

Μελέτη της αντοχής σε κάμψη ξύλου ερυθρελάτης (*Picea excelsa*) συγκολλημένου κατά μήκος με πλάγιες συνδέσεις (scarf joints)

ΚΑΡΑΣΤΕΡΓΙΟΥ ΣΩΤΗΡΙΟΣ και ΚΑΚΑΡΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΤΕΙ Λάρισας, Παράρτημα Καρδίτσας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου – Επίπλου, Τ.Κ. 43100, Καρδίτσα, email: karaso@teilar.gr, kakaras@teilar.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετάται η αξιοποίηση ξυλείας ερυθρελάτης μικρών διαστάσεων στην παραγωγή επικολλητής ξυλείας. Ειδικότερα μελετάται η αντοχή σε κάμψη της κατά μήκος συγκόλλησης με διαφορετικών γωνιών πλάγιες συνδέσεις (scarf joints) με εργαστηριακή παραγωγή. Χρησιμοποιήθηκαν 10 διαφορετικές γωνίες πλάγιων συνδέσεων στα συγκολλημένα άκρα της ξυλείας και συγκολλητική ουσία PVA κατηγορίας D2, που χρησιμοποιείται ευρέως στην ξυλουργική και την επιπλοποιία. Από τα αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι η ξυλεία ερυθρελάτης μπορεί να αξιοποιηθεί με κατά μήκος συγκόλληση με πλάγιες συνδέσεις στην παραγωγή επικολλητού ξύλου, για εφαρμογές ξυλουργικής και δομικών κατασκευών εσωτερικών χώρων. Οι κατά μήκος συνδέσεις με πλάγιες τομές με γωνίες από 90° (butt joints) έως 160° δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη αντοχή. Η γωνία των 170° παρουσιάζεται ως η ιδανικότερη για τις πιο ανθεκτικές κατά μήκος πλάγιες συνδέσεις ξυλείας ερυθρελάτης. Στη γωνία αυτή η αντοχή σε κάμψη – μέτρο θραύσης (ΜΘ) των συγκολλημένων δοκιμίων αυξήθηκε κατά 25,45 % σε σχέση με το μασίφ ξύλο. Η περαιτέρω αύξηση της γωνίας των πλάγιων συνδέσεων από 170° έως 180° μειώνει το ΜΘ των συγκολλημένων δοκιμίων, το οποίο όμως παραμένει υψηλό σε σχέση με τα μη συγκολλημένα (μασίφ ξύλο). Τέλος, τα συγκολλημένα κατά μήκος δοκίμια με γωνίες πλάγιας σύνδεσης 160° και 170° παρουσιάζουν υψηλές τιμές μέτρου ελαστικότητας.

Λέξεις κλειδιά: πλάγια σύνδεση (scarf joint), ερυθρελάτη, επικολλητή ξυλεία, αντοχή σε κάμψη (ΜΘ, ME).

Study of the bending strength of scarf jointed spruce wood (*Picea excelsa*) for the production of laminated lumber

KARASTERGIOU SOTIRIOS and KAKARAS JOHN

Technological Educational Institute of Larissa, Karditsa Branch, Dept. of Wood & Furniture Design and Technology, 43100, Karditsa, Greece. email: karaso@teilar.gr, kakaras@teilar.gr

Summary

The purpose of this work was to study the utilisation of small dimension scarf joint spruce wood (*Picea excelsa*) for the manufacture of laminated wood. Particularly, it was

examined the bending strength (modulus of rupture and modulus of elasticity) of scarf jointed laboratory specimens that were connected across the grain. Ten different cutting angles (90°, 135°, 140°, 150°, 160°, 170°, 172°, 174°, 176° και 180°) and a polyvinyl - acetate based glue (D2 type) for interior uses were studied. From the results we can conclude that spruce wood can be utilized with end to end scarf joints for the production of laminated wood. End grain connections with 90° cutting angles (vertical faces – butt joints) up to 160° do not appear adequate strength. The cutting angle of 170° seems to be the more satisfactory for end-to-end connections. In this case bending strength – modulus of rupture of the glued material increased up to 24,5%, correspondingly to the solid wood. The higher increase in cutting angle up to decreases MOR values of the glued specimens but the values still remain high. Modulus of elasticity of the tested glued specimens with cutting angles between 160° and 170° is still high.

Key words: scarf joint, spruce wood, laminated lumber, bending strength (MOR, MOE).

Εισαγωγή

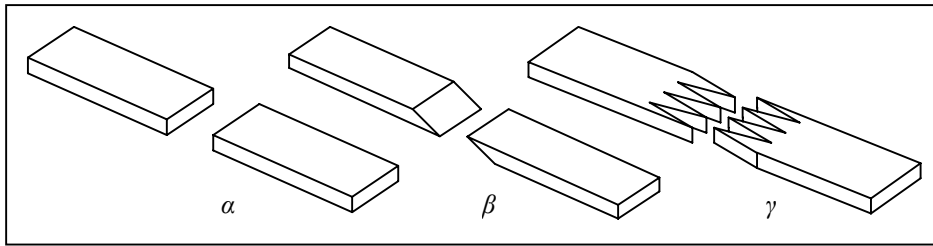
Η εμπορεύσιμη ξυλεία κωνοφόρων δασοπονικών ειδών στη χώρα μας ανέρχεται σε 77.349.481 m³ (ποσοστό 56,01 % επί του συνολικού εμπορεύσιμου όγκου ξυλείας όλων των δασοπονικών ειδών). Από αυτά τα 856.395 m³ (ποσοστό 0,62 % επί του συνολικού όγκου) προέρχονται από ερυθρελάτη (*Picea excelsa*) (Υπ. Γεωργίας 1992). Η ξυλεία της ερυθρελάτης, καθώς και των υπολοίπων κωνοφόρων, χρησιμοποιείται κυρίως ως ξυλεία για δομικές κατασκευές. Οι ανάγκες της χώρας μας σε δομική ξυλεία καλής ποιότητας είναι αυξημένες και γιαυτό το λόγο κάθε χρόνο πραγματοποιούνται μεγάλες εισαγωγές από το εξωτερικό (Kakaragas and Ntalos 2001).

Η γενική ανάγκη για χρησιμοποίηση ξυλείας μεγάλων σχετικά διαστάσεων με καλές μηχανικές αντοχές οδήγησε στη δημιουργία επικολλητού ξύλου. Το επικολλητό ή σύνθετο ξύλο παράγεται με τη συγκόλληση δύο ή περισσότερων στρώσεων ξύλου με τις ίνες πρακτικά παράλληλες και χαρακτηρίζεται από τη δυνατότητα ύπαρξης μεγάλου μήκους σε σχέση με το πάχος και το πλάτος με τις ίνες παράλληλα με το μήκος. Το επικολλητό ξύλο πλεονεκτεί στο ότι παράγεται σε διάφορα μεγέθη και σχήματα που δεν μπορούν να παραχθούν λόγω διαστάσεων από μασίφ ξύλο, μπορεί να παραχθεί από ξυλεία μικρών διαστάσεων, έχει βελτιωμένη μηχανική αντοχή γιατί πραγματοποιείται ευκολότερα η ξήρανση και η αφαίρεση σφαλμάτων από τα συνθετικά μέρη του και μπορεί να διαθέτει βελτιωμένη διάρκεια λόγω καλύτερου εμποτισμού των συνθετικών μερών του (Tsoumis 1991, Pena 1999).

Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τρόποι για κατά μήκος συγκόλληση ξυλείας οι κυριότεροι των οποίων δίνονται στο Σχ. 1: (α) κατά μήκος σύνδεση των άκρων με εγκάρσια τομή (*butt joint*), (β) κατά μήκος σύνδεση των άκρων με λοξή τομή (*scarf joint*) και (γ) κατά μήκος σύνδεση των άκρων με δακτυλοειδή τομή (*finger joint*) (Pena 1999, Lii and Liu 1991).

Αρκετοί τρόποι σύνδεσης κατά μήκος πριστών τεμαχίων έχουν σχεδιαστεί, εφαρμοστεί και απορριφθεί εξαιτίας είτε της δυσκολίας δημιουργίας και συγκόλλησής τους, είτε διότι παρουσίασαν χαμηλές μηχανικές αντοχές. Παρατηρήθηκε ότι κατά μήκος συγκολλημένο ξύλο με κάθετες επιφάνειες (*butt joint*) παρουσίασε χαμηλή μηχανική αντοχή (River 1994, Kapica 1986). Γενικά όταν η συγκολλημένη επιφάνεια είναι κάθετη

προς την κατεύθυνση των ινών του ξύλου το συγκολλημένο ξύλο παρουσιάζει χαμηλές μηχανικές αντοχές (Smardzewski 1996, Hernandez 1998). Το συγκολλημένο κατά μήκος ξύλο με πλάγιες συνδέσεις (*scarf joints*) παρουσιάζει καλύτερες μηχανικές αντοχές σε σχέση με το συγκολλημένο ξύλο με κάθετες επιφάνειες, αλλά υπάρχουν δυσκολίες κατά τη συμπίεσή του σε βιομηχανική παραγωγή (Koch 1972, Liu and Lii 1988). Το ίδιο παρατηρήθηκε και σε συνδεσμολογίες μορισανίδων (Poblete Wilson 1988). Εξέλιξη των πλάγιων συνδέσεων αποτελούν οι δακτυλοειδείς συνδέσεις στις οποίες έχουμε επανάληψη των πλάγιων συνδέσεων σε παράλληλες σειρές. Οι πλάγιες συνδέσεις αποτελούν ακόμη και σήμερα έναν εύκολο τρόπο με τον οποίο ένα τεχνίτης χωρίς ιδιαίτερο μηχανολογικό εξοπλισμό κατεργασίας ξύλου μπορεί να τις πραγματοποιήσει, ιδιαίτερα σε χώρους εκτός εργαστηρίου. Οι πλάγιες συνδέσεις χρησιμοποιούνται ευρέως σε αναπαλαιώσεις – αποκαταστάσεις ξύλινων κατασκευών και στην κατασκευή διαφόρων μερών των ξύλινων βαρκών (Heggen 2005).



Σχ. 1. Διάφοροι τρόποι κατά μήκος συγκόλλησης ξυλοτεμαχιών: α: με κάθετες επιφάνειες (butt joint), β: με πλάγια σύνδεση (scarf joint), και γ: με δακτυλοειδείς συνδέσεις (finger joint).

Fig. 1. Various types of end jointed wood: α: butt joint, β: scarf joint, and γ: finger joint.

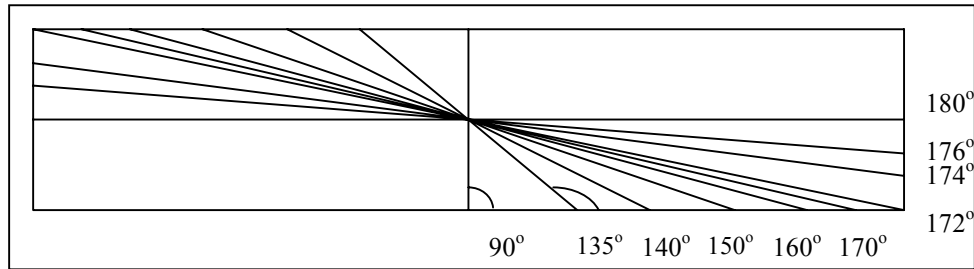
Οι πλάγιες συνδέσεις με κλίση 1:10 ή 1:12 εμφάνισαν να έχουν το 85 έως 90 % της αντοχής του μασίφ ξύλου. Η αύξηση της κλίσης περαιτέρω στο 1:20 αυξάνει την αντοχή του συγκολλημένου ξύλου στο 95 % της αντίστοιχης αντοχής του μασίφ ξύλου (Richards and Goodrick 1959, Backet and Marsh 1974). Για να πραγματοποιηθεί μια σύνδεση κατά μήκος με πλάγιες επιφάνειες με κλίση 1:12 σε ένα ξύλο πάχους 50 mm, απαιτεί συνολικό μήκος ξύλου πάνω από 600mm έτσι ώστε να υπάρχει επικάλυψη της τομής.

Επικολλητή ξυλεία ερυθρελάτης έχει μελετηθεί σε κατασκευές παραθύρων (Schober and Spatt 1993). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ξυλεία ερυθρελάτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δακτυλοειδείς συνδέσεις στην κατασκευή παραθύρων με πολύ καλά αποτελέσματα. Επίσης, η αντοχή συγκολλημένης με δακτυλοειδείς συνδέσεις ξυλείας ερυθρελάτης μελετήθηκε με ακουστικές μεθόδους από τους Kirillov and Kovalchuk (1987). Η εφαρμογή θερμότητας πριν την κατά μήκος συγκόλληση ξυλείας ερυθρελάτης επίσης παρουσίασε πολύ καλά αποτελέσματα (Troughton 1986).

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της αξιοποίησης ξυλείας ερυθρελάτης μικρών διαστάσεων στην παραγωγή επικολλητής ξυλείας. Ειδικότερα μελετάται η αντοχή σε κάμψη (μέτρο θραύσης και μέτρο ελαστικότητας) της κατά μήκος συγκόλλησης με διαφορετικών γωνιών πλάγιες συνδέσεις (scarf - joints) ξυλείας ερυθρελάτης.

Υλικά και μέθοδοι

Για τη διεξαγωγή της μελέτης χρησιμοποιήθηκε ξηραμένη στο 13 % του ξηρού βάρους της ξυλεία ερυθρελάτης (*Picea excelsa*) πυκνότητας $0,40 \text{ g/cm}^3$, από την περιοχή της Δράμας, η οποία τεμαχίσθηκε σε πριστά διατομής $3\text{cm} \times 3\text{cm}$ και μήκους 40cm . Κατά την παραγωγή των πριστών ελήφθη μέριμνα ώστε αυτά να είναι απαλλαγμένα από ρόζους ή άλλα ελαττώματα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προτύπου EN 385/2001. Τα δοκίμια στη συνέχεια κλιματίστηκαν για την εξομοίωση της περιεχόμενης υγρασίας τους (θερμοκρασία 20°C , σχετική υγρασία 65 %, συνθήκες που αντιστοιχούν σε περιεχόμενη υγρασία ξύλου περί το 10 – 12 %). Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε με επιτραπέζιο δισκοπρίονο συμμετρική τομή στα δοκίμια σε διάφορες γωνίες (90° , 135° , 140° , 150° , 160° , 170° , 172° , 174° , 176° και 180°) (Σχ. 2).

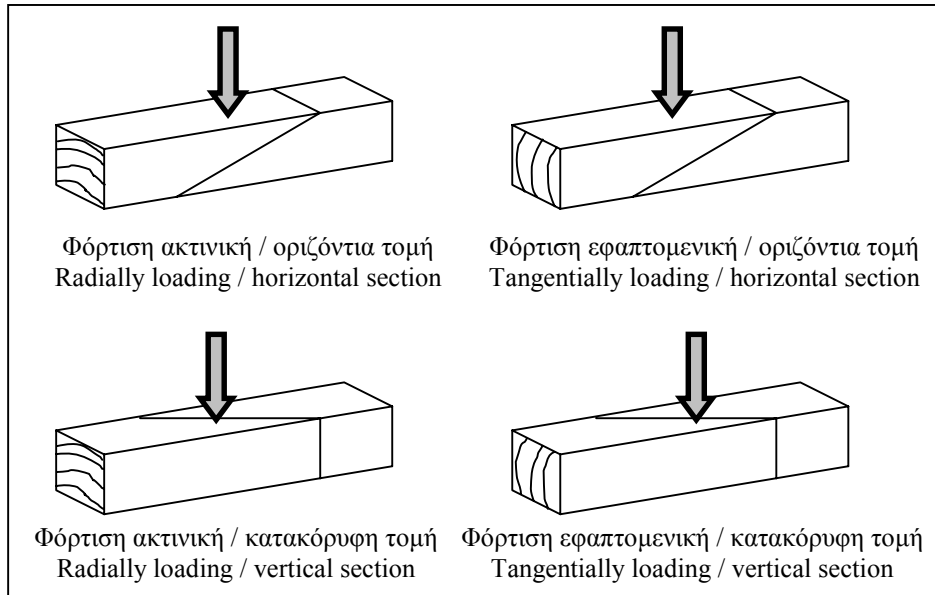


Σχ. 2. Γωνίες τομής των συνδεσμολογιών.

Fig. 2. Jointing cutting angles.

Για τη συγκόλληση των διαμορφωθέντων δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε συγκολλητική ουσία PVA (*Polyvinyl Acetate*) κατηγορίας D2 για εσωτερικούς χώρους κατάλληλη για υγρασία ξύλου κάτω του 18 % (EN 204/2001). Η ανωτέρω συγκολλητική ουσία είναι ευρέως διαδεδομένη και χρησιμοποιείται κατά κόρον στην επιπλοποιία. Η εφαρμογή της συγκολλητικής ουσίας έγινε με πινέλο στο ένα μέλος της τομής σύνδεσης και ακολούθως εφαρμόστηκε σταθερή πίεση για 4 ώρες.

Μετά από 5ήμερο κλιματισμό τα συγκολλημένα δοκίμια πλανίσθηκαν και διαμορφώθηκαν στις τελικές τους διαστάσεις ($20\text{mm} \times 20\text{mm} \times 360\text{mm}$). Ο έλεγχος της στατικής κάμψης (μέτρο θραύσης και μέτρο ελαστικότητας) πραγματοποιήθηκε σε μηχανή αντοχής στο Εργαστήριο Ποιοτικού Ελέγχου του Τμήματος Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου – Επίπλου σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 10983/1999 και DIN 52186/1978. Για κάθε γωνία σύνδεσης μελετήθηκε η επίδραση της κατεύθυνσης φόρτισης σε σχέση με τον προσανατολισμό της τομής και σε σχέση με τον προσανατολισμό των αυξητικών δακτυλίων (Σχ. 3). Ο προσδιορισμός της αντοχής σε κάμψη έγινε σε 10 δοκίμια για κάθε χειρισμό. Επιπλέον προσδιορίστηκε η αντοχή σε στατική κάμψη και σε δοκίμια ερυθρελάτης από μασίφ ξύλο. Ο προσδιορισμός έγινε σε 10 δοκίμια σε φόρτιση εφαπτομενική ως προς τους αυξητικούς δακτυλίους και σε 10 δοκίμια σε φόρτιση ακτινική προς τους αυξητικούς δακτυλίους.



Σχ. 3. Προσανατολισμός πλάγιων συνδέσεων και κατεύθυνσης φόρτισης στα δοκίμια.

Fig. 3. Section orientation and loading direction in samples.

Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη για το μέτρο θραύσης δίνονται στον Πίν. 1 και το Σχ. 4.

Όπως παρατηρούμε από τον Πίν. 1 και το Σχ. 4, οι συνδεσμολογίες παρουσίασαν αντοχή σε κάμψη - μέτρο θραύσης (ΜΘ) που κυμάνθηκε από 10,87 το ελάχιστο, μέχρι 72,51 N/mm² το μέγιστο, τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστά 18,41 % μέχρι 125,45 % του μέσου μέτρου θραύσης του συμπαγούς ξύλου χωρίς σύνδεση (57,80 N/mm²).

Διαπιστώνεται ότι για γωνίες πλάγιας σύνδεσης από 90° έως 160° οι τιμές του ΜΘ είναι πολύ χαμηλές και φτάνουν έως το 71% των αντίστοιχων του συμπαγούς ξύλου. Οι τιμές αυτές υποδεικνύουν ότι οι κατά μήκος συνδέσεις ερυθρελάτης με πλάγιες επιφάνειες με γωνίες από 90° έως και 160°, δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη αντοχή σε στατική κάμψη - ΜΘ και από πρακτική άποψη είναι αποτρεπτικές.

Η αύξηση της γωνίας τομής από 160° σε 170° αυξάνει σημαντικά την αντοχή των συνδέσεων. Η αύξηση της γωνίας κατά 10° αύξησε το ΜΘ από 36,36% έως 139,31%. Στη γωνία αυτή το ΜΘ κυμάνθηκε από 57,19 N/mm² (για τα συγκολλημένα δείγματα με ακτινική φόρτιση και οριζόντια διάταξη της τομής) έως 72,51 N/mm² (για τα συγκολλημένα δοκίμια με εφαπτομενική φόρτιση και κατακόρυφη διάταξη της τομής), ενώ τα υπόλοιπα δοκίμια έχουν ενδιάμεσες τιμές. Η γωνία των 170° παρουσιάζεται ως η ιδανικότερη για τις πιο ανθεκτικές κατά μήκος πλάγιες συνδέσεις ξυλείας ερυθρελάτης.

Η περαιτέρω αύξηση της γωνίας τομής από 170° έως 180° μειώνει το ΜΘ των συγκολλημένων δοκιμίων, το οποίο όμως παραμένει υψηλό σε σχέση με τα μη συγκολλημένα δοκίμια (μασίφ ξύλο). Συγκεκριμένα, το ΜΘ των συγκολλημένων κατά μήκος δοκιμίων κυμάνθηκε από 46,43 N/mm² (για τα συγκολλημένα δοκίμια με εφαπτο-

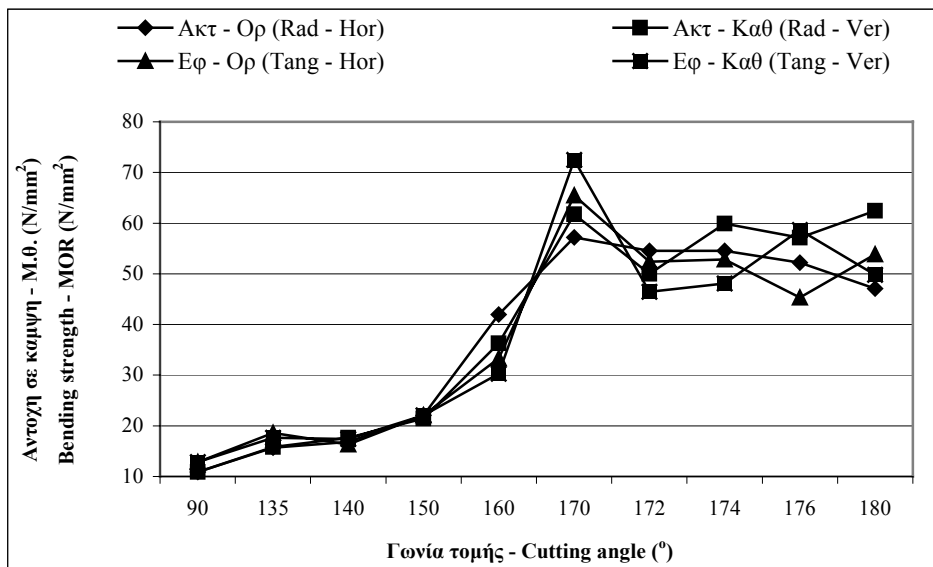
Πίν. 1. Αντοχή σε κάμψη - Μέτρο θραύσης των κατά μήκος συγκολλημένων με πλάγιες συνδέσεις δοκιμίων ερυθρελάτης.

Tab. 1. Bending strength - MOR of the longitudinally glued with scarf joints spruce wood samples.

Γωνία τομής (°) Cutting angle (°)	Φόρτιση ακτινική Radially loading		Φόρτιση εφαπτομενική Tangentially loading	
	Τομή οριζόντια Horizontal section	Τομή κάθετη Vertical section	Τομή οριζόντια Horizontal section	Τομή κάθετη Vertical section
90	10,87* (0,86)		12,84 (1,28)	
135	15,66 (3,18)	15,82 (2,53)	18,60 (1,75)	17,66 (2,31)
140	16,80 (1,60)	17,65 (1,96)	16,33 (3,54)	17,40 (2,35)
150	22,04 (0,99)	21,42 (3,24)	22,06 (2,32)	22,08 (2,50)
160	41,94 (2,94)	36,28 (7,89)	33,31 (2,60)	30,30 (2,89)
170	57,19 (8,18)	61,75 (4,50)	65,46 (5,59)	72,51 (2,03)
172	54,54 (5,12)	50,01 (4,68)	52,42 (5,00)	46,43 (1,40)
174	54,52 (2,37)	59,94 (4,19)	52,82 (4,15)	48,10 (5,39)
176	52,19 (2,81)	57,12 (5,56)	45,29 (1,18)	58,64 (4,65)
180	47,08 (4,06)	62,45 (1,60)	53,85 (4,64)	49,79 (5,99)
Μασίφ ξύλο Solid wood	59,03 (6,39)		56,58 (6,84)	

* Μέσοι όροι τιμών 10 δοκιμίων και σε παρένθεση η τυπική απόκλιση.

* Mean values of 10 samples and standard deviation in parenthesis.



Σχ. 4. Αντοχή σε κάμψη – Μέτρο θραύσης των συγκολλημένων με πλάγιες συνδέσεις δειγμάτων ερυθρελάτης.

Fig. 4. Bending strength – MOR of the tested material.

μενική φόρτιση και κάθετη διάταξη της τομής) έως 61,45 N/mm² (για τα συγκολλημένα δοκίμια με ακτινική φόρτιση και κάθετη διάταξη της τομής). Οι τιμές αυτές του ΜΘ αντιστοιχούν στο 82,06 % και 104,10 % του ΜΘ των μη συγκολλημένων δοκιμίων.

Η αντοχή σε κάμψη - ΜΘ των συγκολλημένων δοκιμίων επηρεάστηκε εν μέρει από τη διάταξη της τομής αυτών (οριζόντια ή κάθετη) κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Η επίδραση είναι σχετικά μεγαλύτερη στην περίπτωση της ακτινικής φόρτισης, όπου τα δοκίμια με κάθετη διάταξη τομής παρουσίασαν μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη - ΜΘ (έως 23,38 % σε γωνία τομής 180°), πλην των δοκιμίων με γωνία τομής 150°, 160° και 172°.

Η αντοχή σε κάμψη - ΜΘ των συγκολλημένων δοκιμίων επηρεάστηκε εν μέρει από την κατεύθυνση φόρτισης (ακτινική ή εφαπτομενική). Γενικά στις περιπτώσεις όπου τα δοκίμια με ακτινική φόρτιση παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη - ΜΘ από τα αντίστοιχα με εφαπτομενική φόρτιση, η διαφορά τους είναι μεγαλύτερη (έως 25,91%, στην περίπτωση των δοκιμίων με γωνία τομής 160° και οριζόντια διάταξη), σε σχέση με τις περιπτώσεις των δοκιμίων όπου η εφαπτομενική φόρτιση υπερτερεί της ακτινικής.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη για το μέτρο ελαστικότητας δίνονται στον Πίν. 2 και το Σχ. 5.

Πίν. 2. Αντοχή σε κάμψη - Μέτρο ελαστικότητας των κατά μήκος συγκολλημένων με πλάγιες συνδέσεις δοκιμίων ερυθρελάτης.

Tab. 2. Bending strength - MOE of the longitudinally glued with scarf joints spruce wood samples.

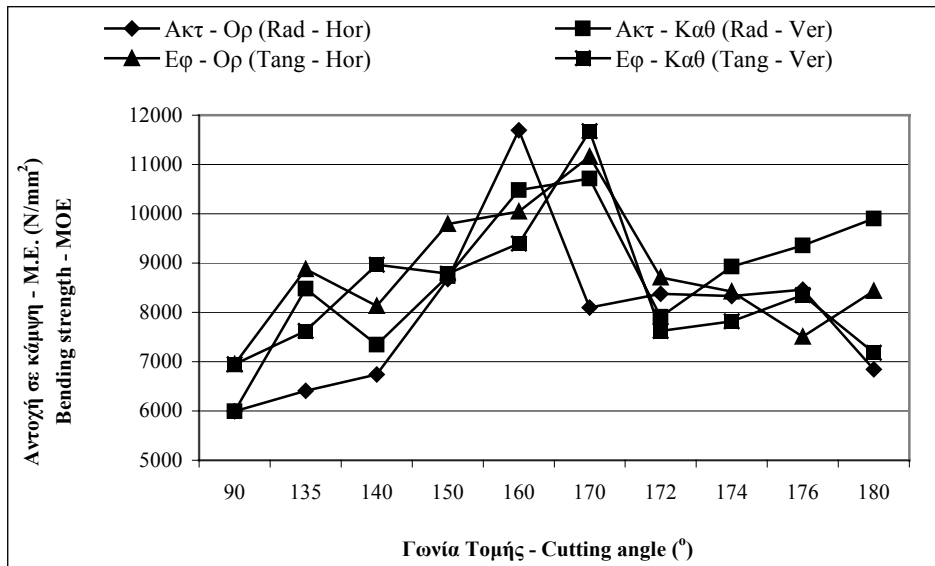
Γωνία τομής (°) Cutting angle (°)	Φόρτιση ακτινική Radially loading		Φόρτιση εφαπτομενική Tangentially loading	
	Τομή οριζόντια Horizontal section	Τομή κάθετη Vertical section	Τομή οριζόντια Horizontal section	Τομή κάθετη Vertical section
90	5.995,24 (1.028,41)		6.945,57 (993,58)	
135	6.408,36 (789,77)	8.478,72 (885,47)	8.874,2 (458,95)	7.626,15 (1.456,19)
140	6.739,72 (918,46)	7.340,96 (931,62)	8.129,11 (628,48)	8.969,88 (1.258,37)
150	8.672,23 (466,18)	8.731,92 (1505,90)	9.789,07 (565,03)	8.788,23 (765,23)
160	11.696,33 (1.817,12)	10.480,21 (436,35)	10.048,04 (1.049,67)	9.398,7 (765,77)
170	8.100,1 (1.555,40)	10.717,45 (1.351,59)	11.162,31 (2.016,05)	11.673,61 (2.077,35)
172	8.373,46 (561,77)	7.911,65 (1.523,54)	8.710,36 (518,03)	7.625,8 (590,03)
174	8.329,88 (1.087,78)	8.930,91 (180,24)	8.423,81 (498,80)	7.815,69 (918,89)
176	8.459,95 (314,59)	9.356,08 (904,25)	7.504,03 (377,79)	8.353,58 (1.220,91)
180	6.841,81 (1.382,76)	9.900,21 (118,19)	8.437,77 (1.007,74)	7.184,06 (487,55)
Μασίφ Solid	9.635,94 (1.355,76)		10.075,91 (1.092,93)	

* Μέσοι όροι τιμών 10 δοκιμίων και σε παρένθεση η τυπική απόκλιση.

* Mean values of 10 samples and standard deviation in parenthesis.

Όπως παρατηρούμε από τον Πίν. 2 και το Σχ. 5, οι συνδεσμολογίες παρουσίασαν αντοχή σε κάμψη - μέτρο ελαστικότητας (ME) που κυμάνθηκε από 5.995,24 το ελάχιστο, μέχρι 11.696,33 N/mm² το μέγιστο, τιμές που αντιστοιχούν σε ποσοστά 62,22

% μέχρι 121,38 % του μέσου όρου του μέτρου ελαστικότητας του συμπαγούς ξύλου χωρίς σύνδεση (μασίφ ξύλου) (9.855,92 N/mm²).



Σχ. 5. Αντοχή σε κάμψη – Μέτρο ελαστικότητας των συγκολλημένων με πλάγιες συνδέσεις δειγμάτων ερυθρελάτης.

Fig. 5. Bending strength – MOE of the tested material.

Διαπιστώνεται ότι η αύξηση της γωνίας τομής από 90° έως 170° αυξάνει την αντοχή σε κάμψη – ME των συγκολλημένων δοκιμίων. **Οι μεγαλύτερες τιμές ME παρουσιάζονται στις συνδέσεις με γωνία 160° και 170°.** Συγκεκριμένα, στις 160° το ME των συγκολλημένων δοκιμίων παρουσιάζεται μεγαλύτερο από αυτό του μασίφ ξύλου στις ακτινικές φορτίσεις (κατά 8,76 % στα δοκίμια με κάθετα συγκολλημένες επιφάνειες και 21,38% στα δοκίμια με οριζόντια συγκολλημένες επιφάνειες) και με μικρότερες τιμές στις εφαπτομενικές φορτίσεις (κατά 0,28% στα δοκίμια με οριζόντια συγκολλημένες επιφάνειες και 6,72% στα δοκίμια με κάθετα συγκολλημένες επιφάνειες).

Στα συγκολλημένα με 170° πλάγια σύνδεση, το ME βρέθηκε μεγαλύτερο στις περιπτώσεις αυτών με κάθετη τομή. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση των συγκολλημένων δοκιμίων με κάθετη τομή και ακτινική φόρτιση το ME αυξήθηκε σε σχέση με το συμπαγές ξύλο κατά 11,23%, ενώ στην περίπτωση των δοκιμίων με κάθετη τομή και εφαπτομενική φόρτιση κατά 15,86%. Στην περίπτωση των συγκολλημένων δοκιμίων με οριζόντια τομή, το ME παρουσιάστηκε μικρότερο του συμπαγούς ξύλου στα συγκολλημένα με ακτινική φόρτιση δοκίμια (84,06% σε σχέση με το συμπαγές ξύλο) και μεγαλύτερο (110,78% σε σχέση με το συμπαγές ξύλο) στα συγκολλημένα με εφαπτομενική φόρτιση δοκίμια.

Το ME στα συγκολλημένα δοκίμια με τομές από 172° και επάνω παρουσιάζεται μικρότερο από το ME στα συγκολλημένα δοκίμια με τομές 160° και 170°. Συγκεκριμένα,

το ΜΕ κυμαίνεται από 71,00% (για τα συγκολλημένα δοκίμια με οριζόντια τομή 180° και ακτινική φόρτιση) έως 102,74% (για τα συγκολλημένα δοκίμια με κάθετη τομή 180° και ακτινική φόρτιση) σε σχέση με το ΜΕ του συμπαγούς ξύλου.

Η αντοχή σε κάμψη - ΜΕ των συγκολλημένων δοκιμίων επηρεάστηκε εν μέρει από τη διάταξη της τομής τους (οριζόντια ή κάθετη) κατά τη διάρκεια της φόρτισης. Η επίδραση είναι σχετικά μεγαλύτερη στην περίπτωση της ακτινικής φόρτισης, όπου τα δείγματα με κάθετη διάταξη τομής παρουσίασαν μεγαλύτερη αντοχή σε κάμψη - ΜΕ (έως 30,89% σε γωνία πλάγιας σύνδεσης 180°), πλην των δοκιμίων με γωνία πλάγιας σύνδεσης 160° και 172°.

Η αντοχή σε κάμψη - ΜΕ των συγκολλημένων δοκιμίων επηρεάστηκε εν μέρει από την κατεύθυνση φόρτισης (ακτινική ή εφαπτομενική). Στην περίπτωση των συγκολλημένων δοκιμίων με οριζόντια τομή, τα δείγματα που φορτίστηκαν εφαπτομενικά παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές ΜΕ (πλην των περιπτώσεων με γωνία πλάγιας σύνδεσης 160° και 172°) σε σχέση με τα δοκίμια που φορτίστηκαν ακτινικά. Η αύξηση κυμάνθηκε από 1,12% (για τα δοκίμια με γωνία πλάγιας σύνδεσης 174°) έως και 27,79% (για τα δοκίμια με γωνία 135°).

Στην περίπτωση των συγκολλημένων δοκιμίων με κάθετη τομή, τα δοκίμια που φορτίστηκαν ακτινικά παρουσίασαν μεγαλύτερες τιμές ΜΕ (πλην των περιπτώσεων με γωνία πλάγιας σύνδεσης 90°, 140° και 170°) σε σχέση με τα δοκίμια που φορτίστηκαν εφαπτομενικά. Η αύξηση κυμάνθηκε από 3,75% (για τα δοκίμια με γωνία σύνδεσης 172°) έως και 37,81% (για τα δοκίμια με γωνία σύνδεσης 180°).

Συμπεράσματα

Τα βασικά συμπεράσματα της έρευνας αυτής είναι τα ακόλουθα:

- Ξυλεία ερυθρελάτης μπορεί να αξιοποιηθεί με κατά μήκος συγκόλληση με πλάγιες συνδέσεις (scarf joints) στην παραγωγή επικολλητού ξύλου, για εφαρμογές, ξυλουργικής και δομικών κατασκευών εσωτερικών και εξωτερικών χώρων.
- Οι κατά μήκος συνδέσεις με πλάγιες τομές με γωνίες 90° έως και 160° δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερη αντοχή.
- Η γωνία των 170° παρουσιάζεται ως η ιδανικότερη για τις πιο ανθεκτικές κατά μήκος πλάγιες συνδέσεις ξυλείας ερυθρελάτης. Στη γωνία αυτή η αντοχή σε κάμψη - ΜΕ των συγκολλημένων δοκιμίων αυξήθηκε κατά 25,45% σε σχέση με το μασίφ ξύλο. Η περαιτέρω αύξηση της γωνίας τομής από 170° σε 180° μειώνει το ΜΕ των συγκολλημένων δοκιμίων, το οποίο όμως παραμένει υψηλό σε σχέση με τα μη συγκολλημένα (μασίφ ξύλο).
- Τα συγκολλημένα κατά μήκος δοκίμια με γωνίες πλάγιας σύνδεσης 160° και 170° παρουσιάζουν υψηλές τιμές ΜΕ.
- Η αντοχή σε κάμψη (ΜΕ και ΜΘ) δεν επηρεάστηκε ουσιαστικά από την κατεύθυνση φόρτισης.

Βιβλιογραφία

- Beckett, D., Marsh P., 1974. An introduction to structural design: Timber. Surrey: Surrey University Press in association with Intertext Publishing Limited. Pp. 123-126.
- Hernandez, R., 1998. Analysis of strain in finger-jointed lumber. Proceedings. 5th World Conference in Timber Engineering. Montreux, Switzerland. Vol. 1:144-162.

- Heggen, S., 2005. Lap, butt, scarf and other serious words. www.acbs-bslsl.com/gadgets/scarf.htm
- Kakaras, J., Ntalos G., 2001. New products in joinery and furniture sector in Greece. Proc. of the 3rd Balkan Symposium: 'Study conservation and utilization of the forest resources', pp. 322-330, Sofia, 2-4, Oct. 2001.
- Kapica, L., 1986. Glulam elements for upholstered furniture frames. *Holztechnologie* (1986) 27 (3) 127-129.
- Kirillov, A.N., Kovalchuk S.L., 1987. Use of the acoustic emission method for studying the process of formation of glued joints in wood. *Derevoobrabatyvayushchaya Promyshlennost* (1987), No. 12, 16-17.
- Koch, P., 1972. Utilisation of the southern pines. Vol. 2 Conversion. Washington Southern Forest Experiment Station. pp 1164-1174.
- Lii, W.J., Liu, C.T., 1991. Effect of physicochemical properties of wood and gluing methods on the qualities of laminated wood made from fast-growing species. Studies on the fabrication of end-to-end grain joint laminated wood from Taiwan red pine, Honduras mahogany and common teak. *Forest Products Industries* (1991) 10 (1) 25-34.
- Lii, W.J., Liu, C.T., 1988. Effect of physicochemical properties and gluing methods on the qualities of laminated wood made from fast-growing species. Studies on the fabrication of end jointed laminated wood from *Cryptomeria*, Taiwan *Paulownia* and wood oil tree. *Journal of Agriculture and Forestry* (1988) 37 (2) 81-97.
- 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.
- Poblette Wilson, H., 1998. Effect of different edge joints on resistance of particleboard to bending. *Ciencia e Investigación Forestal* (1998), No. 3, 81-89.
- Richards, D.B., Goodrick, F.E., 1959. Tensile strength of scarf joints in Southern Pine. *Forest Products Journal* 9 (6): 177-179.
- River, B.H., 1994. Fracture of adhesive-bonded wood joints. Pizzi, A. and Mittal, K.L. eds. *Handbook of adhesive technology*. New York Marcel Dekker, Inc. pp 151-177.
- Schober, K.P., Spatt, M., 1993. Laboratory tests on the quality of finger-jointed and laminated Norway spruce window frames. *Holzforschung und Holzverwertung* (1993) 45 (5) 85-87.
- Smardzewski, J., 1996. Distribution of stresses in finger joints. *Wood Science and Technology*, Vol. 30 (6): 477-489.
- Tsoumis, G., 1991. Science and technology of wood: structure, properties, utilization. New York: Van Nostrand Reinhold. pp.
- Troughton, G.E., 1986. Finger and end-jointing softwood lumber using the preheating method and emulsion polymer isocyanate glue. *Forest Products Journal* (1986) 36 (1) 59-63.
- Υπουργείο Γεωργίας, 1992. Αποτελέσματα της πρώτης εθνικής απογραφής δασών. Γενική Γραμματεία Δασών και Φυσικού Περιβάλλοντος. Αθήνα, 1992.