

# Συγκόλληση κλωρού ξύλου - Μια νέα τεχνολογία κατά μήκος συγκόλλησης του ξύλου με δακτυλοειδείς συνδέσεις

Γ. Μαντάνης και Σ. Καραστεργίου

Τμήμα Σχεδιασμού & Τεχνολογίας Ξύλου & Επίπλου Παράρτημα Καρδίτσας, ΤΕΙ Λάρισας

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη συνθετική αυτή εργασία παρουσιάζονται αποτελέσματα πρόσφατων ερευνών που έδειξαν ότι το ξύλο μπορεί να συγκολληθεί επιτυχώς ακόμα και όταν έχει υψηλά ποσοστά υγρασίας με χρήση νέων τεχνολογιών που βασίζονται σε καινοτόμα ρηπινικά συστήματα χωρίς την εφαρμογή θερμότητας. Τα αποτελέσματα αυτών των ερευνών κατά μήκος συγκόλλησης κλωρού ξύλου είναι θετικά, αφού η παραγόμενη συγκολλημένη ξυλεία ικανοποιεί τις απαιτήσεις των προδιαγραφών, ενώ οι τεχνολογίες αυτές φαίνεται να πλεονεκτούν έναντι των συμβατικών μεθόδων. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται συνοπτικά οι νέες αυτές τεχνολογίες κατά μήκος συγκόλλησης κλωρού ξύλου με δακτυλοειδείς συνδέσεις, ενώ παρατίθενται τα πιθανά πλεονεκτήματα αυτών.

**Λέξεις κλειδιά :** συγκόλληση κλωρού ξύλου, κατά μήκος συγκόλληση με δακτυλοειδείς συνδέσεις, πολυουρεθάνη, ρεσορκινόλη, ρηπίνη με βάση πρωτεΐνη σόγιας.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επικολλητή ξυλεία εξαιτίας των πολλών πλεονεκτημάτων που διαθέτει, χρησιμοποιείται σε ποικίλες εφαρμογές στις μέρες μας. Πάνω από το 50% της παγκόσμιας παραγωγής ξύλου συναντάται σε τελικές χρήσεις με τη μορφή επικολλητής ξυλείας και το ποσοστό αυτό αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον (Marra 1992, Maun and Cooper 1999). Η πριπί ξυλεία μπορεί να συγκολληθεί είτε πλευρικά, είτε κατά μήκος. Στην κατά μήκος συγκόλληση τα άκρα των ξύλινων στοιχείων μπορούν να συγκολληθούν με τις πλευρές κάθετες (*butt joints*), λοξές (*scarf joints*) ή μορφοποιημένες με δακτυλοειδείς προεξοχές (*finger joints*). Ο πιο συνηθισμένος και αποτελεσματικός τρόπος κατά μήκος συγκόλλησης είναι αυτός όπου εφαρμόζονται δακτυλοειδούς μορφής προεξοχές. Η επιτυχημένη συγκόλληση του ξύλου εξαρτάται κυρίως από τη μέθοδο συγκόλλησης, τον τύπο της συγκολλητικής ουσίας και το είδος του ξύλου (Marra 1992). Σε κάθε περίπτωση κρίσιμο ρόλο παίζει και η περιεχομένη 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 15% 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 κλωρού ξύλου, η παραγωγή σύνθετης ξυλείας σε βιομηχανική κλίμακα με συγκόλληση κλωρού ξύλου θεωρούνταν

μέχρι πρότινος ως μη ρεαλιστική. Ωστόσο, πρόσφατα ο Rommier και οι συνεργάτες του (2005) με εμπειριστωμένη έρευνα σύγκριναν αποτελέσματα κατά μήκος συγκόλλησης ξύλου παραθαλάσσιας πεύκης (*Pinus maritima*) με δακτυλοειδείς συνδέσεις χρησιμοποιώντας δύο συμβατικά συστήματα συγκόλλησης ξηρού ξύλου (ρεσορκινόλης και πολυουρεθάνης) και δύο νέα συστήματα συγκόλλησης κλωρού ξύλου με βάση την πολυουρεθάνη. Η συγκόλληση δοκιμάστηκε σε τρία διαφορετικά επίπεδα αρχικής υγρασίας του ξύλου (12%, 18% και 30%). Οι δοκιμές έγιναν σε βιομηχανική κλίμακα και η συγκολλημένη ξυλεία είχε μήκος 4,80 m. Η σύγκριση έγινε με κριτήριο την αντοχή των δοκιμών σε κάμψη με βάση την προδιαγραφή EN 408. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι: (α) η κατά μήκος συγκόλληση και με τις δύο τεχνικές σε υγρασία 12% και 18% έδωσε παρόμοια αποτελέσματα, (β) τα δύο διαφορετικά συστήματα συγκόλλησης κλωρού ξύλου με βάση την πολυουρεθάνη (PUR) σε επίπεδο υγρασίας 30% ήταν τα πιο επιτυχημένα, έδωσαν τις υψηλότερες αντοχές σε κάμψη (38 έως 44 MPa) και (γ) η ως άνω συγκολλημένη ξυλεία με δακτυλοειδείς συνδέσεις κρίθηκε κατάλληλη για δομικές εφαρμογές, με την επιφύλαξη να διερευνηθεί περαιτέρω η αντοχή της σε ερπυσμό. Επιπρόσθετα, η Sterley (2005) με πρόσφατη ερευνητική της εργασία διατύπωσε ότι τρία νέα ρηπινικά συστήματα - διαφορετικά μεταξύ τους - μπορούν επιτυχώς να συγκολληθούν κατά μήκος κλωρή ξυλεία δασικής πεύκης (*Pinus sylvestris*) σε επίπεδα υγρασίας από 34% έως 104%. Τα ρηπινικά συστή-

ματα που χρησιμοποιήσε ήταν μία νέα ρητίνη φαινόλης - ρεσορκινόλης - φορμαλδεϋδης (PRF), μία ρητίνη PUR και μία τροποποιημένη ρητίνη πρωτεΐνης σόγιας/PRF. Η αντοχή της συγκολλημένης ξυλείας σε κάμψη ήταν υψηλότερη μέχρι και 10% απ' αυτή του μάρτυρα που ήταν μία συμβατική ρητίνη PRF για συγκόλληση ξηρού ξύλου. Η Sterley κατέληξε τελικά στα ακόλουθα συμπεράσματα: (α) δεν εμφανίστηκαν στρεβλώσεις στην ξυλεία που συγκολλήθηκε κατά μήκος με τα τρία νέα συστήματα, (β) όπως διαπιστώθηκε με χρήση μικροσκοπίας, κατά τη συγκόλληση κλωρού ξύλου (ειδικά με PUR) επιτυγχάνεται εκτεταμένη διαπέραση της κόλλας στα ξυλώδη κύπαρα, τόσο στο σομφό όσο και στο εγκάρδιο ξύλο, (γ) η συγκόλληση κλωρού ξύλου με PUR απέδωσε την υψηλότερη αντοχή σε κάμψη σε ξηρές συνθήκες σε σύγκριση με τα υπόλοιπα συστήματα και (δ) προτείνεται να επαναξιολογηθεί η αντοχή της συγκολλημένης ξυλείας σε υγρές συνθήκες μετά από επιταχυνόμενη γήρανση, εξαιτίας των μειωμένων τιμών αντοχής της σε σύγκριση με το μάρτυρα.

Σκοπός αυτής της συνθετικής εργασίας είναι να παρουσιασθούν τα αποτελέσματα ερευνών από νέες τεχνολογίες κατά μήκος συγκόλλησης κλωρού ξύλου, που ήδη έχουν αρχίσει να εφαρμόζονται διεθνώς και να αναλυθούν τα τυχόν πλεονεκτήματα αυτών σε ορισμένες χρήσεις του ξύλου.

### ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΚΛΩΡΟΥ ΞΥΛΟΥ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΜΕ ΔΑΚΤΥΛΟΕΙΔΕΙΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ

Συγκόλληση κλωρού ξύλου, δηλ. ξύλου με υγρασία μεγαλύτερη του 30%, ονομάζεται η συγκόλληση εκείνη που πραγματοποιείται σε ξυλεία που μόλις έχει περάσει από την κυρίως πρίση και την επανάπριση χωρίς καμία ξήρανση. Η συγκόλληση κλωρού ξύλου κατά μήκος με δακτυλοειδείς συνδέσεις μπορεί να πραγματοποιηθεί με ταυτόχρονη εφαρμογή θερμότητας ή χωρίς τη χρήση αυτής.

#### **Συγκόλληση κλωρού ξύλου με εφαρμογή θερμότητας**

Η συγκόλληση κλωρού ξύλου μπορεί να πραγματοποιηθεί με την επίδραση θερμότητας με στόχο την επιτάχυνση της διαδικασίας κατάλυσης (σκληρίνωσης) της συγκολλητικής ουσίας. Οι συγκολλητικές ουσίες που χρησιμοποιούνται είναι συνθετικές ρητίνες PRF και μελαμίνης - ουρίας - φορμαλδεϋδης (MUF). Αρχικά, οι Murphey και Neam (1956) διαπίστωσαν ότι η

προσρόφηση συγκολλητικής ουσίας PRF ήταν πολύ μεγάλη σε ξύλο με υγρασία 50% με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα λεπτό φιλμ συγκολλητικής ουσίας στην επιφάνεια. Αργότερα, άλλοι ερευνητές (Cuprier 1960, Rankes 1967) θεώρησαν ότι είναι εφικτό να παραχθεί σύνθετη ξυλεία για δομικές κατασκευές με κατά μήκος δακτυλοειδείς συνδέσεις και με χρήση συμβατικών ρητινών, όταν η περιεχομένη υγρασία του ξύλου είναι μέχρι 26%.

Ο Strickler (1970) και οι Throughton και Chow (1979, 1980) ανέπτυξαν νέες μεθόδους για την κατά μήκος συγκόλληση ξύλου με περιεχομένη υγρασία πάνω από το σημείο ισοκόρου (>30%). Η μεθοδολογία περιελάμβανε την εφαρμογή θερμότητας για προθέρμανση των «υγρών» άκρων του ξύλου με σκοπό την επιτάχυνση της σκληρίνωσης. Ειδικότερα, η μέθοδος που εφάρμοσε ο Strickler (1970) περιελάμβανε τη χρήση θερμής μήτρας στα άκρα κλωρού ξύλου για τη δημιουργία δακτυλοειδών προεξοχών. Αμέσως μετά και ενώ τα άκρα παρέμεναν θερμά εφαρμοζόταν η συγκολλητική ουσία. Αντίστοιχα, οι Throughton και Chow (1980) εφάρμοσαν θερμότητα στα άκρα του ξύλου πριν από τη χρήση της συγκολλητικής ουσίας. Και στις δυο μεθόδους η διαμόρφωση των άκρων πραγματοποιούνταν σε κλωρή ξυλεία και οι συγκολλητικές ουσίες ήταν τύπου PRF και MUF, αντίστοιχα.

#### **Συγκόλληση κλωρού ξύλου χωρίς εφαρμογή θερμότητας**

Η ανάπτυξη συγκολλητικών ουσιών που δρουν άμεσα χωρίς την εφαρμογή θερμότητας (ψυχρή συγκόλληση) άνοιξε νέους ορίζοντες στην τεχνολογία παραγωγής σύνθετων προϊόντων ξύλου, διότι μειώθηκε έτσι το κόστος παραγωγής και επένδυσης. Οι ρητίνες αυτές χαρακτηρίζονταν από μειωμένη κινητικότητα και ταχεία αύξηση του μοριακού μεγέθους τους κατά τη διάρκεια της σκληρίνωσης. Η χαμηλή κινητικότητα και η επακόλουθη χαμηλή διαπερατότητα των ρητινών αυτών επιδρούσε θετικά στη συγκόλληση ξυλείας με υψηλά ποσοστά υγρασίας.

Ο Tiedeman και οι συνεργάτες του (1973) τροποποίησαν φαινολικές συγκολλητικές ουσίες με αρωματικές αμίνες (*μ-αμινοφαινόλη*) και ανέπτυξαν νέες ρητίνες με αυξημένη ενεργητικότητα σε θερμοκρασία δωματίου και ιδιότητες παρόμοιες μ' αυτές των ρητινών PRF. Οι ερευνητικές αυτές προσπάθειες συνεχίστηκαν και από άλλους ερευνητές (Baxter and Kreibich 1973, Kreibich 1974, Pizzi and Roux 1978). Ακολούθησε η ανάπτυξη συγκολλητικών ουσιών από χημικά τροποποιημένες ταννίνες που βρήκαν εφαρμογή κατά τη δε-

καετία του '80 σε συγκολλημένη με κατά μήκος δακτυλοειδείς συνδέσεις δομική ξυλεία (Pizzi *et al.* 1980, Pizzi and Cameron 1984, Kreibich and Hemingway 1985, Kreibich and Hemingway 1987). Αργότερα, οι Kreibich και Hemingway (1996) χρησιμοποίησαν ρητίνες ψυχρής συγκόλλησης με βάση ταννίνες σε δακτυλοειδείς συνδέσεις ξύλου με περιεχομένη υγρασία που κυμαινόταν από 8% έως 150%. Η νέα ρητίνη (PRF) με βάση τις ταννίνες παρουσίασε καλή συμπεριφορά σε συνδέσεις εξωτερικής χρήσης, όταν η περιεχομένη υγρασία του ξύλου ήταν από 20% έως 40%. Σε υψηλά ποσοστά υγρασίας (40-150%), οι συνδέσεις παρουσίασαν σχετικά καλή αντοχή, ενώ οι καλύτεροι δεσμοί επιτεύχθηκαν, όταν χρησιμοποιήθηκε αμμωνία ως επιταχυντής της διαδικασίας σκλήρυνσης.

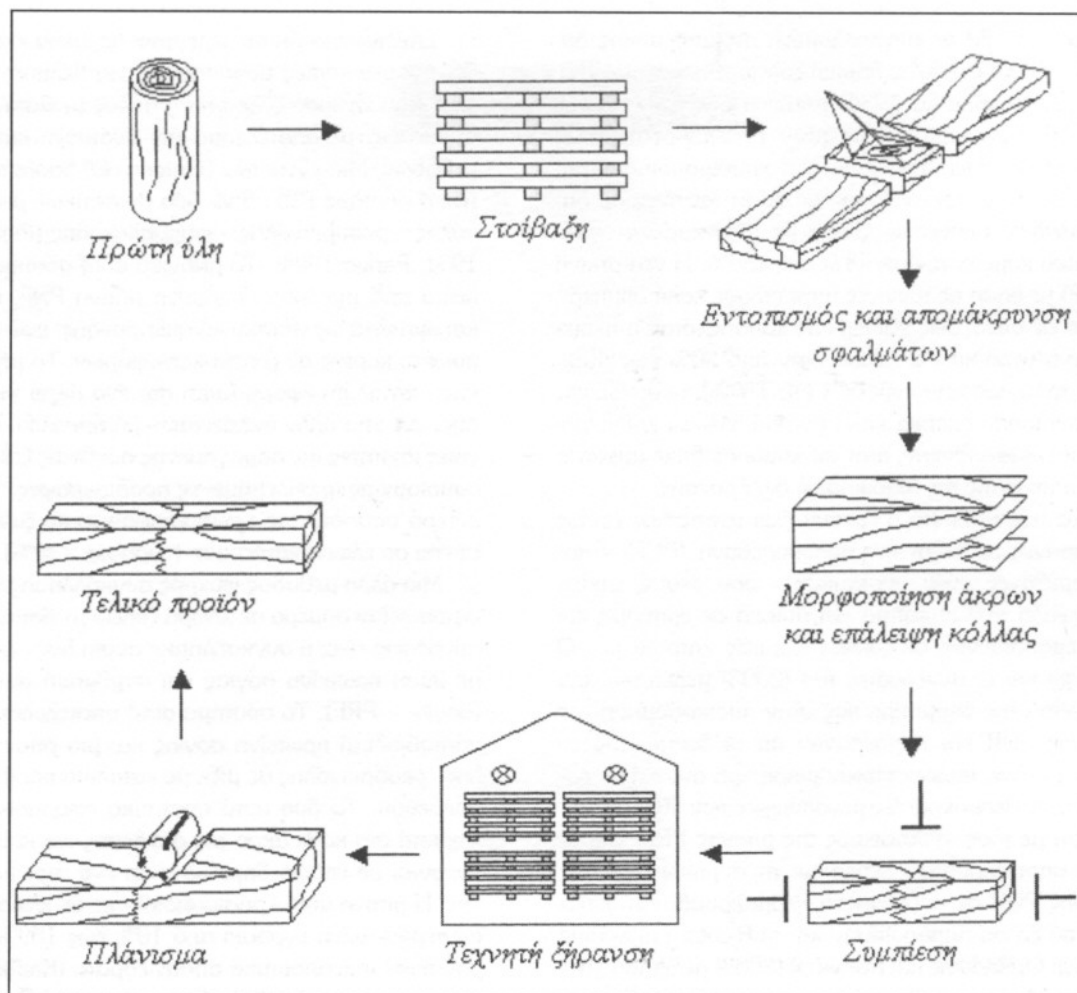
Τα τελευταία έτη η έρευνα έχει μετατοπιστεί προς τις ρητίνες με βάση την πολυουρεθάνη (PUR) - πολυουρεθάνες ενός συστατικού - που έχουν επιδείξει υψηλή ανθεκτικότητα και αντοχή σε ερπυσμό και χρησιμοποιούνται σε ξύλινες δομικές κατασκευές. Ο George και οι συνεργάτες του (2003) μελέτησαν την επίδραση της θερμοκρασίας στην αποικοδόμηση της ρητίνης PUR και συμπέραναν ότι οι δεσμοί της εν λόγω ρητίνης παρουσιάζουν μικρότερη αντοχή σε ερπυσμό σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 40°C σε σύγκριση με τους αντίστοιχους της ρητίνης PRF. Παρόμοια αποτελέσματα σχετικά με τη συμπεριφορά της ρητίνης PUR σε αυξανόμενη θερμοκρασία και υγρασία του ξύλου παρουσίασαν και οι Richter και Schirle (2002). Οι Radovic και Rothkopf (2003) μελέτησαν την αποικοδόμηση των δεσμών της ρητίνης PUR σε φορτίσεις στατικής κάμψης μεγάλης διάρκειας και τα αποτελέσματα 10 ετών έδειξαν ότι δυο διαφορετικές ρητίνες PUR παρουσίασαν διαφορετική συμπεριφορά σε ερπυσμό, ενώ μόνο η μια ρητίνη επέδειξε ποιοτικά χαρακτηριστικά παρόμοια μ' αυτά της ρητίνης PRF. Οι Vick και Okkonen (1998) και ο Rajakaruna (2001) συμπέραναν μετά από δοκιμές επιταχυνόμενης γήρανσης του ξύλου ότι οι συγκολλητικοί δεσμοί ρητινών PUR παρουσιάζουν σχετικά μικρή αντοχή σε εφελκυσμό, ενώ το ποσοστό της επιφάνειας θραύσης είναι χαμηλό. Το χαμηλό ποσοστό της επιφάνειας θραύσης των δεσμών των ρητινών PUR αποδόθηκε από τους Richter και Schirle (2002) στην υψηλή πυκνότητα του ξύλου (δρυός) και στη μεγάλη περιεκτικότητά του σε εκχυλίσματα. Πρόσφατα, αναπτύχθηκε μια νέα ταχέως σκληρυνόμενη ψυχρής εφαρμογής ρητίνη MUF που παρουσίασε πολύ καλή συμπεριφορά και έδωσε ικανοποιητικούς δεσμούς συγκόλλησης σε ξύλο με περιεχομένη υγρασία μέχρι και 22% (Properzi *et al.* 2001, 2003).

Σημειώνεται ότι την τελευταία δεκαετία έχουν ενταθεί οι ερευνητικές προσπάθειες για βέλτιστη συγκόλληση του κλωρού ξύλου κατά μήκος με δακτυλοειδείς συνδέσεις, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη καινοτόμων μεθόδων. Μια εξ' αυτών (Greenweld) βασίζεται σε ρητινικό σύστημα PRF, δηλ. δύο συστατικών ρητίνη φαινόλης - ρεσορκινόλης - φορμαλδεΐδης (Parker *et al.* 1991, Parker 1994). Το ρητινικό αυτό σύστημα αποτελείται από μια τροποποιημένη ρητίνη PRF, καταλύτη και αμμωνία ως επιταχυντή σκλήρυνσης, ενώ χρησιμοποιείται κυρίως σε ξυλεία κωνοφόρων. Το μίγμα ρητίνης - καταλύτη εφαρμόζεται στο ένα άκρο της σύνδεσης, ενώ στο άλλο ψεκάζεται υγρή αμμωνία. Οι μηχανικές ιδιότητες της παραγόμενης σύνθετης ξυλείας ικανοποιούν τις προβλεπόμενες προδιαγραφές. Το μεγαλύτερο ποσοστό της χρησιμοποιούμενης ξυλείας βρίσκεται σε κλωρή κατάσταση (υγρασία >30%).

Μια άλλη μέθοδος ψυχρής συγκόλλησης που χρησιμοποιείται σήμερα σε κλωρή ξυλεία με δακτυλοειδείς συνδέσεις είναι η συγκολλητική ουσία δύο συστατικών με βάση πρωτεΐνη σόγιας και συμβατική ρητίνη PRF (σόγια + PRF). Το σύστημα αυτό αποτελείται από μια υδατοδιαλυτή πρωτεΐνη σόγιας και μια ρητίνη φαινόλης- ρεσορκινόλης σε μίξη με καταλύτη και παραφορμαλδεΐδη. Τα δύο αυτά συστατικά εφαρμόζονται ξεχωριστά στο κάθε άκρο της σύνδεσης και καθώς αυτά έρχονται σε επαφή δημιουργείται ένα στρώμα ζελατίνης. Η ρητίνη αυτή χρησιμοποιήθηκε σε κλωρή ξυλεία με περιεχομένη υγρασία από 10% έως 160% και παρουσίασε ικανοποιητικά αποτελέσματα (Kreibich *et al.* 1998, Steele *et al.* 1998, Vijayendran and Clay 2000). Η νέα αυτή ρητίνη σόγιας - PRF έχει χαρακτηριστεί στις ΗΠΑ ως ρητίνη εξωτερικής χρήσης, ενώ φαίνεται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις των αμερικανικών προδιαγραφών.

Ένα τρίτο καινοτόμο σύστημα είναι αυτό της ρητίνης πολυουρεθάνης ενός συστατικού (1K-PUR) που χρησιμοποιήθηκε με πολύ καλά αποτελέσματα σε κατά μήκος συνδέσεις δακτυλοειδούς μορφής σε κλωρή 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 διοξείδιο του άνθρακα που προκαλεί «άφρισμα» της συγκολλητικής ουσίας.

Γενικά, στη ροή παραγωγής με συγκόλληση κλωρού ξύλου κατά μήκος με δακτυλοειδείς συνδέσεις (Εικ. 1), η ξυλεία μετά την κοπή της στοιβάζεται και υφίσταται ταξινόμηση, όπου εντοπίζονται και απομακρύνονται



Εικ. 1. Ροή παραγωγής συγκόλλησης κλωρού ξύλου με δακτυλοειδείς συνδέσεις.

Fig. 1. Production low-sheet of Inger jointed laminated timber from green wood.

νται τα τυχόν σφάλματα (π.χ. ρόζοι). Σε επόμενο στάδιο, γίνεται η μορφοποίηση των δακτυλοειδών άκρων και ακολουθεί η επίλειψη της ρητίνης. Μετά γίνεται η συμπίεση των άκρων και η συγκόλληση της ξυλείας. Στη συνέχεια η ήδη συγκολλημένη ξυλεία ξηραίνεται σε κλιβάνους (τεχνητή ξήρανση) και τέλος υφίσταται πλάνισμα για την τελική μορφοποίησή της.

#### Πλεονεκτήματα της συγκόλλησης κλωρού ξύλου

Τα αποτελέσματα πρόσφατων ερευνών (Vijayendran and Clay 2000, Properzi *et al.* 2001, 2003, Rommier *et al.* 2005, Sterley 2005, Lipke 2005) αποδεικνύουν ότι η κατά μήκος συγκόλληση κλωρού ξύλου με δακτυλοειδείς συνδέσεις παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα. Τα στοιχεία δείχνουν ότι η κατά μήκος συγκόλληση κλωρού ξύλου με δακτυλοειδείς συνδέ-

σεις είναι εφικτή - σε ορισμένες περιπτώσεις και σε βιομηχανικό επίπεδο (Lipke 2005) - αφού η αντοχή της παραγόμενης ξυλείας σε κάμψη είναι εξίσου υψηλή, όπως και με τις συμβατικές μεθόδους, και πληροί τις προδιαγραφές. Όπως τονίζει η Sterley (2005) στην εμπειριστατωμένη έρευνά της, τα δοκίμια μετά τη συγκόλληση χαρακτηρίζονται από ομοιόμορφα μήκη πριν το στάδιο της τεχνητής ξήρανσης, ενώ δεν παρατηρούνται στρεβλώσεις, κυρτώσεις ή άλλα σφάλματα στη συγκολλημένη ξυλεία μετά την ξήρανση. Τονίζεται ακόμα ότι με τη νέα τεχνολογία εξοικονομείται ενέργεια, διότι αφενός χρησιμοποιούνται ψυχρής-συγκόλλησης ρητινικά συστήματα που δεν απαιτούν προθέρμανση των προς συγκόλληση άκρων και αφετέρου αποφεύγεται η ξήρανση μερών του ξύλου, όπως π.χ. ρόζων, ξύλου ανώμαλης δομής, που υποχρεωτικά θα

απομακρύνονταν σε μεταγενέστερα στάδια της παραγωγής (Maun and Cooper 1999, Sterley 2005). Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι κλωρή ξυλεία μικρών διαστάσεων, ειδικά δρυός, μπορεί να αξιοποιηθεί για να παραχθεί δομική ξυλεία που ικανοποιεί τις προδιαγραφές. Μ' αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η αξία του ξύλου χαμηλής ποιότητας που προοριζόταν είτε για καύσιμη ύλη, είτε για παραγωγή χαρτοπολιτού (Verreault 1999). Επίσης, ξυλεία προερχόμενη από αραιώσεις φυτειών ελάτης και πεύκης αποτελούμενη σε μεγάλο ποσοστό από ανώριμο ξύλο και ρόζους μπορεί να αξιοποιηθεί ορθολογικότερα, εάν τεμαχιστεί σε μικρά μήκη και απομακρυνθούν τα τυχόν σφάλματα (Parker 1994). Όπως τονίζει και ο Lipke (2005) επιτυγχάνεται και εξοικονόμηση πρώτων υλών, αφού μεγάλο μέρος των υπολειμμάτων κατεργασίας μετατρέπεται σε ξυλεία προστιθέμενης αξίας, ενώ υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία στην παραγωγική διαδικασία αφού λιγότερη προσοχή δίνεται στις διαφορές περιεχομένης υγρασίας μεταξύ των προς συγκόλληση ξύλινων άκρων.

#### ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΟΥ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΛΩΡΟΥ ΞΥΛΟΥ ΣΕ ΔΙΕΘΝΕΣ ΕΠΙΠΕΔΟ

Είναι γνωστό ότι η κατά μήκος συγκόλληση κλωρού ξύλου με το ρητινικό σύστημα PRF (*Greenweld*) χρησιμοποιείται σήμερα στη Νέα Ζηλανδία και την Αυστραλία για την παραγωγή δομικής ξυλείας με πρώτη ύλη ξύλο ακτινωτής πεύκης (*Pinus radiata*) και για υγρασίες από 30% έως και 150% (Parker 1994). Το ρητινικό σύστημα δύο συστατικών με βάση πρωτεΐνη σόγιας και συμβατική ρητίνη PRF έχει σήμερα βρει εφαρμογές στις ΗΠΑ, κυρίως σε ξυλεία ψευδοτσούγκας (Steele *et al.* 1998, Vijayendran and Clay 2000). Το παραπάνω ρητινικό σύστημα έχει εγκριθεί στις ΗΠΑ ως εξωτερικής χρήσης ρητίνη σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM D-2559 και έχει υιοθετηθεί από τον αρμόδιο φορέα WWPA (Western Wood Products Association) της εν λόγω χώρας. Ο Lipke (2005), επιβεβαιώνοντας τα παραπάνω, παρουσίασε πρόσφατα τη βιομηχανική εμπειρία της εταιρίας Hampton Lumber Mills Inc. που εδρεύει στο Όρεγκον των ΗΠΑ και που παράγει από το 1997 σύνθετη ξυλεία δοκών τοιχοποιίας (*wall studs*) με κατά μήκος συγκόλληση κλωρού ξύλου ψευδοτσούγκας (*Pseudotsuga menziesii*) και τσούγκας (*Tsuga heterophylla*). Η εταιρία αυτή χρησιμοποιεί το ρητινικό σύστημα PRF/πρωτεΐνη σόγιας και παράγει ετησίως 19.000 m<sup>3</sup> δοκών τοιχοποιίας. Η κλωρή ξυλεία υφίσταται συγκόλληση σε επίπεδα υγρασίας 28% έως 80%. Επιπρόσθετα, ο Lipke τονίζει στην

εργασία του ότι: (α) δεν παρουσιάζονται στρεβλώσεις ή άλλα σφάλματα στην παραγόμενη σύνθετη ξυλεία μετά την ξήρανση, (β) το σύστημα συγκόλλησης κλωρού ξύλου είναι πιο γρήγορο από τα συμβατικά συστήματα και τα οικονομικά οφέλη απ' αυτό είναι προφανή και (γ) γίνεται καλύτερη αξιοποίηση των υπολειμμάτων κατεργασίας, αφού σε σύγκριση με το παλαιότερα εφαρμοζόμενο στην εταιρία σύστημα ξηρής συγκόλλησης εξοικονομείται το 70% περίπου των υπολειμμάτων (απομάκρυνση ρόζων κ.ά.) και μετατρέπεται σε ξυλεία προστιθέμενης αξίας.

Επιπλέον, ο Elbez (2006) εκπροσωπώντας τα κέντρα έρευνας και τεχνολογίας CTBA και LRBB της Γαλλίας ανακοίνωσε την έναρξη προγράμματος υλοποίησης και λειτουργίας βιομηχανικής κλίμακας πιλοτικής μονάδας (*pilot plant*) στο Μπορντό με χρηματοδότηση 20 επιχειρήσεων ξύλου και πριστηρίων της χώρας. Στόχος του προγράμματος αυτού είναι η ορθολογικότερη αξιοποίηση της παραθαλάσσιας πεύκης με τεχνολογία κατά μήκος συγκόλλησης κλωρού ξύλου με δακτυλοειδείς συνδέσεις για την παραγωγή προϊόντων προστιθέμενης αξίας.

Γενικά, αν και η κατά μήκος συγκόλληση κλωρού ξύλου εφαρμόζεται σήμερα με επιτυχία σε διάφορες χώρες του κόσμου, στην Ευρώπη είναι δύσκολο να εφαρμοστεί, διότι υπάρχει ανάγκη αφενός πιστοποίησης των συγκολλητικών συστημάτων με την προδιαγραφή EN 301 και αφετέρου εναρμόνισης των προϊόντων με την προδιαγραφή EN 386. Επίσης απαιτούνται τροποποιήσεις εφόσον οι υφιστάμενες ευρωπαϊκές προδιαγραφές απαιτούν ξήρανση του ξύλου πριν αυτό κατεργαστεί για κατά μήκος συγκόλληση. Πρόσφατα με πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει συσταθεί η Δράση COST E34 *Bonding of timber* (CEC 2004) που, μεταξύ άλλων, σκοπό έχει τη διερεύνηση και επιβεβαίωση της τεχνικής βιωσιμότητας της συγκόλλησης κλωρού ξύλου και τη μελέτη για εναρμόνιση σε νέες προδιαγραφές, ειδικά για συγκολλημένη ξυλεία που προορίζεται για δομικές κατασκευές.

#### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα πρόσφατων ερευνών δείχνουν ότι είναι εφικτή σε βιομηχανική κλίμακα η κατά μήκος συγκόλληση κλωρού ξύλου με δακτυλοειδείς συνδέσεις που μπορεί να αποδώσει σύνθετη ξυλεία που θα πληροί τις προδιαγραφές. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται σε νέες συγκολλητικές ουσίες, όπως ρητίνη δύο συστατικών φαινόλης – ρεσορκινόλης – φορμαλδεϋδης

(PRF), πολυουρεθάνης ενός συστατικού ή δύο συστατικών με βάση πρωτεΐνη σόγιας και PRF. Από τη βιβλιογραφία της παρούσας εργασίας αποδεικνύεται ότι η κατά μήκος συγκόλληση κλωρού ξύλου με τις παραπάνω ρητίνες εφαρμόζεται στη Νέα Ζηλανδία, την Αυστραλία και τις ΗΠΑ για παραγωγή δομικής ξυλείας με πρώτη ύλη ξυλεία κυρίως πεύκης και ψευδοτσούγκας και σε επίπεδα υγρασίας από 30% έως και 150%. Αν και οι έρευνες τονίζουν ότι δεν παρουσιάζονται στρεβλώσεις, παραμορφώσεις ή άλλα σφάλματα μετά την ξήρανση της συγκολλημένης ξυλείας, στην Ευρώπη σήμερα η τεχνολογία αυτή είναι αδύνατο να εφαρμοστεί, εάν δεν τροποποιηθούν οι ισχύουσες ευρωπαϊκές προδιαγραφές που απαιτούν ξήρανση του ξύλου πριν αυτό κατεργαστεί για κατά μήκος συγκόλληση. Γίνεται φανερό ακόμα, ότι αυτή η νέα τεχνολογία θα έχει εφαρμογές μόνο στην παραγωγή συγκεκριμένων προϊόντων ξύλου, ενώ τονίζεται ότι ορισμένα κρίσιμα θέματα, όπως αντοχή της συγκολλημένης ξυλείας σε ερπυσμό ή και σε υψηλές θερμοκρασίες, ή αντοχή σε υγρές συνθήκες, απαιτούν διερεύνηση και ενδεχομένως περαιτέρω έρευνα.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BAXTER, G.F. and KREIBICH, R.E., 1973. A fast-curing phenolic adhesive system. *Forest Prod. J.*, 23 (1):17-22.
- COMMISSION OF EUROPEAN COMMUNITIES (CEC), 2004. COST Action E34 Bonding of Timber – Working Group 2: Green gluing of wood. Website: <http://www.rz.uni-hamburg.de/cost/e34>.
- CURRIER, R.A., 1960. Finger jointing at high moisture content. *Forest Prod. J.*, 10 (6):287-293.
- ELBEZ, G., 2006. A new pilot plant for finger-jointing green maritime pine in France. Announcement in COST Action E34 Meeting, Working Group 2 (27-28 Sept.), Brussels, Belgium.
- GEORGE, B., SIMON, C., PROPERZI, M. and PIZZI, A., 2003. Comparative creep characteristics of structural glulam wood adhesives. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61:79-80.
- KREIBICH, R.E., 1974. High speed adhesives for the wood - gluing industry. *Adhesives Age*, 17 (1):26-33.
- KREIBICH, R.E. and HEMINGWAY, R.W., 1985. Condensed tannin-resorcinol adducts in laminating adhesives. *Forest Prod. J.*, 35 (3):23-25.
- KREIBICH, R.E. and HEMINGWAY, R.W., 1987. Condensed tannin - sulfonate derivatives in cold-setting wood laminating adhesives. *Forest Prod. J.*, 37 (2):43-46.
- KREIBICH, R.E. and HEMINGWAY, R.W., 1996. Formulation of tannin-based adhesives of the 'honey-moon' type for end jointing wood at extreme ranges of moisture content. In A.W.Christiansen & A.H.Conner (eds), *Proc. of Wood Adhesives Symp. 1995*, Eds. Forest Products Society, Madison, WI, USA.
- KREIBICH, R.E., STEYBERG, P.J. and HEMINGWAY, R.W., 1998. End jointing Green Lumber with Soy-Bond. In Swanson J.S. (Eds) *Proc. of 2<sup>nd</sup> Biennial Residual Wood Conf., Wood residues into revenue*. November 4-5; Richmond, BC, MCTI Communications Inc., pp. 28-36.
- LANG, 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.
- LIPKE, M., 2005. Green glued fingerjoint wall studs – Industrial experience of Hampton Lumber Mills Inc. In *Proc. of International Conference "Green gluing of wood – Process, products, market"* COST Action E34, Apr. 5-7, SP, Båras, Sweden, pp. 83-90.
- MARRA, A.A., 1992. Technology of wood bonding. Principles in practice. Ed. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- MURPHEY, W.K. and NEARN, W.T., 1956. Effect of moisture content on the appearance of resorcinol glue lines in laminated oak lumber. *Forest Prod. J.*, 6 (5):194-197.
- MAUN, K. and COOPER, G., 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.
- PARKER, J.R., TAYLOR, J.B., PLACKET, D.V. and LOMAX, R.E., 1991. Method of jointing wood. *European Patent Application 91311852.7* 1991, EP 0493010.
- PARKER, J.R., 1994. Greenweld process for engineered wood products. In *Proc. of the International Panel and Engineered Wood Technology Exposition*, 1994 October 5, Atlanta, GA, USA, pp. 10.
- PIZZI, A. and ROUX, D.G., 1978. The chemistry and development of tannin-based weather- and boil-proof cold setting and fast setting adhesives for wood. *J. Appl. Polym. Sci.*, 22:1945-1954.

- PIZZI, A., ROSSOUW, D.T., KNUFFEL, W.E. and SINGMIN, M., 1980. 'Honeymoon' phenolic and tannin-based adhesive systems for exterior grade finger joints. *Holzforschung und Holzverwertung*, 32 (6):140-150.
- PIZZI, A. and CAMERON, F.A., 1984. Fast-setting adhesives for glulam. *Forest Prod. J.*, 53 (4):61-68.
- POMMIER, R., COUREAU, L. and LEGRAND, G., 2005. Finger jointing of green maritime pine timber - evaluation of different adhesives and determination of resulting bending strength. In *Proc. of International Conference "Green gluing of wood - Process, products, market"* COST Action E34, Apr. 5-7, SP, Båras, Sweden, pp. 46-51.
- PROPERZI, M., PIZZI, A. and UZIELLY, L., 2001. Honeymoon MUF adhesives for exterior grade glulam. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 59:413-421.
- PROPERZI, M., PIZZI, A. and UZIELLY, L., 2003. Comparative wet wood gluing performance of different types of glulam wood adhesives. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 61:77-78.
- RADOVIC, B. and ROTHKOPF, C., 2003. Eignung von 1K-PUR-Klebstoffen für den Holzbau unter Berücksichtigung von 10-jähriger Erfahrung. *Bauen mit Holz*, 6:36-40.
- RANKES, E., 1967. Fingerjointing with resorcinol glues at high wood moisture content. Report No. 32. The Norwegian Institute of Wood Working and Wood Technology, Blindern, Norway.
- RAJAKARUNA, M.P., 2001. Strength and durability of radiata pine bonded with polyurethane adhesives. In S. Aicher and H.W. Reinhardt. (Eds) *Proc. of the International RILEM Symposium Joints in Timber Structures*. RILEM Publ., pp. 453-462.
- RICHTER, K. and SCHIRLE, M.A., 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.
- STEELE, P.H., KREIBICH, R.E., STEYNBERG, P.J. and HEMINGWAY, R.W., 1998. Finger jointing green southern yellow pine with soy-based adhesive. *Adhesive Age*, 49-57.
- STERLEY, M., 2005. Finger jointing of green Scots pine. In *Proc. of International Conference "Green gluing of wood - Process, products, market"* COST Action E34, Apr. 5-7, SP, Båras, Sweden, pp. 52-61.
- STRICKLER, M.D., 1970. End gluing of green lumber. *Forest Prod. J.* 20 (9): 47-51.
- TIEDEMAN, G.T., SANCLEMENTE, M.R. and SMITH, H.A., 1973. The chemistry of fast curing phenolic adhesives. Part II. *J., Appl. Polym. Sci.*, 17:1819-1832.
- TROUGHTON, G.E. and CHOW, S., 1979. Finger jointing unseasoned rough western red cedar lumber using the WFPL Method. *WFPL Tech. Rep. No. 11*. Forintek Canada Corp., Vancouver, Canada.
- TROUGHTON, G.E. and CHOW, S., 1980. Finger jointing kiln dried and unseasoned white spruce lumber using the WFPL method. *Forest Prod. J.*, 30 (12): 48-49.
- ΤΣΟΥΜΗΣ, Γ., 1983. Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου. Τόμος Β: Βιομηχανική αξιοποίηση. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, ΑΠΘ.
- VERREAULT, C., 1999. Performance evaluation of green gluing for finger jointing. *Tech. Rep. No. 2295*. Forintek Canada Corp., Vancouver, Canada.
- VICK, C.B. and OKKONEN, E.A., 1998. Strength and durability of one-part polyurethane adhesive bonds to wood. *Forest Prod. J.*, 78: 71-76.
- VIJAYENDRAN, B.R. and CLAY, J., 2000. Some recent studies on soy protein-based wood adhesives. In *Proc. No. 7260 (EA). Wood Adhesives 2000 - Extended Abstracts*. Forest Products Society, Madison, WI, USA, pp. 4-5.
- ΦΙΛΙΠΠΟΥ, Ι., 1986. Χημεία και Χημική Τεχνολογία του Ξύλου. Εκδόσεις Γιαχούδη - Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη, σελ. 254-256.

### Green gluing of wood - A new technology with application in finger-jointed laminated wood

G. Mantanis and S. Karastergiou

Department of Wood and Furniture Design and Technology Karditsa Annex - TEI of Larissa

### SUMMARY

Finger jointing of green timber is a new, under development technology which enables wood industry to produce value-added products by using new adhesives. In this review article, results from recent research works are presented, which have shown

that timber can be glued successfully even at high moisture content, above fibre saturation point, using new techniques which are based on innovative cold-setting resin systems. Three green adhesive systems are presented, that is, a modified phenol resorcinol formaldehyde (PRF) resin, a polyurethane adhesive and a soy protein and PRF (soy/PRF) adhesive. The results of these research works are positive, since green glued laminated wood exhibits properties which fulfill the standards requirements, while these technologies may be more favorable in relation to conventional

methods. In addition, these new technologies for manufacturing finger jointed laminated timber from green wood – which have been gradually accepted in New Zealand, USA and Australia, but are still relatively unknown in Europe - are briefly discussed, while some potential advantages are presented.

**Key words:** green gluing of wood, finger-jointing, phenol-resorcinol-formaldehyde resin, polyurethane adhesive, soy protein.