

**Μελέτη της αντοχής σε κάμψη επικολλητής ξυλείας δρυός (*Quercus conferta*)
με κατά μήκος δακτυλοειδείς συνδέσεις
- Εφαρμογή της μεθόδου «συγκόλλησης χλωρού ξύλου»**

Καραστεργίου Σωτήριος, Μαντάνης Γεώργιος και Κακαράς Ιωάννης

ΤΕΙ Λάρισας - Παράρτημα Καρδίτσας
Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου
T.K. 43100, Καρδίτσα - Email: karaso@teilar.gr

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας ερευνητικής εργασίας ήταν η διερεύνηση των δυνατοτήτων παραγωγής επικολλητής κατά μήκος ξυλείας με δακτυλοειδείς συνδέσεις (finger-joints) με καλές ιδιότητες για κάλυψη των αναγκών της ελληνικής επιπλοποιίας. Χρησιμοποιήθηκε σ' αυτή την εργασία μια νέα μέθοδος παραγωγής επικολλητής ξυλείας δρυός, στην οποία το ξύλο μορφοποιείται και συγκολλείται αμέσως μετά την κύρια πρίση κορμών, με ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας πάνω από το σημείο ινοκόρου. Η μέθοδος αυτή που χρησιμοποιείται στην Ευρώπη, δοκιμάζεται για πρώτη φορά σε ελληνική ξυλεία δρυός και συγκρίνεται με τη συμβατική μέθοδο, όπου η ξυλεία κατεργάζεται, αφού πρώτα έχει ξηραθεί. Μελετήθηκε, κατά συνέπεια, η αντοχή σε κάμψη (μέτρο θραύσης και μέτρο ελαστικότητας) των συγκολλημένων δοκιμίων και εφαρμόστηκαν δύο τύποι δακτυλοειδών συνδέσεων με μήκη δακτύλων 4 και 10 mm και συγκολλητικές ουσίες πολυουρεθάνης ενός συστατικού για τη συγκόλληση χλωρού ξύλου, και πολυβινυλική ρητίνη (PVA) κατηγορίας D2 για τη συμβατική συγκόλληση. Επίσης, μελετήθηκε η επίδραση του τρόπου φόρτισης των δοκιμίων αναφορικά με την κατεύθυνση των δοντιών της σύνδεσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέθοδος συγκόλλησης χλωρού ξύλου μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα. Τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με τη μέθοδο αυτή (ρητίνη πολυουρεθάνης) παρουσίασαν αντοχή σε κάμψη (M_θ) που κυμάνθηκε από 61,2 έως 76,4% σε σύγκριση με την αντοχή σε κάμψη του συμπαγούς ξύλου. Παρόμοιες αλλά χαμηλότερες τιμές παρουσίασαν τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με την ξηρή μέθοδο για μήκη δακτύλων 10mm.

Λέξεις-κλειδιά: δακτυλοειδής σύνδεση (finger-joint), δρυς, συγκόλληση χλωρού ξύλου (green gluing of wood), επικολλητή ξυλεία, αντοχή σε κάμψη (M_θ, ME).

Study of the bending strength of finger jointed oak wood (*Quercus conferta*) for the production of laminated wood - Application of the green gluing method.

Karastergiou Sotirios, Mantanis George and Kakaras John

Technological Education Institute of Larissa, Karditsa Branch, Dept. of Wood and Furniture Design and Technology, 43100, Karditsa, Greece. Email: karaso@teilar.gr

Summary

The purpose of this work was to study the utilisation of small-dimension finger jointed oak wood (*Quercus conferta*) for the manufacture of laminated wood. The new method of green gluing is examined in Greek oak wood and compared with the conventional method, where wood is utilized being in dry conditions. Particularly, it was examined the bending strength (modulus of rupture and modulus of elasticity) of finger jointed laboratory specimens that were glued across the grain. Two different finger lengths (4 and 10mm) and two types of glue were used. In the case of the green gluing, a one-component polyurethane glue was studied. In the conventional method, a polyvinyl-acetate based glue (D2 type) for interior use was used. The effects of finger joint orientation (vertical or horizontal) and loading direction (radial or tangential) were also examined. Modulus of rupture (MOR) of the green glued specimens fluctuated from 61.2 up to 76.4% compared with that of control wood. It was finally concluded that bending strength of the laminated wood using the green gluing method was satisfactory in respect to the production requirements and especially for the production of laminated oak wood for the furniture and joinery sector.

Key words: finger joint, oak wood, laminated wood, green gluing of wood, bending strength (MOR, MOE).

Εισαγωγή

Τα δάση στη χώρα μας καταλαμβάνουν έκταση περίπου 25 εκατ. στρεμμάτων. Το 38,4% των δασών καλύπτεται από κωνοφόρα είδη και το 61,6% από πλατύφυλλα. Το πιο διαδεδομένο είδος είναι η δρυς, η οποία κατέχει συνολική έκταση 7.575.490 στρ. (ποσοστό 29,8% της συνολικής έκτασης των δασών). Ακολουθούν σε έκταση τα δάση της χαλεπίου και τραχείας πεύκης (ποσοστό 18,9%), τα δάση της ελάτης και της ερυθρελάτης (ποσοστό 13,1%), και τα δάση της οξιάς (ποσοστό 8,7%). Η ετήσια απολαμβανόμενη ποσότητα ξύλου από τα δάση της χώρας υπολείπεται σημαντικά της καθαρής ετήσιας παραγωγής τους και κυμαίνεται στο 60,7%, τη στιγμή που στην Ευρώπη τα αντίστοιχα ποσοστά είναι μεγαλύτερα, π.χ. 70% στη Βόρεια Ευρώπη, 69% στις λοιπές Ευρωπαϊκές χώρες και 67% στην Ανατολική Ευρώπη (Παπαδόπουλος κ.α. 2001, Υπ. Γεωργίας 2004).

Η βιομηχανική ξυλεία αποτελεί το 35% του συνολικού απολαμβανόμενου ξύλου και είναι αισθητά χαμηλότερη της ποσότητας των καυσόξυλων. Το 65% της συνολικής παραγωγής των ελληνικών δασών αποτελούν τα καυσόξυλα. Από αυτά το μεγαλύτερο ποσοστό (55% περίπου σε σχέση με τη συνολική παραγωγή των ελληνικών δασών) αποτελούν τα καυσόξυλα των πλατυφύλλων ειδών (κυρίως δρυός και οξιάς), ενώ τα κωνοφόρα είδη αποτελούν μικρότερο ποσοστό (10,4%). Οι ποσότητες του ξύλου που προορίζεται για πρίση είναι πολύ μικρές και αποτελούν το 15% περίπου του συνολικού λήμματος (Παπαδόπουλος 2005, ΙΔΕΘ 2001).

Το επικολητό ξύλο λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που διαθέτει, χρησιμοποιείται ευρέως στις μέρες μας. Η κατασκευή του απαιτεί πλευρική ή κατά μήκος συγκόλληση πριστοτεμαχίων με διάφορους τρόπους. Η κατά μήκος συγκόλληση των πριστοτεμαχίων (συγκόλληση των εγκάρσιων επιφανειών τους) απαιτεί διαμόρφωση των άκρων τους. Τα πριστοτεμάχια μπορούν να συγκολληθούν με κάθετες (*butt joints*), λοξές (*scarf joints*) ή

μορφοποιημένες με δακτυλοειδείς προεξοχές (*finger joints*) επιφάνειες. Οι κατά μήκος συνδέσεις με δακτυλοειδείς προεξοχές χρησιμοποιούνται περισσότερο, λόγω των πλεονεκτημάτων που διαθέτουν. Πέρα από τη μέθοδο, η επιτυχημένη συγκόλληση του ξύλου εξαρτάται κυρίως από τον τύπο της συγκολλητικής ουσίας και το είδος του ξύλου (Marra 1992). Σε κάθε περίπτωση, κρίσιμο ρόλο παίζει η περιεχόμενη υγρασία του ξύλου που επηρεάζει καθοριστικά την ποιότητα των δεσμών και πρέπει πάντοτε να είναι πολύ κάτω από το σημείο ισοκόρου, συνήθως μεταξύ 6% και 16%, ανάλογα με την τελική χρήση (Τσουμής 1983, Φιλίππου 1986). Αν και πολλές ερευνητικές προσπάθειες έχουν γίνει τα τελευταία σαράντα έτη με στόχο την επιτυχή συγκόλληση «υγρού» ξύλου, η παραγωγή επικολλητής ξυλείας σε βιομηχανική κλίμακα με συγκόλληση χλωρού ξύλου θεωρούνταν μέχρι πρότινος ως ανέφικτη (Μαντάνης και Καραστεργίου 2007, Mantanis 2007). Πρόσφατα ο Elbez (2006) εκπροσωπώντας τα κέντρα έρευνας CTBA και LRBB της Γαλλίας ανακοίνωσε την έναρξη προγράμματος για τη λειτουργία βιομηχανικής κλίμακας πιλοτικής μονάδας (*pilot plant*) στο Μπορντό με χρηματοδότηση 20 επιχειρήσεων ξύλου της χώρας αυτής. Στόχος του προγράμματος αυτού είναι η ορθολογικότερη αξιοποίηση της παραθαλάσσιας πεύκης (*Pinus maritime*) με τεχνολογία κατά μήκος συγκόλλησης χλωρού ξύλου με δακτυλοειδείς συνδέσεις για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας.

Σ' αυτή τη μέθοδο η συγκόλληση γίνεται όταν το ξύλο είναι χλωρό, δηλ. έχει περιεχόμενη υγρασία πάνω από 30%. Η συγκόλληση χλωρού ξύλου μπορεί να πραγματοποιηθεί με ταυτόχρονη εφαρμογή θερμότητας ή χωρίς την παρουσία αυτής. Στην περίπτωση που εφαρμόζεται και θερμότητα επιταχύνεται η διαδικασία σκλήρυνσης της συγκολλητικής ουσίας. Οι συγκολλητικές ουσίες που χρησιμοποιούνται είναι συνθετικές ρητίνες φαινόλης - ρεσορκινόλης - φορμαλδεΐδης (PRF) και μελαμίνης - ουρίας - φορμαλδεΐδης (MUF). Στην περίπτωση συγκόλλησης χλωρού ξύλου χωρίς την εφαρμογή θερμότητας, οι συγκολλητικές ουσίες που χρησιμοποιούνται χαρακτηρίζονται από μειωμένη κινητικότητα και ταχεία αύξηση του μοριακού μεγέθους τους κατά τη διάρκεια της σκλήρυνσης. Η χαμηλή κινητικότητα και η επακόλουθη χαμηλή διαπερατότητα των συγκολλητικών αυτών ουσιών επιδρά θετικά στη συγκόλληση ξυλείας με μεγάλα ποσοστά υγρασίας (Strickler 1970, Throughton and Chow, 1980).

Η συγκόλληση χλωρού ξύλου χωρίς την εφαρμογή θερμότητας μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση συγκολλητικών ουσιών με βάση την πολουρεθάνη (PU), π.χ. πολουρεθάνες ενός συστατικού. Οι συγκολλητικές αυτές ουσίες έχουν επιδείξει υψηλή ανθεκτικότητα και αντοχή σε ερπυσμό και χρησιμοποιούνται σε δομικές κατασκευές ξύλου (George et al. 2003, Richter and Schirle 2002, Radovic and Rothkopf 2003). Η συγκόλληση χλωρού ξύλου με συγκολλητική ουσία πολουρεθάνης ενός συστατικού χρησιμοποιήθηκε με πολύ καλά αποτελέσματα σε κατά μήκος συνδέσεις δακτυλοειδούς μορφής σε χλωρή ξυλεία ελάτης και πεύκης (Verreault 1999, Lange et al. 2000, Maun and Cooper 1999). Η διαδικασία σκλήρυνσης της συγκεκριμένης ρητίνης ξεκινά όταν ο ισοκυανικός εστέρας αντιδρά με το νερό είτε στον αέρα, είτε μέσα στο ξύλο απελευθερώνοντας CO₂ που προκαλεί άφρισμα της συγκολλητικής ουσίας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη αξιοποίησης ξυλείας δρυός μικρών διαστάσεων για την παραγωγή επικολλητής ξυλείας με τη μέθοδο της συγκόλλησης χλωρού ξύλου. Ειδικότερα, μελετήθηκε η αντοχή σε κάμψη (μέτρο θραύσης και μέτρο ελαστικότητας) της κατά μήκος συγκολλημένης με διαφορετικές δακτυλοειδείς συνδέσεις (*finger - joints*) ξυλείας δρυός.

Υλικά και μέθοδοι

Για τη διεξαγωγή της ερευνητικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ξυλεία δρυός (*Quercus conferta*) από την ορεινή περιοχή Αγράφων του Ν. Καρδίτσας, που τεμαχίστηκε σε πριστά διατομής 5 x 3cm και μήκους 40cm. Κατά την παραγωγή των πριστών ελήφθη μέριμνα, ώστε τα άκρα αυτών να είναι απαλλαγμένα από ρόζους και άλλα ελαττώματα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου EN 385/2001.

Για τη δημιουργία των δοκιμών με τη μέθοδο της συγκόλλησης χλωρού ξύλου, στα εγκάρσια άκρα των με υψηλή υγρασία πριστών έγινε διαμόρφωση δακτυλοειδών εγκοπών με τη χρήση δύο μορφών κοπτικών με τα χαρακτηριστικά του Πίν. 1.

Πίν. 1. Χαρακτηριστικά δακτυλοειδών εγκοπών που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία.
Table 1. Fingers' configuration used in this work.

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

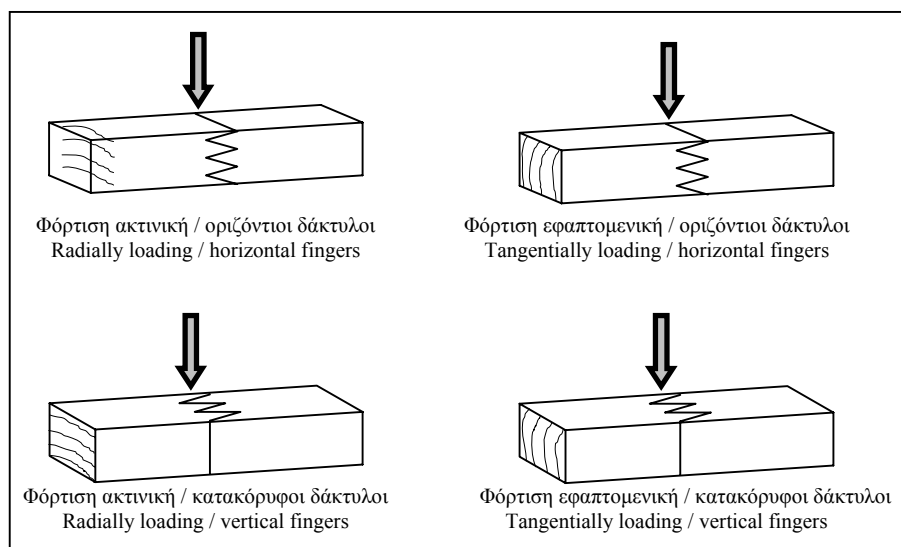
Κατόπιν τα διαμορφωθέντα πριστά τεμαχίστηκαν στο μέσο του μήκους τους, ώστε να σχηματιστούν τα δύο μέλη της δακτυλοειδούς σύνδεσης. Η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών κυμάνθηκε κατά μέσο όρο στο 57,5% (εύρος 45-75%). Για τη συγκόλληση των διαμορφωθέντων δοκιμών χρησιμοποιήθηκε συγκολλητική ουσία πολυουρεθάνης ενός συστατικού. Η εφαρμογή της ουσίας έγινε στο ένα μέλος της δακτυλοειδούς σύνδεσης και ακολούθως εφαρμόστηκε σταθερή πίεση για 60 min.

Για τη δημιουργία των συγκολλημένων δοκιμών με τη συμβατική μέθοδο της ξηρής συγκόλλησης, η ξυλεία δρυός ξηράθηκε με φυσικό τρόπο, μέχρι η περιεχόμενη υγρασία της να σταθεροποιηθεί στο 12% περίπου. Κατόπιν στα εγκάρσια άκρα των πριστών έγινε διαμόρφωση δακτυλοειδών εγκοπών, όπως στην προηγούμενη περίπτωση, και εφαρμόστηκε συγκολλητική ουσία PVA (*polyvinyl acetate*) κατηγορίας D2 για εσωτερικούς χώρους (περιεχομένης υγρασίας ξύλου < 18%, EN 204/2001). Η εφαρμογή της συγκολλητικής ουσίας έγινε με πινέλο στο ένα μέλος της δακτυλοειδούς σύνδεσης και ακολούθως εφαρμόστηκε σταθερή πίεση για 10 min.

Ακολούθησε κλιματισμός των δοκιμών για την εξομοίωση της περιεχομένης υγρασίας τους σε συνθήκες θερμοκρασίας 20°C και σχετικής υγρασίας αέρα 65%, συνθήκες που αντιστοιχούν σε υγρασία ισορροπίας του ξύλου περίπου 12%.

Μετά τον κλιματισμό τους τα συγκολλημένα δοκίμια διαμορφώθηκαν σε τελικές διαστάσεις 2 x 2 x 36 cm και προσδιορίστηκε η στατική τους κάμψη (μέτρο θραύσης – M θ και μέτρο ελαστικότητας – ME), 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 σε σχέση με τον προσανατολισμό των αυξητικών δακτυλίων (Σχ. 1). Ο προσδιορισμός της αντοχής σε κάμψη έγινε σε 15 δοκίμια για κάθε χειρισμό (EN 385/2001). Επιπλέον για σύγκριση, προσδιορίστηκε η αντοχή σε στατική κάμψη και σε δοκίμια στα οποία δε διαμορφώθηκε δακτυλοειδής σύνδεση (δοκίμια-μάρτυρες). 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 περιεχομένης υγρασίας. Η μέση πυκνότητα ήταν $0,76 \text{ g/cm}^3$ (τυπική απόκλιση: $0,05 \text{ g/cm}^3$) και η μέση περιεχόμενη υγρασία 11,9% (τυπική απόκλιση: 0,2%).



Σχ. 1. Προσανατολισμός δακτυλοειδούς σύνδεσης και κατεύθυνσης φόρτισης στα δοκίμια.

Fig. 1. Orientation of finger joints and loading direction in glued specimens.

Αποτελέσματα - Συζήτηση

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη για το μέτρο θραύσης παρουσιάζονται στον Πίν. 2 και το Σχ. 2.

Όπως παρατηρούμε από τον Πίν. 2 και το Σχ. 2, οι συνδεσμολογίες παρουσίασαν αντοχή σε κάμψη - μέτρο θραύσης (ΜΘ) που κυμάνθηκε από $32,7 \text{ N/mm}^2$ το ελάχιστο, μέχρι $74,9 \text{ N/mm}^2$ το μέγιστο, τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστά περίπου 34% έως και 76% του μέσου μέτρου θραύσης του συμπαγούς ξύλου (98 N/mm^2).

Διαπιστώνεται επιπρόσθετα ότι η αύξηση του μήκους δακτύλου σύνδεσης από 4mm σε 10mm συνεπάγεται μεγαλύτερη αντοχή και αύξηση του μέτρου θραύσης. Η διαφορά ήταν πολύ μεγάλη (διπλάσια) στην περίπτωση χρήσης της πολυβινυλικής κόλλας με την ξηρή μέθοδο και μικρότερη στην περίπτωση χρήσης της πολουρεθανικής κόλλας με τη μέθοδο συγκόλλησης γλαφρού ξύλου (από 7,2% στην περίπτωση των δοκιμίων που φορτίστηκαν οριζόντια σε ακτινικό προσανατολισμό δακτυλίων μέχρι 21,4% για την περίπτωση των δοκιμίων που φορτίστηκαν κάθετα σε εφαπτομενικό προσανατολισμό των δακτυλίων).

Πίν. 2. Αντοχή σε κάμψη - Μέτρο θραύσης των κατά μήκος συγκολλημένων με δακτυλοειδείς συνδέσεις δοκιμίων δρυός.

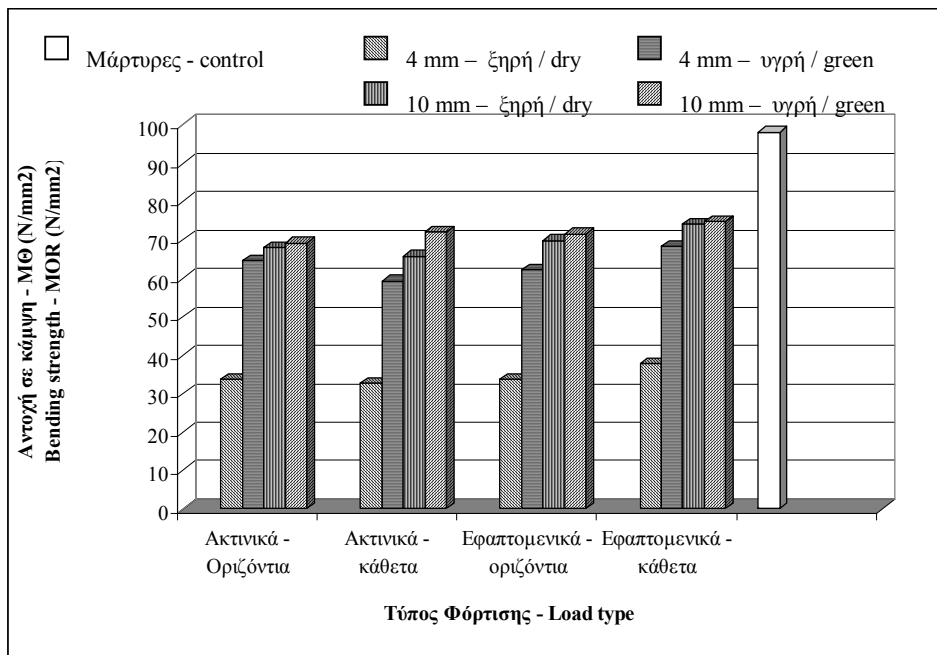
Tab. 2. Bending strength - MOR of the longitudinally glued finger-jointed oak wood.

Προσανατολισμό δακτύλων σύνδεσης / Είδος φόρτισης Finger joint orientation / Loading direction	Ξύλο χωρίς σύνδεση Solid wood	Συγκολλημένο ξύλο – Laminated wood			
		Μήκος δακτύλων - Finger length (mm)			
		4		10	
		Μέθοδος συγκόλλησης - Gluing method		Μέθοδος συγκόλλησης - Gluing method	
		Ξηρή Dry	Υγρή Green	Ξηρή Dry	Υγρή Green
Φόρτιση ακτινική - Radially loading (N/mm ²)					
Οριζόντιοι δάκτυλοι - Horizontal finger	96,9 (6,1)	33,8 (1,4)	64,5 (6,4)	68,1 (2,7)	69,2 (7,6)
Κατακόρυφοι δάκτυλοι - Vertical fingers		32,7 (2,3)	59,3 (6,3)	65,8 (5,1)	72,0 (6,1)
Φόρτιση εφαπτομενική - Tangentially loading (N/mm ²)					
Οριζόντιοι δάκτυλοι - Horizontal fingers	99,2 (5,9)	33,8 (3,7)	62,2 (5,9)	69,9 (6,8)	71,6 (7,1)
Κατακόρυφοι δάκτυλοι - Vertical fingers		37,8 (2,3)	68,3 (7,1)	74,1 (5,0)	74,9 (8,1)

* Μέσοι όροι τιμών 15 δοκιμίων και σε παρένθεση η τοπική απόκλιση.

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

Η αντοχή σε κάμψη – ΜΘ των συγκολλημένων δοκιμίων επηρεάστηκε από τη μέθοδο συγκόλλησης (ξηρή – υγρή) και τον τύπο της συγκολλητικής ουσίας (PVA - PU) που χρησιμοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα, σ' όλες τις περιπτώσεις τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με τη ρητίνη πολυουρεθάνης παρουσίασαν τιμές ΜΘ μεγαλύτερες από τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με την ξηρή μέθοδο και την πολυβινυλική κόλλα. Η αύξηση ήταν πολύ μεγάλη στα συγκολλημένα με δάκτυλους 4mm δοκιμίων (από 81 έως 91%) και πολύ μικρότερη στα συγκολλημένα με δάκτυλους 10mm (από 1 έως 9,5%).



Σχ. 2. Αντοχή σε κάμψη - Μέτρο θραύσης των κατά μήκος συγκολλημένων με δακτυλοειδείς συνδέσεις δοκιμίων δρυός.

Fig. 2. Bending strength - MOR of the longitudinally glued finger-jointed oak wood.

Η αντοχή σε κάμψη – ΜΘ των συγκολλημένων δοκιμίων επηρεάστηκε εν μέρει από την κατεύθυνση των δακτύλων συγκόλλησης (οριζόντια – κατακόρυφη). Στην περίπτωση των συγκολλημένων δοκιμίων με εφαπτομενικό προσανατολισμό δακτύλων, μεγαλύτερες τιμές ΜΘ παρουσίασαν τα δοκίμια με κατακόρυφους δάκτυλους. Η αύξηση κυμάνθηκε από 4,5 έως 11,7%. Στην περίπτωση των συγκολλημένων δοκιμίων με ακτινικό προσανατολισμό δακτύλων, μεγαλύτερες τιμές ΜΘ παρουσίασαν τα δοκίμια με οριζόντιους δάκτυλους (αύξηση 3 έως 8%), πλην της περίπτωσης των συγκολλημένων με πολουρεθάνη δοκιμίων με μήκη δακτύλων 10mm, όπου τα δοκίμια με κατακόρυφους δάκτυλους παρουσίασαν τιμές ΜΘ μεγαλύτερες από τα δοκίμια με οριζόντιους δάκτυλους.

Η αντοχή σε κάμψη – ΜΘ των συγκολλημένων δοκιμίων επηρεάστηκε εν μέρει κι από τον προσανατολισμό των δακτυλίων φόρτισης (εφαπτομενικό – ακτινικό). Σ’ όλες σχεδόν τις περιπτώσεις (πλην της περίπτωσης των συγκολλημένων με τη μέθοδο συγκόλλησης χλωρού ξύλου - 4mm μήκος δακτύλων δοκιμίων), τα δοκίμια που φορτίστηκαν με εφαπτομενικό προσανατολισμό δακτυλίων, παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές ΜΘ από τα δοκίμια με ακτινικό προσανατολισμό δακτυλίων. Η αύξηση επηρεάστηκε κι από την κατεύθυνση των δακτύλων σύνδεσης και εμφανίστηκε μεγαλύτερη στα δοκίμια με κατακόρυφο προσανατολισμό δακτύλων. Στην περίπτωση φόρτισης των δοκιμίων με οριζόντιο προσανατολισμό δακτύλων, τα δοκίμια που φορτίστηκαν εφαπτομενικά παρουσίασαν τιμές ΜΘ μεγαλύτερες από 0,2 έως 3,5% σε

σχέση με τα δοκίμια που φορτίστηκαν ακτινικά. Αντίστοιχα, στην περίπτωση φόρτισης των δοκιμίων με κατακόρυφο προσανατολισμό δακτύλων, τα δοκίμια που φορτίστηκαν εφαπτομενικά παρουσίασαν τιμές ΜΘ μεγαλύτερες από 4 έως 15% περίπου, σε σχέση με τα δοκίμια που φορτίστηκαν ακτινικά.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη για το μέτρο ελαστικότητας παρουσιάζονται στον Πίν. 3 και το Σχ. 3.

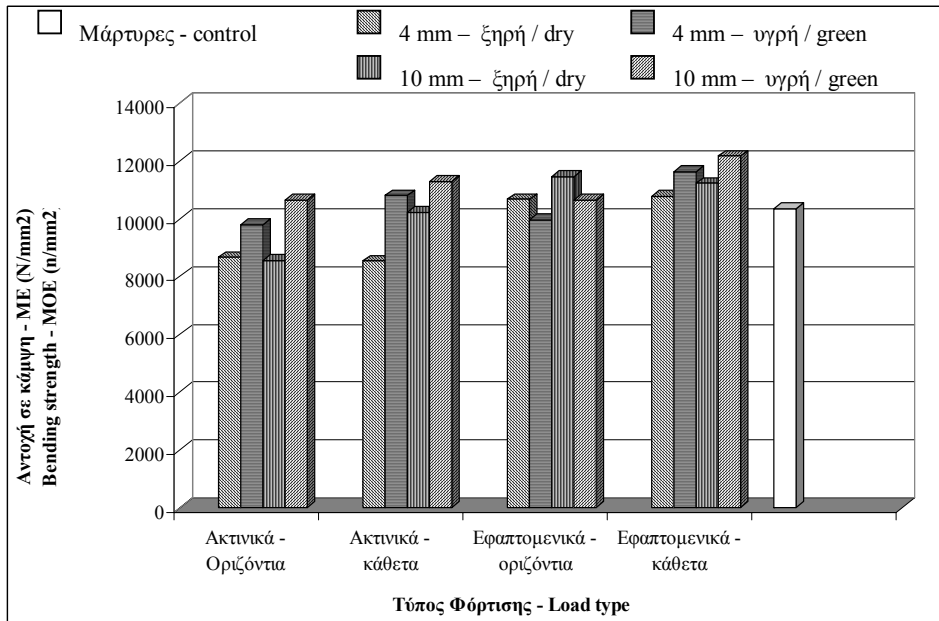
Πίν. 3. Αντοχή σε κάμψη - Μέτρο ελαστικότητας των κατά μήκος συγκολλημένων με δακτυλοειδείς συνδέσεις δοκιμίων δρυός.

Tab. 3. Bending strength - MOE of the longitudinally glued finger-jointed oak wood.

Προσανατολισμό δακτύλων σύνδεσης / Είδος φόρτισης Finger joint orientation / Loading direction	Ξύλο χωρίς σύνδεση Solid wood	Συγκολλημένο ξύλο – Laminated wood			
		Μήκος δακτύλων - Finger length (mm)			
		4		10	
		Μέθοδος συγκόλλησης - Gluing method		Μέθοδος συγκόλλησης - Gluing method	
		Ξηρή Dry	Υγρή Green	Ξηρή Dry	Υγρή Green
Φόρτιση ακτινική - Radially loading (N/mm²)					
Οριζόντιοι δάκτυλοι - Horizontal finger	9.963 (1.147)	8.670 (886)	9.810 (1.209)	8.556 (324)	10.652 (1.378)
Κατακόρυφοι δάκτυλοι - Vertical fingers		8.554 (1.610)	10.801 (981)	10.237 (1.723)	11.290 (1.600)
Φόρτιση εφαπτομενική - Tangentially loading (N/mm²)					
Οριζόντιοι δάκτυλοι - Horizontal fingers	10.746 (1.346)	10.679 (554)	9.966 (816)	11.480 (1691)	10.660 (848)
Κατακόρυφοι δάκτυλοι - Vertical fingers		10.793 (1.763)	11.649 (1.404)	11.228 (921)	12.176 (1.302)

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

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



Σχ. 3. Αντοχή σε κάμψη - Μέτρο ελαστικότητας των κατά μήκος συγκολλημένων με δακτυλοειδείς συνδέσεις δοκιμίων δρυός.

Fig. 3. Bending strength - MOE of the longitudinally glued finger-jointed oak wood.

Όπως παρατηρούμε από τον Πίν. 3 και το Σχ. 3, οι συνδεσμολογίες παρουσίασαν αντοχή σε κάμψη - μέτρο ελαστικότητας (ME) που κυμάνθηκε από 8.545 το ελάχιστο, μέχρι 12.176 N/mm² το μέγιστο, τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστά 85% μέχρι 116% του μέσου μέτρου ελαστικότητας του συμπαγούς ξύλου (10.355 N/mm²).

Διαπιστώνεται ότι σχεδόν σ' όλες τις περιπτώσεις (πλην της περίπτωσης των συγκολλημένων με πολυβινυλική κόλλα δοκιμίων με ακτινική φόρτιση και οριζόντιο προσανατολισμό), η αύξηση του μήκους των δακτύλων σύνδεσης από 4mm σε 10mm, συνεπάγεται και αύξηση του μέτρου ελαστικότητας. Η αύξηση κυμάνθηκε από 4% μέχρι 20% περίπου.

Το μέτρο ελαστικότητας των συγκολλημένων δοκιμίων δρυός επηρεάστηκε εν μέρει και από τη μέθοδο συγκόλλησης (ξηρή - υγρή) και από τον τύπο της συγκολλητικής ουσίας (PVA - PU) που χρησιμοποιήθηκε. Σ' όλες τις περιπτώσεις (πλην της περίπτωσης των συγκολλημένων με ακτινική φόρτιση και οριζόντιο προσανατολισμό δακτύλων), τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με τη μέθοδο συγκόλλησης χλωρού ξύλου, παρουσίασαν τιμές ΜΘ μεγαλύτερες από τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με τη συμβατική μέθοδο. Η αύξηση κυμάνθηκε περίπου από 8% έως 26%.

Η αντοχή σε κάμψη - ΜΘ των συγκολλημένων δοκιμίων δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τον προσανατολισμό των δακτύλων (οριζόντιο - κατακόρυφο). Στην περίπτωση συγκόλλησης των δοκιμίων με την πολουρεθάνη ενός συστατικού, τα δοκίμια με κατακόρυφο προσανατολισμό παρουσίασαν τιμές ME μεγαλύτερες σε ποσοστό 6-17% σε σύγκριση με τα δοκίμια με οριζόντιο προσανατολισμό.

Το μέτρο ελαστικότητας των συγκολλημένων δοκιμίων δρυός επηρεάστηκε και από τον προσανατολισμό φόρτισης των δακτυλίων (εφαπτομενικό – ακτινικό). Σ' όλες τις περιπτώσεις τα δοκίμια που φορτίστηκαν με εφαπτομενικό προσανατολισμό δακτυλίων, παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές ME σε σύγκριση με τα δοκίμια με ακτινικό προσανατολισμό. Η αύξηση των τιμών ME ήταν μέχρι και 34%. Η αύξηση ήταν μεγαλύτερη στα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με την ξηρή μέθοδο (από 9% έως 34%), και μικρότερη στα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με τη νέα ρητίνη πολυουρεθάνης (μέχρι και 8%).

Συμπεράσματα

Τα κύρια συμπεράσματα της ερευνητικής αυτής εργασίας είναι τα ακόλουθα:

- Ξυλεία δρυός μπορεί να αξιοποιηθεί με κατά μήκος «συγκόλληση χλωρού ξύλου» (*green gluing*) με δακτυλοειδείς συνδέσεις για την παραγωγή επικολλητής ξυλείας για εφαρμογές επιπλοποιίας, ξυλουργικής και κατασκευών εσωτερικού χώρου.
- Τα δοκίμια δρυός που συγκολλήθηκαν με τη νέα αυτή μέθοδο και συγκεκριμένα με ρητίνη πολυουρεθάνης ενός συστατικού, παρουσίασαν αντοχή σε κάμψη (ΜΘ) που κυμάνθηκε από 61% έως 76% της αντίστοιχης αντοχής του συμπαγούς ξύλου. Παρόμοιες αλλά λίγο χαμηλότερες τιμές παρουσίασαν τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με την ξηρή μέθοδο για μήκη δακτύλων 10mm.
- Η αύξηση του μήκους των δακτύλων σύνδεσης από 4mm σε 10mm συνεπάγεται μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη (ΜΘ) της συγκολλημένης ξυλείας.
- Η αντοχή σε κάμψη (ΜΘ) των συγκολλημένων δοκιμίων επηρεάστηκε και από τη μέθοδο συγκόλλησης (ξηρή – υγρή) και τον τύπο της συγκολλητικής ουσίας (PVA - PU) που χρησιμοποιήθηκε. Σ' όλες τις περιπτώσεις, τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με τη νέα μέθοδο «συγκόλλησης χλωρού ξύλου» παρουσίασαν τιμές ΜΘ μεγαλύτερες από τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με την ξηρή μέθοδο.
- Η αντοχή σε κάμψη (ΜΘ) των συγκολλημένων δοκιμίων επηρεάστηκε εν μέρει και από την κατεύθυνση των δακτύλων συγκόλλησης (οριζόντια – κατακόρυφη) και τον προσανατολισμό των δακτυλίων φόρτισης (εφαπτομενικό – ακτινικό).
- Τα συγκολλημένα δοκίμια παρουσίασαν αντοχή σε κάμψη (ΜΕ) που κυμάνθηκε από 86% έως 116% σε σχέση με το συμπαγές ξύλο δρυός.
- Η αντοχή σε κάμψη (ΜΕ) των συγκολλημένων δοκιμίων επηρεάστηκε και από την κατεύθυνση φόρτισης των δακτυλίων. Σ' όλες τις περιπτώσεις τα δοκίμια με εφαπτομενική κατεύθυνση δακτυλίων παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές ME από τα δοκίμια με ακτινική κατεύθυνση.
- Η αντοχή σε κάμψη (ΜΕ) των συγκολλημένων δειγμάτων επηρεάστηκε εν μέρει από το μήκος των δακτύλων σύνδεσης, τη μέθοδο συγκόλλησης και τον τύπο της κόλλας, καθώς και τον προσανατολισμό των δακτύλων.

Βιβλιογραφία

- Elbez, G., 2006. A new pilot plant for finger-jointing green maritime pine in France. Announcement in COST Action E34 mtg., Working Group II (27-28 Sept. 2006), Brussels, Belgium.

- George, B., Simon, C., Properzi, M. and A. Pizzi, 2003. Comparative creep characteristics of structural glulam wood adhesives. *Holz als Roh- und Werkstoff* 61: 79-80.
- ΙΔΕ Θεσ/νίκης, 2001. Μελέτη Στρατηγικής για την Ανάπτυξη της Ελληνικής Δασοπονίας και Ξυλοπονίας. Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών Θεσ/νίκης. Θεσσαλονίκη, 2001.
- Lange, D.A., Fields, J.T. and Stirn, S.A., 2000. Finger joint application potentials for one-part polyurethanes. In: Proc. No. 7260 (EA). Wood adhesives 2000 Extended Abstracts. Forest Products Society, Madison, WI, USA, pp. 17-18.
- Μαντάνης, Γ., και Καραστεργίου, Σ., 2007. Συγκόλληση χλωρού ξύλου – Μια νέα τεχνολογία κατά μήκος συγκόλλησης του ξύλου με δακτυλοειδείς συνδέσεις. Δασική Έρευνα (υπό δημοσίευση).
- Mantanis, G., 2007. Gluing of green wood: A new technology - useful for the conservation of WCHOs? Poster presentation. Workshop of the COST Action IE0601, 8-9 June 2007, Tervuren, Brussels, Belgium.
- Marra, A.A., 1992. Technology of Wood Bonding. Principles in Practice. Van Nostrand Reinhold. ISBN 0-442-00797-3, New York, USA.
- Maun, K. and G. Cooper, 1999. Re-engineering softwood for constructional use by wet (green) gluing. In: Eurowood Technical Workshop Proceedings Industrial End-Uses of Fast-Grown Species, Florence, Italy, pp. 47-59.
- Παπαδόπουλος, Ι., 2005. Έρευνα καινοτομίας στις επιχειρήσεις επεξεργασίας ξύλου και επίπλου της Περιφέρειας Δυτ. Μακεδονίας. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Δασολογίας & Φ.Π. Περιβάλλοντος, Τιμητικός τόμος ΜΔ/2001 (αφιερωμένος στον ομότιμο καθηγητή κ. Ν. Αθανασιάδη). Υπό έκδοση.
- Παπαδόπουλος, Ι., Σταματέλλος, Γ. και Στάμου, Ν., 2001. Αποκλίσεις εκτιμήσεων όγκου και αξίας δένδρων υλοτομίας στο Παν/κό Δάσος Περγουλίου. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα 3/2001 Τόμος 12, Σειρά VI, Θεσσαλονίκη, σελ 232-239.
- Radovic, B. and C. Rothkopf, 2003. Eignung von 1K-PUR-Klebstoffen für den Holzbau unter Berücksichtigung von 10-jähriger Erfahrung. *Bauen mit Holz* 6/2003, pp. 36-40.
- Richter, K. and M.A. Schirle, 2002. Behavior of 1 K PUR adhesives under increased moisture and temperature conditions. In: Proc. of the International Symposium on Wood Based Materials, Wood Composites and Chemistry, 19-20 Sept. 2002, Vienna, Austria.
- Strickler, M.D., 1970. End gluing of green lumber. *Forest Prod. J.* 20 (9): 47-51.
- Troughton, G.E. and S. Chow, 1980. Finger jointing kiln dried and unseasoned white spruce lumber using the WFPL method. *Forest Prod. J.* 30 (12): 48-49.
- Verreault, C., 1999. Performance evaluation of green gluing for finger jointing. Forintek Canada Corp. Report No. 2295.
- Τσουμής Γ., 1983. Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου. Τόμος Β: Βιομηχανική Αξιοποίηση. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, ΑΠΘ.
- Υπουργείο Γεωργίας, 2004. Απογραφή δραστηριοτήτων δασικών υπηρεσιών. Γενική Γραμματεία Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος. Αθήνα, 2004.
- Φιλίππου, Ι., 1986. Χημεία και Χημική Τεχνολογία του Ξύλου. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.