

## Μελέτη της μηχανικής αντοχής διαφόρων ξύλινων συνδέσεων τύπου μόρσου - εγκοπής

Τσιούκας Θωμάς<sup>1</sup>, Φιλίππου Ιωάννης<sup>2</sup> και Καραστεργίου Σωτήριος<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ΤΕΙ Λάρισας - Παράρτημα Καρδίτσας Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου, Τ.Κ. 43100, Καρδίτσα - Email: tsioukas@teilar.gr, karaso@teilar.gr

<sup>2</sup> ΑΠΘ – Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Τεχνολογίας Προϊόντων Ξύλου & Επίπλου Τ.Κ. 54006, Θεσσαλονίκη - Email: jfilippo@for.auth.gr

### Περίληψη

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η αντοχή σε κάμψη και εφελκυσμό τριών διαφορετικών ξύλινων συνδέσεων τύπου μόρσου - εγκοπής (κλασικό μόρσο – εγκοπή, διπλό μόρσο με ίσια δόντια – εγκοπή και κυλινδρικό μόρσο – εγκοπή), καθώς και η επίδραση των επιμέρους χαρακτηριστικών τους σε αυτές τις δύο ιδιότητες. Για την κατασκευή των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε ξύλο οξιάς (*Fagus sylvatica*) και δύο τύποι συγκολλητικών ουσιών (PVA κατ. D2 και φυσική συγκολλητική ουσία). Από τα αποτελέσματα προέκυψε ότι: α) τις μεγαλύτερες αντοχές σε κάμψη και εφελκυσμό παρουσίασε γενικά ο τύπος συνδεσμολογίας κλασικό μόρσο – εγκοπή, ακολούθησε ο τύπος του κυλινδρικού μόρσου ενώ τις μικρότερες αντοχές παρουσίασε ο τύπος διπλού μόρσου με ίσια δόντια, β) αυξανόμενου του πλάτους μόρσου αυξήθηκε η αντοχή σε κάμψη και εφελκυσμό, γ) αυξανόμενου του πλάτους της τραβέρσας αυξήθηκε η αντοχή σε κάμψη και ελαττώθηκε εν μέρη η αντοχή σε εφελκυσμό, και δ) τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με φυσική συγκολλητική ουσία παρουσίασαν υψηλότερη αντοχή σε κάμψη και εφελκυσμό από τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με PVA.

Λέξεις-κλειδιά: ξύλινες συνδέσεις μόρσου - εγκοπής, αντοχή σε κάμψη, αντοχή σε εφελκυσμό, PVA, φυσική συγκολλητική ουσία.

## Εισαγωγή

Οι συνδέσεις μόρσου-εγκοπής απαντώνται σε διάφορες παραλλαγές και οι επιπλοιοί καλούνται να επιλέξουν την καταλληλότερη ανάλογα με την εφαρμογή, την ευκολία κατασκευής και την αποτελεσματικότητα της κάθε σύνδεσης (Tage 1985). Με το πέρασμα των χρόνων, έχει πραγματοποιηθεί ένας μεγάλος αριθμός ερευνών για τις συνδέσεις μόρσου – εγκοπής, οι οποίες έχουν συνεισφέρει στον εμπλουτισμό των γνώσεών μας, όσον αφορά τους παράγοντες εκείνους που επηρεάζουν την αντοχή των συγκεκριμένων συνδέσεων. Ο Sparkes (1968) κατέληξε ότι η τετραγωνικής διατομής σύνδεση μόρσου – εγκοπής και η αντίστοιχη σύνδεση κυκλικής διατομής, παρουσιάζουν παραπλήσια σταθερότητα, αλλά η σύνδεση τετραγωνικής διατομής μόρσου (προεξοχής) με κυκλικής διατομής εγκοπής, έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία αδύναμων, κατά 15%, συνδέσεων σε σχέση με τις άλλες δύο. Ο ίδιος επίσης ερεύνησε την επίδραση της γεωμετρίας της σύνδεσης στη μέγιστη αντοχή σε κάμψη και κατέληξε ότι αυξανόμενου του πλάτους και του μήκους του μόρσου, βελτιώνεται αντίστοιχα η αντοχή της σύνδεσης.

Οι Hill και Eckelman (1973) μελέτησαν την επίδραση του μήκους και πλάτους του μόρσου, των ειδών ξύλου και διαφορετικών συγκολλητικών ουσιών, στην αντοχή της σύνδεσης σε κάμψη. Κατέληξαν στο ότι η σύνδεση μόρσου – εγκοπής γίνεται πιο δύσκαμπτη αυξανόμενου είτε του μήκους είτε του πλάτους του μόρσου και ότι η δημιουργία «ώμου» στην τραβέρσα της συγκεκριμένης σύνδεσης συνεισφέρει στην ακαμψία της. Ο Mihailescu (2001) σύγκρινε τις τάσεις και αποκλίσεις που παρουσιάζονται στις συνδέσεις μόρσου – εγκοπής με τετραγωνική και κυκλική διατομή, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method), καταλήγοντας ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές.

Ο Smardzewski (2002) ανέπτυξε μαθηματικά μοντέλα περιγράφοντας τα όσα συμβαίνουν στη σύνδεση μόρσου – εγκοπής, που είναι η κυρίαρχη στις κατασκευές σκελετών επίπλων και υπόκειται σε κάμψη, αλλά προσδιόρισε και τους παράγοντες εκείνους που ασκούν αποφασιστική επίδραση στην αντοχή των μορφοποιημένων συγκολλημένων συνδέσεων. Κατέληξε, επίσης, ότι η αντοχή των δεσμών που αναπτύσσονται εξαρτάται κυρίως από τις αμοιβαίες αλληλεπιδράσεις των επιφανειών του ξύλου που είναι υπό πίεση. Ο Eckelman (2003) μελέτησε την επίδραση της γεωμετρίας της σύνδεσης στη μέγιστη αντοχή σε ροπές κάμψης και απέδειξε ότι η αύξηση των διαστάσεων του πλάτους και του μήκους του μόρσου συμβάλλει της σταθερότητας της σύνδεσης.

Οι Wilczynski και Warmbier (2003) ερεύνησαν την επίδραση που έχουν οι διαστάσεις στην αντοχή σε κάμψη και δυσκαμψία της σύνδεσης μόρσου – εγκοπής, λαμβάνοντας υπόψη το πάχος, το μήκος και πλάτος του μόρσου. Κατέληξαν στο ότι η αντοχή σε κάμψη και η ακαμψία της σύνδεσης αυξάνονται με την αύξηση των διαστάσεων. Ένα άλλο, επίσης, συμπέρασμά τους ήταν ότι τη μεγαλύτερη επίδραση στην αντοχή της σύνδεσης έχει το μήκος του μόρσου, ενώ η επίδραση του πλάτους είναι λιγότερο σημαντική και αυτή του πάχους ασήμαντη. Τέλος, κατέληξαν στο ότι η δυσκαμψία της σύνδεσης εξαρτάται, κυρίως, από το πλάτος του μόρσου, ενώ οι επιδράσεις του μήκους και του πάχους του είναι λιγότερο σημαντικές.

Οι Tankut και Tankut (2005) σύγκριναν την αντοχή της σύνδεσης μόρσου – εγκοπής με κυκλική διατομή, με ορθογωνική διατομή και της σύνδεσης με ορθογωνικής διατομής μόρσου και κυκλικής διατομής εγκοπή. Κατέληξαν ότι η σύνδεση μόρσου – εγκοπής με

ορθογωνική διατομή είναι περίπου 15% και 30% πιο ανθεκτική από τη σύνδεση μόρσου – εγκοπή με κυκλική διατομή και από τη σύνδεση με ορθογωνικής διατομής μόρσο και κυκλικής διατομής εγκοπή αντίστοιχα. Ένα από τα συμπεράσματά τους επίσης ήταν ότι τα πλάτη των τραβερσών και των μόρσων έχουν σημαντικές επιδράσεις, ενώ η ανοχή μεταξύ του μόρσου και της εγκοπής έχει αμελητέα επίδραση στην αντοχή της σύνδεσης σε κάμψη.

Ο Γεωργίου (2004) μελέτησε την επίδραση του είδους του ξύλου, του είδους των συνδέσεων και του είδους της συγκολλητικής ουσίας, στη σταθερότητα των γωνιακών και μεσαίων συνδέσεων και κατέληξε ότι από τα τρία είδη συνδέσεων που χρησιμοποιήθηκαν σε πριστή (μασίφ) ξυλεία οξιάς (μόρσο – εγκοπή, καβίλιες, περύγια), η σύνδεση μόρσου – εγκοπής εμφάνισε την υψηλότερη αντοχή σε κάμψη και εφελκυσμό σε όλες τις χρησιμοποιούμενες συγκολλητικές ουσίες. Οι Erdil κ.α. (2005) μελέτησαν τις επιδράσεις των ειδών ξύλου, του είδους της συγκολλητικής ουσίας, του πλάτους της τραβέρσας, του πλάτους και του μήκους του μόρσου, στην αντοχή σε κάμψη και ευκαμψία της σύνδεσης μόρσου – εγκοπής. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι αυξανόμενου είτε του μήκους είτε του πλάτους του μόρσου, η σύνδεση γίνεται πιο άκαμπτη. Κατέληξαν, επίσης, ότι το πλάτος του μόρσου, σε σχέση με το μήκος του, έχει πιο σημαντική επίδραση στην ευκαμψία της σύνδεσης και ότι η παρουσία «ώμου» στην τραβέρσα συνεισφέρει ουσιαστικά στην ακαμψία της σύνδεσης μόρσου – εγκοπής.

Η Tankut (2007) μελέτησε την επίδραση που έχει ο τύπος της συγκολλητικής ουσίας, το πάχος της συγκολλητικής ραφής και η περιεχόμενη υγρασία του ξύλου, στην αντοχή της σύνδεσης μόρσου – εγκοπής και κατέληξε ότι οι πιο ανθεκτικές συνδέσεις προκύπτουν όταν μεταξύ του μόρσου και της εγκοπής υπάρχει μικρή ανοχή (διάκενο).

Η αντοχή των συνδέσεων που χρησιμοποιούνται στην επιπλοποιία χαρακτηρίζει τη μετέπειτα συμπεριφορά του επίπλου. Η γνώση επομένως αυτής της αντοχής αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση προκειμένου να γίνει ένας πιο ορθολογικός σχεδιασμός των επίπλων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της αντοχής διαφόρων ξύλινων συνδέσεων που χρησιμοποιούνται στην επιπλοποιία για την κατασκευή σκελετών επίπλων (καρεκλών, τραπεζιών, σαλονιών, κλπ.) από μασίφ ξύλο οξιάς. Ειδικότερα, μελετήθηκε η επίδραση α) του τύπου της σύνδεσης (κλασικού μόρσου, διπλού μόρσου και κυλινδρικού μόρσου), β) του πλάτους της τραβέρσας (45 και 55mm), γ) του πλάτους του μόρσου, και δ) του είδους της συγκολλητικής ουσίας (φυσική και PVA) στην αντοχή των συνδέσεων σε κάμψη και εφελκυσμό.

### **Υλικά και μέθοδοι**

Για τη διεξαγωγή της ερευνητικής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ατμισμένη ξυλεία οξιάς (*Fagus sylvatica*) από την περιοχή των Γρεβενών. Όλο το πειραματικό μέρος πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Μηχανικής Κατεργασίας Ξύλου του Τμήματος Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου - Επίπλου του ΤΕΙ Λάρισας.

Τα πριστοτεμάχια ταξινομήθηκαν με βάση τα ποιοτικά τους χαρακτηριστικά και επιλέχθηκαν για τη συνέχεια μόνο αυτά που διέθεταν άριστη ποιότητα, δηλ. δεν έφεραν ρόζους και δεν παρουσίαζαν στρεψοίγια ή ραγαδώσεις. Η πριστή ξυλεία υπέστη ξήρανση σε στεγασμένο χώρο για μεγάλο χρονικό διάστημα μέχρι να αποκτήσει περιεχόμενη υγρασία 9,5%. Ο προσδιορισμός της περιεχόμενης υγρασίας των

πριστοτεμαχίων κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, πραγματοποιήθηκε με λήψη δειγμάτων και εφαρμογή της μεθόδου ξήρανσης και ζύγισης.

Ακολούθως τα πριστοτεμάχια τεμαχίστηκαν στις απαραίτητες διαστάσεις, πλανίστηκαν και διαμορφώθηκαν οι κατάλληλες ανά περίπτωση προεξοχές (μόρσα) και εσοχές (μορσότρυπες). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν μηχανήματα πίσης (ταινιοπρίονο και δισκοπρίονο), πλάνισης (πλάνη και ξεχονδριστήρας), δημιουργίας προεξοχών (ξεμορσαρίστρα) και εσοχών (μορσοτρύπανο, απλό επιτραπέζιο τρυπάνι και πολυτρύπανο).

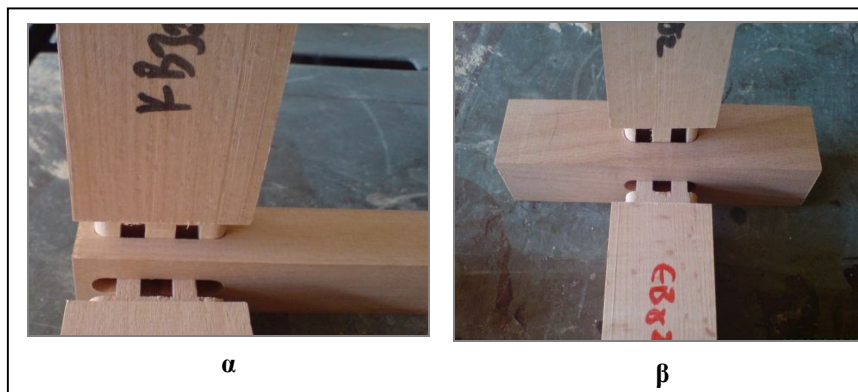
Κατασκευάστηκαν τρεις τύποι συνδέσεων: α) κλασική μόρσου - εγκοπής, β) διπλού μόρσου με ίσια δόντια - εγκοπής, και γ) κυλινδρικού μόρσου - εγκοπής. Σε όλες τις περιπτώσεις τα ξύλινα στοιχεία που διέθεταν τις προεξοχές (μόρσα) αποτελούσαν τις τραβέρσες των συνδέσεων, ενώ τα ξύλινα στοιχεία με τις εσοχές (μορσότρυπες) αποτελούσαν τα πόδια. Κατασκευάστηκαν δύο μορφές αναλόγως με τη δοκιμασία που θα ακολουθούσε. Συγκεκριμένα, στα δοκίμια που θα δοκιμάζονταν σε αντοχή σε κάμψη, η εγκοπή (μορσότρυπα) κατασκευάστηκε στο άκρο του ποδιού (γωνιακή σύνδεση), ενώ στα δοκίμια που θα δοκιμάζονταν σε εφελκυσμό κατασκευάστηκε στο κέντρο (μεσαία σύνδεση). Στις περιπτώσεις κατασκευής συνδέσεων για δοκιμασίες κάμψης, η διαγώνια απόσταση ανάμεσα στις εσωτερικές ακμές των πλευρών ήταν σταθερή και ίση με 200mm. Στις περιπτώσεις κατασκευής συνδέσεων για δοκιμασίες εφελκυσμού, οι τραβέρσες προεξείχαν από το πόδι 120mm.

Στον τύπο σύνδεσης κλασικού μόρσου - εγκοπής (Εικ. 1) οι τραβέρσες κατασκευάστηκαν με σταθερό πάχος (30mm) σε δύο πλάτη (55 και 45mm). Στην περίπτωση του μεγάλου πλάτους (55mm) κατασκευάστηκαν μόρσα με πλάτος 45 και 35mm, ενώ στις περιπτώσεις με το μικρό πλάτος (45mm) κατασκευάστηκαν μόρσα πλάτους 35 και 25mm. Σε όλες τις περιπτώσεις το πάχος του μόρσου ήταν 10mm και το μήκος 25mm. Αντίστοιχες με τις διαστάσεις των μόρσων ήταν και οι διαστάσεις των μορσότρυπων, με τη μόνη διαφορά στο βάθος όπου οι μορσότρυπες ήταν βαθύτερες κατά 2mm σε σχέση με το μήκος των μόρσων.



Εικ. 1. Κλασική σύνδεση μόρσου - εγκοπής (α: κατασκευή γωνιακής σύνδεσης για δοκιμασία κάμψης, και β: κατασκευή μεσαίας σύνδεσης για δοκιμασία εφελκυσμού).  
Figure 1. Classic mortise - tenon joint (a: corner joint, b: middle joint).

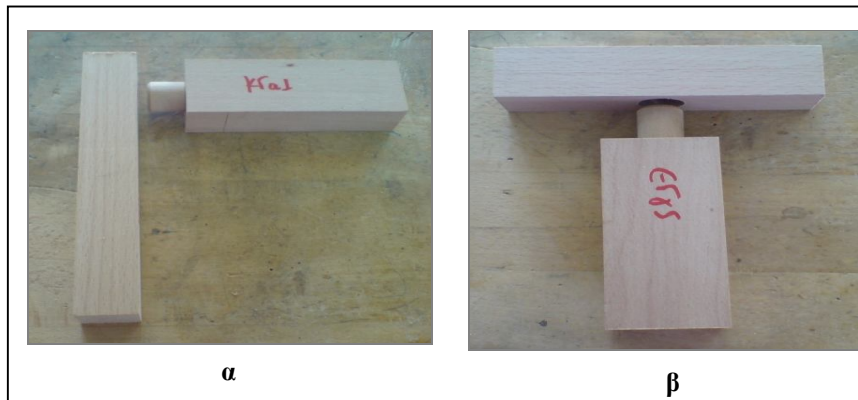
Στον τύπο σύνδεσης διπλού μόρσου με ίσια δόντια - εγκοπής (Εικ. 2) οι τραβέρσες και τα πόδια κατασκευάστηκαν με τις ίδιες παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν και στις περιπτώσεις κατασκευής των κλασικών συνδέσεων μόρσου - εγκοπής. Οι συγκεκριμένες συνδέσεις διαφοροποιούνταν από τις κλασικές στο ότι διέθεταν δύο κάθετες μεταξύ τους τραβέρσες συγκολλημένες στο ίδιο πόδι.



Εικ. 2. Σύνδεση διπλού μόρσου με ίσια δόντια - εγκοπής (α: κατασκευή γωνιακής σύνδεσης για δοκιμασία κάμψης, και β: κατασκευή μεσαίας σύνδεσης για δοκιμασία εφελκυσμού).

Figure 2. Double mortise - tenon joint (a: corner joint, b: middle joint).

Στον τύπο σύνδεσης κυλινδρικού μόρσου - εγκοπής (Εικ. 3) οι τραβέρσες και τα πόδια κατασκευάστηκαν με τις ίδιες διαστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν και στις περιπτώσεις κατασκευής των κλασικών συνδέσεων μόρσου - εγκοπής. Η μόνη διαφορά των μόρσων και των μορσότρυπων από τις προηγούμενες περιπτώσεις ήταν ότι διέθεταν κυλινδρική μορφή διαμέτρου 22mm.



Εικ. 3. Σύνδεση κυλινδρικού μόρσου - εγκοπής (α: κατασκευή γωνιακής σύνδεσης για δοκιμασία κάμψης, και β: κατασκευή μεσαίας σύνδεσης για δοκιμασία εφελκυσμού).

Figure 3. Round mortise - tenon joint (a: corner joint, b: middle joint).

Για τη συγκόλληση των ξύλινων στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν δύο τύποι συγκολλητικών ουσιών: α) φυσική (οστεόκολλα), και β) οξικός πολυβινυλεστέρας (PVAc κατ. D2). Η επάλειψη της συγκολλητικής ουσίας πραγματοποιήθηκε με πινέλο στην ίδια ποσότητα για όλες τις περιπτώσεις. Η συναρμογή των συνδέσεων πραγματοποιήθηκε με συμπίεση των επιμέρους στοιχείων με σφικτήρες. Τα δοκίμια παρέμεινα συμπίεσμένα για 24h και ακολούθως κλιματίστηκαν σε κανονικές συνθήκες (20°C και 65% σχετ. υγρασία) σε ειδικό θάλαμο κλιματισμού, έως τη σταθεροποίηση του βάρους τους. Για κάθε παράμετρο πραγματοποιήθηκαν 15 επαναλήψεις.

Ακολούθησε ο έλεγχος της αντοχής των ξύλινων συνδέσεων σε κάμψη και εφελκυσμό με τη βοήθεια μηχανής αντοχής (Shimadzu Universal testing machine, UH-300KNA, Japan). Λόγω της απουσίας συγκεκριμένων διεθνών προδιαγραφών στην μελέτη της αντοχής των συγκεκριμένων συνδέσεων των επίπλων, η διαμόρφωση των δοκιμαστικών σωμάτων για τις ανάγκες του πειραματικού σχεδιασμού βασίστηκε σε παρόμοιες έρευνες (Γεωργίου 2004, Καραλίβανος 1992) και ακολούθησε τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους και τεχνικές ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά με την τεχνολογία παραγωγής επίπλου.

Η αντοχή σε κάμψη προσδιορίστηκε από τον τύπο:

$$P = F * L$$

όπου:

P = η αντοχή σε κάμψη (N·m)

F = η δύναμη κάμψης (N), και

L = η διαγώνια απόσταση ανάμεσα στις εσωτερικές ακμές των πλευρών (m)

Η αντοχή σε εφελκυσμό προσδιορίστηκε από τον τύπο:

$$P = F / b*d$$

όπου:

P = η αντοχή σε εφελκυσμό (N/mm<sup>2</sup>)

F = η δύναμη εφελκυσμού (N),

b = το πλάτος της τραβέρσας (mm), και

d = το πάχος της τραβέρσας (mm).

### **Αποτελέσματα - Συζήτηση**

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε κάμψη για τις γωνιακές συνδέσεις παρουσιάζονται στον Πίν. 1.

Όπως παρατηρούμε από τον Πίν. 1, οι γωνιακές συνδέσεις παρουσίασαν αντοχή σε κάμψη η οποία κυμάνθηκε από 152 Nm το ελάχιστο, έως 734 Nm το μέγιστο. Οι μεγαλύτερες τιμές κάμψης παρουσιάστηκαν στα δοκίμια με κλασικό μόρσο, πλάτος τραβέρσας 55mm και πλάτος μόρσου 45mm, τα οποία συγκολλήθηκαν με φυσική συγκολλητική ουσία. Οι μικρότερες τιμές κάμψης παρουσιάστηκαν στα δοκίμια με την ίδια μορφή σύνδεσης, πλάτος τραβέρσας 45mm και πλάτος μόρσου 25mm, τα οποία συγκολλήθηκαν με συγκολλητική ουσία PVA.

Η αντοχή σε κάμψη των δοκιμίων επηρεάστηκε άμεσα από τον τύπο της συγκολλητικής ουσίας που χρησιμοποιήθηκε. Όλα τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με φυσική συγκολλητική ουσία, παρουσίασαν τιμές κάμψης υψηλότερες από τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με PVA. Η αύξηση της αντοχής κυμάνθηκε από 0,41% (περίπτωση δοκιμίων με διπλά μόρσα, πλάτος τραβέρσας 45mm και πλάτος μόρσου 35mm) έως

186,84% (περίπτωση δοκιμών με κλασικά μόρσα, πλάτος τραβέρσας 45mm και πλάτος μόρσου 25mm). Γενικά η αύξηση της αντοχής σε κάμψη ήταν μεγαλύτερη στο δοκίμιο με το κλασικό μόρσο, μικρότερη στα δοκίμια με το διπλό, ενώ τα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο παρουσίασαν ενδιάμεσες τιμές. Στα δοκίμια με κλασικό μόρσο η αύξηση της αντοχής κυμάνθηκε από 25,68% έως 186,84%, στα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο από 20,56% έως 34,35%, ενώ στα δοκίμια με διπλό μόρσο από 0,41% έως 10,80%.

Πίνακας 1. Αντοχή σε κάμψη γωνιακών συνδέσεων.

Table 1. Bending strength of corner joints.

Τύπος σύνδεσης	Αντοχή σε κάμψη (N·m) - Bending strength (N·m)											
	Πλάτος τραβέρσας (mm) - Rail width (mm)											
Joint type	55						45					
	Πλάτος μόρσου (mm) - mortise width (mm)		Διάμετρος μόρσου (mm) Mortise diameter (mm)		Πλάτος μόρσου (mm) - mortise width (mm)		Διάμετρος μόρσου (mm) Mortise diameter (mm)		Πλάτος μόρσου (mm) - mortise width (mm)		Διάμετρος μόρσου (mm) Mortise diameter (mm)	
	45	35	22	22	35	25	22	22	35	25	22	22
	Συγκολλητική ουσία - glue											
	Φυσική - Natural	PVA	Φυσική - Natural	PVA	Φυσική - Natural	PVA	Φυσική - Natural	PVA	Φυσική - Natural	PVA	Φυσική - Natural	PVA
Κλασικό μόρσο - Classic mortise	734	584	600	308	-	-	509	258	436	152	-	-
Διπλό μόρσο - Double mortise	315	288	277	250	-	-	243	242	181	168	-	-
Κυλινδρικό μόρσο - Round mortise	-	-	-	-	528	393	-	-	-	-	428	355

Η αντοχή σε κάμψη των δοκιμών επηρεάστηκε από το πλάτος του μόρσου που χρησιμοποιήθηκε. Σε όλες τις περιπτώσεις η αύξηση του πλάτους του μόρσου (από 25 σε 35mm και από 35 σε 45mm), προκάλεσε αύξηση της αντοχής σε κάμψη. Η αύξηση αυτή κυμάνθηκε από 13,72% (περίπτωση δοκιμών με διπλό μόρσο και πλάτος τραβέρσας 55mm που συγκολλήθηκαν με φυσική συγκολλητική ουσία) έως 89,61% (περίπτωση δοκιμών με κλασικό μόρσο και πλάτος τραβέρσας 55mm που συγκολλήθηκαν με PVA).

Η αύξηση της αντοχής ήταν μεγαλύτερη στα δοκίμια με κλασικό μόρσο (από 16,74% έως 89,61%) και μικρότερη στα δοκίμια με διπλό μόρσο (από 13,72% έως 44,05%).

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα, διαπιστώνεται ότι ανεξάρτητα από τους υπόλοιπους παράγοντες, η αύξηση του πλάτους του κλασσικού μόρσου αυξάνει την αντοχή σε κάμψη και εφελκυσμό. Η αύξηση της αντοχής σε κάμψη αυξανόμενου του πλάτους του μόρσου παρατηρήθηκε και από τους: Sparkes (1968), Hill και Eckelman (1973), Eckelman (2003), Wilczynski και Warmbier (2003), Erdil κ.α. (2005).

Η αντοχή σε κάμψη των δοκιμίων επηρεάστηκε από το πλάτος της τραβέρσας που χρησιμοποιήθηκε. Σε όλες τις περιπτώσεις η αύξηση του πλάτους της τραβέρσας (από 45 σε 55mm), προκάλεσε αύξηση της αντοχής σε κάμψη. Η αύξηση αυτή κυμάνθηκε από 3,31% (περίπτωση δοκιμίων με διπλό μόρσο και πλάτος μόρσου 35mm που συγκολλήθηκαν με PVA) έως 23,36% (περίπτωση δοκιμίων με κυλινδρικό μόρσο που συγκολλήθηκαν με PVA). Η αύξηση αυτή της αντοχής σε κάμψη που παρατηρήθηκε με την αύξηση του πλάτους της τραβέρσας, ήταν μεγαλύτερη στα δοκίμια με κλασικό και κυλινδρικό μόρσο σε σχέση με τα δοκίμια με διπλό μόρσο.

Η αντοχή των δοκιμίων σε κάμψη επηρεάστηκε σημαντικά από τον τύπο της σύνδεσης που χρησιμοποιήθηκε. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις τα δοκίμια με διπλό μόρσο παρουσίασαν τιμές κάμψης χαμηλότερες από τους άλλους τύπους σύνδεσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα δοκίμια με κλασικό μόρσο παρουσίασαν υψηλότερες τιμές κάμψης, τα δοκίμια με διπλό μόρσο χαμηλότερες ενώ τα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο ενδιάμεσες τιμές.

Τα δοκίμια με κλασικό μόρσο παρουσίασαν αυξημένη αντοχή σε κάμψη σε σχέση με τα δοκίμια με διπλό μόρσο. Η αύξηση αυτή κυμάνθηκε από 6,61% έως 140,88%. Μόνο στην περίπτωση των δοκιμίων με πλάτος μόρσου 25mm και πλάτος τραβέρσας 45mm που συγκολλήθηκαν με PVA, τα δοκίμια με διπλό μόρσο παρουσίασαν υψηλότερες τιμές κατά 9,52% από τα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο. Τα δοκίμια με κλασικό μόρσο και πλάτος μόρσου 45mm παρουσίασαν υψηλότερες τιμές κάμψης (από 39,02% έως 48,60%) από τα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο. Τα δοκίμια με κλασικό μόρσο παρουσίασαν υψηλότερες τιμές κάμψης από τα δοκίμια με κυλινδρικό, στις περιπτώσεις όπου χρησιμοποιήθηκε πλάτος τραβέρσας 45mm και φυσική συγκολλητική ουσία. Η αύξηση κυμάνθηκε από 1,87% έως 18,93%. Στις περιπτώσεις που χρησιμοποιήθηκε PVA τα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο παρουσίασαν υψηλότερες τιμές κάμψης (21,63% έως 57,18%) από τα δοκίμια με κλασικό. Τα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο παρουσίασαν υψηλότερες τιμές κάμψης (από 26,72% έως 52,68%) από τα δοκίμια με διπλό μόρσο.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της αντοχής σε εφελκυσμό για τις μεσαίες συνδέσεις παρουσιάζονται στον Πίν. 2.

Όπως παρατηρούμε από τον Πίν. 2 οι μεσαίες συνδέσεις παρουσίασαν αντοχή σε εφελκυσμό η οποία κυμάνθηκε από 1,51 N/mm<sup>2</sup> το ελάχιστο έως 8,31 N/mm<sup>2</sup> το μέγιστο. Οι μεγαλύτερες τιμές εφελκυσμού παρουσιάστηκαν στα δοκίμια με κλασικό μόρσο, πλάτος τραβέρσας 45mm και πλάτος μόρσου 35mm, τα οποία συγκολλήθηκαν με φυσική συγκολλητική ουσία. Οι μικρότερες τιμές εφελκυσμού παρουσιάστηκαν στα δοκίμια με διπλό μόρσο, πλάτος τραβέρσας 45mm και πλάτος μόρσου 25mm, τα οποία συγκολλήθηκαν με συγκολλητική ουσία PVA.



Πίνακας 2. Αντοχή σε εφελκυσμό μεσαίων συνδέσεων.  
Table 2. Tensile strength of middle joints.

Τύπος σύνδεσης  Joint type	Αντοχή σε εφελκυσμό (N/mm <sup>2</sup> ) - Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )											
	Πλάτος τραβέρσας (mm) - Rail width (mm)											
	55						45					
	Πλάτος μόρσου (mm) - mortise width (mm)				Διάμετρος μόρσου (mm) Mortise diameter (mm)		Πλάτος μόρσου (mm) - mortise width (mm)				Διάμετρος μόρσου (mm) Mortise diameter (mm)	
	45		35		22		35		25		22	
	Συγκολλητική ουσία - glue											
	Φυσι- κή - Natu- ral	PVA	Φυσι- κή - Natu- ral	PVA	Φυσι- κή - Natu- ral	PVA	Φυσι- κή - Natu- ral	PVA	Φυσι- κή - Natu- ral	PVA	Φυσι- κή - Natu- ral	PVA
Κλασικό μόρσο - Classic mortise	7,50	3,26	5,61	2,88	-	-	8,31	4,04	5,67	3,81	-	-
Διπλό μόρσο - Double mortise	2,31	2,23	2,21	1,71	-	-	3,08	2,08	1,56	1,51	-	-
Κυλιν- δρικό μόρσο Round mortise	-	-	-	-	4,72	2,84	-	-	-	-	4,48	2,07

Η αντοχή σε εφελκυσμό των δοκιμίων επηρεάστηκε άμεσα από τον τύπο της συγκολλητικής ουσίας που χρησιμοποιήθηκε. Όλα τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με φυσική συγκολλητική ουσία, παρουσίασαν τιμές εφελκυσμού υψηλότερες από τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με PVA. Η αύξηση της αντοχής κυμάνθηκε από 3,31% (περίπτωση δοκιμίων με διπλά μόρσα, πλάτος τραβέρσας 45mm και πλάτος μόρσου 25mm) έως 130,06% (περίπτωση δοκιμίων με κλασικά μόρσα, πλάτος τραβέρσας 55mm και πλάτος μόρσου 45mm). Γενικά η αύξηση της αντοχής σε εφελκυσμό ήταν μεγαλύτερη στο δοκίμιο με το κλασικό μόρσο, μικρότερη στα δοκίμια με το διπλό, ενώ τα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο παρουσίασαν ενδιάμεσες τιμές. Στα δοκίμια με κλασικό μόρσο η αύξηση της αντοχής κυμάνθηκε από 48,82% έως 130,06%, στα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο από 66,20% έως 116,43%, ενώ στα δοκίμια με διπλό μόρσο από 3,31% έως 48,08%.

Η αντοχή σε εφελκυσμό των δοκιμίων επηρεάστηκε από το πλάτος του μόρσου που χρησιμοποιήθηκε. Σε όλες τις περιπτώσεις η αύξηση του πλάτους του μόρσου (από 25 σε

35mm και από 35 σε 45mm), προκάλεσε αύξηση της αντοχής σε εφελκυσμό. Η αύξηση αυτή κυμάνθηκε από 4,52 % (περίπτωση δοκιμίων με διπλό μόρσο και πλάτος τραβέρσας 55mm που συγκολλήθηκαν με φυσική συγκολλητική ουσία) έως 97,44% (περίπτωση δοκιμίων με διπλό μόρσο και πλάτος τραβέρσας 45mm που συγκολλήθηκαν με φυσική συγκολλητική ουσία). Η αύξηση της αντοχής ήταν μεγαλύτερη στα δοκίμια με διπλό μόρσο (από 4,52 % έως 97,44% %) από τα δοκίμια με κλασικό (από 6,04% έως 46,56%).

Η αντοχή σε εφελκυσμό των δοκιμίων επηρεάστηκε από το πλάτος της τραβέρσας που χρησιμοποιήθηκε. Στις περιπτώσεις των δοκιμίων με κλασικό και διπλό μόρσο, η αύξηση του πλάτους της τραβέρσας (από 45 σε 55mm), προκάλεσε μείωση της αντοχής σε εφελκυσμό. Η μείωση αυτή ήταν μεγαλύτερη στα δοκίμια με κλασικό μόρσο (28,71% έως 32,49%) από τα δοκίμια με διπλό (17,79% έως 28,25%). Αντιθέτως στα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο, παρατηρήθηκε αύξηση της αντοχής σε εφελκυσμό αυξανόμενου του πλάτους της τραβέρσας. Η αύξηση αυτή κυμάνθηκε από 5,36% έως 37,20%.

Η αντοχή των δοκιμίων σε εφελκυσμό επηρεάστηκε από τον τύπο της σύνδεσης που χρησιμοποιήθηκε. Τα δοκίμια με κλασικό μόρσο παρουσίασαν τη μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό σε όλες τις περιπτώσεις. Ακολούθησαν τα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο, ενώ τα δοκίμια με διπλό μόρσο παρουσίασαν τη μικρότερη αντοχή. Τα δοκίμια με κλασικό μόρσο παρουσίασαν υψηλότερες τιμές σε εφελκυσμό από τα δοκίμια με διπλό και κυλινδρικό (η αύξηση αυτή κυμάνθηκε από 1,41% έως 95,17% και από 46,19% έως 263,49%, αντίστοιχα). Τα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο παρουσίασαν υψηλότερες τιμές (από 22,18% έως 65,18%) σε εφελκυσμό από τα δοκίμια με διπλό, εκτός από την περίπτωση των δοκιμίων με πλάτος τραβέρσας 45mm που συγκολλήθηκαν με PVA στα οποία οι τιμές ήταν παραπλήσιες.

### **Συμπεράσματα**

Τα κύρια συμπεράσματα της εργασίας αυτής είναι τα ακόλουθα:

- Οι γωνιακές συνδέσεις παρουσίασαν αντοχή σε κάμψη η οποία κυμάνθηκε από 152Nm το ελάχιστο, έως 734Nm το μέγιστο.
- Η αντοχή σε κάμψη των δοκιμίων επηρεάστηκε άμεσα από τον τύπο της συγκολλητικής ουσίας που χρησιμοποιήθηκε. Όλα τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με φυσική συγκολλητική ουσία, παρουσίασαν τιμές κάμψης υψηλότερες από τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με PVA.
- Η αντοχή σε κάμψη των δοκιμίων επηρεάστηκε από το πλάτος του μόρσου που χρησιμοποιήθηκε. Σε όλες τις περιπτώσεις η αύξηση του πλάτους του μόρσου (από 25 σε 35mm και από 35 σε 45mm), προκάλεσε αύξηση της αντοχής σε κάμψη.
- Η αντοχή σε κάμψη των δοκιμίων επηρεάστηκε από το πλάτος της τραβέρσας που χρησιμοποιήθηκε. Σε όλες τις περιπτώσεις η αύξηση του πλάτους της τραβέρσας (από 45 σε 55mm), προκάλεσε αύξηση της αντοχής σε κάμψη.
- Η αντοχή των δοκιμίων σε κάμψη επηρεάστηκε σημαντικά από τον τύπο της σύνδεσης που χρησιμοποιήθηκε. Σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις τα δοκίμια με διπλό μόρσο παρουσίασαν τιμές κάμψης χαμηλότερες από τους άλλους τύπους σύνδεσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα δοκίμια με κλασικό μόρσο παρουσίασαν υψηλότερες τιμές κάμψης, τα δοκίμια με διπλό μόρσο χαμηλότερες ενώ τα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο ενδιάμεσες τιμές.

- Οι μεσαίες συνδέσεις παρουσίασαν αντοχή σε εφελκυσμό η οποία κυμάνθηκε από 1,51 N/mm<sup>2</sup> το ελάχιστο έως 8,31 N/mm<sup>2</sup> το μέγιστο.
- Η αντοχή σε εφελκυσμό των δοκιμών επηρεάστηκε άμεσα από τον τύπο της συγκολλητικής ουσίας που χρησιμοποιήθηκε. Όλα τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με φυσική συγκολλητική ουσία, παρουσίασαν τιμές εφελκυσμού υψηλότερες από τα δοκίμια που συγκολλήθηκαν με PVA.
- Η αντοχή σε εφελκυσμό των δοκιμών επηρεάστηκε από το πλάτος του μόρσου που χρησιμοποιήθηκε. Σε όλες τις περιπτώσεις η αύξηση του πλάτους του μόρσου (από 25 σε 35mm και από 35 σε 45mm), προκάλεσε αύξηση της αντοχής σε εφελκυσμό.
- Η αντοχή σε εφελκυσμό των δοκιμών επηρεάστηκε από το πλάτος της τραβέρσας που χρησιμοποιήθηκε.
- Η αντοχή των δοκιμών σε εφελκυσμό επηρεάστηκε από τον τύπο της σύνδεσης που χρησιμοποιήθηκε. Τα δοκίμια με κλασικό μόρσο παρουσίασαν τη μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό σε όλες τις περιπτώσεις. Ακολούθησαν τα δοκίμια με κυλινδρικό μόρσο, ενώ τα δοκίμια με διπλό μόρσο παρουσίασαν τη μικρότερη αντοχή.

### **Mechanical strength of various types of mortise and tenon wood joints.**

**Tsioukas Thomas<sup>1</sup>, Philippou John<sup>2</sup> and Karastergiou Sotirios<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Technological Education Institute of Larissa, Karditsa Branch, Dept. of Wood and Furniture Design and Technology, 43100, Karditsa, Greece. Email: tsioukas@teilar.gr, karaso@teilar.gr

<sup>2</sup> Aristotle University of Thessaloniki, Faculty of Forestry and Natural Environment, Lab. of Wood Products and Furniture Wood Technology, 54006, Thessaloniki, Greece. Email: jfilippo@for.auth.gr

#### **Summary**

In this study, the bending and tensile strength of three different mortise and tenon wood joints (classic mortise and tenon, double mortise with straight joints and tenon, and round mortise and tenon) were examined along with the effect of some particular characteristics, such as rail width, mortise width and type of glue (polyvinyl acetate or natural (bone) glue). Beech wood (*Fagus sylvatica*) was used as a raw material for the specimens. From the results it was concluded that: a) classic mortise and tenon was the strongest type of wood joint, round mortise and tenon was a little weaker and double mortise with straight joints and tenon was the weakest, b) increasing the mortise width, the bending and tension strength was also increased, c) increasing the rail width, the bending strength was increased but in two types of wood joints (classic mortise and tenon, and double mortise with straight joints and tenon) the tensile strength was decreased, d) natural glue (bone glue) led to stronger wood joints than polyvinyl acetate (PVA), either for bending or tensile strength, for every type of wood joint.

Key words: mortise and tenon wood joints, bending strength, tensile strength, PVA, natural glue.

## Βιβλιογραφία

- Γεωργίου, Α. 2004. Επίδραση είδους συνδέσμου, συγκολλητικής ουσίας και προϊόντος ξύλου στην αντοχή γωνιακών και μεσαίων συνδέσεων επίπλου. Μεταπτυχιακή διατριβή. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
- Eckelman, C. 2003. Textbook of Product Engineering and Strength Design of Furniture. Purdue University, West Lafayette, Ind.
- Erdil, Y. Z., Kasal A., Eckelman C. 2005. Bending moment capacity of rectangular mortise and tenon furniture joints. Forest Products Journal 55(12): 209-213.
- Hill, M. D., Eckelman C. A. 1973. Flexibility and Bending Strength of Mortise and Tenon Joints. Furniture Design and Manufacturing, Vol. 45.
- Καραλίβανος, Α. 1992. Η οξιά στο έπιπλο – κάθισμα. Συνδεσμολογία και ποιοτικός έλεγχος. Διδακτορική διατριβή. Α.Π.Θ. Θεσσαλονίκη.
- Malaysia Timber Council 2002. Quality Control in Furniture Manufacture. Machining accuracy ([www.mtc.com.my](http://www.mtc.com.my)).
- Mihailescu, T. 2001. An investigation of the performance of mortise and tenon joints using the finite element method. J. of the Institute of Wood Sci.. 15(5):89.
- Smardzewski, J. 2002. Strength of profile adhesive joints. Wood Science and Technology 36:173-183. Springer-Verlag.
- Sparkes, A. J. 1968. The strength of mortise and tenon joints. Furniture Industry Res. Assoc., Maxwell Road Stevenage Hertfordshire, Great Britain.
- Tage, F. 1985. Mortise and tenon. There are innumerable variations of this basic joint. Fine Woodworking on Joinery. Tauton Press, Inc.
- Tankut, N. 2007. The effective of adhesive type and bond line thickness on the strength of mortise and tenon joints. International Journal of Adhesion & Adhesives 27:493-498.
- Tankut, A., Tankut N. 2005. The effects of joint forms (shape) and dimensions on the strength of mortise and tenon joints. Turkish J. of Agri. and Forestry 29:493-498.
- Wilczynski, A., Warmbier K. 2003. Effect of joint dimensions on strength and stiffness of tenon joints. Fol. For. Pol. Ser. B, 34: 53-66.