

**ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΗΣ
ΜΕ ΔΑΚΤΥΛΟΕΙΔΕΙΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ (FINGER JOINT)
ΚΑΙ ΠΟΛΥΒΥΝΙΑΙΚΗ ΚΟΛΛΑ (PVAc) ΞΥΛΕΙΑΣ
ΟΞΙΑΣ (*Fagus sylvatica*)**

Β. ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ¹, Ι. ΜΠΑΡΜΠΟΥΤΗΣ¹, Σ. ΚΑΡΑΣΤΕΡΓΙΟΥ²

¹Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος,
Τομέας Συγκομιδής και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων
e-mail: vass@for.auth.gr, e-mail: jbarb@for.auth.gr

²Τ.Ε.Ι. Λάρισας, Παράρτημα Καρδίτσας, Τμήμα Σχεδιασμού και
Τεχνολογίας Ξύλου-Επίπλου

**BENDING STRENGTH PROPERTIES OF
THE FINGER-JOINED WITH PVAc GLUE
BEECH WOOD (*Fagus sylvatica*)**

V. VASSILIOU¹, I. BARBOUTIS¹, S. KARASTERGIOU²

¹Aristotle University, Department of Forestry and Natural Environment,
Section of Harvesting and Technology of Forest Products
e-mail: vass@for.auth.gr, e-mail: jbarb@for.auth.gr

²Technological Educational Institute of Larissa, Karditsa Branch,
Dept. of Wood & Furniture Design and Technology

Περίληψη

Στην εργασία μελετάται η αξιοποίηση ξυλείας οξιάς μικρών διαστάσεων στην παραγωγή επικολλητής ξυλείας επιπλοποιίας - ξυλουργικής. Ειδικότερα, μελετάται η αντοχή σε κάμψη της κατά μήκος συγκόλλησης με δακτυλοειδείς συνδέσεις (Finger joints) μη ατμισμένης ξυλείας οξιάς. Δοκιμάστηκαν δύο τύποι δακτυλοειδών συνδέσεων με μήκη δακτύλων 4 mm και 10 mm και συγκολλητική ουσία PVAc κατηγοριών D1, D2 και D3, εσωτερικών χώρων (EN 204:2001).

Βρέθηκε ότι το μέτρο θραύσης δλων των συνδέσεων κυμάνθηκε από 31,19 N/mm² μέχρι 86,67 N/mm², τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστά από 28,6 % μέχρι 80,3 % του μέσου μέτρου θραύσης του συμπαγούς ξύλου χωρίς σύνδεση (108,71 N/mm²). Το μήκος δακτύλων 10 mm έδωσε μεγαλύτερο μέτρο θραύσης σε σχέση με το μήκος δακτύλων 4 mm. Κατά μέσο όρο αυξήθηκε το μέτρο θραύσης 45 % στην κόλλα D1, 15 % στην κόλλα D2 και 29 % στην κόλλα D3. Η κόλλα D2 έδωσε μεγαλύτερο μέτρο θραύσης σε σχέση με την κόλλα D1 (κατά 60,8 % στο μήκος δακτύλων 4 mm και κατά 31,3 % στο μήκος δακτύλων 10 mm) και η κόλλα D3 έδωσε μεγαλύτερο μέτρο θραύσης σε σχέση με την κόλλα D2 (κατά 11,3 % στο μήκος δακτύλων 4 mm και κατά 21,2 % στο μήκος δακτύλων 10 mm). Ο οριζόντιος προσανατολισμός των δακτύλων έδωσε λίγο μεγαλύτερο μέτρο θραύσης σε σχέση με τον κατακόρυφο προσανατολισμό δακτύλων. Η κατεύθυνση φόρτισης επηρεάσει λίγο το μέτρο θραύσης (μεγαλύτερο στην ακτινική φόρτιση). Το μέτρο ελαστικότητας του συγκολλημένου ξύλου και στα δύο μήκη δακτύλων (4 mm και 10 mm) και στις τρεις κατηγορίες κόλλας (D1, D2 και D3) δεν επηρεάστηκε και κυμάνθηκε στα επίπεδα των τιμών του συμπαγούς ξύλου. Τελικά, συμπεραίνεται ότι η κατηγορία D3 της πολυβυνιλικής κόλλας (PVAc) δίνει τις μεγαλύτερες τιμές αντοχής σε κάμψη (μέτρο θραύσης) και συνιστάται κατά προτίμηση η χρήση της στην παραγωγή επικολλητού ξύλου οξιάς επιπλοποιίας - ξυλουργικής.

Αέξεις κλειδιά: μη ατμισμένη ξυλεία οξιάς, επικολλητή ξυλεία, δακτυλοειδής σύνδεση (finger joint), αντοχή σε κάμψη, μέτρο θραύσης, μέτρο ελαστικότητας, πολυβυνιλική κόλλα (PVAc).

Abstract

In this research work, the utilization of small dimensions beech wood (*Fagus silvatica*) was studied for the manufacture of finger - joined furniture lumber. Particularly, it was examined the static bending strength (modulus of rupture and modulus of elasticity) of finger - joined non-steamed beech wood that was connected across the grain. Two finger lengths (4mm and 10mm) and a polyvinyl - acetate based glue (D1, D2, D3 types) for interior use were studied (EN 204:2001). Modulus of rupture (MOR) for all finger joints ranged from 31.19 N/mm² to 86.67 N/mm², which corresponds to a percentage of 28.6% to 80.3% respectively, in relation to that

of the control solid wood (108.71 N/mm^2). The 10 mm finger length resulted in higher values of the modulus of rupture compared to the 4 mm finger length. In mean values the MOR increased by 45% when D1 glue type was used, by 15% when D2 type was used and by 29% when D3 glue type was used. The D2 glue type resulted in higher MOR when compared to the D1 glue type (by 60.8% in the 4mm finger length and by 31.3% in the 10mm finger length), and the D3 glue type resulted in higher MOR when compared to the D2 glue type (by 11.3% in the 4mm finger length and by 21.2% in the 10mm finger length). The samples with a horizontal finger orientation gave MOR values slightly higher than that with a vertical orientation. It is appeared that the loading direction affected MOR to a higher extent in the radial direction. It was also found that the MOE of all the joints studied was not affected by finger jointing and ranged in the same level values of the control solid wood. Finally, it is concluded that the D3 type of the PVAc glue which gives the higher bending strength values is better to be used for this kind of production, preferably.

Key words: non-steamed beech wood, laminated lumber, finger joint, bending strength, modulus of rupture, modulus of elasticity, polyvinyl acetate (PVAc).

1. Εισαγωγή

Τα δάση της οξιάς στη χώρα μας καταλαμβάνουν έκταση 336.640 ha, δηλαδή ποσοστό 17,4 % στο σύνολο της έκτασης των βιομηχανικών δασών πλατυφύλλων ειδών, η οποία ανέρχεται σε 1.929.576 ha. Το συνολικό ξυλαπόθεμα βιομηχανικής ξυλείας των δασών μας πλατυφύλλων ειδών ανέρχεται σε $60.757.651 \text{ m}^3$ και από αυτά τα $27.693.914 \text{ m}^3$, δηλαδή ποσοστό 45,6 % είναι ξυλεία οξιάς. Η συνολική παραγωγή ξύλου των πλατυφύλλων φυλλοβόλων ειδών ανέρχεται κατά μέσο όρο σε $2.320.000 \text{ m}^3$ το χρόνο, ενώ η ετήσια συνολική παραγωγή ξύλου οξιάς ανέρχεται σε 206.686 m^3 βιομηχανικό ξύλο και 327.801 τόνους καινούργιων (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 περισσοτέρων 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 διάστημα 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 έγραψη και η αφαίρεση σφαλμάτων από τα συνθετι-

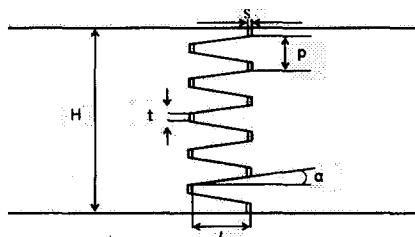
καί μέρη του και μπορεί να διαθέτει βελτιωμένη διάρκεια λόγω καλύτερου εμποτισμού των συνθετικών μερών του (Tsoumis 1991, Pena 1999).

Η έρευνα τής κατά μήκος συγκόλλησης με δακτυλοειδή σύνδεση (*finger joint*) ξεκίνησε από το 1950 (Hernandez 1998) και η παραγωγή του σε βιομηχανική κλίμακα 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, οι δάκτυλοι 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 επιπλοποιίας (Murphy 1972). Ο Selbo (1963) μελέτησε την επέδραση της γεωμετρίας των δακτύλων στην αντοχή σε εφελκυσμό, σε δάκτυλους μήκους από 7,4 mm έως 80 mm. Τα αποτελέσματα σε δόλες 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, το μήκος των δακτύλων σε βιομηχανική παραγωγή 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 εγκοπής. Βασικά χαρακτηριστικά του ξύλου αποτελούν η δομή του (πρώιμο, διψιμό, ανώριμο ξύλο, ελαττώματα δομής), η πυκνότητα και η περιεχόμενη υγρασία. Η πυκνότητα επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη συγκόλληση. Ξύλα με υψηλή πυκνότητα και δρα λιγότερους κενούς χώρους, συγκολλούνται δυσκολότερα σε σχέση με ξύλα χαμηλής πυκνότητας (Tsoumis 1991). Η υγρασία τη στιγμή της συγκόλλησης δε συνιστάται να είναι μεγαλύτερη από 15 %, ενώ μεταξύ γειτονικών στρώσεων δεν πρέπει να διαφέρει περισσότερο από 3 % (Matta 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 (a) (Σχήμα 1). Από αυτά, το πάχος του δακτύλου θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας δύον 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. Γεωμετρία της δακτυλοειδούς μορφής σύνδεσης.
Figure 1. 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 ερευνητικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον. Σήμερα, το ξύλο της οξιάς χρησιμοποιείται κυρίως σε μη δομικές εφαρμογές και αποτελεί βασική πρώτη ύλη πολλών προϊόντων επιπλοποιίας και ξυλουργικής, κυρίως ως ατμισμένη αλλά και μη ατμισμένη ξυλεία. Η ανάγκη για καλύτερη αξιοποίηση του ξύλου, τόσο των μικρών διαμέτρων δέντρων νέων φυτειών, όσο και μεγάλων διαμέτρων δέντρων υποβαθμισμένης ποιότητας (λόγω ροξοβρώμενης, μεταχρωματισμένου εγκάρδιου, κ.λπ.), τα οποία δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή πριστού ξύλου και ξυλοφύλλων, έστρεψε τελευταία το ενδιαφέρον στην παραγωγή επικολλητού ξύλου οξιάς (Aicher 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 και χρησιμοποίησε δακτύλους μήκους 9 mm και 12 mm και συγκολλητική ουσία μελαμίνη-ουρία φορμαλδεύδη (MUF) και Εποξεική ρητίνη (Epoxy resin). 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 ± 11 N/mm². 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. Οι Καραστεργίου και άλλοι (2004) μελέτησαν την αντοχή συγκόλλησης με πολυβυσνιλική κόλλα (PVAc) κατηγορίας D1, ατμισμένης ξυλείας οξιάς (*Fagus sylvatica*) με δακτυλοειδείς συνδέσεις, και μήκη δακτύλων 4 mm, 10 mm, 15 mm και 20 mm.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη των δυνατοτήτων αξιοποίησης μη ατμισμένης ξυλείας οξιάς μικρών διαστάσεων στην παραγωγή επικολλητής ξυλείας με συγκόλλητική ουσία πολυβυσνιλική κόλλα (PVAc) διάφορων κατηγοριών (D1, D2, D3) και τα μήκη δακτύλων 4 mm και 10 mm, τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιομηχανική παραγωγή επικολλητού ξύλου οξιάς επιπλοποιίας και ξυλουργικής για εσωτερικούς χώρους.

2. Υλικά και Μέθοδοι

Για τη διεξαγωγή της μελέτης χρησιμοποιήθηκε μη ατμισμένη ξυλεία οξιάς (*Fagus sylvatica*) προέλευσης περιοχής των Γρεβενών και παραγωγής του κρατικού προϊστορίου Λιτοχώρου, η οποία τεμαχίσθηκε 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 ρόξους 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 60%, συνθήκες που αντιστοιχούν σε περιεχόμενη υγρασία ξύλου περί το 10 - 12 %). Ακολούθως, στα εγκάρδια άκρα των πριστών αυτών έγινε διαμόρφωση δακτυλοειδών εγκοπών με την χρήση δύο μορφών κοπτικών εργαλείων με τα χαρακτηριστικά του Πίνακα 1.

Πίνακας 1

Χαρακτηριστικά δακτυλοειδών εγκοπών που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία

Table 1

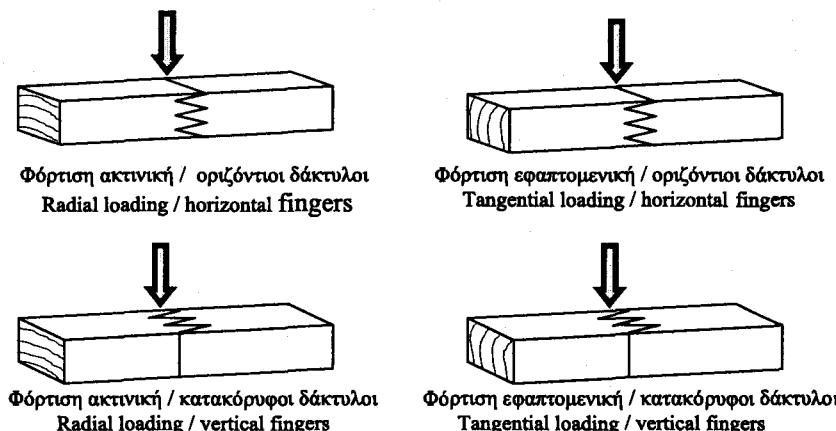
Fingers configuration used in the study

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

Κατόπιν τα διαμορφωθέντα πριστά τεμαχίστηκαν στο μέσον του μήκους τους ώστε να σχηματισθούν τα δύο μέλη της δακτυλοειδούς σύνδεσης. Για την συγκόλληση των διαμορφωθέντων δοκιμών χρησιμοποιήθηκε συγκόλλητική ουσία PVAc (*Polyvinyl Acetate*) κατηγορίας D1, D2 και D3, για εσωτερικούς χώρους - περιεχόμενης υγρασίας ξύλου < 15% (EN 204:2001). Η εφαρμογή της συγκόλλητικής ουσίας έγινε με πι-

νέλο στο ένα μέλος της δακτυλοειδούς σύνδεσης και ακολούθως εφαρμόστηκε σταθερή πίεση για 60 sec.

Μετά από ακλιματισμό του συγκολλημένου υλικού για 24 ώρες, διαμορφώθηκαν 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 επιδραση της κατεύθυνσης φόρτισης σε σχέση με τον προσανατολισμό των δακτυλοειδών εγκοπών και σε σχέση με τον προσανατολισμό των αυξητικών δακτυλίων (Σχήμα 2). Ο προσδιορισμός της αντοχής σε κάμψη έγινε σε 15 δοκίμια για κάθε χειρισμό (EN 385:2001). Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 360 δοκίμια, δηλαδή 15 επαναλήψεις x 24 χειρισμοί. Επιπλέον, προσδιορίσθηκε η αντοχή σε στατική κάμψη και σε δοκίμια συμπαγούς ξύλου χωρίς δακτυλοειδή 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 δοκιμών διαμορφώθηκαν δείγματα για τον προσδιορισμό της πυκνότητας και της περιεχόμενης υγρασίας. Η μέση πυκνότητα ήταν 0,60 (g/cm^3) (τυπική απόκλιση 0,02) και η μέση περιεχόμενη υγρασία 10,1% (τυπική απόκλιση 0,171).



Σχήμα 2. Προσανατολισμός δακτυλοειδούς σύνδεσης και κατεύθυνσης φόρτισης στα δοκίμια.

Figure 2. Orientation of finger joints and loading direction in samples.

3. Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη για το μέτρο θραύσης δίνονται συνολικά στον Πίνακα 2.

Πίνακας 2

Αντοχή σε κάμψη (Μέτρο Θραύσης) της συγκολλημένης με δακτυλοειδείς συνδέσεις μη ατμοσμένης ξυλείας οξιάς

Table 2

Bending strength (MOR) of the finger joined non-steamed beech wood

| Προσανατολισμός δακτύλων σύνδεσης / Είδος φόρτισης Finger joint orientation / Loading direction | Μέτρο Θραύσης - MOR (N/mm ²) | | | | | | |
|--|--|-------------------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Εύλο χωρίς Σύνδεση Solid wood | Μήκος δακτύλου / Finger length (mm) | | | | | |
| | | 4 mm | | | 10 mm | | |
| | | Τύπος κόλλας PVAc category | | Τύπος κόλλας PVAc category | | | |
| Οριζόντιοι δάκτυλοι - Horizontal fingers | | | | | | | |
| Φόρτιση ακτινική Radial loading | 109,12* (5,10) | 35,82 (1,62) | 56,43 (6,42) | 64,70 (7,20) | 47,68 (1,59) | 64,49 (5,40) | 86,67 (10,6) |
| Φόρτιση εφαπτομενική Tangential loading | 108,30 (6,54) | 31,19 (2,66) | 55,60 (6,32) | 58,28 (3,81) | 57,34 (4,69) | 65,91 (5,54) | 77,21 (4,41) |
| Φόρτιση χωρίς προσανατολισμό | 108,71 (5,77) | 33,51 (3,20) | 56,02 (6,27) | 61,49 (6,53) | 52,51 (6,00) | 65,20 (5,48) | 82,24 (9,48) |
| Κατακόρυφοι δάκτυλοι - Vertical fingers | | | | | | | |
| Φόρτιση ακτινική Radial loading | 109,12 (5,10) | 35,69 (1,00) | 51,68 (3,97) | 60,76 (5,45) | 51,93 (4,16) | 66,35 (3,39) | 79,07 (6,65) |
| Φόρτιση εφαπτομενική Tangential loading | 108,30 (6,54) | 33,03 (5,81) | 54,56 (5,82) | 59,21 (4,92) | 40,47 (1,67) | 62,54 (3,26) | 78,23 (5,64) |
| Φόρτιση χωρίς προσανατολισμό | 108,71 (5,77) | 34,36 (4,31) | 53,12 (5,11) | 59,99 (5,16) | 46,20 (6,61) | 64,45 (3,80) | 78,65 (6,08) |

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

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

Όπως φαίνεται από τον ανωτέρω Πίνακα τα δύο μήκη δακτύλων που χρησιμοποιήθηκαν έδωσαν μέσο μέτρο θραύσης που κυμάνθηκε από 31,19 N/mm² το ελάχιστο, μέχρι 86,67 N/mm² το μέγιστο, τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστά 28,6 % μέχρι 80,3 % του μέσου μέτρου θραύσης του συμπαγούς ξύλου χωρίς σύνδεση. Διαπιστώνεται κατ' αρχήν ότι, αύξηση του μήκους δακτύλου σύνδεσης από 4mm σε 10mm συνεπάγεται καλύτερη αντοχή και αύξηση του μέτρου θραύσης (κατά μέσο όρο 45% στην κόλλα D1, 15% στην κόλλα D2 και 29% στην κόλλα D3, αντιστοίχως). Επίσης, διαπιστώνεται ότι χρησιμοποίηση της κατηγορίας D2 της πολυβυνιλικής κόλλας συνεπάγεται σημαντική αύξηση του μέτρου θραύσης, σε σχέση με την κατηγορία D1 της κόλλας (κατά 60,8 % στο μήκος δακτύλων 4 mm και κατά 31,3 % στο μήκος δακτύλων 10 mm), καθώς και ότι χρησιμοποίηση της κατηγορίας D3 της πολυβυνιλικής κόλλας συνεπάγεται μεγαλύτερη αύξηση του μέτρου θραύσης, σε σχέση με την κατηγορία D2 της κόλλας (κατά 11,3 % στο μήκος δακτύλων 4 mm και κατά 21,2 % στο μήκος δακτύλων 10 mm).

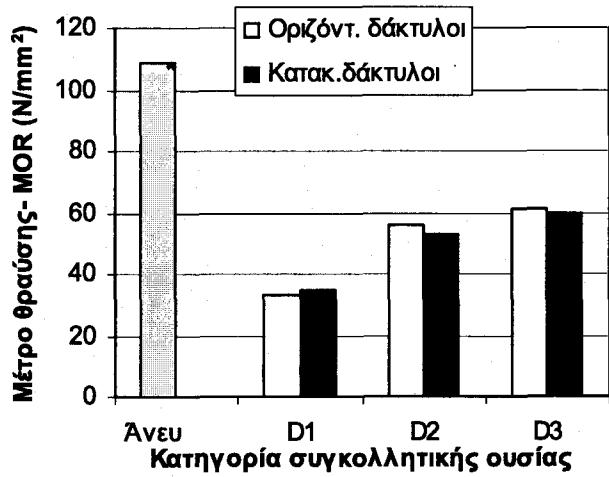
Γενικά, διαπιστώνεται ότι οι τιμές αντοχής των συνδέσεων με μήκος δακτύλων 4 mm και κατηγορίες D1 και D2 της πολυβυνιλικής κόλλας, καθώς και της σύνδεσης με

μήκος δακτύλων 10 mm και D1 συγκολλητική ουσία είναι μικρότερες κατά μέσο όρο του 50% της αντίστοιχης αντοχής του συμπαγούς ξύλου, και γιαυτό δεν θα πρέπει να θεωρηθούν ικανοποιητικές για την παραγωγή επικολλητού ξύλου. Ενώ, οι τιμές αντοχής των συνδέσεων με μήκος δακτύλων 4 mm και D3 συγκολλητική ουσία, καθώς και μήκος δακτύλων 10 mm και τις κατηγορίες D2 και D3 συγκολλητικές ουσίες θεωρούνται πολύ ικανοποιητικές αφού είναι ανώτερες του 60% και μέχρι 80,3% των αντίστοιχων τιμών του συμπαγούς ξύλου.

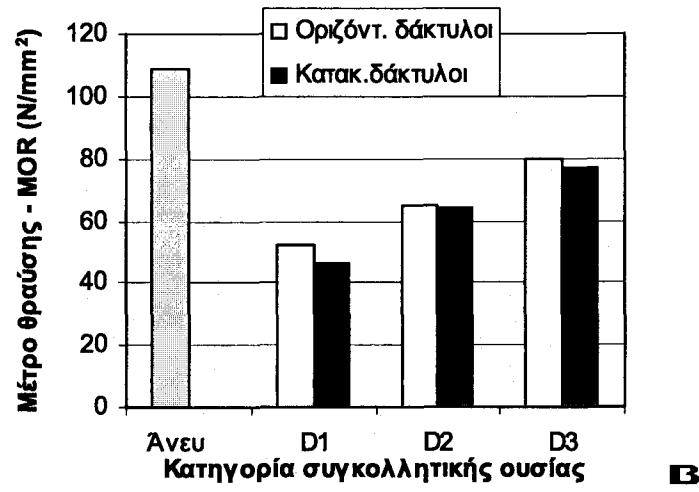
Η επίδραση του προσανατολισμού των δακτύλων σύνδεσης κατά κατηγορία συγκολλητικής ουσίας, σε σχέση με την κατεύθυνση εφαρμογής του φορτίου, στην αντοχή σε κάμψη (μέτρο θραύσης) φαίνεται στο Σχήμα 3. Διαπιστώνεται ότι δάκτυλοι οριζόντια προσανατολισμένοι εμφανίζουν σταθερά κατά μέσο όρο μεγαλύτερο μέτρο θραύσης σε σχέση με τους δάκτυλους που είναι κατακόρυφα προσανατολισμένοι, σε όλα τα μήκη δακτύλων, με εξαίρεση το μήκος δακτύλων των 4mm με την D1 κόλλα, το οποίο παρουσίασε μεγαλύτερο μέτρο θραύσης στους κατακόρυφα προσανατολισμένους δακτύλους (κατά 2,5%). Οι διαφορές ήταν αντίστοιχα 5,5% στην κόλλα D2 και 2,5% στην κόλλα D3 στο μήκος δακτύλων των 4 mm και 13,7% στην κόλλα D1, 1,2% στην κόλλα D2 και 4,0% στην κόλλα D3 στο μήκος δακτύλων των 10 mm. 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 ξυλείας.

Η επίδραση της κατεύθυνσης εφαρμογής του φορτίου, κατά κατηγορία συγκολλητικής ουσίας, στην αντοχή σε κάμψη (μέτρο θραύσης), όταν ο προσανατολισμός των δακτύλων σύνδεσης είναι οριζόντιος, φαίνεται στο Σχήμα 4. Διαπιστώνεται ότι όταν η φόρτιση είναι καθαρά ακτινική σε σχέση με την κατεύθυνση των αυξητικών δακτυλίων, το μέτρο θραύσης εμφανίζεται στις περισσότερες περιπτώσεις ελαφρά μεγαλύτερο σε σχέση με την εφαπτομενική φόρτιση (από 1,5% μέχρι 12,3%) και ελαφρά μειωμένο στις κόλλες D1 και D2 του μήκους δακτύλων των 10 mm. Επιβεβαιώνεται δηλαδή, η ανάλογη συμπεριφορά του συμπαγούς ξύλου οξιάς που παρουσιάζει μεγαλύτερο μέτρο θραύσης σε ακτινική φόρτιση σε ποσοστό 0,8%.

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 5. 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 (8,0% στην κόλλα D1, 2,6% στην κόλλα D3 στο μήκος δακτύλων των 4 mm και 28,3% στην κόλλα D1, 6,1% στην κόλλα D2 και 1,1% στο μήκος δακτύλων των 10 mm), με εξαίρεση την κόλλα D2 και στα δύο μήκη δακτύλων, η οποία παρουσίασε μείωση κατά 5,6% του μέτρου θραύσης. Η επίδραση δηλαδή της κατεύθυνσης φόρτισης είναι σχετικά μεγαλύτερη όταν η κατεύθυνση των δακτύλων είναι οριζόντια στο συγκολλημένο δοκίμιο.



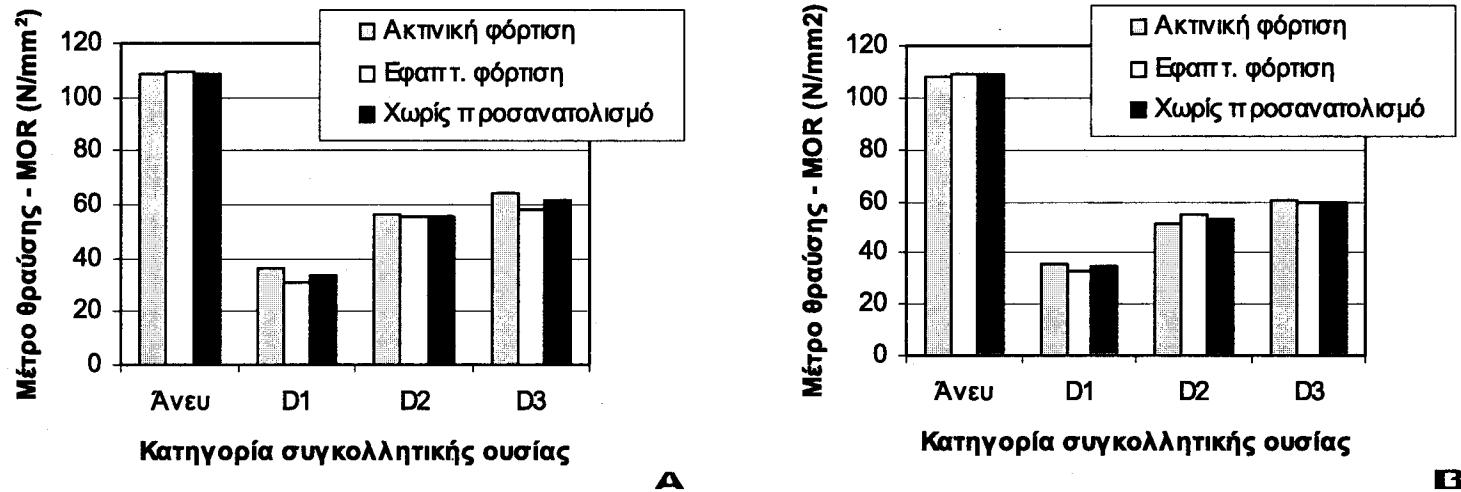
A



B

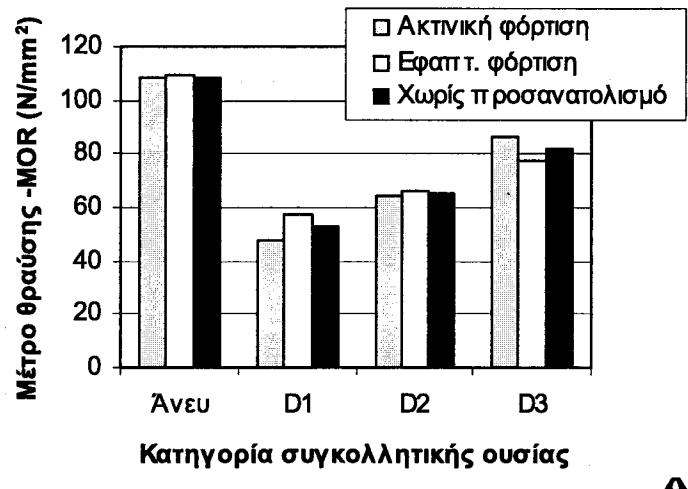
Σχήμα 3. Επίδραση του προσανατολισμού των δακτύλων σύνδεσης στο μέτρο θραύσης (A: μήκος δακτύλων 4 mm, B: μήκος δακτύλων 10 mm).

Figure 3. Effect of finger joints orientation on MOR (A: finger length 4 mm, B: finger length 10 mm).

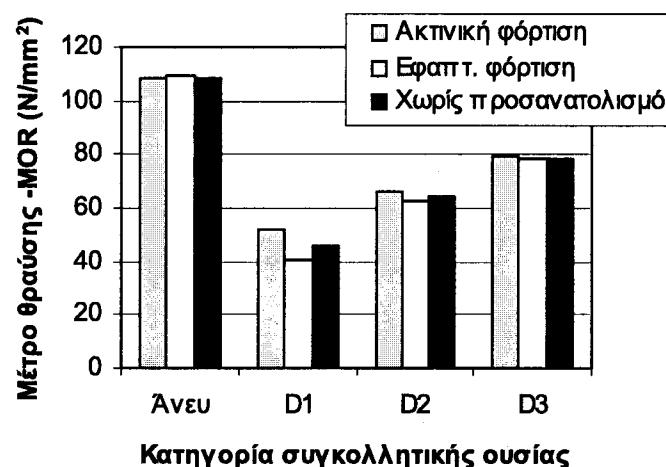


Σχήμα 4. Επίδραση του είδους φόρτισης με οριζόντιο προσανατολισμό δακτύλων στο μέτρο θραύσης (Α: μήκος δακτύλων 4 mm, Β: μήκος δακτύλων 10 mm)

Figure 4. Effect of loading direction in horizontal fingering on MOR (A: finger length 4 mm, B: finger length 10 mm).



A



B

Σχήμα 5. Επίδραση του είδους φόρτισης με κατακόρυφο προσανατολισμό δακτύλων στο μέτρο θραύσης (A: μήκος δακτύλων 4 mm, B: μήκος δακτύλων 10 mm)

Figure 5. Effect of loading direction in vertical fingering on MOR (A: finger length 4 mm, B: finger length 10 mm).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη για το μέτρο ελαστικότητας δίνονται συνολικά στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3

Αντοχή σε κάμψη (Μέτρο Ελαστικότητας) της συγκολλημένης με δακτυλοειδείς συνδέσεις μη ατμισμένης ξυλείας οξιάς

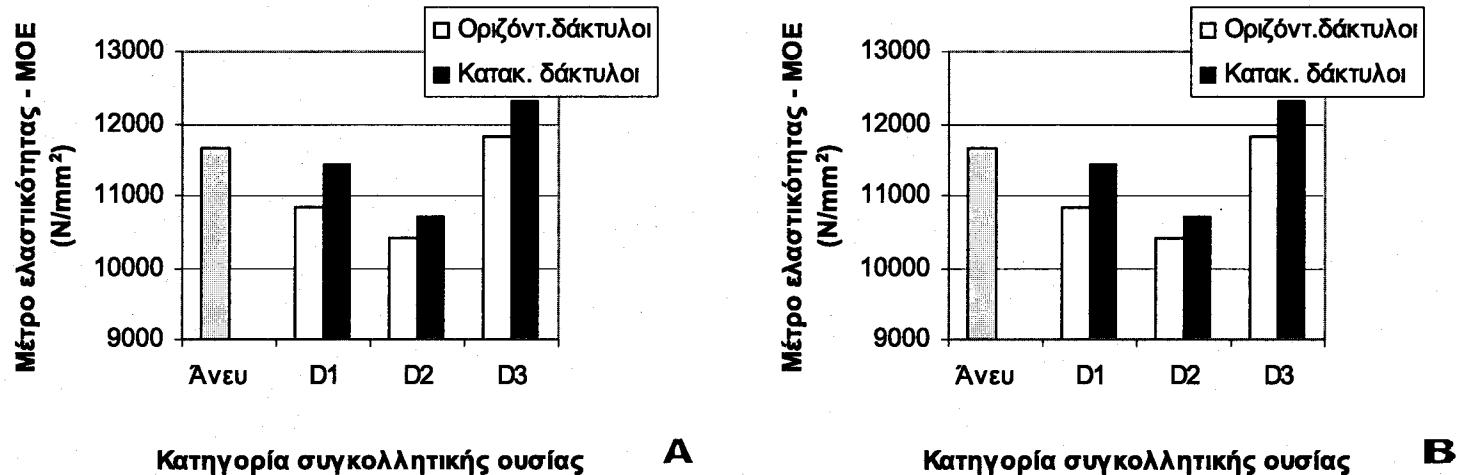
Table 3

Bending strength (MOE) of the finger joined non-steamed beech wood

| Προσανατολισμός δακτύλων σύνδεσης / Είδος φόρτισης Finger joint orientation / Loading direction | Μέτρο Θραύσης - MOR (N/mm ²) | | | | | | |
|--|--|-------------------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Ξύλο χωρίς Σύνδεση Solid wood | Μήκος δακτύλου / Finger length (mm) | | | | | |
| | | 4 mm | | | 10 mm | | |
| | | Τύπος κόλλας PVAc category | | Τύπος κόλλας PVAc category | | D1 | D2 |
| Οριζόντιοι δάκτυλοι - Horizontal fingers | | | | | | | |
| Φόρτιση ακτινική Radial loading | 11346* (1179) | 12726 (1339) | 12820 (1584) | 12278 (706) | 10798 (1679) | 10477 (1118) | 11934 (1023) |
| Φόρτιση εφαπτομενική Tangential loading | 11941 (1031) | 9611 (655) | 9287 (1209) | 11105 (1325) | 10880 (929) | 10339 (1313) | 11707 (1131) |
| Φόρτιση χωρίς προσανατολισμό | 11643 (1130) | 11169 (1892) | 11054 (2268) | 11692 (1201) | 10839 (1334) | 10408 (1200) | 11828 (1064) |
| Κατακόρυφοι δάκτυλοι - Vertical fingers | | | | | | | |
| Φόρτιση ακτινική Radial loading | 11346 (1179) | 10920 (680) | 10167 (967) | 11230 (1419) | 12463 (726) | 11173 (829) | 11866 (688) |
| Φόρτιση εφαπτομενική Tangential loading | 11941 (1031) | 12645 (2102) | 12635 (1622) | 12155 (913) | 10359 (1455) | 10258 (1152) | 12754 (1057) |
| Φόρτιση χωρίς προσανατολισμό | 11643 (1130) | 11782 (1768) | 11401 (1816) | 11692 (1263) | 11411 (1556) | 10715 (1091) | 12310 (986) |

Γενικά, διαπιστώνεται ότι το μέτρο ελαστικότητας δύο των συνδυασμών συγκολλητικής ουσίας και μήκους δακτύλων που μελετήθηκαν, δεν επηρεάζεται και κυμαίνεται στα επίπεδα των τιμών του συμπαγούς ξύλου. Την ίδια διαπίστωση για το μέτρο ελαστικότητας έκανε ο Pena (1999) σε συγκολλημένη ξυλεία οξιάς με μήκη δακτύλων 9 mm και 12 mm. Κατά μέσο όρο το μέτρο ελαστικότητας των οριζόντια προσανατολισμένων δακτύλων ήταν 11.163 (N/mm²) και των κατακόρυφα προσανατολισμένων δακτύλων ήταν 11.488 (N/mm²), δηλαδή αυξημένο κατά 2,9 %. Επίδραση του είδους φόρτισης ως προς τον προσανατολισμό των αυξητικών δακτυλίων δε διαπιστώθηκε.

Από την μελέτη της επίδρασης του προσανατολισμού των δακτύλων σύνδεσης σε σχέση με την κατεύθυνση εφαρμογής του φορτίου στην αντοχή σε κάμψη, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6, διαπιστώθηκε ότι ο προσανατολισμός των δακτύλων σύνδεσης δεν επηρεάζει ομοιόμορφα το μέτρο ελαστικότητας σε όλα τα μήκη δακτύλων που μελετήθηκαν.



Σχήμα 6. Επίδραση του προσανατολισμού των δακτύλων σύνδεσης στο μέτρο ελαστικότητας (A: μήκος δακτύλων 4 mm, B: μήκος δακτύλων 10 mm)

Figure 6 Effect of finger joints orientation on MOE (A: finger length 4 mm, B: finger length 10 mm).

4. Συμπεράσματα

Τα βασικά συμπεράσματα της έρευνας αυτής έχουν ως εξής:

- Μη ατμισμένη ξυλεία οξιάς μικρών διαστάσεων μπορεί να αξιοποιηθεί με κατά μήκος συγκόλληση με δακτύλοειδούς μορφής συνδέσεις (finger - joint) στην παραγωγή επικολλητού ξύλου, για εφαρμογές επιπλοποιίας, ξυλουργικής και δομικών κατασκευών εσωτερικών χώρων.
- Τα μήκη δακτύλων 4 mm και 10 mm που χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή επικολλητού ξύλου επιπλοποιίας έδωσαν πολύ καλές τιμές αντοχής σε κάμψη, με εξαίρεση την κόλλα D1 και D2 στο μήκος δακτύλων των 4 mm και την κόλλα D1 στο μήκος δακτύλων 10 mm, και επίσης έδωσαν μέτρο ελαστικότητας ίδιο με το μέτρο ελαστικότητας του συμπαγούς ξύλου.
- Το μήκος δακτύλων των 10 mm έδωσε μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη (μέτρο θραύσης) από το μήκος δακτύλων των 4 mm.
- Η κατηγορία D1 της πολυβυνιλικής κόλας έδωσε τη μικρότερη αντοχή, η κατηγορία D2 έδωσε μεγαλύτερη αντοχή από την κατηγορία D1 και η κατηγορία D3 έδωσε τη μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη, κατά μέσο δρο ίση με $60,74 \text{ N/mm}^2$ στο μήκος δακτύλων 4 mm και ίση με $80,1 \text{ N/mm}^2$ στο μήκος δακτύλων 10mm.
- Συνιστάται η χρησιμοποίηση της κόλας D3 γιατί εξασφαλίζει μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη.
- Τα οφέλη από την παραγωγή επικολλητού ξύλου μη ατμισμένης ξυλείας οξιάς προκύπτουν τόσο από την αξιοποίηση μικρότερων διαστάσεων πριστών (μικρές διάμετροι κοριμών, υπολείμματα κατεργασίας), τα οποία σήμερα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλης αξίας προϊόντα μεγάλων διαστάσεων, όσο και από την προσφορά ενός πολύ καλού ποιοτικά προϊόντος, απαλλαγμένου από σφάλματα (ρόξους, μεταχρωματισμούς, κ.τ.λ.), στις επιθυμητές διαστάσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aicher, S., L.Hoefflin and W.Behrens. (2201). A study on tension strength of finger joints in beech wood laminations. *Otto-Graf Journal*. Vol. 12: 169-186.
- DIN (1978). Testing of wood; bending test. Deutsches Institut fuer Normung.
- EN 204. (2001). Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications. European Committee for Standardization. B-1050 Brussels.
- EN 385. (2001). Finger jointed structural timber - Performance requirements and minimum production requirements. European Committee for Standardization. B-1050 Brussels.
- Hernandez, R. (1998). Analysis of strain in finger-jointed lumber. Proceedings. 5th World Conference in Timber Engineering. Montreux, Switzerland. Vol. 1: 144-162.

- 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.
- ISO 10983. (1999). Timber structures - solid timber finger-jointing - Production requirements. International Organization for Standardization. CH-1211 Genève 20. Switzerland.
- Marra, A.A. (1992). Technology of wood bonding: principles in practice. New York: Van Nostrand Reinhold. pp. 454.
- Murphrey, W.K. and L.E. Rishel. (1972). Finger joint feasibility in furniture production. *Forest Products Journal*. 22(2): 30-32.
- 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.
- Selbo, M.L. (1963). Effect of joint geometry on tensile strength of finger joint. *Forest Products Journal* 13(9): 390-400.
- Tsoumis, G. (1991). Science and technology of wood: structure, properties, utilization. New York: Van Nostrand Reinhold. pp.
- Καραστεργίου. Σ., Βασιλείου. Β., Μπαρμπούτης. Ι. και Α. Παπαδόπουλος. 2004. Μελέτη της αντοχής της κατά μήκος συγκόλλησης με δακτυλοειδείς συνδέσεις (Finger Joint) ατμισμένης ξυλείας οξιάς (*Fagus sylvatica*) μικρών διαστάσεων για την παραγωγή επικολλητής ξυλείας. 1^o Πανελλήνιο Περιβαλλοντικό Συνέδριο. Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών πόρων. 7 - 9 Μαΐου 2004. Ορεστιάδα.
- Υπουργείο Γεωργίας. (1985). Επετηρίδα στατιστικών στοιχείων ελληνικής δασοπονίας. Γενική Διεύθυνση Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος. Αθήνα.
- Υπουργείο Γεωργίας. (1992). Αποτελέσματα 1^{ης} Εθνικής Απογραφής Δασών. Γενική Διεύθυνση Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος. Αθήνα. Σελ. 134.