

**Αποτελεσματικότητα δακτυλοειδούς σύνδεσης  
(finger joint) ξύλου ερυθρελάτης (*Picea abies*)**

**Α. Σιδεράς και Ι. Μπαρμπούτης**



\* Δημοσιεύτηκε στο περιοδικό ΔΑΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ τεύχος 21, 2008

# Αποτελεσματικότητα δακτυλοειδούς σύνδεσης (finger joint) ξύλου ερυθρελάτης (*Picea abies*)

A. Σιδεράς και I. Μπαρμπούτης

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Δασικής Τεχνολογίας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα αξιοποίησης ξυλείας ερυθρελάτης (*Picea abies*) με εφαρμογή δακτυλοειδούς σύνδεσης (finger joint). Χρησιμοποιήθηκε ξυλεία υγρασίας 12%, απαλλαγμένη από ελατώματα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου EN 385:2001, στην οποία διαμορφώθηκαν δάκτυλοι μήκους 10 mm και 12,5 mm. Για τη συγκόλληση χρησιμοποιήθηκε θερμοπλαστική συγκολλητική ουσία οξικού πολυβινυλεστέρα (PVAc) κατηγορίας D4 και θερμοσκληρυνόμενη συγκολλητική ουσία μελαμίνη-ουρία-φορμαλδεύδη (MUF), και πίεση 92 N/cm<sup>2</sup> και 123 N/cm<sup>2</sup>. Το μέτρο θραύσης (MOR) και το μέτρο ελαστικότητας (MOE) των συνδέσεων προσδιορίστηκαν σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 10983:1999 και DIN 52186:1978 σε δοκίμια διαστάσεων 20x20x360 mm. Για κάθε ομάδα δοκιμών δακτυλοειδούς σύνδεσης, η δοκιμή σε στατική κάμψη έγινε με προσανατολισμό των δακτύλων των συνδέσεων και σε κάθετη και σε οριζόντια θέση σε σχέση με την κατεύθυνση εφαρμογής του φορτίου. Συνολικά ελέγχθηκαν 255 δοκίμια. Από τα αποτελέσματα διαπιστώθηκε ότι το μέτρο θραύσης κυμάνθηκε από 40,89 N/mm<sup>2</sup> μέχρι 48,60 N/mm<sup>2</sup>, τιμές που αντιστοιχούν στο 65% έως 77% της αντοχής του ξύλου χωρίς σύνδεση, ενώ το μέτρο ελαστικότητας κυμάνθηκε από 8.294 N/mm<sup>2</sup> μέχρι 10.037 N/mm<sup>2</sup>. Ο προσανατολισμός των δακτύλων δεν έδειξε να έχει σημαντική επίδραση στην αντοχή των συνδέσεων, η οποία όμως παρουσίασε μια τάση αύξησης με την αύξηση του μήκους των δακτύλων και την αύξηση της πίεσης κατά τη συγκόλληση. Από τις δύο συγκολλητικές ουσίες η PVAc παρουσίασε μεγαλύτερες τιμές αντοχής.

**Λέξεις κλειδιά:** επικολλητή ξυλεία, δακτυλοειδής σύνδεση, μηχανική αντοχή σε στατική κάμψη, πολυβινυλική κόλλα (PVAc), μελαμίνη-ουρία-φορμαλδεύδη (MUF).

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι συνδέσεις αποτελούσαν πάντα μια πρόκληση για τους ερευνητές και κατά καιρούς σχεδιάστηκαν, εφαρμόστηκαν και πολλές φορές παραμερίστηκαν διάφοροι τύποι συνδέσεων. Κάποιες από αυτές ήταν δύσκολο να κατασκευαστούν, άλλες να συνδεθούν, ενώ το πιο συχνό πρόβλημα ήταν η μειωμένη αποτελεσματικότητά τους (Jokerst 1981). Η επιλογή του τρόπου σύνδεσης που θα χρησιμοποιηθεί κάθε φορά εξαρτάται από το υλικό, τα διαθέσιμα μέσα, καθώς και από επιδιωκόμενες ιδιότητες και χρήσεις του τελικού προϊόντος.

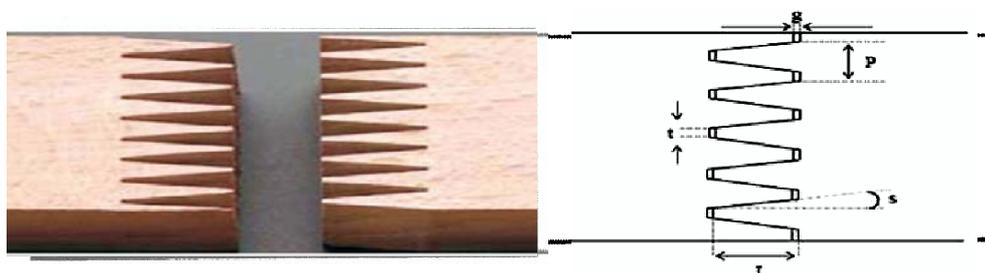
Για την κατά μήκος σύνδεση (αξονική σύνδεση) του ξύλου, η χρησιμοποίηση της δακτυλοειδούς τύπου ένωσης (finger joint) προτείνεται από τους ερευνητές Hernandez (1998), Jokerst (1981) και Vrazel (2002), διότι διαθέτουν πλεονεκτήματα όπως:

- επιτρέπουν την αυξημένη χρησιμοποίηση πρώτων υλών καθώς μπορεί να γίνει εκμετάλλευση ξυλείας μικρών διαστάσεων
- με την απομάκρυνση των ρόζων και των άλλων σφαλμάτων του ξύλου επιτυγχάνεται η αναβάθμιση της ποιότητας της παραγόμενης σύνθετης ξυλείας

- είναι εφικτή η παραγωγή σύνθετης ξυλείας μεγάλων διαστάσεων
- η διακύμανση της μηχανικής αντοχής της παραγόμενης σύνθετης ξυλείας είναι μικρότερη σε σύγκριση με την ξυλεία συμπαγούς ξύλου.

Οι δακτυλοειδείς συνδέσεις εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στις Ηνωμένες Πολιτείες και χρησιμοποιήθηκαν κυρίως από τις αυτοκινητοβιομηχανίες για την κατασκευή τμημάτων και άλλων ξύλινων μερών των αυτοκινήτων. Ο Jokerst (1981) αναφέρει ότι ο Ericson, μελέτησε την αντοχή δακτυλοειδών συνδέσεων σε στηρίγματα ελαφρών κατασκευών το 1941 ενώ ο Norman (1955) αναφέρει τη χρήση δακτυλοειδών συνδέσεων στην εταιρία του, σε ντουλάπια, πόρτες και παράθυρα.

Η αντοχή των δακτυλοειδών συνδέσεων επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι το είδος του ξύλου, ο τύπος της σύνδεσης, ο προσανατολισμός των δακτύλων, η γεωμετρία της σύνδεσης (Εικ. 1), ο τύπος της συγκολλητικής ουσίας, ο χρόνος πολυμερισμού της συγκολλητικής ουσίας και η τιμή της ασκούμενης πίεσης κατά τη συγκόλληση (Jokerst 1981).



Εικ. 1. Γεωμετρία της δακτυλοειδούς σύνδεσης.  
Fig. 1. Geometry of finger joint

Ένας γενικός κανόνας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιλογή του είδους είναι ότι ένα μικρότερης πυκνότητας είδος θα συγκολληθεί ευκολότερα λόγω μεγαλύτερης ικανότητας διαβροχής απ' ότι ένα είδος μεγαλύτερης πυκνότητας (Tsoumis 1991). Ωστόσο έχει παρατηρηθεί ότι ξύλα μεγάλης πυκνότητας δίνουν ανθεκτικότερες δακτυλοειδείς συνδέσεις (Jokerst 1981).

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας (Janowiak et al. 1993, Jokerst 1981, Μπαρμπούτης κ.ά. 2005) επίσης, φαίνεται ότι ο προσανατολισμός των δακτύλων δεν επηρεάζει σημαντικά την αντοχή των συνδέσεων.

Το μήκος των δακτύλων έχει επίδραση στην αντοχή των δακτυλοειδών συνδέσεων (Ayarkwa et al. 2000, Karastergiou et al. 2005, Μπαρμπούτης κ.ά. 2005, Σιδεράς κ.ά. 2007) αν και ο Walford (2000), που μελέτησε την επίδραση του μήκους των δακτύλων στην αντοχή των ενώσεων σε δοκίμια από *Pinus radiata*, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το μήκος των δακτύλων δεν έχει σημαντική επίδραση στην αντοχή σε εφελκυσμό και κάμψη σε ενώσεις από ξυλεία *Pinus radiata*, στο εύρος των προφίλ, τουλάχιστον, που ελέγχθηκαν στη συγκεκριμένη έρευνα.

Όσον αφορά την πίεση κατά τη συγκόλληση, οι Zhu et al. (1991), που μελέτησαν την επίδραση της πίεσης στην αντοχή δακτυλοειδών συνδέσεων σε κάμψη από ξυλεία *Pinus massoniana*, παρατήρησαν ότι μεταξύ των τιμών 2-5 N/mm<sup>2</sup> δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά στην αντοχή των συνδέσεων σε στατική κάμψη.

Η επιλογή της συγκολλητικής ουσίας εξαρτάται από τη χρήση του τελικού προϊόντος, τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες της συγκολλητικής ουσίας, την ταχύτητα με την οποία πρέπει να δημιουργηθεί ο δεσμός, τη μέθοδο πολυμερισμού, το κόστος και κάποιες φορές το χρώμα της συγκολλητικής ουσίας (Σιδεράς κ.ά. 2007).

Στο μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας, όπως

και στην παρούσα εργασία, για την αντοχή των δακτυλοειδών συνδέσεων χρησιμοποιείται ο όρος "αποτελεσματικότητα της δακτυλοειδούς σύνδεσης", που εκφράζεται ως ποσοστό της αντοχής που παρουσιάζει όμοιο σε διαστάσεις ξύλο του ίδιου είδους χωρίς συνδέσεις (Jokerst 1981, Ayarkwa et al. 2000).

Σκοπός της παρούσης ερευνητικής εργασίας είναι η μελέτη της αντοχής δακτυλοειδών συνδέσεων ξυλείας ερυθρελάτης σε στατική κάμψη.

Ειδικότερα εξετάζεται η επίδραση:

- του είδους της συγκολλητικής ουσίας,
- του μήκους των δακτύλων,
- της πίεσης κατά τη συγκόλληση και
- του προσανατολισμού των δακτύλων των συνδέσεων

στην παραγωγή συγκολλημένης με δακτυλοειδείς συνδέσεις ξυλείας, για την χρησιμοποίησή της σε στοιχεία δομικών και μη δομικών εφαρμογών.

## ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Για τη διεξαγωγή της μελέτης χρησιμοποιήθηκε ξυλεία ερυθρελάτης (*Picea abies*), η οποία προερχόταν από την περιοχή του δασικού συμπλέγματος Δυτικού Νέστου (Ελασιά) Δράμας. Από πριστήριο της περιοχής (Καλλίκαρπος Δράμας) λήφθηκαν επτά τυχαία πριστά διαστάσεων 6x12x200 cm. Η ξυλεία μεταφέρθηκε στις πανεπιστημιακές εγκαταστάσεις του Φοίνικα Θεσσαλονίκης, όπου τεμαχίστηκε και πλανίστηκε σε πριστά διατομής 5x10x40 cm. Κατά την παραγωγή των πριστών δόθηκε μέριμνα ώστε αυτά να είναι απαλλαγμένα από ρόζους ή άλλα ελατώματα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου EN 385:2001. Κατόπιν το υλικό αυτό κλιματίστηκε σε συνθήκες εργαστηρίου για την επίτευξη της ισοδύναμης υγρασίας (11-12%).

Μετά την ολοκλήρωση του κλιματισμού ακολούθησε η διαμόρφωση των εγκάρσιων άκρων των πριστών σε μορφή δακτυλοειδούς τύπου σύνδεσης.

Για τη διαμόρφωση χρησιμοποιήθηκαν δύο κοπτικά εργαλεία με μήκος δακτύλων 10 και 12,5 mm αντίστοιχα. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δακτύλων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.

Στο επόμενο στάδιο έγινε ο τεμαχισμός των πριστών στο μέσον του μήκους τους ώστε να σχηματισθούν τα δύο μέλη της δακτυλοειδούς σύνδεσης και ακολούθησε η συγκόλληση των άκρων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 - TABLE 1

Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δακτύλων της εργασίας  
Fingers' configuration used in the study

μ	* - Fingers' confi	guration*
- Length (L) (mm)	10	12,5
μ - Pitch (p) (mm)	7,3	6,9
- Tip (t) (mm)	1,6	1,6
- Angle (s°)	15	12

\*Βλέπε Εικ. 2- See Fig. 2

Για τη συγκόλληση των διαμορφωθέντων δοκιμών χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι συγκολλητικών ουσιών :

- οξικός πολυβινυλεστέρας (PVAc) και
- μελαμίνη-ουρία-φορμαλδεΐδη (MUF) με σκληρυντή.

Η PVAc (Polyvinyl Acetate) ήταν κατηγορίας D4 θερμοπλαστική ρητίνη (σε υγρή μορφή) με χαρακτηριστικά τα οποία ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις της προδιαγραφής EN 204-D4. Κατασκευάζεται από την εταιρία Racoll με ονομασία τύπου GLX 4 .

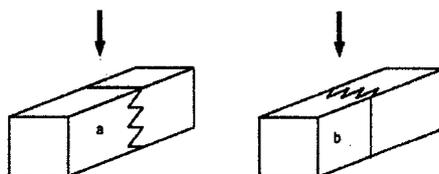
Η MUF ήταν θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη (σε υγρή μορφή) της εταιρίας Casco με ονομασία τύπου melamine-urea-formaldehyde 1240 και του σκληρυντή 2540 (σε υγρή μορφή). Η παραπάνω κόλλα πληρεί τις προϋποθέσεις του προτύπου EN 301 για δομικές κατασκευές και χρησιμοποιείται με τον σκληρυντή σε αναλογία 10:3.

Η εφαρμογή της συγκολλητικής ουσίας έγινε με επίλειψη με πινέλο στο ένα μέλος της δακτυλοειδούς σύνδεσης και σε ποσότητα που καθορίζεται από το πρότυπο EN 385 (ποσότητα τόση ώστε μετά την εφαρμογή της πίεσης η κόλλα να «δακρύζει» από τα άκρα της σύνδεσης). Η θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης επιδιώχθηκε να κυμαίνεται κοντά στην τιμή των 20°C. Η συγκόλληση των δοκιμών έγινε εντός εικοσπετραώρου

από τη διαμόρφωση των δακτυλοειδών εγκοπών, με τη βοήθεια εμβόλου αέρος της εταιρίας Metal Work, και με εφαρμογή, για 2 min, συνεχούς πίεσης 6 atm (92 N/cm<sup>2</sup>) ή 8 atm (123 N/cm<sup>2</sup>) σε αντίστοιχα δοκίμια.

Μετά την ολοκλήρωση της συγκόλλησης ακολούθησε κλιματισμός των συγκολλημένων δοκιμών για 24 ώρες, και στη συνέχεια διαμορφώθηκαν, με τη βοήθεια δισκοπρίονων, δοκίμια διαστάσεων 20 x 20 x 360 mm για τον έλεγχο της αντοχής των δακτυλοειδών συνδέσεων σε στατική κάμψη σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 10983:1999 και DIN 52186:1978.

Για κάθε ομάδα δοκιμών δακτυλοειδούς σύνδεσης, η δοκιμή σε στατική κάμψη έγινε με προσανατολισμό των δακτύλων των συνδέσεων σε κάθετη καθώς και σε οριζόντια θέση σε σχέση με την κατεύθυνση εφαρμογής του φορτίου (Εικ. 2), σε 15 δοκίμια για κάθε χειρισμό (EN 385:2001). Συνολικά ελέγχθηκαν 255 δοκίμια, δηλαδή 1 δασοπονικό είδος x 2 μήκη δακτύλων x 2 συγκολλητικές ουσίες x 2 πιέσεις x 2 κατευθύνσεις φόρτισης x 15 επαναλήψεις = 240 δοκίμια (συνολικά 16 χειρισμοί) συν 15 δοκίμια για τον προσδιορισμό, για συγκριτικούς λόγους, της αντοχής συμπαγούς ξύλου, χωρίς δακτυλοειδείς συνδέσεις.



Εικ 2. Κατεύθυνση φόρτισης στα δοκίμια (a: οριζόντιος προσανατολισμός δακτύλων, b: κατακόρυφος προσανατολισμός δακτύλων).

Fig. 2. Orientation of loading direction in samples (a: horizontal and b: vertical fingers).

Η μέση βασική πυκνότητα του ξύλου των δοκιμών, που προσδιορίστηκε μετά την ολοκλήρωση των δοκιμών, διαπιστώθηκε ότι ήταν  $0,38 \text{ g/cm}^3$  και η μέση περιεχόμενη υγρασία 12%.

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα των δοκιμών για την αντοχή των δακτυλοειδών συνδέσεων με πρισιτή ξυλεία ερυθρελάτης σε στατική κάμψη (μέτρο θραύσης, μέτρο ελαστικό-

τητας) δίνονται στον Πίνακα 2.

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι σε όλες τις κατηγορίες δακτυλοειδών συνδέσεων που μελετήθηκαν, το μέτρο θραύσης κυμάνθηκε από  $40,89 \text{ N/mm}^2$  (κατακόρυφος προσανατολισμός δακτύλων-μήκος δακτύλων 10mm-συγκολλητική ουσία MUF-πίεση 8 atm) έως  $48,60 \text{ N/mm}^2$  (κατακόρυφος προσανατολισμός δακτύλων- μήκος δακτύλων 12,5 mm-συγκολλητική ουσία MUF-πίεση 8 atm), τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστά 65% έως 77% του μέσου μέτρου θραύσης του συμπα-

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 - TABLE 2

Αντοχή σε κάμψη (μέτρο θραύσης «ΜΘ» και μέτρο ελαστικότητας «ΜΕ»)  
Bending strength (MOR, MOE)

Πίεση Pressure atm	Συγκολλητική ουσία Adhesive type	Μήκος δακτύλων Finger length (mm)				Ξύλο χωρίς σύνδεση Solid wood			
		10		12.5		ΜΘ- MOR N/mm <sup>2</sup>	ΜΕ -MOE N/mm <sup>2</sup>		
		ΜΘ*-MOR* N/mm <sup>2</sup>	ΜΕ*- MOE* N/mm <sup>2</sup>	ΜΘ -MOR N/mm <sup>2</sup>	ΜΕ -MOE N/mm <sup>2</sup>				
Κατακόρυφος προσανατολισμός δακτύλων - Vertical fingers									
6	PVAc	45,43(4,1)	8757(809)	43,82(4,3)	9166(1218)	63,24 (8,5)	8952 (1110)		
	MUF	41,24(4,0)	9081(717)	43,18(4,6)	9072(804)				
8	PVAc	45,82(5,9)	8940(813)	45,97(4,9)	9174(1294)				
	MUF	40,89(4,6)	8471(774)	48,60(4,7)	9301(601)				
Οριζόντιος προσανατολισμός δακτύλων - Horizontal fingers									
6	PVAc	47,10(4,3)	9920(1319)	45,52(3,9)	9680(1238)				
	MUF	42,01(3,3)	9283(760)	42,68(3,1)	8745(631)				
8	PVAc	46,76(5,6)	9175(1417)	47,03(4,1)	9593(1231)				
	MUF	43,02(4,6)	8294(896)	45,29(4,7)	10037(1176)				
Μέσοι όροι- Mean values									
6	PVAc	46,26(4,2)	9338(1228)	44,67(4,1)	9422(1251)				
	MUF	41,63(3,6)	9182(733)	42,93(3,8)	8908(729)				
8	PVAc	46,29(5,6)	9058(1142)	46,90(4,5)	9383(1258)				
	MUF	41,96(4,7)	8382(828)	46,60(4,9)	9669(991)				

\*Μέση τιμή και σε παρένθεση η τυπική απόκλιση \*Mean values of MOR –MOE and standard deviations (SD)

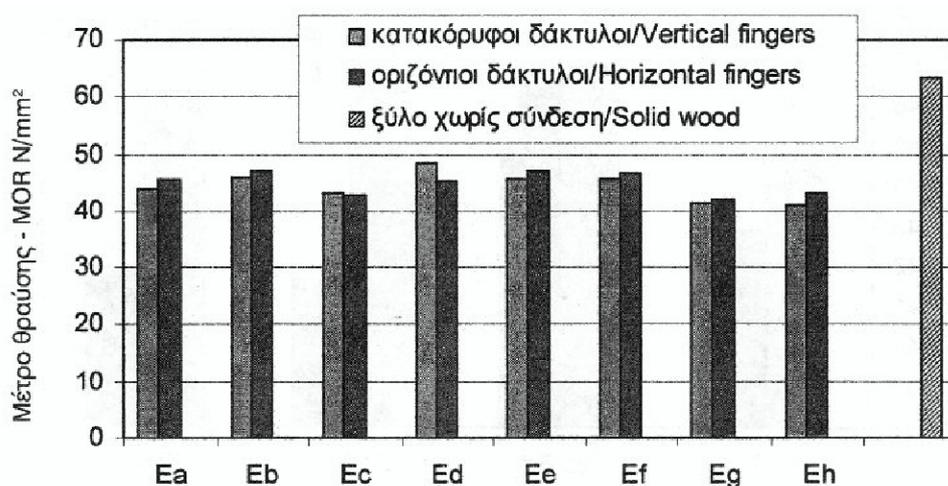
γούς ξύλου ερυθρελάτης ενώ το μέτρο ελαστικότητας κυμάνθηκε από  $8.294 \text{ N/mm}^2$  μέχρι  $10.037 \text{ N/mm}^2$  και ήταν όμοιο με τις τιμές του συμπαγούς ξύλου.

#### Επίδραση του προσανατολισμού των δακτύλων

Οι δακτυλοειδείς συνδέσεις με οριζόντιο προσανατολισμό διαπιστώνεται ότι παρουσιάζουν μεγαλύτερο μέτρο θραύσης εκτός των ομάδων Ec (μήκος δακτύλων 12,5 mm, κόλλα MUF, πίεση 6 atm) και Ed (μήκος δακτύλων 12,5 mm, κόλλα MUF και πίεση 6 atm) (Εικ. 3). Ωστόσο οι διαφορές αυτές αποδείχθηκαν μετά από στατιστικό έλεγχο μη σημαντικές, που σημαίνει ότι ο προσανατολισμός των δακτύλων στις δακτυλοειδείς συνδέσεις ξυλείας ερυθρελάτης δεν επηρέασε την αντοχή των συνδέσεων.

#### Επίδραση του μήκους των δακτύλων

Η αύξηση του μήκους των δακτύλων από 10 σε 12,5 mm οδήγησε σε αύξηση του μέσου όρου του μέτρου θραύσης σε όλες τις κατηγορίες (Εικ. 4) εκτός της περίπτωσης Εα που χρησιμοποιήθηκε συγκολλητική ουσία PVAc και τελική πίεση 6 atm. Η αύξηση του μέτρου θραύσης ήταν μεγαλύτερη στις δακτυλοειδείς συνδέσεις στις οποίες η συγκόλληση πραγματοποιήθηκε με συγκολλητική ουσία MUF. Η στατιστική ανάλυση της επίδρασης του μήκους έδειξε, ωστόσο, ότι το μήκος των δακτύλων επέδρασε σημαντικά μόνο στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε συγκολλητική ουσία MUF και πίεση 8 atm.



Εικ. 3. Επίδραση του προσανατολισμού των δακτύλων στο μέτρο θραύσης

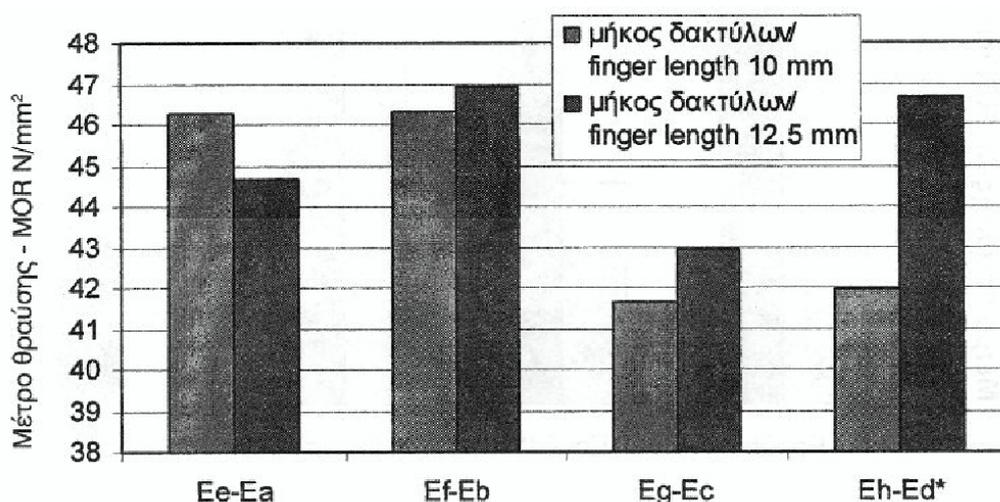
Fig. 3. Effect of the fingers' orientation on bending strength (MOR)

(Ea=12,5mm-PVAc-6atm, Eb=12,5mm-PVAc-8atm, Ec=12,5mm-MUF-6atm, Ed=12,5mm-MUF-8atm, Ee=10mm-PVAc-6atm, Ef=10mm-PVAc-8atm, Eg=10mm-MUF-6atm, Eh=10mm-MUF-8atm)

#### Επίδραση της συγκολλητικής ουσίας

Οι δακτυλοειδείς συνδέσεις με συγκολλητική ουσία PVAc διαπιστώθηκε ότι παρουσίασαν μεγαλύτερους μέσους όρους του μέτρου θραύσης σε σύγκριση με αυτές στις οποίες χρησιμοποιήθηκε συγκολλητική ουσία MUF, σε όλες τις κατηγορίες συνδέσεων που μελετήθηκαν (Εικ. 5). Η επίδραση της συγκολλητικής ουσίας ήταν μεγαλύτερη στις δακτυλοειδείς συνδέσεις

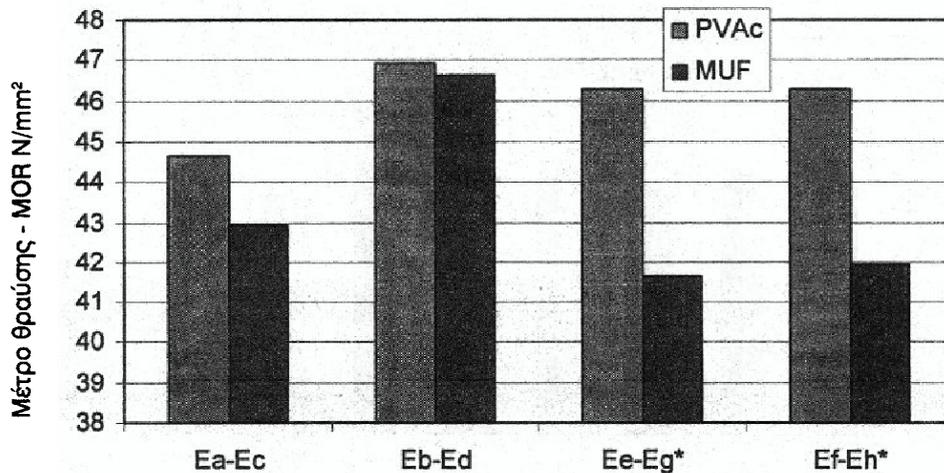
με μήκος δακτύλων 10 mm (Ee-Eg, Ef-Eh) γεγονός που επιβεβαιώθηκε και στατιστικά καθώς η διαφορά ήταν στατιστικά σημαντική στις ομάδες συνδέσεων με μήκος δακτύλων 10 mm και πίεση συγκόλλησης 6 και 8 atm ενώ (στατιστικά) δεν ήταν σημαντική στις ομάδες συνδέσεων με μήκος δακτύλων 12,5 mm και πίεση 6 atm και 8 atm.



Εικ. 4. Επίδραση του μήκους των δακτύλων στο μέτρο θραύσης

Fig. 4. Effect of finger length on bending strength (MOR)

(Ea=12,5mm-PVAc-6atm, Eb=12,5mm-PVAc-8atm, Ec=12,5mm-MUF-6atm, Ed=12,5mm-MUF-8atm, Ee=10mm-PVAc-6atm, Ef=10mm-PVAc-8atm, Eg=10mm-MUF-6atm, Eh=10mm-MUF-8atm)



Εικ. 5. Επίδραση της συγκολλητικής ουσίας στο μέτρο θραύσης

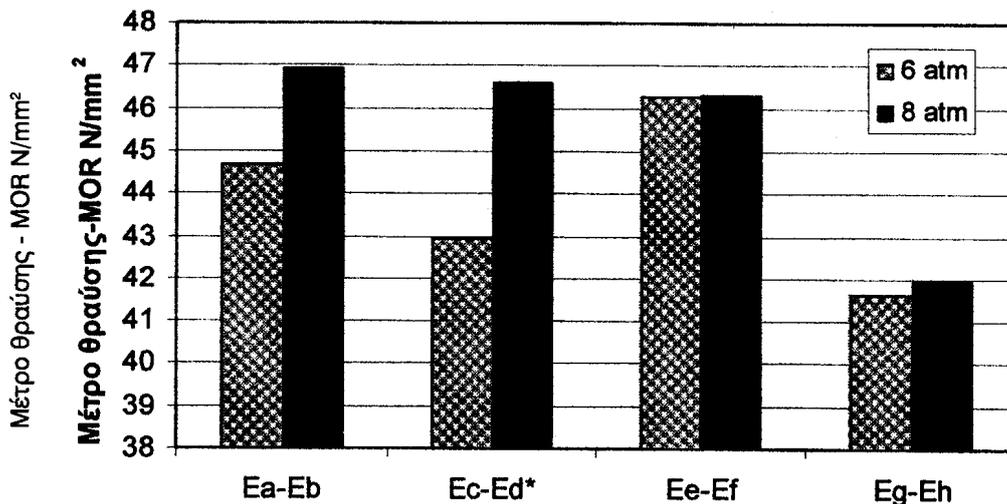
Fig. 5. Effect of the type of glue on bending strength (MOR)

(Ea= 12,5mm-PVAc-6atm, Eb= 12,5mm-PVAc-8atm, Ec = 12,5mm-MUF-6atm, Ed = 12,5mm-MUF-8atm, Ee= 10mm-PVAc-6atm, Ef= 10mm-PVAc-8atm, Eg = 10mm-MUF-6atm, Eh = 10mm-MUF-8atm)

#### Επίδραση της ασκούμενης πίεσης κατά την συγκόλληση

Η αύξηση της πίεσης, κατά τη συγκόλληση ηριστής ξυλείας ερυθρελάτης, από 6 atm σε 8 atm διαπιστώθηκε ότι οδήγησε σε αύξηση του μέσου όρου του μέτρου θραύσης σε όλες τις ομάδες συνδέσεων που μελετή-

θηκαν (Εικ. 6). Η αύξηση του μέτρου θραύσης με την αύξηση της ασκούμενης πίεσης ήταν μεγαλύτερη στις δακτυλοειδείς συνδέσεις με μήκος δακτύλων 12,5 mm (Ea-Eb, Ec-Ed) ενώ το είδος της συγκολλητικής ουσίας που χρησιμοποιήθηκε δεν έδειξε να επηρεάζει την αντοχή των συνδέσεων καθώς η πίεση μεταβαλλό-



Εικ. 6. Επίδραση της ασκούμενης πίεσης κατά την συγκόλληση στην αντοχή σε στατική κάμψη των δακτυλοειδών συνδέσεων

Fig. 6. Effect of the applied pressure on bending strength (MOR)

(Ea= 12,5mm-PVAc-6atm, Eb= 12,5mm-PVAc-8atm, Ec= 12,5mm-MUF-6atm, Ed= 12,5mm-MUF-8atm, Ee= 10mm-PVAc-6atm, Ef= 10mm-PVAc-8atm, Eg = 10mm-MUF-6atm, Eh = 10mm-MUF-8atm)

ταν. Η επίδραση της πίεσης, ωστόσο, αποδείχθηκε στατιστικά σημαντική μόνο στις ομάδες συνδέσεων με μήκος δακτύλων 12,5 mm και συγκολλητική ουσία MUF (Ec-Ed).

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα της παραπάνω μελέτης διαπιστώνεται ότι :

- Ο προσανατολισμός των δακτύλων δεν είχε σημαντική επίδραση στην αντοχή (μέτρο θραύσης) των δακτυλοειδών συνδέσεων σε καμία ομάδα συνδέσεων από αυτές που μελετήθηκαν στη παρούσα εργασία.
- Η αντοχή σε στατική κάμψη (μέτρο θραύσης) των δακτυλοειδών συνδέσεων από ξυλεία ερυθρελάτης στην πλειονότητα των συνδέσεων παρουσίασε μια τάση αύξησης με την αύξηση του μήκους των δακτύλων των συνδέσεων, χωρίς όμως η αύξηση αυτή να εμφανίζεται στατιστικά σημαντική στο σύνολο των συνδέσεων. Η μη σημαντική επίδραση του μήκους, πιθανόν, οφείλεται στη μικρή διαφορά μεταξύ των μηκών των δύο δακτύλων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία.
- Η συγκολλητική ουσία PVAc παρουσίασε μεγαλύτερη αντοχή (μέτρο θραύσης) σε όλες τις ομάδες συνδέσεων που μελετήθηκαν. Η επιλογή, ωστόσο, του τύπου της συγκολλητικής ουσίας πρέπει να στηρίζεται και στην προοριζόμενη χρήση της παραγόμενης συγκολλημένης ξυλείας, π.χ. η MUF παρουσιάζει μεγαλύτερες αντοχές σε στατικές φορτίσεις και υγρασία.
- Η αύξηση της πίεσης οδήγησε σε αύξηση της αντοχής (μέτρο θραύσης), χωρίς ωστόσο η αύξηση αυτή να επιβεβαιώνεται στατιστικά στο σύνολο των συνδέσεων. Ο λόγος της μικρής και μη σημαντικής επίδρασης της πίεσης, πιθανόν να οφείλεται στις μικρές τιμές πίεσης που χρησιμοποιήθηκαν.
- Το μέτρο ελαστικότητας στις περισσότερες ομάδες συνδέσεων κυμάνθηκε στα επίπεδα του μέτρου ελαστικότητας του συμπαγούς ξύλου.

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AYARKWA, J., HIRASHIMA, Y. and SASAKI, Y., 2000. Effect of finger geometry and end pressure on the flexural properties of finger-jointed tropical African hardwoods. *Forest Prod. J.*, 50(11/12): 53-63.
- 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 301:1992. Adhesives, phenolic and aminoplastic, for load bearing timber structures – Classification and performance requirements.
- 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 joint lumber. *Proceedings of 5th World Conference in Timber Engineering*. Montreux, Switzerland. 1: 144-162.
- ISO 10983: 1999. Timber structures - Solid timber finger jointing. Production requirements.
- JANOWIAK, J. J., LABOSKY, P., BLANKENHORN, P. R. and MANBECK, H. B., 1993. Finger-joint strength evaluations of three north eastern hardwoods. *Forest Prod. J.*, 43(9):23-28.
- JOKERST, R. W., 1981. Finger-jointed wood products. Res. Pap. FLP 382. USDA Forest Serv., Prod. Lab. Madison, WI. USA. 23 pp.
- KARASTERGIU, S., BARBOUTIS, J. and VASSILIOU, V., 2005. Effect of the PVA gluing on bending strength properties of finger jointed turkey oakwood (*Quercus cerris* L.). *Holz als Roh- und Werkstoff*, 64(4): 339-340.
- ΜΠΑΡΜΠΟΥΤΗΣ, Ι., ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ, Β. και ΚΑΡΑΣΤΕΡΓΙΟΥ, Σ., 2005. Αντοχή σε κάμψη της συγκολλημένης με δακτυλοειδείς συνδέσεις (finger joint) και πολυβυνιλική κόλλα (PVAc) ξυλείας δρυός αριάς (*Quercus ilex* L.), σελ. 347-356. *Πρακτικά 12<sup>ου</sup> Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου*, Δράμα. 2-5/10/2005.
- NORMAN W. A., 1955. The use of small cuttings in manufacturing millwork. *Forest Prod. J.*, 5(3): 39A-40A
- ΣΙΔΕΡΑΣ, Α., ΜΠΑΡΜΠΟΥΤΗΣ, Ι. και ΦΙΛΙΠΠΟΥ, Ι., 2007. Αποτελεσματικότητα δακτυλοειδούς σύνδεσης (finger joint) ξύλου μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*), τόμος Β, σελ. 221-229. *Πρακτικά 13<sup>ου</sup> Πανελληνίου Δασολογικού Συνεδρίου*. Καστοριά, 7-10/10/2007.
- TSOUMIS, G., 1991. Science and technology of wood. Structure, properties, utilization. Van Nostrand Reinhold. New York. p. 329.
- VRAZEL, M. E., 2002. The effects of species, adhesive

type, and cure temperature on the strength and durability of a structural finger joint. *Thèse de MSc. Department of Forest Products. Mississippi State University*. Mississippi. EU. 71 pp. [http://idrinfo.idrc.ca/archive/Corpdocs/087191/chap4\\_e.html](http://idrinfo.idrc.ca/archive/Corpdocs/087191/chap4_e.html)

ZHU, H., LUO, W., YAN, Z., Ji. C., HOU, Z., BOA, J., LIU, X., YU AN, Y. and ZHU, Y., 1991. Wood Utilization; Project-Finger Joint Technology. *Final Technical Report*. China. [http://archive.idrc.ca/library/document/087191/chap4\\_e.html](http://archive.idrc.ca/library/document/087191/chap4_e.html)

WALFORD, B. G., 2000. Effect of finger length on fingerjoint strength in radiata pine. *Proceedings of World Conference on Timber Engineering*. Session 3.5.2. Whistler, B.C., Canada. 8 pp.

### **Study on the finger joint strength of spruce (*Picea abies*) timber**

**A. Sideras and I. Barboutis**

Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Forestry and Natural Environment  
Laboratory of wood technology

#### **SUMMARY**

Finger-jointing is a wood processing technique that consists of cutting finger profiles into the ends of wood pieces and joining them into longer pieces with an adhesive. Finger-jointing has nowadays become a way to convert short wood lengths and low-grade lumber into high-performance and high-value products.

The purpose of the present research is the better

utilization of Norway spruce (*Picea abies*) timber from Elatia region of Drama (Greece) using finger joints.

Sawn timber was used with a moisture content of 12% and free of knots or other faults according to the requirements of standard EN 385:2001. Finger lengths were 10 mm and 12.5 mm. The adhesives that were tested were the thermoplastic resin of polyvinyl acetate (PVAc) D4 category and the thermosetting resin of melamine-urea-formaldehyde (MUF). The values of the end pressures that were applied were 92 N/cm<sup>2</sup> and 123 N/cm<sup>2</sup>. The final dimensions of the final specimens tested were 20x20x360 mm. The modulus of rupture (MOR) and the modulus of elasticity (MOE) of the finger joints were determined according to the ISO 10983:1999 and DIN 52186:1978 standards. For each batch of finger joints, the load was applied with the fingers oriented vertically and horizontally, according to the EN 385:2001 standard. In total, 255 specimens were tested. The modulus of rupture ranged between 40.89 N/mm<sup>2</sup> and 48.60 N/mm<sup>2</sup>, which corresponds to 65% and 77% of the control solid wood values, respectively. The modulus of elasticity ranged between 8,294 N/mm<sup>2</sup> and 10,037 N/mm<sup>2</sup> and was similar to values of the control solid wood. The orientation of the finger joints did not influence considerably the finger joint strength, which however presented an increasing improvement proportional to the finger joint length and pressure increase. The adhesive type PVAc presented higher strength values than MUF.

**Key words:** laminated timber, finger joint, bending strength, polyvinyl resin (PVAc), melamine-urea-formaldehyde resin (MUF).