότητες της συγκολλημένης ξυλείας (Tsoumis, 1991, Pena, 1998). Ο τρίτος συντελεστής παραγωγής είναι η γεωμετρία της παραγόμενης εγκοπής (προφίλ), η οποία περιγράφεται από τα εξής βασικά χαρακτηριστικά των δακτύλων: το μήκος ( $l$ ), το βήμα ( $p$ ), το πάχος της κορυφής ( $t$ ) και τη γωνία ( $\alpha$ ) (Σχήμα 1.2). Από αυτά, το πάχος του δακτύλου θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας όσον αφορά τη μηχανική συμπεριφορά της τομής (Hernandez, 1998, Jokerst, 1981). Ο Selbo (1963), αναφέρει ότι αύξηση κατά 50% του πάχους του δακτύλου προκάλεσε μία αύξηση της τάξεως του 100% στις μηχανικές ιδιότητες της σύνδεσης, ενώ αύξηση κατά 40% του βήματος του δακτύλου προκάλεσε μία αύξηση της τάξεως μόνο του 40% στις μηχανικές ιδιότητες της σύνδεσης.



Σχήμα 1.2. Γεωμετρία της δακτυλοειδούς μορφής σύνδεσης.  
Figure 1.2. Geometry of finger end joint.

Μέχρι σήμερα, στην Ευρώπη και στη β. Αμερική τόσο η έρευνα όσο και η βιομηχανική παραγωγή είναι προσανατολισμένες στην αξιοποίηση κωνοφόρων ειδών ξύλων, κυρίως για την παραγωγή δομικής επικολλητής ξυλείας. Το ξύλο των πλατυφύλλων και ειδικά της οξιάς έχει συγκεντρώσει πολύ μικρό ενδιαφέρον ερευνητικό και βιομηχανικό. Σήμερα, το ξύλο της οξιάς χρησιμοποιείται κυρίως σε μη δομικές εφαρμογές και αποτελεί βασική πρώτη ύλη πολλών προϊόντων επιπλοποιίας και ξυλουργικής, κυρίως ως ατμισμένη ξυλεία. Η ανάγκη για καλύτερη αξιοποίηση του ξύλου, τόσο των μικρών διαμέτρων δέντρων νέων φυτειών, όσο και μεγάλων διαμέτρων δέντρων υποβαθμισμένης ποιότητας (λόγω ροζοβρίθειας, μεταχρωματισμένου εγκάρδιου, κλπ), τα οποία δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή πριστών και ξυλοφύλλων, έστρεψε τελευταία το ενδιαφέρον στην παραγωγή επικολλητού ξύλου οξιάς (Aicher, 2001). Έρευνα σχετική με την παραγωγή επικολλητού ξύλου με δακτυλοειδείς συνδέσεις, για την αξιοποίηση ατμισμένης ξυλείας οξιάς δε βρέθηκε.

Η άτμιση του ξύλου της οξιάς (*Fagus orientalis*) διαπιστώθηκε ότι μειώνει την αντοχή και τις φυσικές ιδιότητες του ξύλου και επηρεάζει τη χημική σύσταση και συμπεριφορά του ξύλου (μειώνει τις ημικυτταρίνες, αυξάνει τη λιγνίνη και την αλκαλικότητα του ξύλου (από 4,73 σε 5,28). Μετρήθηκε μείωση του μέτρου θραύσης περίπου κατά 10 % (διαφορετικής διάρκειας άτμιση), του μέτρου ελαστικότητας μέχρι 16,5 % (100 ώρες άτμισης στους 80°) (Yilgor, 2001).

Η κατά μήκος συγκόλληση του ξύλου της οξιάς (*Fagus sylvatica*) για την παραγωγή δομικής επικολλητής ξυλείας μελετήθηκε από τον Pena (1999), ο οποίος εξέτασε την επίδραση της γεωμετρίας της παραγόμενης εγκοπής στην αντοχή σε κάμψη. Χρησιμοποιήθηκαν δάκτυλοι μήκους 12 mm και 9 mm. Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν ότι το μέτρο ελαστικότητας της επικολλητής ξυλείας δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τις παραπάνω παραμέτρους και κυμάνθηκε στα επίπεδα των τιμών του συμπαγούς ξύλου. Αντίθετα, το μέτρο θραύσης παρουσίασε ισχυρή μείωση (50%) σε σύγκριση με το συμπαγές ξύλο, ενώ μεταξύ των δύο προφίλ δακτύλων δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά.

Οι Aicher et al (2001) μελέτησαν την αντοχή σε εφελκυσμό επικολλητού ξύλου οξιάς (*Fagus sylvatica*) με δακτυλοειδή σύνδεση. Κατασκεύασαν επικολλητό ξύλο με μήκος δακτύλων 20 mm, συγκολλητική ουσία μελαμίνη και διαπίστωσαν αντοχή των δακτυλοειδών συνδέσεων σε εφελκυσμό  $70 \pm 11 \text{ N/mm}^2$ . Διαπίστωσαν επίσης ότι η απόκλιση των ινών από την ευθυτένεια επιδρά αρνητικά στην αντοχή σε εφελκυσμό και αποτελεί σοβαρό πρόβλημα καθώς δεν μπορεί να ανιχνευθεί εκ των προτέρων. Σχέση μεταξύ πυκνότητας ξύλου και αντοχής συνδέσεων δεν επιβεβαιώθηκε.

## 2. ΣΚΟΠΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της αξιοποίησης ατμισμένης ξυλείας οξιάς μικρών διαστάσεων στην παραγωγή επικολητής ξυλείας. Ειδικότερα, μελετήθηκε η αντοχή σε κάμψη της κατά μήκος συγκόλλησης με διαφορετικές δακτυλοειδείς συνδέσεις (finger - joints) ξυλείας οξιάς. Παρουσιάζονται προκαταρκτικά αποτελέσματα ευρύτερου ερευνητικού προγράμματος μελέτης της αξιοποίησης ελληνικών ειδών ξύλων μικρών διαστάσεων στην εργαστηριακή παραγωγή επικολητής ξυλείας με κατά μήκος συγκόλληση δακτυλοειδούς τύπου σύνδεσης.

### 3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τη διεξαγωγή της μελέτης χρησιμοποιήθηκε ατμισμένη ξυλεία οξιάς (*Fagus sylvatica*) από την περιοχή των Γρεβενών, η οποία τεμαχίστηκε σε πριστά διατομής 5 cm x 3 cm και μήκους 40 cm. Κατά την παραγωγή των πριστών ελήφθη μέριμνα ώστε τα άκρα αυτών να είναι απαλλαγμένα από ρόζους ή άλλα ελαττώματα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου EN 385/2001. Κατόπιν το υλικό κλιματίστηκε για την εξομοίωση της περιεχόμενης υγρασίας του (θερμοκρασία 20° C, σχετική υγρασία 65%, συνθήκες που αντιστοιχούν σε περιεχόμενη υγρασία ξύλου περί το 10 - 12 %). Ακολούθως, στα εγκάρσια άκρα των πριστών αυτών έγινε διαμόρφωση δακτυλοειδών εγχοπών με την χρήση τεσσάρων μορφών κοπτικών εργαλείων με τα χαρακτηριστικά του Πίνακα 3.1.

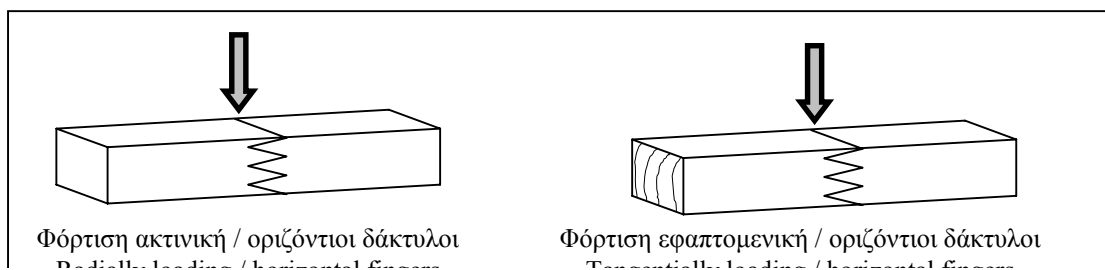
Κατόπιν τα διαμορφωθέντα πριστά τεμαχίστηκαν στο μέσον του μήκους τους ώστε να σχηματισθούν τα δύο μέλη της δακτυλοειδούς σύνδεσης. Για την συγκόλληση των διαμορφωθέντων δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε συγκολλητική ουσία PVA (*Polyvinyl Acetate*) κατηγορίας D1 για εσωτερικούς χώρους - περιεχόμενης υγρασίας ξύλου < 15% (EN 204/2001). Η εφαρμογή της συγκολλητικής ουσίας έγινε με πινέλο στο ένα μέλος της δακτυλοειδούς σύνδεσης και ακολούθως εφαρμόστηκε σταθερή πίεση για 60 sec.

Πίνακας 3.1. Χαρακτηριστικά δακτυλοειδών εγχοπών που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία.

Table 3.1. Fingers configuration used in research.

Χαρακτηριστικά δακτύλων Fingers configuration	Τιμές - Values			
Μήκος - Length (l) (mm)	4	10	15	20
Βήμα - Pitch (p) (mm)	1.6	3.8	3.8	6.2
Πάχος κορυφής - Tip (t) (mm)	0.4	0.16	0.11	0.16
Γωνία - Angle (α°)	12,0	11,0	7,5	9,0

Μετά από κλιματισμό του συγκολλημένου υλικού για 24 ώρες, παρήχθησαν δοκίμια διαστάσεων 20 mm x 20 mm x 360 mm για τον έλεγχο της αντοχής της δακτυλοειδούς σύνδεσης σε στατική κάμψη σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 10983/1999 και DIN 52186/1978. Για κάθε μορφή δακτυλοειδούς σύνδεσης μελετήθηκαν η επίδραση της κατεύθυνσης φόρτισης σε σχέση με τον προσανατολισμό των δακτυλοειδών εγχοπών και σε σχέση με τον προσανατολισμό των αυξητικών δακτυλίων (Σχήμα 3.1). Ο προσδιορισμός της αντοχής σε κάμψη έγινε σε 15 δοκίμια για κάθε χειρισμό (EN 385/2001). Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 240 δοκίμια. Επιπλέον προσδιορίστηκε η αντοχή σε στατική κάμψη και σε δοκίμια στα οποία δε διαμορφώθηκε δακτυλοειδής σύνδεση. Ο προσδιορισμός έγινε σε 15 δοκίμια σε φόρτιση εφαπτομενική ως προς τους αυξητικούς δακτυλίους και σε 15 δοκίμια σε φόρτιση ακτινική προς τους αυξητικούς δακτυλίους. Μετά την ολοκλήρωση των δοκιμών από τα δύο άκρα των δοκιμίων διαμορφώθηκαν δείγματα για τον προσδιορισμό της πυκνότητας και της περιεχόμενης υγρασίας. Η μέση πυκνότητα ήταν 0,66 (g/cm<sup>3</sup>) (τυπική απόκλιση 0,02) και η μέση περιεχόμενη υγρασία 10,9% (τυπική απόκλιση 0,201).





Σχήμα 3.1. Προσανατολισμός δακτυλοειδούς σύνδεσης και κατεύθυνσης φόρτισης στα δοκίμια.  
Figure 3.1. Orientation of finger joints and loading direction in samples.

#### 4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη για το μέτρο θραύσης δίνονται συνολικά στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Αντοχή σε κάμψη - Μέτρο Θραύσης της κατά μήκος συγκόλλησης με δακτυλοειδείς συνδέσεις ξυλείας οξιάς.

Table 4.1. Bending strength - MOR of the longitudinally glued with finger joints beech wood.

Προσανατολισμός δακτύλων σύνδεσης / Είδος φόρτισης Finger joint orientation / Loading direction	Πυκνότητα Ξύλου Wood density (g/cm <sup>3</sup> )	Μέτρο Θραύσης - MOR (N/mm <sup>2</sup> )				
		Ξύλο χωρίς σύνδεση Solid wood	Μήκος δακτύλου - Finger length (mm)			
			4	10	15	20
<b>Οριζόντιοι δάκτυλοι - Horizontal fingers</b>						
Φόρτιση ακτινική Radially loading	0,66 (0,02)	88,2* (9,0)	71,8 (7,2)	74,0 (7,2)	78,7 (8,6)	72,3 (12,4)
Φόρτιση εφαπτομενική Tangentially loading	0,66 (0,02)	86,0 (9,7)	70,9 (4,8)	72,7 (5,9)	78,1 (7,5)	72,6 (11,4)
Φόρτιση χωρίς προσανατολισμό	0,66 (0,02)	87,1 (9,2)	71,3 (6,0)	73,3 (6,3)	78,4 (7,9)	72,4 (11,4)
<b>Κατακόρυφοι δάκτυλοι - Vertical fingers</b>						
Φόρτιση ακτινική Radially loading	0,66 (0,02)	88,2 (9,0)	70,8 (8,3)	71,6 (10,6)	79,0 (6,4)	74,7 (9,2)
Φόρτιση εφαπτομενική Tangentially loading	0,66 (0,02)	86,0 (9,7)	65,5 (6,3)	71,0 (8,5)	70,1 (7,4)	73,3 (8,9)
Φόρτιση χωρίς προσανατολισμό	0,66 (0,02)	87,1 (9,2)	68,2 (7,6)	71,3 (9,3)	74,6 (8,2)	74,1 (8,8)

\* Μέσοι όροι τιμών 15 δοκιμών και σε παρένθεση η τυπική απόκλιση.

\* Mean values of 15 samples and standard deviation in parenthesis.

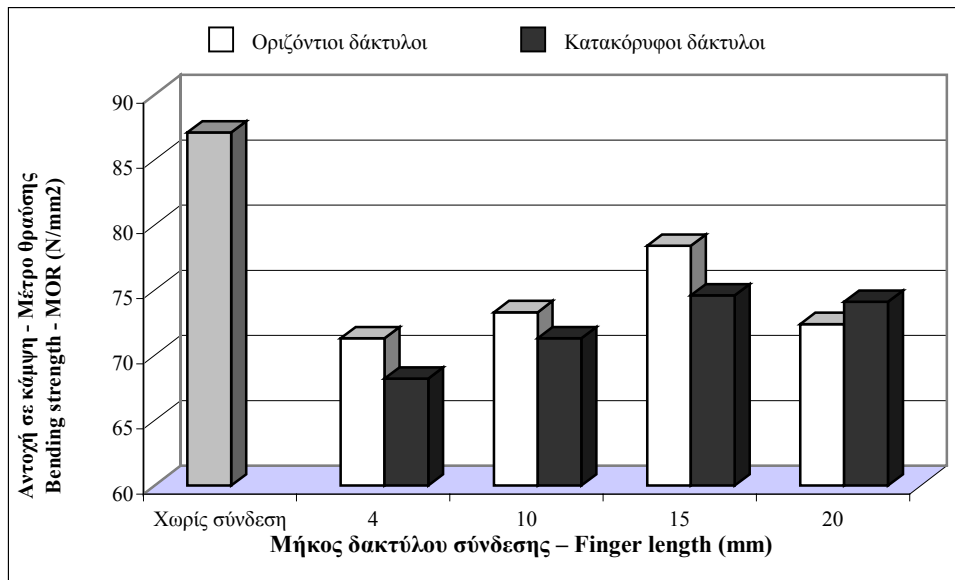
Όπως φαίνεται από τον ανωτέρω Πίνακα και οι τέσσερις τύποι δακτύλων που χρησιμοποιήθηκαν έδωσαν μέσο μέτρο θραύσης που κυμάνθηκε από 65,5 N/mm<sup>2</sup> το ελάχιστο, μέχρι 78,7 N/mm<sup>2</sup> το μέγιστο, τιμές

που αντιστοιχούν σε ποσοστά 76,2 % μέχρι 90,8 % του μέσου μέτρου θραύσης του συμπαγούς ξύλου χωρίς σύνδεση. Διαπιστώνεται κατ' αρχήν ότι, αύξηση του μήκους δακτύλου σύνδεσης από 4mm μέχρι 15mm συνεπάγεται καλύτερη αντοχή και αύξηση του μέτρου θραύσης, ενώ το μήκος δακτύλων των 20mm, που δοκιμάστηκε έδωσε μέτρο θραύσης ελαφρά μικρότερο από το μήκος δακτύλων των 15mm, αλλά μεγαλύτερο από το μέτρο θραύσης των δακτύλων 10mm μήκους.

Διαπιστώνεται επίσης ότι η διακύμανση του μέτρου θραύσης είναι μικρότερη στους μικρούς δακτύλους και μεγαλώνει με το μήκος των δακτύλων από το μήκος των 4mm (μέση τυπική απόκλιση 6,8) μέχρι το μήκος των 20mm (μέση τυπική απόκλιση 10,1). Είναι δε αξιοσημείωτο ότι η διακύμανση του μέτρου θραύσης είναι μικρότερη του αντίστοιχου μέτρου θραύσης του συμπαγούς ξύλου (μέση τυπική απόκλιση 9,2) σε όλα τα μήκη των δακτύλων με εξαίρεση το μήκος δακτύλων των 20mm που έδωσε διακύμανση ανάλογη του συμπαγούς ξύλου.

Γενικά, διαπιστώνεται ότι οι τιμές αντοχής όλων των συνδέσεων που δοκιμάστηκαν θεωρούνται εξαιρετικά ικανοποιητικές για τις απαιτήσεις της παραγωγής, ιδιαίτερα δε αυτές των μικρών δακτύλων, μήκους 4mm και 10mm, οι οποίες και χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή επικολητής ξυλείας οξιάς επιπλοποιίας και ξυλουργικής. Αν συνεκτιμήσουμε και το γεγονός ότι ο βαθμός δυσκολίας παραγωγής στην πράξη των δακτυλοειδών εγκοπών μεγαλώνει με το μήκος των δακτύλων (θραύσεις δακτύλων, δυσκολότερη συγκόλληση, κτλ.), συμπεραίνουμε ότι τα μικρά μήκη δακτύλων των 4mm και 10mm, εξασφαλίζουν συνδέσμους με πολύ καλή αντοχή σε κάμψη - μέτρο θραύσης και ευκολότερα σε σχέση με τα μεγάλα μήκη δακτύλων των 15mm και 20mm, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την παραγωγή δομικής επικολητής ξυλείας οξιάς εσωτερικών χώρων.

Η επίδραση του προσανατολισμού των δακτύλων σύνδεσης, σε σχέση με την κατεύθυνση εφαρμογής του φορτίου, στην αντοχή σε κάμψη, στο μέτρο θραύσης φαίνεται στο Σχήμα 4.1.

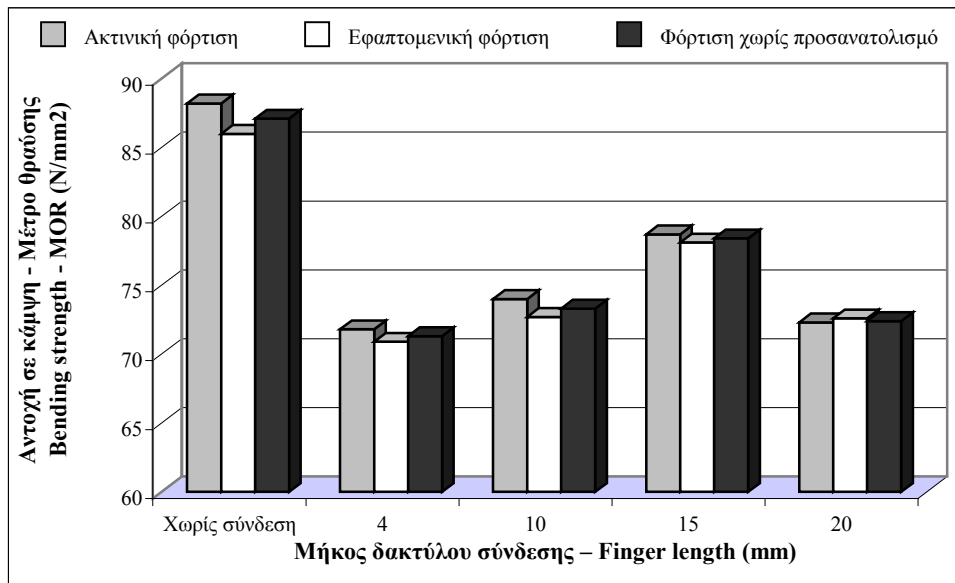


Σχήμα 4.1. Επίδραση του προσανατολισμού των δακτύλων σύνδεσης στην κάμψη - Μέτρο θραύσης.  
Figure 4.1. Effect of finger joints orientation on bending strength – MOR.

Διαπιστώνεται ότι δάκτυλοι οριζόντια προσανατολισμένοι εμφανίζουν σταθερά κατά μέσο όρο μεγαλύτερο μέτρο θραύσης σε σχέση με του δάκτυλους που είναι κατακόρυφα προσανατολισμένοι, σε όλα τα μήκη δακτύλων, με εξαίρεση το μεγαλύτερο μήκος δακτύλων των 20mm, το οποίο παρουσίασε μεγαλύτερο μέτρο θραύσης στους κατακόρυφα προσανατολισμένους δακτύλους (κατά 2,3 %). Οι διαφορές ήταν αντίστοιχα 4,4 % στο μήκος των 4mm, 2,7 % στο μήκος των 10mm και 4,8 % στο μήκος δακτύλων των 15mm). Η αναμενόμενη αυτή διαπίστωση, αφού στον οριζόντιο προσανατολισμό των δακτύλων καταπονείται κυρίως το ξύλο των δακτύλων ενώ στον κατακόρυφο προσανατολισμό των

δακτύλων καταπονείται κυρίως η συγκολλητική ουσία, επηρεάζει ανάλογα τον προσανατολισμό των συγκολλημένων ξύλινων στοιχείων κατά την παραγωγή της επικολλητής ζυλείας.

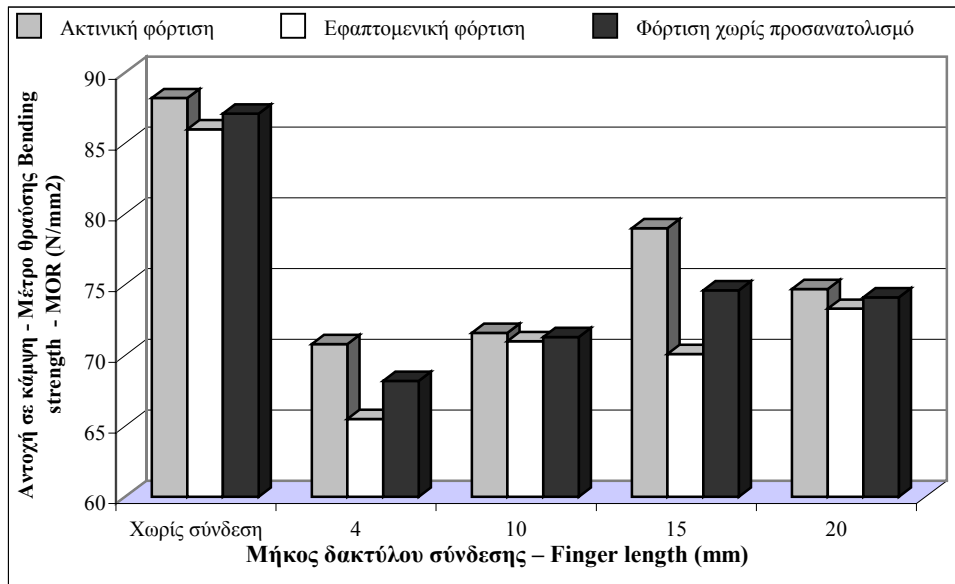
Η επίδραση της κατεύθυνσης εφαρμογής του φορτίου στην αντοχή σε κάμψη στο μέτρο θραύσης, όταν ο προσανατολισμός των δακτύλων σύνδεσης είναι οριζόντιος, φαίνεται στο Σχήμα 4.2. Διαπιστώνεται ότι όταν η φόρτιση είναι καθαρά ακτινική σε σχέση με την κατεύθυνση των αυξητικών δακτυλίων, το μέτρο θραύσης εμφανίζεται ελαφρά μεγαλύτερο σε σχέση με την εφαπτομενική φόρτιση (από 0,8% μέχρι 1,3%). Επιβεβαιώνεται δηλαδή η ανάλογη συμπεριφορά του συμπαγούς ξύλου οξιάς που παρουσιάζει μεγαλύτερο μέτρο θραύσης σε ακτινική φόρτιση σε ποσοστό 2,5 %.



Σχήμα 4.2. Επίδραση του είδους φόρτισης με οριζόντιο προσανατολισμό δακτύλων στην κάμψη - Μέτρο θραύσης.

Figure 4.2. Effect of loading direction in horizontal fingering on bending strength – MOR.

Αντίστοιχα, η επίδραση της κατεύθυνσης εφαρμογής του φορτίου στην αντοχή σε κάμψη, στο μέτρο θραύσης, όταν ο προσανατολισμός των δακτύλων σύνδεσης είναι κατακόρυφος, φαίνεται στο Σχήμα 4.3. Και εδώ διαπιστώνεται ότι όταν η φόρτιση είναι καθαρά ακτινική σε σχέση με την κατεύθυνση των αυξητικών δακτυλίων το μέτρο θραύσης είναι επίσης ελαφρά μεγαλύτερο σε σχέση με την εφαπτομενική φόρτιση, από 0,7 % στο μήκος των 10 mm, 1,9 % στο μήκος των 20 mm, 7,5 % στο μήκος των 4 mm, μέχρι 11,3 % στο μήκος δακτύλων των 15 mm. Η επίδραση δηλαδή της κατεύθυνσης φόρτισης είναι σχετικά μεγαλύτερη όταν η κατεύθυνση των δακτύλων είναι οριζόντια στο συγκολλημένο δοκίμιο.



Σχήμα 4.3. Επίδραση του είδους φόρτισης με κατακόρυφο προσανατολισμό δακτύλων στην κάμψη - Μέτρο θραύσης.

Figure 4.3. Effect of loading direction in vertical fingering on bending strength – MOR.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη για το μέτρο ελαστικότητας δίνονται συνολικά στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2. Αντοχή σε κάμψη - Μέτρο Ελαστικότητας της κατά μήκος συγκόλλησης με δακτυλοειδείς συνδέσεις ξυλείας οξιάς.

Table 4.2. Bending strength - MOE of the longitudinally glued with finger joints beech wood.

Προσανατολισμός δακτύλων σύνδεσης / Είδος φόρτισης Finger joint orientation / Loading direction	Πυκνότητα Ξύλου Wood density (g/cm <sup>3</sup> )	Μέτρο Ελαστικότητας - MOE (N/mm <sup>2</sup> )				
		Ξύλο χωρίς σύνδεση Solid wood	Μήκος δακτύλου - Finger length (mm)			
			4	10	15	20
<b>Οριζόντιοι δάκτυλοι - Horizontal fingers</b>						
Φόρτιση ακτινική Radially loading	0,66	9.405,0* (1.150)	12.569,0 (1.274)	10.246,0 (1.596)	11.482,4 (1.777)	11.731,8 (1.486)
Φόρτιση εφαπτομενική Tangentially loading	0,66	9.449 (1.130)	11.107,0 (2.500)	12.167,1 (1.061)	11.963,1 (860)	10.414,2 (1.809)
Φόρτιση χωρίς προσανατολισμό	0,66	9.427,0 (1.110)	11.838,6 (2.067)	11.207,3 (1.640)	11.749,4 (1.324)	10.073,0 (1.731)
<b>Κατακόρυφοι δάκτυλοι - Vertical fingers</b>						
Φόρτιση ακτινική Radially loading	0,66	9.405,0 (1.150)	11.461,4 (2.438)	12.289,2 (1.821)	12.286,9 (1.048)	10.975,4 (2.050)
Φόρτιση εφαπτομενική Tangentially loading	0,66	9.449,0 (1.130)	12.431,3 (1.498)	9.881,4 (1.351)	9.837,6 (901)	11.452,7 (1.682)
Φόρτιση χωρίς προσανατολισμό	0,66	9.427 (1.110)	11.971,6 (2.003)	11.085,3 (1.989)	11.061,2 (1.576)	11.187,5 (1.857)

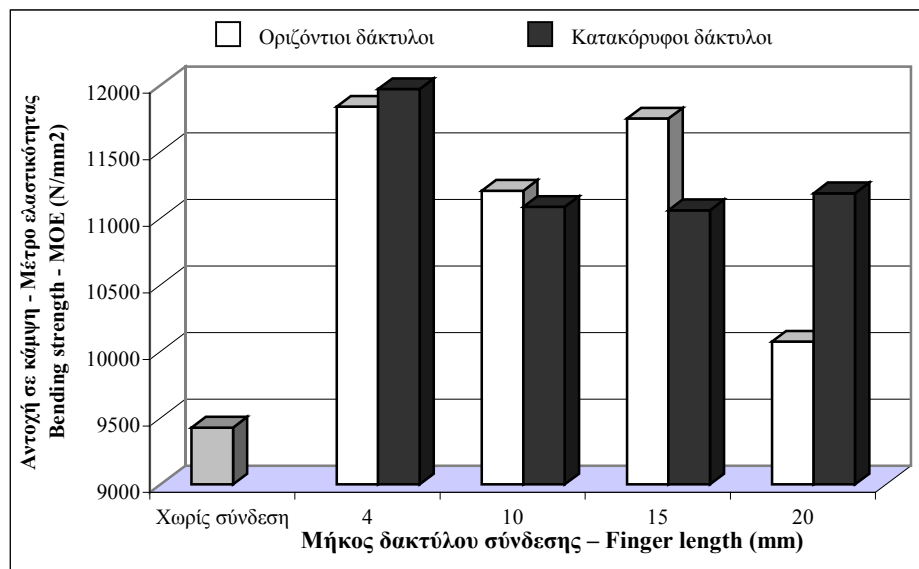
\* Μέσοι όροι τιμών 15 δοκιμών και σε παρένθεση η τυπική απόκλιση.

\* Mean values of 15 samples and standard deviation in parenthesis.



Γενικά διαπιστώνεται ότι από άποψη ελαστικότητας όλες οι συνδέσεις που μελετήθηκαν, σε όλα τα μήκη δακτύλων, ήταν σημαντικά καλύτερες σε σχέση με την αντίστοιχη ελαστικότητα του συμπαγούς ξύλου οξιάς. Κατά μέσο όρο το μέτρο ελαστικότητας αυξήθηκε σε σχέση με το συμπαγές ξύλο κατά 21,4% στο μήκος δακτύλων 4mm, 15,9% στο μήκος δακτύλων των 10mm, 19,9% στο μήκος των 15mm και 6,4% στο μήκος δακτύλων των 20mm. Αυτό εξηγείται μερικώς από την εξισορρόπηση των τάσεων που εξασφαλίζεται με τη συγκόλληση δύο τεμαχίων και από τη συμβολή της συγκολλητικής ουσίας στην ελαστικότητα. Αν και στη βιβλιογραφία δίνεται συνήθως ελαφρά μείωση του ΜΕ στις δακτυλοειδούς τύπου συνδέσεις σε σχέση με συμπαγές ξύλο, ανάλογες διαπιστώσεις αύξησης του μέτρου ελαστικότητας επικολητής ξυλείας δρυός σε σχέση με συμπαγή ξυλεία έγιναν και από τον Hwang (2001). Τεκμηριωμένη αξιολόγηση αυτής της αύξησης θα γίνει σε σύγκριση με τον έλεγχο του αντίστοιχου ΜΕ της σύνδεσης μη ατμισμένου ξύλου οξιάς.

Η επίδραση του προσανατολισμού των δακτύλων σύνδεσης σε σχέση με την κατεύθυνση εφαρμογής του φορτίου στην αντοχή σε κάμψη, στο μέτρο ελαστικότητας φαίνεται στο Σχήμα 4.4. Διαπιστώνεται ότι ο προσανατολισμός των δακτύλων σύνδεσης δεν επηρεάζει ομοιόμορφα το μέτρο ελαστικότητας σε όλα τα μήκη δακτύλων που μελετήθηκαν. Ενώ τα μήκη των 4mm και 20mm παρουσίασαν ελαφρά αύξηση του μέτρου ελαστικότητας στον κατακόρυφο προσανατολισμό των δακτύλων σύνδεσης σε σχέση με τον οριζόντιο (1,1% και 9,9%), τα μήκη των 10mm και 15mm παρουσίασαν αντίστοιχα ελαφρά μείωση (1,1% και 5,9%).



Σχήμα 4.4. Επίδραση του προσανατολισμού των δακτύλων σύνδεσης στην κάμψη - Μέτρο ελαστικότητας.

Figure 4.4. Effect of finger joints orientation on bending strength – MOE.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα βασικά συμπεράσματα της έρευνας αυτής είναι τα ακόλουθα:

- Ατμισμένη ξυλεία οξιάς μικρών διαστάσεων μπορεί να αξιοποιηθεί με κατά μήκος συγκόλληση με δακτυλοειδούς μορφής συνδέσεις (finger - joint) στην παραγωγή επικολητού ξύλου, για εφαρμογές επιπλοποιίας, ξυλουργικής και δομικών κατασκευών εσωτερικών χώρων.
- Τα μήκη δακτύλων 4mm και 10mm που χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή επικολητού ξύλου επιπλοποιίας έδωσαν πολύ καλές τιμές αντοχής σε κάμψη, μικρότερη διακύμανση του ΜΘ σε σχέση με την αντίστοιχη διακύμανση του ΜΘ συμπαγούς ξύλου.
- Τα μήκη δακτύλων 15mm και 20mm έδωσαν, επίσης, πολύ καλές τιμές αντοχής σε κάμψη, μεγαλύτερη από την αντίστοιχη των μικρών δακτύλων 4mm και 10mm και θεωρούνται πολύ καλές για την παραγωγή επικολητού ξύλου δομικών εφαρμογών.

- Τα οφέλη από την παραγωγή επικολητού ξύλου αμισμένης οξιάς προκύπτουν τόσο από την αξιοποίηση μικρότερων διαστάσεων πριστών (μικρές διαμέτροι κορμών, υπολείμματα κατεργασίας), τα οποία σήμερα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλης αξίας προϊόντα μεγάλων διαστάσεων, όσο και από την προσφορά ενός πολύ καλού ποιοτικού προϊόντος, απαλλαγμένου από σφάλματα (ρόζους, μεταχρωματισμούς, κτλ.), στις επιθυμητές διαστάσεις.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Aicher, S., L.Hoefflin and W.Behrens. (2001). A study on tension strength of finger joints in beech wood laminations. *Otto-Graf Journal*. Vol. 12:169-186.
- [2] DIN (1978). Testing of wood; bending test. Deutsches Institut fuer Normung.
- [3] EN 204. (2001). Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications. European Committee for Standardization. B-1050 Brussels.
- [4] EN 385. (2001). Finger jointed structural timber - Performance requirements and minimum production requirements. European Committee for Standardization. B-1050 Brussels.
- [5] Forest Products Laboratory. (1999). *Wood Handbook. Wood as an Engineering Material*. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, *General Technical Report*, FPL-GTR-113. Madison, Wi. USA. pp. 463.
- [6] Hernandez, R. (1998). Analysis of strain in finger-jointed lumber. Proceedings. 5<sup>th</sup> World Conference in Timber Engineering. Montreux, Switzerland. Vol. 1:144-162.
- [7] Hwang,G.S. and J.C.Hsiung. 2001. Study of finger-joints and laminations of compressed woods.*Taiwan Journal of Forestry Science*. Vol 16(4):275-283..
- [8] Jokerst, R.W. (1981). Finger-jointed wood products. United states Department of Agriculture. Forest Service. *Research Paper FPL 382*. Madison Wis.: Forest Products Laboratory. pp. 24.
- [9] ISO 10983. (1999). Timber structures - solid timber finger-jointing - Production requirements. International Organization for Standardization. CH-1211 Genève 20. Switzerland.
- [10] Koch, P. (1972). Utilisation of the southern pines. Vol. 2 Conversion. Washington Southern Forest Experiment Station. pp 1164-1174.
- [11] Marra, A.A. (1992). Technology of wood bonding: principles in practice. New York: Van Nostrand Reinhold. pp. 454.
- [12] Murphey,W.K. and L.E.Rishel. (1972). Finger joint feasibility in furniture production. *Forest Products Journal*. 22(2):30-32.
- [13] Pena, M.M.G. (1999). The mechanical performance of non structural finger joints using European oak and beech. M.Sc Thesis. School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales, Bangor. pp. 114.
- [14] River, B.H. (1994). Fracture of adhesive-bonded wood joints. Pizzi, A. and Mittal, K.L. eds. Handbook of adhesive technology. New York Marcel Dekker, Inc. pp 151-177.
- [15] Selbo, M.L. (1963). Effect of joint geometry on tensile strength of finger joint. *Forest Products Journal* 13(9):390-400.
- [16] Smardzewski, J. (1996). Distribution of stresses in finger joints. *Wood Science and Technology*, Vol. 30 (6): 477-489.
- [17] Tsoumis, G. (1991). Science and technology of wood: structure, properties, utilization. New York: Van Nostrand Reinhold. pp.
- [18] Yilgor, N., O.Unsal and S.N.Kartal. (2001). Physical, mechanical and chemical properties of steamed beech wood. *Forest Products Journal* Vol. 51(11/12):89-93.
- [19] Υπουργείο Γεωργίας. (1985). Επετηρίδα στατιστικών στοιχείων ελληνικής δασοπονίας. Γενική Διεύθυνση Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος. Αθήνα.
- [20] Υπουργείο Γεωργίας. (1992). Αποτελέσματα 1<sup>ης</sup> Εθνικής Απογραφής Δασών. Γενική Διεύθυνση Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος. Αθήνα. Σελ. 134.

**STUDY OF THE STRENGTH OF SMALL DIMENSION FINGER JOINT STEAMED BEECH WOOD (*Fagus sylvatica*) FOR THE PRODUCTION OF LAMINATED LUMBER**

**S. Karastergiou<sup>1</sup>, V.Vassiliou<sup>2</sup>, J. Barboutis<sup>2</sup> and A. Papadopoulos<sup>1</sup>**

*1: Technological Educational Institute of Larissa, Karditsa Branch, Dept. of Wood & Furniture Design and Technology, 43100, Karditsa, Greece. Email: [karaso@teilar.gr](mailto:karaso@teilar.gr)*

*2: Aristotle University, School of Forestry and Natural Environment, Section of Harvesting and Technology of Forest Products, 541 24, Thessaloniki, Greece. Email: [vass@for.auth.gr](mailto:vass@for.auth.gr)*

**SUMMARY**

The purpose of this work was to study the utilisation of small dimension finger - joint steamed beech wood (*Fagus sylvatica*) for the manufacture of laminated wood. Particularly, it was examined the bending strength (modulus of rupture and modulus of elasticity) of finger - joint laboratory specimens that were connected across the grain. Four different finger lengths (4, 10, 15 and 20mm) and a polyvinyl - acetate based glue (D1 type) for interior use were studied. Modulus of rupture (MOR) for all specimens fluctuated from 65.5 to 78.7 N/mm<sup>2</sup>, which corresponds to a level of 76.2% to 90.8%, respectively in relation to that of the control (87.1 N/mm<sup>2</sup>). The specimens with a horizontal finger orientation gave MOR values slightly higher than those of the vertical orientation. It appeared that the loading direction affected MOR to a higher extent than the radial direction. It was also found that all connections showed higher MOE values compared to the control wood specimens, varying from 6.4%, for the 20mm fingers, to 21.4%, for the 4mm fingers. The finger orientation and the loading direction did not influence to the same extent MOE in the different finger lengths. It was finally concluded that bending strength of all examined connections were very satisfactory in respect to the production requirements and especially for the 4mm and 10mm finger lengths for the production of laminated beech wood for the furniture and joinery sector.

**Key words:** steamed beech wood of small dimensions, laminated lumber, finger joint, bending strength.