

Αντοχή σε κάμψη της συγκολλημένης με δακτυλοειδείς συνδέσεις (finger joint) και πολυβυνιλική κόλλα (PVAc) ξυλείας δρυός αριάς (*Quercus ilex* L.)

Μπαρμπούτης Ιωάννης¹, Βασιλείου Βασίλειος¹, Καραστεργίου Σωτήριος²

¹Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Τομέας Συγκομιδής και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων.

²ΤΕΙ Λάρισας, Παράρτημα Καρδίτσας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου – Επίπλου.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η αντοχή σε κάμψη της κατά μήκος συγκόλλησης με δακτυλοειδείς συνδέσεις (Finger joints) ξυλείας αριάς. Δοκιμάστηκαν τρεις τύποι δακτυλοειδών συνδέσεων με μήκη δακτύλων 4 mm 10 mm και 15 mm και συγκολλητική ουσία PVAc κατηγοριών D1, D2 και D3, εσωτερικών χώρων (EN 204:2001). Βρέθηκε ότι το μέσο μέτρο θραύσης όλων των συνδέσεων που μελετήθηκαν κυμάνθηκε από 55,9 N/mm² μέχρι 107,4 N/mm², τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστά από 39,5 % μέχρι 75,8 % του μέσου μέτρου θραύσης του συμπαγούς ξύλου (141,6 N/mm²). Αύξηση του μήκους δακτύλων από 4 mm σε 10 mm και 15 mm προκάλεσε αύξηση στις τιμές του μέσου μέτρου θραύσης. Η αύξηση ήταν μεγαλύτερη στα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με D1κόλλα (μέχρι 27,1% και 35,1%), και μικρότερη στην κόλλα D2 (μέχρι 8,6% και 17,7%) και στην κόλλα D3 (μέχρι 9,4% και 16,1%). Τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με την κόλλα D3 έδωσαν τις μεγαλύτερες τιμές μέσου μέτρου θραύσης (από 90,1 N/mm² μέχρι 107,4 N/mm²) ενώ τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με την κόλλα D1 έδωσαν τις μικρότερες τιμές μέσου μέτρου θραύσης (από 55,9 N/mm² μέχρι 86,1 N/mm²). Γενικά, ο κατακόρυφος προσανατολισμός των δακτύλων έδωσε λίγο μεγαλύτερο μέτρο θραύσης σε σχέση με τον οριζόντιο προσανατολισμό των δακτύλων σύνδεσης. Το μέτρο ελαστικότητας του συγκολλημένου ξύλου και στα τρία μήκη δακτύλων (4 mm 10 mm και 15 mm) και στις τρεις κατηγορίες κόλλας (D1, D2 και D3) δεν επηρεάστηκε και κυμάνθηκε στα επίπεδα των τιμών του συμπαγούς ξύλου.

Λέξεις κλειδιά: δρυς αριά, επικολλητή ξυλεία, δακτυλοειδής σύνδεση (finger joint), αντοχή σε κάμψη, μέτρο θραύσης, μέτρο ελαστικότητας, πολυβυνιλική κόλλα (PVAc).

Bending strength properties of the finger-jointed with PVAc glue holm oakwood (*Quercus ilex* L.)

Barboutsis Ioannis¹, Vasiliou Vasilios¹, Karastergiou Sotirios²

¹Aristotle University, Faculty of Forestry and Natural Environment, Department of Harvesting and Technology of Forest Products.

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

Summary

In the present research work, the utilization of small dimensions holm oak wood (*Quercus ilex L.*) was investigated for the manufacture of finger - jointed furniture lumber. Particularly, the static bending strength (modulus of rupture and modulus of elasticity) of finger - jointed holm oak wood that was connected across the grain was investigated. Three finger lengths (4mm, 10 mm and 15mm) and a polyvinyl - acetate based glue (D1, D2, D3 types) for interior uses were studied (EN 204:2001). Modulus of rupture (MOR) for all samples studied ranged from 55.9 N/mm² to 107.4 N/mm², which corresponds to a percentage of 39.5% to 75.8% respectively, when compared to the average value of the control solid wood (141.6 N/mm²). In all cases, the increase in finger length from 4 to 10 and 15 mm caused an increase in mean MOR values. The increase in finger length caused higher increase of MOR in the samples glued with D1 glue (from 27.1% to 35.1%) than in the samples glued with D2 glue (from 8.6% to 17.7%) and with D3 glue (from 9.4% to 16.1%). The samples glued with the D3 glue gave the highest values of the mean MOR (from 90.1N/mm² to 107.4 N/mm²), the samples glued with the D1 glue gave the lowest values of the mean MOR (from 55.9 N/mm² to 86.1 N/mm²), and the samples glued with the D2 glue gave the intermediate values of the mean MOR (from 76.5 N/mm² to 98.5 N/mm²). The samples with a vertical finger orientation gave MOR values slightly higher than that with a horizontal orientation. 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.

Key words: holm oakwood, laminated lumber, finger joint, bending strength, modulus of rupture, modulus of elasticity, polyvinyl acetate glue (PVAc).

Εισαγωγή

Τα δάση των φυλλοβόλων δρυών στη χώρα μας καταλαμβάνουν έκταση 747.549 ha, δηλαδή περίπου το ένα τρίτο (32%) της συνολικής δασικής επιφάνειας η οποία ανέρχεται σε 2.512.000 ha και το μισό (48,4%) της συνολικής δασικής έκτασης πλατυφύλλων ειδών, η οποία ανέρχεται σε 1.546.000 ha (Υπουργείο Γεωργίας 1977 - 1987).

Η συνολική παραγωγή ξύλου των πλατυφύλλων φυλλοβόλων ειδών ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 2.320.000 m³ το χρόνο. Η συμμετοχή της παραγωγής των δρυοδασών ανέρχεται κατά μέσο όρο σε 1.100.000 m³ το χρόνο (47,4% της συνολικής), δηλαδή σχεδόν η μισή παραγωγή των δασών πλατυφύλλων ειδών είναι ξύλο δρυός. Από τη συνολική ετήσια παραγωγή ξύλου των δρυοδασών μας, ποσοστό 96,8% είναι καυσόξυλα, ένα μικρό ποσοστό 1,1% περίπου χρησιμοποιείται στην παραγωγή ξυλανθράκων και μόνον 22.255 m³ (ποσοστό 2,1%) είναι τεχνικό ξύλο.

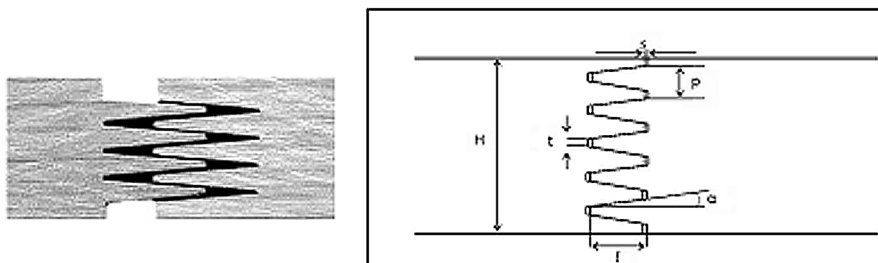
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της πρώτης εθνικής απογραφής δασών στη χώρα μας (Υπουργείο Γεωργίας 1992), ο εμπορεύσιμος όγκος του ξύλου αριάς στην Ελλάδα ανέρχεται σε 835.286 m³ και αντιστοιχεί στο 3,46% του συνολικού εμπορεύσιμου όγκου όλων των δρυών (24.145.321 m³) και στο 0,60% του συνολικού εμπορεύσιμου όγκου όλων των δασοπονικών ειδών.

Οι ανάγκες της χώρας μας σε τεχνικό ξύλο δρυός είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από την αντίστοιχη παραγωγή τεχνικού ξύλου των δασών μας, οι οποίες καλύπτονται με εισαγωγές μεγάλων ποσοτήτων ξυλείας. Τα περισσότερα δρυοδάση διαχειρίζονται πρεμνοφυώς με αποτέλεσμα η παραγωγή να είναι κυρίως ξύλο μικρών διαστάσεων σε διάμετρο και μήκος και ελάχιστο τεχνικό ξύλο. Τα δασοκομικά - δασοδιαχειριστικά μέτρα που λαμβάνονται για την αναγωγή των πρεμνοφυών δρυοδασών αναμένεται να αποδώσουν μακροπρόθεσμα.

Το ξύλο δρυός μικρών διαστάσεων που παράγεται από τα δρυοδάση μας και χρησιμοποιείται σήμερα κυρίως ως καυσόξυλο αποτελεί μια τεράστια πηγή πρώτης ύλης και είναι

Αντοχή σε κάμψη της συγκολλημένης με δακτυλοειδείς συνδέσεις (*finger joint*) και πολυβυνλική κόλλα (PVAc) ξυλείας δρυός αριάς (*Quercus ilex L.*)

ζωτικής σημασίας η διερεύνηση τρόπων ορθολογικότερης αξιοποίησής του. Ειδικότερα, το ξύλο της αριάς το οποίο σήμερα χρησιμοποιείται ως καυσόξυλο και ελάχιστα στην κατασκευή τορνευτών αντικειμένων και διάφορων αγροτικών εργαλείων. Χάρη στις θαυμάσιες ιδιότητες του αποτελεί πολύτιμη πρώτη ύλη και θα μπορούσε να αξιοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές επιπλοοίας – ξυλουργικής αν προσφερόταν σε μεγαλύτερες διαστάσεις.



Σχήμα 1. Γεωμετρία της δακτυλοειδούς μορφής σύνδεσης
Figure 1. Geometry of finger end joint

Η έρευνα της κατά μήκος συγκόλλησης με δακτυλοειδή σύνδεση (*finger joint*) (Σχήμα 1) 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). 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 δρυός έχει συγκεντρώσει πολύ μικρό ερευνητικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον. Σήμερα, το ξύλο της δρυός χρησιμοποιείται κυρίως σε μη δομικές εφαρμογές και αποτελεί βασική πρώτη ύλη πολλών προϊόντων επιπλοοίας και ξυλουργικής. Η ανάγκη για καλύτερη αξιοποίηση του ξύλου δρυός, τόσο των μικρών διαμέτρων δέντρων νέων φυτειών, όσο και μεγάλων διαμέτρων δέντρων υποβαθμισμένης ποιότητας (λόγω ροζοβρίθειας, καμπυλομορφίας, κλπ), τα οποία δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην παραγωγή πριστού ξύλου και ξυλοφύλλων, έστρεψε τελευταία το ενδιαφέρον στην παραγωγή επικολλητού ξύλου δρυός και οξιάς (Pena 1999).

Η κατά μήκος δακτυλοειδής συγκόλληση του ξύλου δρυός (*Quercus robur L.*) και της οξιάς (*Fagus sylvatica*) για την παραγωγή δομικής επικολλητής ξυλείας μελετήθηκε από τον Pena (1999), ο οποίος εξέτασε την επίδραση της γεωμετρίας της παραγόμενης εγχοπής στην αντοχή σε κάμψη και χρησιμοποίησε δακτύλους μήκους 9 mm και 12 mm και συγκολλητική ουσία μελαμίνη-ουρία φορμαλδεύδη (MUF) και εποξική 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 συμπαγές 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. Οι Καραστεργίου κ.ά. (2004) μελέτησαν την αντοχή συγκόλλησης με πολυβυνλική κόλλα (PVAc) κατηγορίας D1, ατμισμένης ξυλείας οξιάς (*Fagus sylvatica*) με δακτυλοειδείς συνδέσεις, και μήκη δακτύλων 4 mm, 10 mm, 15 mm και 20 mm. Οι Βασιλείου κ.ά. (2005) μελέτησαν την αντοχή συγκόλλησης με οξικό πολυβυνιλεστέρα (PVAc) κατηγορίας D1, D2, D3 μη ατμισμένης ξυλείας οξιάς

(*Fagus sylvatica*) με δακτυλοειδείς συνδέσεις, και μήκη δακτύλων 4 mm, 10 mm, και 15 mm.

Σκοπός της μελέτης

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η μελέτη των δυνατοτήτων αξιοποίησης ξυλείας αριάς μικρών διαστάσεων στην παραγωγή επικολλητής ξυλείας με συγκολλητική ουσία οξικό πολυβινυλεστέρα (PVAc) διάφορων κατηγοριών (D1, D2, D3) και της επίδρασης του μήκους (4, 10 και 15 mm) των δακτύλων στην αντοχή. Τα μήκη αυτά των δακτύλων χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιομηχανική παραγωγή επικολλητού ξύλου επιπλοποιίας - ξυλουργικής για εσωτερικούς χώρους.

Υλικά και μέθοδοι

Για τη διεξαγωγή της μελέτης χρησιμοποιήθηκε ξυλεία αριάς (*Quercus ilex* L.) προέλευσης περιοχής Ταξιάρχη Χαλκιδικής, 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 εξομίωση 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 εγκοπών με τα χαρακτηριστικά του Πίνακα 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 δοκιμών χρησιμοποιήθηκε συγκολλητική ουσία PVAc (*Polyvinyl Acetate*) κατηγορίας D1, D2 και D3, 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.

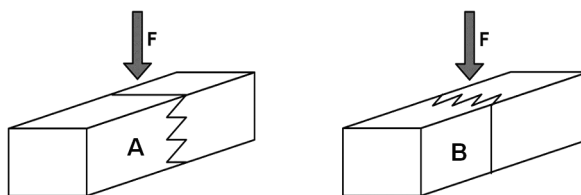
Μετά από κλιματισμό του συγκολλημένου υλικού για 24 ώρες, διαμορφώθηκαν δοκίμια διαστάσεων 20 mm x 20 mm x 360 mm για τον έλεγχο της αντοχής της δακτυλοειδούς σύνδεσης σε στατική κάμψη σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 10983:1999 και DIN 52186:1978. Για κάθε μορφή δακτυλοειδούς σύνδεσης μελετήθηκαν η επίδραση της κατεύθυνσης φόρτισης σε σχέση με τον προσανατολισμό των δακτυλοειδών εγκοπών και η επίδραση της κατηγορίας κόλλας (D1, D2, D3) (Σχήμα 2). Ο προσδιορισμός της αντοχής σε κάμψη έγινε σε 15 δοκίμια για κάθε χειρισμό (EN 385:2001). Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 270 δοκίμια, δηλαδή 15 επαναλήψεις x 18 χειρισμοί. Επιπλέον, προσδιορίστηκε η αντοχή σε στατική κάμψη και σε 15 δοκίμια συμπαγούς ξύλου χωρίς δακτυλοειδή σύνδεση. 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 0,92 (g/cm³) (τυπική απόκλιση 0,03) και η μέση περιεχόμενη υγρασία 9,7 % (τυπική απόκλιση 0,028).

Αντοχή σε κάμψη της συγκολλημένης με δακτυλοειδείς συνδέσεις (finger joint) και πολυβινυλική κόλλα (PVAc) ξυλείας δρυός αριάς (*Quercus ilex L.*)

Πίνακας 1. Χαρακτηριστικά δακτύλων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία
Table 1. Fingers' configuration used in the study

Χαρακτηριστικά δακτύλων* Fingers' configuration	Τιμές - Values		
Μήκος - Length (l) (mm)	4	10	15
Βήμα - Pitch (p) (mm)	1,6	3,8	3,8
Πάχος κορυφής - Tip (t) (mm)	0,4	0,16	0,11
Γωνία - Angle (α°)	12,0	11,0	7,5

* Βλέπε Σχ. 1- See Fig. 1



Σχήμα 2. Προσανατολισμός δακτυλοειδούς σύνδεσης και κατεύθυνσης φόρτισης στα δοκίμια (A: οριζόντιοι και B: κατακόρυφοι δάκτυλοι)

Figure 2. Orientation of finger joints and loading direction in samples (A: horizontal and B: vertical fingers)

Αποτελέσματα - Συζήτηση

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

Όπως φαίνεται από τον ανωτέρω Πίνακα τα τρία μήκη δακτύλων που χρησιμοποιήθηκαν έδωσαν μέσο μέτρο θραύσης που κυμάνθηκε από 55,9 N/mm² το ελάχιστο, μέχρι 107,4 N/mm² το μέγιστο, τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστά 39,5 % μέχρι 75,8 % του μέσου μέτρου θραύσης του συμπαγούς ξύλου χωρίς σύνδεση (141,6 N/mm²). Διαπιστώνεται κατ' αρχήν ότι, το μέσο μέτρο θραύσης επηρεάστηκε από το μήκος δακτύλων, την κατηγορία κόλλας και λιγότερο από τον προσανατολισμό των δακτύλων ως προς την κατεύθυνση εφαρμογής του φορτίου.

Πίνακας 2. Αντοχή σε κάμψη (Μέτρο Θραύσης -ΜΘ) της συγκολλημένης με δακτυλοειδείς συνδέσεις ξυλείας αριάς

Table 2. Bending strength (MOR) of the finger jointed holm oakwood

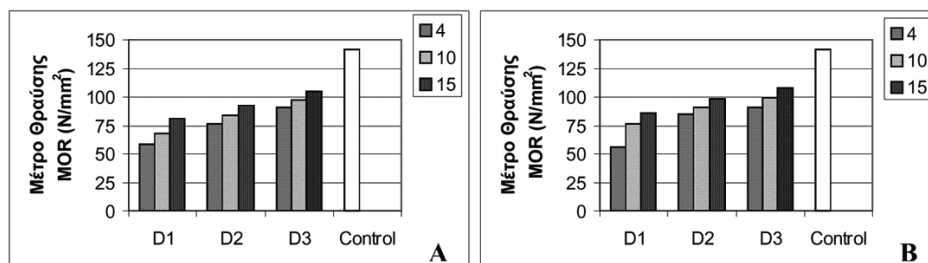
Κατηγορία κόλλας PVAc category	Μήκος δακτύλου - Finger length (mm)						Ξύλο χωρίς Σύνδεση Solid wood	
	4		10		15		ΜΘ MOR N/mm ²	ΤΑ SD
	ΜΘ MOR N/mm ²	ΤΑ SD	ΜΘ MOR N/mm ²	ΤΑ SD	ΜΘ MOR N/mm ²	ΤΑ SD		
Οριζόντιοι δάκτυλοι - Horizontal fingers							141,6	15,8
D1	58,4*	6,5	67,6	6,2	81,4	6,9		
D2	76,5	8,2	83,7	9,3	92,9	6,7		
D3	90,5	5,3	97,4	4,6	104,7	5,0		
Κατακόρυφοι δάκτυλοι - Vertical fingers								
D1	55,9	4,0	76,7	5,5	86,1	8,1		
D2	85,2	3,6	90,5	7,7	98,5	4,3		
D3	90,1	7,6	99,4	4,5	107,4	5,7		

* Μέσοι όροι τιμών 15 δοκιμών και τυπική απόκλιση (ΤΑ)

* Mean values of 15 samples and standard deviations (SD)

Επίδραση του μήκους δακτύλων

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3 το μέσο μέτρο θραύσης επηρεάστηκε σημαντικά από το μήκος των δακτύλων. Σε όλες τις περιπτώσεις αύξηση του μήκους δακτύλου προκάλεσε αύξηση του μέτρου θραύσης. Η αύξηση του μήκους δακτύλου προκάλεσε τη μεγαλύτερη αύξηση στο μέτρο θραύσης στα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με D1 κόλλα, τη μικρότερη αύξηση στα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με D3 κόλλα και ενδιάμεση αύξηση στα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με D2 κόλλα.



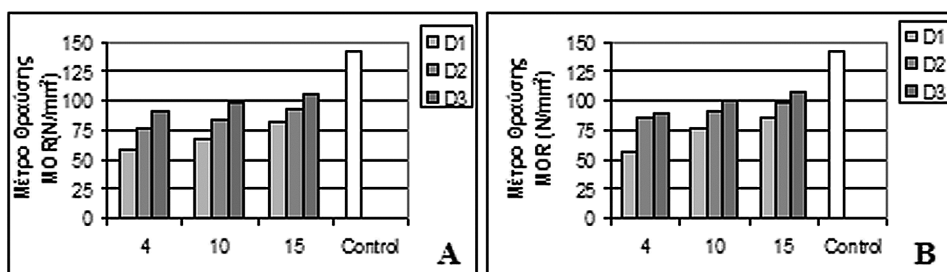
Σχήμα 3. Επίδραση του μήκους δακτύλου στο μέτρο θραύσης (A: οριζόντιος προσανατολισμός δακτύλων, B: κατακόρυφος προσανατολισμός δακτύλων)

Figure 3. Effect of finger length on bending strength – MOR (A: horizontal fingers, B: vertical fingers) (D1, D2, D3 κατηγορίες κόλλας - classes of PVAc glue)

Ειδικότερα, στην περίπτωση της κόλλας D1 το μέσο μέτρο θραύσης αυξήθηκε κατά 13,6% και 27,1% με αύξηση του μήκους δακτύλου από 4 mm σε 10 mm, και κατά 28,3% και 35,1% με αύξηση του μήκους δακτύλου από 4 mm σε 15 mm, αντιστοίχως, στους οριζόντια και κατακόρυφα προσανατολισμένους δακτύλους. Στην περίπτωση της κόλλας D2 το μέσο μέτρο θραύσης αυξήθηκε κατά 8,6% και 5,9% με αύξηση του μήκους δακτύλου από 4 mm σε 10 mm και κατά 17,7% και 13,5% με αύξηση του μήκους δακτύλου από 4 mm σε 15 mm, αντιστοίχως, στους οριζόντια και κατακόρυφα προσανατολισμένους δακτύλους. Στην περίπτωση της κόλλας D3 το μέσο μέτρο θραύσης αυξήθηκε κατά 7,1% και 9,4% με αύξηση του μήκους δακτύλου από 4 mm σε 10 mm και κατά 13,6% και 16,1% με αύξηση του μήκους δακτύλου από 4 mm σε 15 mm, αντιστοίχως, στους οριζόντια και κατακόρυφα προσανατολισμένους δακτύλους.

Επίδραση της κατηγορίας της κόλλας

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4 το μέσο μέτρο θραύσης επηρεάστηκε από την κατηγορία της κόλλας. Το δοκίμια που συγκολλήθηκαν με D2 κόλλα έδωσαν μεγαλύτερες τιμές του μέσου μέτρου θραύσης από τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με D1 κόλλα, και αυτά που συγκολλήθηκαν με D3 κόλλα έδωσαν μεγαλύτερες τιμές του μέσου μέτρου θραύσης από τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με D1 και D2 κόλλες.



Σχήμα 4. Επίδραση της κατηγορίας κόλλας στο μέτρο θραύσης (A: οριζόντιος προσανατολισμός δακτύλων, B: κατακόρυφος προσανατολισμός δακτύλων)

Figure 4. Effect of the type of glue on bending strength – MOR (A: horizontal fingers, B: vertical fingers) (D1, D2, D3 κατηγορίες κόλλας - classes of PVAc glue)

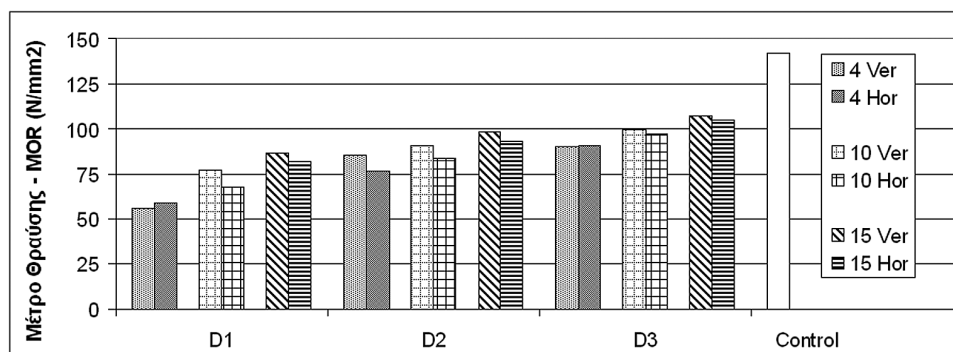
Ειδικότερα, στην περίπτωση του μήκους δακτύλων 4 mm το μέσο μέτρο θραύσης αυξήθηκε κατά 23,7% και 34,7% στα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με D2 κόλλα σε σχέση με αυτά που συγκολλήθηκαν με D1 κόλλα, και κατά 35,5% και 38,0% στα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με D3 κόλλα σε σχέση με αυτά που συγκολλήθηκαν με D1 κόλλα, αντιστοίχως στους οριζόντια και κατακόρυφα προσανατολισμένους δακτύλους. Στην περίπτωση του μήκους δακτύλων 10 mm το μέσο μέτρο θραύσης αυξήθηκε κατά 19,2% και 15,2% στα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με D2 κόλλα σε σχέση με αυτά που συγκολλήθηκαν με D1 κόλλα, και κατά 30,1% και 22,8% στα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με D3 κόλλα σε σχέση με αυτά που συγκολλήθηκαν με D1 κόλλα, αντιστοίχως στους οριζόντια και κατακόρυφα προσανατολισμένους δακτύλους. Στην περίπτωση του μήκους δακτύλων 15 mm το μέσο μέτρο θραύσης αυξήθηκε κατά 12,4% και 12,6% στα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με D2 κόλλα σε σχέση με αυτά που συγκολλήθηκαν με D1 κόλλα, και κατά 22,3% και 19,8% στα δοκίμια που συ-

γκολλήθηκαν με D3 κόλλα σε σχέση με αυτά που συγκολλήθηκαν με D1 κόλλα, αντιστοίχως στους οριζόντια και κατακόρυφα προσανατολισμένους δακτύλους.

Γενικά, διαπιστώθηκε ότι η επίδραση της κατηγορίας κόλλας ήταν μεγαλύτερη στο μήκος δακτύλων 4 mm, μικρότερη στο μήκος δακτύλων 15 mm και ενδιάμεση στο μήκος δακτύλων 10 mm.

Επίδραση του προσανατολισμού των δακτύλων

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 5 ο προσανατολισμός των δακτύλων σύνδεσης σε σχέση με την κατεύθυνση εφαρμογής του φορτίου επηρέασε τις τιμές του μέσου μέτρου θραύσης. Γενικά, διαπιστώνεται ότι τα δοκίμια με κατακόρυφα προσανατολισμένους δακτύλους εμφάνισαν μεγαλύτερο μέσο μέτρο θραύσης από τα δοκίμια με οριζόντια προσανατολισμένους δακτύλους. Με εξαίρεση την περίπτωση των δοκιμών με μήκος δακτύλων 4 mm και κόλλα D1 και D3 που εμφάνισαν μεγαλύτερο μέσο μέτρο θραύσης στους οριζόντια προσανατολισμένους δακτύλους σε σχέση με τους κατακόρυφα προσανατολισμένους δακτύλους (αύξηση 4,5% και 0,4% αντιστοίχως), σε όλες τις περιπτώσεις το μέσο μέτρο θραύσης των κατακόρυφα προσανατολισμένων δακτύλων ήταν μεγαλύτερο από 2,1% μέχρι 13,5% από τους οριζόντια προσανατολισμένους δακτύλους σύνδεσης.



Σχήμα 5. Επίδραση του προσανατολισμού των δακτύλων σύνδεσης (Ver: κάθετος, Hor: οριζόντιος) ως προς την κατεύθυνση εφαρμογής του φορτίου στο μέτρο θραύσης

Figure 5. Effect of the fingers' orientation (Ver: vertical – Hor: horizontal) on bending strength (MOR)

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

Γενικά, διαπιστώνεται ότι το μέτρο ελαστικότητας στα δοκίμια όλων των συνδυασμών συγκολλητικής ουσίας και μήκους δακτύλων που μελετήθηκαν, δεν φαίνεται να επηρεάζεται σημαντικά και κυμαίνεται στα επίπεδα των τιμών του μέτρου ελαστικότητας του συμπαγούς ξύλου. Την ίδια διαπίστωση για το μέτρο ελαστικότητας έκανε ο Pena (1999) σε συγκολλημένη ξυλεία οξιάς και δρυός 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.

Αντοχή σε κάμψη της συγκολλημένης με δακτυλοειδείς συνδέσεις (finger joint) και πολυβινυλική κόλλα (PVAc) ξυλείας δρυός αριάς (*Quercus ilex L.*)

Πίνακας 3. Αντοχή σε κάμψη (Μέτρο Ελαστικότητας- ME) της συγκολλημένης με δακτυλοειδείς συνδέσεις ξυλείας αριάς

Table 3. Bending strength (MOE) of the finger jointed holm oakwood

Κατηγορία κόλλας	Μήκος δακτύλου - Finger length (mm)						Ξύλο χωρίς Σύνδεση Solid wood	
	4		10		15		ME MOE N/mm ²	TA SD
PVAc category	ME MOE N/mm ²	TA SD	ME MOE N/mm ²	TA SD	ME MOE N/mm ²	TA SD		
Οριζόντιοι δάκτυλοι - Horizontal fingers							12141	1678
D1	11819	1021	10632	1181	10559	1057		
D2	11337	694	11205	861	10519	930		
D3	11932	941	12795	898	11476	1151		
Κατακόρυφοι δάκτυλοι - Vertical fingers								
D1	12324	928	11302	1546	10419	993		
D2	11418	912	11752	967	10975	982		
D3	12596	825	11724	1004	11196	1190		

* Μέσοι όροι τιμών 15 δοκιμών και τυπική απόκλιση (TA)

* Mean values of 15 samples and standard deviations (SD)

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

Συμπεράσματα

Τα βασικά συμπεράσματα της έρευνας αυτής έχουν ως εξής:

Ξυλεία δρυός αριάς μικρών διαστάσεων μπορεί να αξιοποιηθεί με κατά μήκος συγκόλληση με δακτυλοειδούς μορφής συνδέσεις (finger joint) στην παραγωγή επικολλητού ξύλου, για εφαρμογές επιπλοποιίας, ξυλουργικής και δομικών κατασκευών εσωτερικών χώρων. Το μέτρο θραύσης των δοκιμών που δοκιμάστηκαν κυμάνθηκε από 55,9 N/mm² το ελάχιστο μέχρι 107,4 N/mm² (39,5% και 75,8% αντιστοίχως του συμπαγούς ξύλου) και επηρεάστηκε από το μήκος των δακτύλων σύνδεσης, την κατηγορία της κόλλας και λιγότερο από τον προσανατολισμό των δακτύλων σύνδεσης ως προς την κατεύθυνση εφαρμογής του φορτίου. Αύξηση του μήκους δακτύλων από 4 mm σε 10 mm και 15 mm προκάλεσε αύξηση στις τιμές του μέσου μέτρου θραύσης. Η αύξηση ήταν μεγαλύτερη στα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με D1κόλλα (μέχρι 27,1% και 35,1%), και μικρότερη στην κόλλα D2 (μέχρι 8,6% και 17,7%) και στην κόλλα D3 (μέχρι 9,4% και 16,1%).

Τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με την κόλλα D3 έδωσαν τις μεγαλύτερες τιμές μέσου μέτρου θραύσης (από 90,1 N/mm² μέχρι 107,4 N/mm²), τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με την κόλλα D1 έδωσαν τις μικρότερες τιμές μέσου μέτρου θραύσης (από 55,9 N/mm² μέχρι 86,1 N/mm²) και τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με την κόλλα D2 έδωσαν ενδιάμεσες τιμές μέσου μέτρου θραύσης (από 76,5 N/mm² μέχρι 98,5 N/mm²).

Το μέτρο ελαστικότητας όλων των δοκιμών με δακτυλοειδείς συνδέσεις δε φαίνεται να επηρεάζεται και κυμαίνεται στα επίπεδα του μέτρου ελαστικότητας του συμπαγούς ξύλου.

Τα οφέλη από την παραγωγή επικολητού ξύλου ξυλείας δρυός αριάς προκύπτουν τόσο από την αξιοποίηση των μικρών διαστάσεων κορμών, τα οποία σήμερα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλης αξίας προϊόντα μεγάλων διαστάσεων, όσο και από την προσφορά ενός πολύ καλού ποιοτικά προϊόντος μεγάλης προστιθέμενης αξίας, απαλλαγμένου από σφάλματα (ρόζους, κτλ.) στις επιθυμητές διαστάσεις.

Βιβλιογραφία

- 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.
- Βασιλείου Β., Ι. Μπαρμπούτης και Σ. Καραστεργίου. 2005. Αντοχή σε κάμψη της συγκολλημένης με δακτυλοειδείς συνδέσεις (Finger joint) και πολυβινυλική κόλλα (PVAc) ξυλείας οξιάς (*Fagus sylvatica*). Επιστημονική Επετηρίδα Τμήματος Δασολογίας & Φυσ. Περιβάλλοντος. Τόμος προς τιμήν του ομ. καθηγητή Δ. Μουλαλή.
- DIN 52186 (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.
- Hernandez R. (1998). Analysis of strain in finger-jointed lumber. *Proceedings. 5th World Conference in Timber Engineering*. Montreux, Switzerland. Vol. 1:144-162.
- ISO 10983 (1999). Timber structures - solid timber finger-jointing - Production requirements. International Organization for Standardization. CH-1211 Switzerland.
- Καραστεργίου Σ., Β. Βασιλείου, Ι. Μπαρμπούτης 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 επικολητής ξυλείας. 1^ο Πανελλήνιο Περιβαλλοντικό Συνέδριο. Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών πόρων. 7 - 9 Μαΐου 2004. Ορεστιάδα.
- 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.
- Selbo, M.L. (1963). Effect of joint geometry on tensile strength of finger joint. *Forest Products Journal* 13(9):390-400.
- 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.