



**MSc - ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ &
MANATZMENT ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ
ΑΠΟ ΞΥΛΟ**

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΠΡΟΗΓΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ &
MANATZMENT ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΑΠΟ ΞΥΛΟ»

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΞΥΛΟΥ & ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Τίτλος: «Κατασκευή σύγχρονης ξύλινης τοιχοποιίας και
μέτρηση ενεργειακής και θερμικής συμπεριφοράς»**

ΠΑΠΑΔΑΚΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**Δρ. ΣΚΑΡΒΕΛΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ, Καθηγητής Πανεπιστήμιο ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, Επιβλέπων
Καθηγητής**

**Δρ. ΝΙΝΙΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ, Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό Πανεπιστήμιο
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, Μέλος**

Δρ. ΝΤΑΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ, Καθηγητής Πανεπιστήμιο ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, Μέλος

Καρδίτσα, Νοέμβριος 2023

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία με θέμα «Κατασκευή σύγχρονης ξύλινης τοιχοποιίας και μέτρηση ενεργειακής και θερμικής συμπεριφοράς» συντάχθηκε για την ολοκλήρωση των σπουδών μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα «Προηγμένες Μέθοδοι Σχεδιασμού, Τεχνολογίας & Μάνατζμεντ Προϊόντων από Ξύλο», του προγράμματος σπουδών του τμήματος Δασολογίας, Επιστημών Ξύλου και Σχεδιασμού και φυσικά το πείραμα πραγματοποιήθηκε καθ' όλη την κατασκευή του στο χώρο του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και ειδικότερα στο εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου του Τμήματος Δασολογίας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σκαρβέλη Μιχάλη, ο οποίος με παρότρυνε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο θέμα και μάλιστα το πείραμα να γίνει από ελληνική ξυλεία καθώς φυσικά και είναι ο άνθρωπος ο οποίος ήρθε σε επαφή με εταιρίες για την προμήθεια της ξυλείας.

Η προσπάθεια αυτή σαφώς, υλοποιήθηκε χάρις στον Δρ. Νινίκα Κωνσταντίνο - Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, τον οποίο και ευχαριστώ ιδιαίτερα καθώς στάθηκε πολύτιμος βοηθός και καθοδηγητής καθ' όλη τη διαδικασία κατασκευής και μη του πειράματος και φυσικά για την εμπιστοσύνη που έδειξε κατά τη χρήση των μηχανημάτων.

Εξίσου σημαντική είναι και η βοήθεια του καθηγητή κ. Νταλού Γεώργιου, όπου βοήθησε στην διεκπεραίωση του πειράματος με την εύρεση της συγκολλητικής ουσίας που δίχως αυτήν δεν θα είχαμε τα ίδια αποτελέσματα.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρία "ΠΙΝΔΟΣ ΞΥΛΟΝ Ο.Ε." και συγκεκριμένα τον κ. Ευριπίδη Παπουτσή για την δωρεά της ξυλείας και φυσικά την οικογένεια μου η οποία μου στάθηκε και μου συμπαραστάθηκε για ακόμα δυο χρόνια σε ένα ακόμα ταξίδι γνώσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	2
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ	9
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ - ABSTRACT.....	10
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΞΥΛΟ	11
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΞΥΛΟΥ	13
ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΞΥΛΟΥ	14
2. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 5 - EN 1995	18
ΓΕΝΙΚΑ	18
ΚΛΑΣΕΙΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΣ.....	19
ΚΛΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	20
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ	21
Είδη ξυλείας - Ποιοτική ταξινόμηση και πιστοποίηση.....	21
Ανθεκτικότητα σε βιολογικούς οργανισμούς.....	24
Συγκολλητικές ουσίες.....	24
Μεταλλικοί σύνδεσμοι.....	25
3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ	27
4. ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΗ ΞΥΛΕΙΑ	37
ΓΕΝΙΚΑ	37
ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΗ – ΣΥΝΘΕΤΗ ΞΥΛΕΙΑ GLULAM	37
ΣΥΝΘΕΤΗ ΞΥΛΕΙΑ ΕΠΙΚΟΛΛΗΜΕΝΩΝ ΦΥΛΛΩΝ LVL.....	42
ΥΒΡΙΔΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ.....	44
5. ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΗ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΗ ΞΥΛΕΙΑ CLT.....	47
ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ CLT.....	47
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ CLT	49
ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ.....	51
ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	52

ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ CLT	53
ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ CLT	56
Πάνελ με πάνελ.....	57
Τοίχος με τοίχο.....	59
Τοίχος με δάπεδο	61
Στέγη με τοίχο	63
Σύνδεση τοίχου με θεμέλια	64
ΥΛΙΚΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΝΕΛ.....	65
ΘΕΡΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΑΝΕΛ CLT ΧΩΡΙΣ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ.....	67
6. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	69
7. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ	70
ΜΕΘΟΔΟΙ.....	70
ΞΗΡΑΝΣΗ	70
ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	75
ΥΛΙΚΑ	84
8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	85
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	89
ΕΛΛΗΝΙΚΗ	89
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ.....	90

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΤΑ ΕΛΛΗΝΙΚΑ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την κατασκευή μιας σύγχρονης ξύλινης τοιχοποιίας τύπου διασταυρούμενης επικολλητής ξυλείας CLT (cross laminated timber) από ελληνική ξυλεία ελάτης με συγκεκριμένες διαστάσεις, μήκος, πλάτος και πάχος, με σκοπό την εύρεση της θερμικής συμπεριφοράς μέσω εργαστηριακών μετρήσεων.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια βιογραφική ανασκόπηση για το ξύλο, τα προϊόντα δομικής ξυλείας στη Ελλάδα, και ακολουθεί κεφάλαιο με τον Ευρωκώδικα 5 – EN 1995 όπου σύμφωνα με αυτό πρέπει να γίνονται όλες οι δομικές κατασκευές που είναι κατασκευασμένες από ξύλο. Ακολουθούν αναλυτικοί πίνακες σχετικά τις κλάσεις αντοχής κατασκευών για φυσική ξυλεία κωνοφόρων και λεύκης, πλατύφυλλων αλλά και της επικολλητής ξυλείας σύμφωνα με τα αρμόδια πρότυπα.

Επειδή η διπλωματική ασχολείται με την μέτρηση θερμοπερατότητας μιας ξύλινης τοιχοποιίας γίνεται αναφορά στις ενεργειακές προδιαγραφές που πρέπει να έχουν τα νέα αλλά και ανακαινισμένα κτίρια στην Ελλάδα, τις κλιματικές ζώνες στις οποίες χωρίζεται αλλά και τις ενεργειακές κλάσεις των κτιρίων σύμφωνα πάντα με τα κατάλληλα πρότυπα.

Σε ξεχωριστό κεφάλαιο αναφέρονται τα σύγχρονα συστήματα δόμησης και περεταίρω ανάλυση αναφορικά με την κατασκευή, τις αντοχές στον σεισμό και στη φωτιά, καθώς και στα υλικά συνδέσεων των CLT πάνελ. Τέλος, ακολουθεί το πείραμα, τα στάδια κατασκευής και τα αποτελέσματα από τις σχετικές μετρήσεις καθώς και συμπεράσματα για συζήτηση.

Ουσιαστικά, η εν λόγω εργασία υλοποιήθηκε προκειμένου να απαντηθεί το ερώτημα περί δυνατοτήτων ευρύτερης αξιοποίησης της ξυλείας ελληνικής προέλευσης.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΣΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΩΣ ΟΡΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΕΘΝΙΚΟ	
ΠΡΟΣΑΡΤΗΜΑ	19
ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΕ ΚΛΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	20
ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΚΛΑΣΕΙΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΓΙΑ ΦΥΣΙΚΗ ΞΥΛΕΙΑ ΚΩΝΟΦΟΡΩΝ ΚΑΙ ΛΕΥΚΗ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ	
EN 338:2003	22
ΠΙΝΑΚΑΣ 4 ΚΛΑΣΕΙΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΓΙΑ ΦΥΣΙΚΗ ΞΥΛΕΙΑ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ	
EN338:2003	23
ΠΙΝΑΚΑΣ 5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ	27
ΠΙΝΑΚΑΣ 6 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΙΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΕΠΙΚΡΑΤΕΙΑΣ ΣΕ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΤΑ ΝΟΜΟΥΣ.....	28
ΠΙΝΑΚΑΣ 7 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΙΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ	
ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 8 ΤΙΜΕΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	31
ΠΙΝΑΚΑΣ 9 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΠΙ ΜΕΡΟΥΣ	
ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΝΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ ΝΕΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	34
ΠΙΝΑΚΑΣ 10 ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΠΙ	
ΜΕΡΟΥΣ ΔΟΜΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΑΝΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΡΙΖΙΚΗΣ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ	
ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	35
ΠΙΝΑΚΑΣ 11 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΤΟΧΩΝ ΓΙΑ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΗ ΞΥΛΕΙΑ (ΕΛΟΤ, EN 1194).....	41
ΠΙΝΑΚΑΣ 12 ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ LVL ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ	43
ΠΙΝΑΚΑΣ 13 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ CLT ΠΑΧΟΥΣ 100MM.....	67
ΠΙΝΑΚΑΣ 14 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ CLT ΠΑΧΟΥΣ 100MM ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΟΒΑΜΒΑΚΑ	
160MM.....	85

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΚΟΡΜΟΙ ΔΕΝΔΡΩΝ	11
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΣΚΙΤΣΑ ΑΠΟ ΜΑΘΗΜΑ “ΔΟΜΗ ΞΥΛΟΥ”. ΜΑΚΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΟΨΕΙΣ ΚΩΝΟΦΟΡΟΥ ΚΑΙ ΔΑΚΤΥΛΙΟΠΟΡΟΥ ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΟΥ ΕΙΔΟΥΣ.....	12
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΠΕΛΕΚΗΤΗ ΞΥΛΕΙΑ ΣΤΟΙΒΑΓΜΕΝΗ	15
ΕΙΚΟΝΑ 4 ΠΕΡΓΚΟΛΑ ΑΠΟ «ΤΡΑΒΕΣ»	15
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΤΑΒΛΕΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ.....	15
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΤΑΒΛΕΣ ΣΕ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΣΤΕΓΗΣ.....	16
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΣΚΟΥΡΕΤΑ ΣΤΟΙΒΑΓΜΕΝΑ	16
ΕΙΚΟΝΑ 8 ΚΑΔΡΟΝΙΑ 5Χ5 ΣΕ ΥΠΟΔΟΜΗ ΠΑΤΩΜΑΤΟΣ.....	16
ΕΙΚΟΝΑ 9 ΜΑΔΕΡΙΑ ΣΕ ΣΚΑΛΩΣΙΑ	17
ΕΙΚΟΝΑ 10 ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ (ΜΑΣΙΦ) ΚΟΛΟΝΕΣ	17
ΕΙΚΟΝΑ 11 ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥΣ ΤΥΠΟΥ ΒΛΗΤΡΟΥ: ΗΛΟΙ (ΚΑΡΦΙΑ), ΒΙΔΕΣ, ΚΟΧΛΙΕΣ (ΜΠΟΥΛΟΝΙΑ), ΒΛΗΤΡΑ ΚΑΙ ΔΙΚΑΡΦΑ.....	25
ΕΙΚΟΝΑ 12 ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΑΛΛΗΛΟΚΑΛΥΠΤΟΜΕΝΟΥΣ ΗΛΟΥΣ	26
ΕΙΚΟΝΑ 13(Α) ΉΛΩΣΗ ΚΑΘΕΤΩΣ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΙΝΕΣ ΚΑΙ (Β) ΛΟΞΗ ΗΛΩΣΗ	26
ΕΙΚΟΝΑ 14 ΟΔΟΝΤΩΤΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΑ ΕΝΘΕΜΑΤΑ ΚΑΙ ΗΛΟΦΟΡΕΣ ΠΛΑΚΕΣ	26
ΕΙΚΟΝΑ 15 ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΓΩΝΙΑ	26
ΕΙΚΟΝΑ 16 ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΗ ΞΥΛΕΙΑ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	38
ΕΙΚΟΝΑ 17 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΤΑΔΙΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΗΣ ΞΥΛΕΙΑΣ	39
ΕΙΚΟΝΑ 18 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΠΟ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΗ ΞΥΛΕΙΑ	40
ΕΙΚΟΝΑ 19 ΑΘΛΗΤΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ ΑΠΟ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΗ ΞΥΛΕΙΑ	40
ΕΙΚΟΝΑ 20 ΔΟΚΟΙ ΑΠΟ LVL	44
ΕΙΚΟΝΑ 21 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ ΑΠΟ LVL	44
ΕΙΚΟΝΑ 22 ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ ΣΤΟ ΣΑΝ ΝΤΙΕΓΚΟ	45
ΕΙΚΟΝΑ 23 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ.....	45
ΕΙΚΟΝΑ 24 ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΚΤΙΡΙΟ.....	46
ΕΙΚΟΝΑ 25 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΣΤΡΩΣΕΩΝ.....	48
ΕΙΚΟΝΑ 26 ΠΑΝΕΛ CLT	48
ΕΙΚΟΝΑ 27 ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΠΙΘΑΝΩΝ CLT ΠΑΝΕΛ.....	49
ΕΙΚΟΝΑ 28 ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΟΚΙΜΗ 7ΟΡΟΦΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ.....	50
ΕΙΚΟΝΑ 29 ΚΤΙΡΙΟ ΑΠΟ CLT	52
ΕΙΚΟΝΑ 30 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΕ ΣΤΟΙΒΕΣ	53
ΕΙΚΟΝΑ 31 ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟ.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 32 ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 33 ΔΑΚΤΥΛΟΕΙΔΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗ (FINGER-JOINT)	54
ΕΙΚΟΝΑ 34 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ.....	54
ΕΙΚΟΝΑ 35 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΠΑΝΕΛ ΣΤΗΝ ΕΙΔΙΚΗ ΠΡΕΣΑ.....	54
ΕΙΚΟΝΑ 36 ΠΑΝΕΛ CLT ΜΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΤΑ ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΤΟΥ ΕΡΓΟΤΑΞΙΟΥ.....	55
ΕΙΚΟΝΑ 37 ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΚΟΠΗΣ/ΔΙΑΤΡΗΣΕΩΝ CNC	55
ΕΙΚΟΝΑ 38 ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΑΠΟ ΞΥΛΕΙΑ CLT	56
ΕΙΚΟΝΑ 39 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	56

ΕΙΚΟΝΑ 40 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΓΚΙΝΙΣΙΑ	57
ΕΙΚΟΝΑ 41 ΜΟΝΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	57
ΕΙΚΟΝΑ 42 ΔΙΠΛΗ ΧΑΡΑΞΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	58
ΕΙΚΟΝΑ 43 ΜΙΣΟ-ΧΑΡΑΚΤΗ ΕΝΩΣΗ.....	58
ΕΙΚΟΝΑ 44 ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΩΛΗΝΑ.....	59
ΕΙΚΟΝΑ 45 ΑΥΤΟ-ΔΙΑΤΡΗΤΕΣ ΒΙΔΕΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ	59
ΕΙΚΟΝΑ 46 ΑΥΤΟ-ΔΙΑΤΡΗΤΕΣ ΒΙΔΕΣ ΥΠΟ ΓΩΝΙΑ	59
ΕΙΚΟΝΑ 47 ΚΡΥΜΜΕΝΑ ΞΥΛΙΝΑ ΠΡΟΦΙΛ	60
ΕΙΚΟΝΑ 48 ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΑ	60
ΕΙΚΟΝΑ 49 ΚΡΥΜΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ.....	61
ΕΙΚΟΝΑ 50 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΜΕ ΑΥΤΟ-ΔΙΑΤΡΗΤΕΣ ΒΙΔΕΣ.....	61
ΕΙΚΟΝΑ 51 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΑ	62
ΕΙΚΟΝΑ 52 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΜΕ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΑ ΜΕ ΑΥΤΟ-ΔΙΑΤΡΗΤΕ ΒΙΔΕΣ	62
ΕΙΚΟΝΑ 53 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑΣ ΜΕ ΚΡΥΜΜΕΝΕΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΕΣ ΠΛΑΚΕΣ	62
ΕΙΚΟΝΑ 54 ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΠΑΛΟΝΙΟΥ.....	63
ΕΙΚΟΝΑ 55 ΣΥΝΔΕΣΗ ΟΡΟΦΗΣ.....	64
ΕΙΚΟΝΑ 56 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΠΛΑΚΑ	64
ΕΙΚΟΝΑ 57 ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΤΗΡΙΓΜΑΤΑ ΤΥΠΟΥ ΓΩΝΙΑ.....	64
ΕΙΚΟΝΑ 58 ΚΡΥΜΜΕΝΑ (Α) ΚΑΙ ΕΚΤΕΘΕΙΜΕΝΑ (Β) ΞΥΛΙΝΑ ΠΡΟΦΙΛ	65
ΕΙΚΟΝΑ 59 ΔΙΑΦΟΡΑ ΥΛΙΚΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ.....	65
ΕΙΚΟΝΑ 60 ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΓΕΘΗ ΓΩΝΙΑΚΩΝ ΒΡΑΧΙΟΝΩΝ ΓΙΑ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ.....	66
ΕΙΚΟΝΑ 61 ΔΙΑΦΟΡΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΠΟ ΔΙΑΤΡΗΤΕΣ ΠΛΑΚΕΣ	66
ΕΙΚΟΝΑ 62 ΓΩΝΙΑΚΟΙ ΒΡΑΧΙΟΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ - ΤΟΙΧΟΥ	67
ΕΙΚΟΝΑ 63 ΙΜΑΝΤΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΠΑΝΕΛ ΣΤΟ ΕΡΓΟΤΑΞΙΟ	67
ΕΙΚΟΝΑ 65 ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΟΨΗ ΞΗΡΑΝΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΑ ΤΑ ΠΡΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗ ΔΟΚΙΜΙΑ	70
ΕΙΚΟΝΑ 66 ΡΥΘΜΙΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	71
ΕΙΚΟΝΑ 67 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ	71
ΕΙΚΟΝΑ 68 ΝΕΑ ΡΥΘΜΙΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 69 ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΡΟΟΔΟΥ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	73
ΕΙΚΟΝΑ 70 ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ.....	74
ΕΙΚΟΝΑ 71 ΤΕΜΑΧΙΣΜΟΣ ΞΥΛΕΙΑΣ ΣΕ ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΟ ΔΙΣΚΟΠΡΙΟΝΟ ΤΥΠΟΥ ΡΑΝΤΙΑΛ	75
ΕΙΚΟΝΑ 72 ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΛΕΙΑΝΣΕΩΣ ΞΥΛΕΙΑΣ (ΠΛΑΝΙΣΜΑ).....	75
ΕΙΚΟΝΑ 73 ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΞΥΛΕΙΑΣ ΜΕ ΕΙΔΙΚΟ ΠΑΧΥΜΕΤΡΟ	76
ΕΙΚΟΝΑ 74 ΚΟΠΗ ΑΚΡΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΣΤΙΣ ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΓΩΝΙΑΣΤΡΑ.....	77
ΕΙΚΟΝΑ 75 ΔΙΑΛΟΓΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	77
ΕΙΚΟΝΑ 76 ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΡΩΣΕΩΝ	78
ΕΙΚΟΝΑ 77 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.....	78
ΕΙΚΟΝΑ 78 ΔΙΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ	79
ΕΙΚΟΝΑ 79 ΕΠΑΛΕΙΨΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΗΣ ΟΥΣΙΑΣ	79
ΕΙΚΟΝΑ 80 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΦΙΓΚΤΗΡΩΝ ΑΝΑ ΣΤΡΩΣΗ ΓΙΑ ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΗ	79
ΕΙΚΟΝΑ 81 ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΠΡΕΣΑΣ.....	79
ΕΙΚΟΝΑ 82 ΤΕΛΙΚΗ ΚΟΠΗ (ΓΩΝΙΑΣΜΑ) ΠΑΝΕΛ ΣΤΗΝ ΓΩΝΙΑΣΤΡΑ.....	80
ΕΙΚΟΝΑ 83 ΤΕΛΙΚΗ ΚΟΠΗ (ΓΩΝΙΑΣΜΑ) ΠΑΝΕΛ ΣΤΗΝ ΓΩΝΙΑΣΤΡΑ.....	80
ΕΙΚΟΝΑ 84 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ 3ΣΤΡΩΜΟΥ ΠΑΝΕΛ ΣΤΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ..	81

ΕΙΚΟΝΑ 85 3ΣΤΡΩΜΟ ΠΑΝΕΛ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟ ΣΤΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ	81
ΕΙΚΟΝΑ 86 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ 5ΣΤΡΩΜΟΥ ΠΑΝΕΛ ΣΤΗΝ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗ ΠΡΕΣΑ.....	81
ΕΙΚΟΝΑ 87 ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΚΟΠΗ 5ΣΤΡΩΜΟΥ ΠΑΝΕΛ ΣΤΗ ΓΩΝΙΑΣΤΡΑ.....	82
ΕΙΚΟΝΑ 88 ΤΕΛΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ 5ΣΤΡΩΜΟΥ ΠΑΝΕΛ	82
ΕΙΚΟΝΑ 89 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΘΕΡΜΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ 5ΣΤΡΩΜΟ ΠΑΝΕΛ	83

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ - ABSTRACT

Title:

«Construction of modern wooden masonry and measurement of energy and thermal behavior»

Abstract

This diplomatic work involves the construction of a modern wooden masonry of the type CLT (cross laminated timber) from Greek spruce wood with specific dimensions, length, width, and thickness, to find the thermal behavior through laboratory measurements.

This paper gives a biographical review of wood, construction wood products in Greece, and follows a chapter with European Code 5 – EN 1995 where all structural constructions made of wood must be made according to this. Below are detailed tables regarding the strength classes on the constructions for natural wood of softwood, hardwood and GLT, according to the appropriate standards.

Since the diplomatic is involved in the measurement of the heat permeability of a wooden masonry, reference is made to the energy specifications that the new and renovated buildings in Greece must have, the climate zones in which it is divided and the energy classes of the buildings, always according to the appropriate standards.

A separate chapter lists the modern building systems and further analysis regarding the construction, earthquake and fire resistance, as well as the connection materials of the CLT panels. Finally, it follows the experiment, the manufacturing stages and the results from the relevant measurements, as well as conclusions for discussion.

Essentially, this task was implemented in order to answer the question about the possibilities for the wider utilization of the wood of Greek origin.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΞΥΛΟ

Το Ξύλο είναι ο φυτικός ιστός, η συμπαγής, η σκληρή και ινώδης κυτταρική ουσία που αποτελεί κατά κύριο λόγο τον κορμό, τα κλαδιά και τις ρίζες των δένδρων, των θάμνων και γενικότερα, των λεγόμενων ξυλωδών φυτών. Το Ξύλωμα αποτελεί εκείνον τον ιστό με τον οποίο μεταφέρεται και κυκλοφορεί ο ακατέργαστος χυμός, δηλαδή το νερό και οι ανόργανες ουσίες που απορροφούν οι ρίζες από το έδαφος, ενώ ταυτόχρονα, αποτελεί το κύριο στηρικτικό σύστημα των βλαστών και των ριζών.



Εικόνα 1 Κορμοί δένδρων

Το ξύλο είναι η πιο σημαντική ανανεώσιμη πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται ως δομικό υλικό. Σε θεωρητική βάση, από το ξύλο λόγω της οργανικής του προέλευσης μπορούν να προέλθουν όλα εκείνα τα προϊόντα που προέρχονται και από το πετρέλαιο.

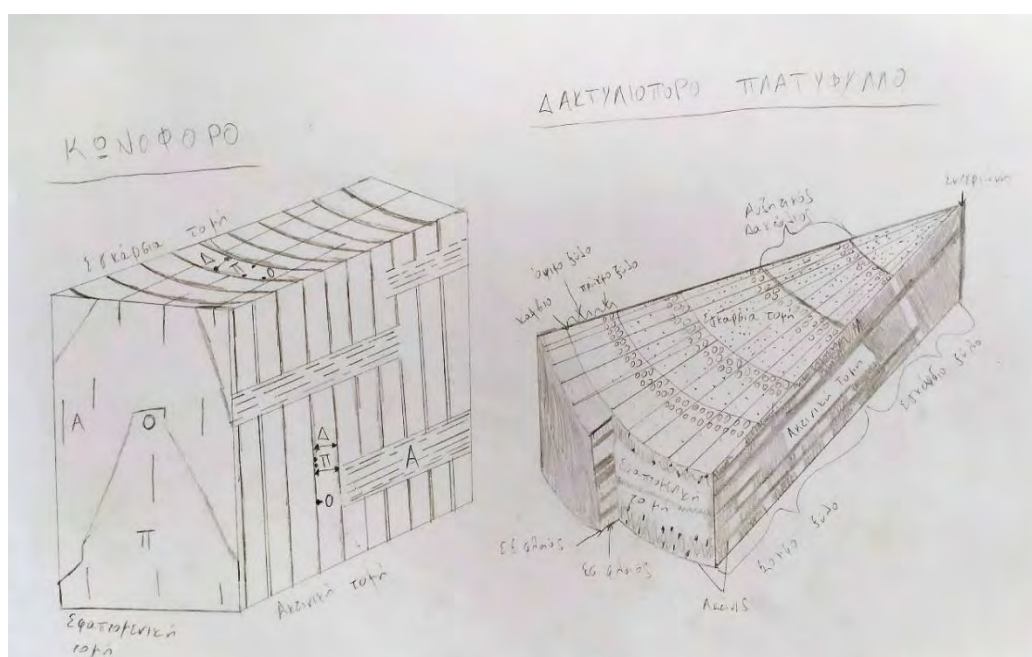
Ωστόσο σε αρκετές χώρες ανά τον κόσμο όπως π.χ. Αφρική, Ασία, το ξύλο εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ως η κύρια θερμαντική ύλη, κυρίως ως καυσόξυλο. Ποσοστό μεγαλύτερο του 50% της παγκόσμιας παραγωγής ξύλου από τα δάση της Γης χρησιμεύει στις μέρες μας ως καύσιμη ύλη.

Είναι ένα από τα παλαιότερα δομικά υλικά που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος στις κατασκευές του. Εύκολα επεξεργάσιμο και σχεδόν πάντα έτοιμο για χρήση, έχει συντελέσει αποφασιστικά στην επιβίωση του ανθρώπου και την ανάπτυξη του πολιτισμού.

Το ξύλο είναι το δομικό υλικό που επιστρατεύεται σε διάφορες κοινωνίες για τη μόρφωση πολλών αντισεισμικών συστημάτων. Ως βιομηχανικό προϊόν ακολουθεί τις βιομηχανικές και τεχνολογικές εξελίξεις, με συνεχή βελτίωση της ποιότητάς του, πολλαπλασιασμό των μορφών με τις οποίες χρησιμοποιείται και μείωση του κόστους.

Αποτέλεσε και αποτελεί πρώτη ύλη για τον άνθρωπο από την στιγμή της εμφάνισής του στη γη . Με αυτό κατασκεύασε τα πρώτα του όπλα για να αμυνθεί , τα εργαλεία του, την κατοικία του για να προστατευθεί από τις αντίξοες καιρικές συνθήκες και το χρησιμοποίησε σαν καύσιμο υλικό για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει. Με το πέρασ των χρόνων και κυρίως με την τεχνολογική εξέλιξη, ο αριθμός των προϊόντων που παράγονται από το ξύλο είτε με απλή είτε με μηχανική ή πολύπλοκη χημική μεταποίηση αυξάνεται ολοένα και περισσότερα. Έφτασε λοιπόν σήμερα να παράγονται από ξύλο πάνω από δύο χιλιάδες προϊόντα.

Τέλος, τα είδη ξύλου χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες : στα κωνοφόρα και τα πλατύφυλλα. Τα πλατύφυλλα ανάλογα με την εμφάνιση πόρων, διακρίνονται σε δακτυλιοπόρα, διασπορόπορα και ημιδιασπορόπορα.



Εικόνα 2 Σκίτσα από μάθημα “ΔΟΜΗ ΞΥΛΟΥ”. Μακροσκοπικές όψεις κωνοφόρου και δακτυλιοπόρου πλατύφυλλου είδους

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΞΥΛΟΥ

Τα πλεονεκτήματα του ξύλου (Μαντάνης, 2018)

1. Είναι δομικό υλικό ανανεώσιμο από την φύση, το μόνο που μπορεί να ανανεώνεται με ρυθμό μεγαλύτερο από την κατανάλωση.
2. Δημιουργεί κατασκευές που εντάσσονται αρμονικά στο περιβάλλον και είναι άριστο δομικό υλικό με μεγάλες κατασκευαστικές δυνατότητες.
3. Όταν απορρίπτεται δεν ρυπαίνει το περιβάλλον διότι, κάτω από κατάλληλες συνθήκες, αποσυντίθεται.
4. Έχει μεγάλη ποικιλία χρωμάτων, υφής και σχεδίασης, αντοχή σε αραιά διαλύματα οξέων και υψηλές θερμομονωτικές ιδιότητες.
5. Είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού με μικρή θερμική συστολή και διαστολή και καλές ακουστικές ιδιότητες.
6. Έχει σχετικά εύκολη επεξεργασία, με μικρή κατανάλωση ενέργειας, και όταν καίγεται έχει σε ικανοποιητικό βαθμό προβλέψιμη συμπεριφορά σε σχέση με την φωτιά.
7. Υλικό που λόγω ελαστικότητας δίνει αντισεισμικές δομές.
8. Έχει μεγάλη μηχανική αντοχή σε σχέση με το βάρος του.
9. Δεν οξειδώνεται (δεν σκουριάζει).

Τα μειονεκτήματα του ξύλου

1. Λόγω υψηλής υγρασκοπικότητας, οι διαστάσεις του μεταβάλλονται, μέσα σε όρια, ανάλογα με την πρόσληψη ή απώλεια υγρασίας (ρίκνωση - διόγκωση) . Για την αξονική έχουμε μεταβολή μόλις 0,1-0,6 %, για την ακτινική έχουμε 2,5-7% ενώ για την εφαπτομενική στα ευρωπαϊκά είδη συναντάμε από 6% μέχρι και 12%.
2. Είναι ανισότροπο υλικό, δηλαδή διαφέρει η δομή του, η μηχανική αντοχή του και οι ιδιότητές του στις τρεις κύριες κατευθύνσεις (ανισοτροπία).
3. Προσβάλλεται από μύκητες, έντομα (τερμίτες), βακτήρια και διάφορους μικροοργανισμούς.
4. Αλλοιώνεται (φθείρεται) με την επίδραση του χρόνου και διαφόρων εξωτερικών, αβιοτικών παραγόντων.
5. Καίγεται χωρίς αυτό να σημαίνει ότι η κατασκευή αχρηστεύεται αμέσως.
6. Χρειάζεται συχνή συντήρηση που όμως μπορεί να μειωθεί με κατάλληλη ενεργητική και παθητική προστασία.
7. Υπάρχει δυσκολία πιστοποίησης σε σχέση με άλλα υλικά.

Συνοψίζοντας έχουμε ότι,

Σε αντίθεση με άλλα δομικά υλικά, το ξύλο παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλη ποικιλία παραλλαγών της δομής του, τόσο σε σχέση με το είδος του δέντρου από το οποίο παράγεται όσο και με την θέση που κατέχει μέσα στον κορμό, τα βασικά μειονεκτήματα του ξύλου (βιολογική φθορά, πιθανή έντονη μεταβολή των διαστάσεων, η ιδιότητα του να συντηρεί την φωτιά) αναιρούνται εύκολα με τον κατάλληλο σχεδιασμό, η μεταβλητότητα δομής και ιδιοτήτων, χαρακτηριστικό όλων των φυσικών προϊόντων, αντιμετωπίζεται στην πράξη με ποιοτική ταξινόμηση και συστηματικό έλεγχο, ώστε κάθε πιστοποιημένο τεμάχιο έχει σαφώς καθορισμένες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες.

ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΞΥΛΟΥ

Από το ξύλο παράγονται όπως προαναφέρθηκε, με κατάλληλες και ειδικές επεξεργασίες, χιλιάδες προϊόντα πολλά από τα οποία αποτελούν είδη πρώτης ανάγκης. Το ξύλο αποτελεί την πρώτη ύλη διαφόρων προϊόντων πρωτογενούς βιομηχανικής κατεργασίας, τα οποία αποτελούν υλικά για την παραγωγή άλλων προϊόντων δευτερογενούς κατεργασίας. Τόσο τα πρωτογενή όσο και τα δευτερογενή προϊόντα μπορεί να παράγονται με μηχανική ή χημική κατεργασία.

Αυτά τα προϊόντα κατατάσσονται σε δυο βασικές και μεγάλες κατηγορίες :

A) στα προϊόντα ξύλου που διατηρούν τη φυσική δομή του ξύλου. Σ αυτή την κατηγορία ανήκουν η πριστή ξυλεία και τα προϊόντα της, όπως π.χ. οι πάσσαλοι, οι στύλοι, οι στρωτήρες, τα ξυλόφυλλα, τα αντικολλητά, η επικολλητή και σύνθετη ξυλεία, οι μοριοπλάκες κ.ά.

B) στα προϊόντα ξύλου που παράγονται έπειτα από χημική ή θερμομηχανική κατεργασία του ξύλου και δεν διατηρούν τη φυσική δομή του. (ινοπλάκες, χαρτί, pellets, διάφορα πλαστικά, συνθετικές ίνες, αλκοόλη, γλυκόζη, τερεβινθέλαιο κ.α.)(Μαντάνης 2017)

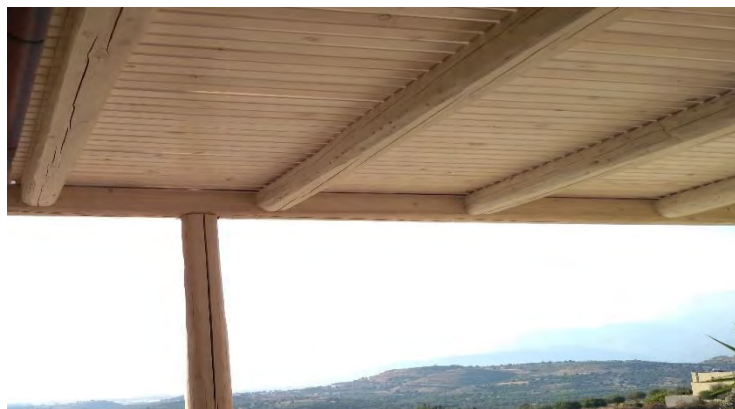
Στα ελληνικά πριστήρια συνήθως παράγονται τα εξής προϊόντα πριστής ξυλείας για δομικές κατασκευές :

- Πελεκητή ξυλεία από πολύ λεπτά κορμίδια (λατάκια) διατομής μέχρι 10x10cm και μήκους μέχρι 6m



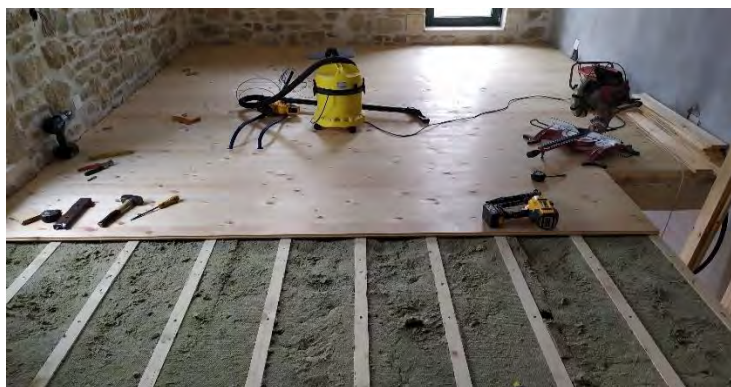
Εικόνα 3 Πελεκητή ξυλεία στοιβαγμένη

- Πελεκητή ξυλεία από λεπτή στρογγυλή ξυλεία διατομής μέχρι 25x25cm και μήκους μέχρι 12m γνωστή ως «Τράβα». Χρησιμοποιείται ως δοκός σε ξύλινες στέγες, πέργκολες, κιόσκια, αποθήκες κ.α.



Εικόνα 4 Πέργκολα από «τράβες»

- Σανίδια / τάβλες πάχους 24mm και μήκους 2-6m. Χρησιμοποιούνται σαν πέτσωμα στέγης, σαν υπόστρωμα αλλά και τελικό πάτωμα και σε διάφορες άλλες κατασκευές.



Εικόνα 5 Τάβλες σε κατασκευή πατώματος

- Λεπτά σανίδια / μισόταβλες πάχους 16-18mm και μήκους 2-5m. Βρίσκει χρήσεις ίδιες με αυτές με τα σανίδια.



Εικόνα 6 Τάβλες σε επικάλυψη στέγης

- Σκουρέτα - πολύ λεπτά σανίδια πάχους 12mm. Χρησιμοποιούνται για κατασκευές όπου δεν είναι εμφανείς όπως για παράδειγμα για στέγη η οποία έχει τοποθετηθεί σε ταράτσα για λόγους μόνωσης .



Εικόνα 7 Σκουρέτα στοιβαγμένα

- Καδρόνια με διατομές από 3-8 x 3-8 cm σε μεγάλη ποικιλία συνδυασμών με τους πιο συνηθισ (σε cm) : 3x4, 4x4, 5x5, 6x6, 8x8cm και μήκη 2-6m. Χρησιμοποιούνται σε στέγες ως τεγίδες, σαν σκελετός σε προκατασκευασμένα σπίτια, στην υποδομή των πατωμάτων και πολλές άλλες ξυλουργικές κατασκευές.



Εικόνα 8 Καδρόνια 5x5 σε υποδομή πατώματος

- Μαδέρια πάχους 5cm, πλάτους 20-30cm και μήκους 3-6m τα οποία κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται σε σκαλωσιές και σε σκάλες ως σκαλομέρια και σκαλοπάτια.



Εικόνα 9 Μαδέρια σε σκαλωσιά

- Δοκοί σε ποικιλία διατομών όπως 7x12, 8x14, 10x20cm κ.α. και μήκη 3-6m. Οι δοκοί το λέει και η λέξη χρησιμοποιούνται ως οριζόντιες δοκοί σε πέργκολες και στέγες, κιόσκια, σαν σκελετός σε προκατασκευασμένα σπίτια κ.α.
- Κολόνες - ορθοστάτες με διατομή 10x10, 12x12, 14x14 και μήκη 3-7m. Χρησιμοποιούνται κατακόρυφα για στήριξη σε πέργκολες, κιόσκια σε μπαλκόνια κ.α.



Εικόνα 10 Συμπαγείς (μασίφ) κολόνες

Τα ελληνικά είδη ξύλου που κατεργάζονται στην Ελλάδα για την παραγωγή της πριστής δομικής ξυλείας είναι (Κακαράς 2009) :

- Η κεφαλληνιακή ελάτη,
- Η μαύρη και δασική Πεύκη,
- Η ερυθρελάτη σε μικρές ποσότητες,
- Η καστανιά σε μικρές ποσότητες,
- Και το κυπαρίσσι σε πολύ μικρές ποσότητες.

2. ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 5 - EN 1995

ΓΕΝΙΚΑ

Το πρότυπο EN 1995 (Eurocode 5) υπάγεται στη σειρά ευρωπαϊκών Προτύπων EN 1990-1999 γνωστών και ως «Ευρωκώδικες» και εφαρμόζεται για τον σχεδιασμό κτηρίων και έργων πολιτικού μηχανικού από ξύλο (πριστή, πλανισμένη, ή στρογγυλή φυσική ξυλεία, συγκολλητή ξυλεία, προϊόντα ξύλου όπως ξυλεία συγκολλημένων φύλλων (LVL), ξυλοπλάκες συνδεδεμένες με κόλλες ή με μηχανικούς συνδέσμους. Εναρμονίζεται με τις αρχές και τις απαιτήσεις για την ασφάλεια και λειτουργικότητα των κατασκευών και τις βάσεις σχεδιασμού και ελέγχου του EN1990:2002.

Το Πρότυπο EN 1995 αφορά μόνο απαιτήσεις μηχανικής αντοχής, λειτουργικότητας, ανθεκτικότητας και πυρασφάλειας των ξύλινων κατασκευών. Δεν περιλαμβάνονται άλλες απαιτήσεις, π.χ. οι αφορώσες στην θερμομόνωση ή την ηχομόνωση.

Το EN 1995 υποδιαιρείται στα εξής μέρη:

1. EN 1995-1 Γενικά
2. EN 1995-2 Γέφυρες

Το EN 1995-1 «Γενικά» περιλαμβάνει:

1. EN 1995-1-1 Γενικά – Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτήρια
2. EN 1995-1-2 Γενικοί κανόνες – Δομικός Σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς

Στο EN 1995-1-1 δεν καλύπτεται ο σχεδιασμός κατασκευών που υπόκεινται σε παρατεταμένη έκθεση σε θερμοκρασίες υψηλότερες των 60°C.

Η χρήση του EN 1995 γίνεται σε συνδυασμό με τα εξής κανονιστικά κείμενα:

1. EN 1990:2002, «Ευρωκώδικας – Βάσεις σχεδιασμού».
2. EN 1991, «Δράσεις στις κατασκευές».
3. EN 1998, «Αντισεισμικός Σχεδιασμός», για τις ξύλινες κατασκευές σε σεισμικές περιοχές.
4. EN 1993, «Ευρωκώδικας 3: Σχεδιασμός Κατασκευών από Χάλυβα». Χρησιμοποιείται συχνά για τον έλεγχο των μεταλλικών πλακών σε συνδέσεις χάλυβα με ξύλο, για τον έλεγχο μεταλλικών χιαστί συνδέσμων ακαμψίας, καθώς και μεταλλικών δομικών στοιχείων τα οποία μπορεί να συνδυάζονται με ξύλινα για την μόρφωση μικτών φορέων (μεταλλικά υποστυλώματα, με ξύλινα ζυγώματα, μεταλλικοί ελκυστήρες με ξύλινους αμείβοντες κ.α.).

5. Πρότυπα ENs για τα δομικά προϊόντα σχετικά με τις ξύλινες κατασκευές. Επισημαίνεται ότι όλα τα στοιχεία για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπου ξυλείας και των προϊόντων ξύλου (αντοχές, πυκνότητα, μέτρα ελαστικότητας και διάτμησης) βρίσκονται στα αντίστοιχα ENs και όχι στο κυρίως σώμα του Ευρωκώδικα 5 1.
6. Το Εθνικό Προσάρτημα στο οποίο περιλαμβάνονται πληροφορίες για τις παραμέτρους που αφήνονται ανοιχτές στους Ευρωκώδικες προκειμένου να συμπληρωθούν με Εθνική Επιλογή.

ΚΛΑΣΕΙΣ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΣ

Η φέρουσα ικανότητα του ξύλου και των προϊόντων ξύλου επηρεάζεται σημαντικά από τον χρόνο επιβολής των φορτίων. Κατά συνέπεια, οι ξύλινες κατασκευές παραλαμβάνουν λιγότερα φορτία όταν αυτά τις καταπονούν για μεγάλο χρονικό διάστημα (π.χ. μόνιμα φορτία).

Οι δράσεις που εισάγονται στους υπολογισμούς αντοχών και δυσκαμψιών πρέπει να κατατάσσονται σε μια από τις κλάσεις διάρκειας φορτίσεως που δίδονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 1 Κατάταξη φορτίσεων σε κατηγορίες όπως ορίζονται στο Ελληνικό Εθνικό Προσάρτημα

Κλάση διάρκειας φορτίσεως	Παραδείγματα φορτίων	Σωρευτική διάρκεια χαρακτηριστικού φορτίου
Μόνιμη	ίδιο βάρος	άνω των 10 ετών
Μακροχρόνια	φορτία αποθηκεύσεως	6 μήνες έως 10 έτη
Μεσοχρόνια	Επιβαλλόμενα (κινητά) φορτία	1 εβδομάδα έως 6 μήνες
Βραχυχρόνια	χιόνι	λιγότερο από 1 εβδομάδα
Στιγμιαία	άνεμος, τυχηματικά φορτία	

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα το φορτίο του χιονιού θεωρείται βραχυχρόνια φόρτιση και ο άνεμος τυχηματική.

ΚΛΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η υγρασία επηρεάζει σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου όταν μεταβάλλεται κάτω από το σημείο κορεσμού των ινών του. Οι μηχανικές αντοχές αυξάνονται όταν ελαττώνεται η υγρασία λόγω της συμπύκνωσης της μάζας των κυτταρικών τοιχωμάτων. Σημαντική είναι επίσης η επιρροή του Π.Π.Υ. (Ποσοστό Περιεχομένης Υγρασίας) του ξύλου στις ερπυστικές παραμορφώσεις.

Οι κατασκευές πρέπει να κατατάσσονται σε μια από τις κλάσεις λειτουργίας όπως αυτές φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2 Κατάταξη κατασκευών σε κλάσεις λειτουργίας

Κλάση Λειτουργίας	Θερμοκρασία και Σχετική Υγρασία της Περιβάλλουσας Ατμόσφαιρας	Ποσοστό Περιεχομένης Υγρασίας Ξύλου
1	20°C, υγρασία άνω του 65% μόνο για λίγες εβδομάδες το χρόνο.	$\leq 12\%$.
2	20°C, υγρασία άνω του 85% μόνο για λίγες εβδομάδες το χρόνο.	$\leq 20\%$.
3	Κλιματικές συνθήκες οι οποίες οδηγούν σε ποσοστό περιεχομένης υγρασίας του ξύλου ανώτερο από εκείνο της κλάσης 2.	$\geq 20\%$.

Η κλάση λειτουργίας 1 χαρακτηρίζεται από ένα ποσοστό περιεχομένης υγρασίας των υλικών, το οποίο αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 20°C και σχετική υγρασία της περιβάλλουσας ατμόσφαιρας άνω του 65% μόνο για λίγες εβδομάδες το χρόνο. Για κλάση λειτουργίας 1 το μέσο ποσοστό περιεχομένης υγρασίας των περισσότερων κωνοφόρων δεν θα υπερβεί το 12%.

Η κλάση λειτουργίας 2 χαρακτηρίζεται από ένα ποσοστό περιεχομένης υγρασίας των υλικών, το οποίο αντιστοιχεί σε θερμοκρασία 20°C και σχετική υγρασία της περιβάλλουσας ατμόσφαιρας άνω του 85% μόνο για λίγες εβδομάδες το χρόνο. Για κλάση λειτουργίας 2 το μέσο ποσοστό περιεχομένης υγρασίας των περισσότερων κωνοφόρων δεν θα υπερβεί το 20%.

Η κλάση λειτουργίας 3 χαρακτηρίζεται από κλιματικές συνθήκες οι οποίες οδηγούν σε ποσοστό περιεχομένης υγρασίας του ξύλου ανώτερο από εκείνο της κλάσης 2.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ

Είδη ξυλείας - Ποιοτική ταξινόμηση και πιστοποίηση

Τα δέντρα από τα οποία παράγεται η δομική ξυλεία όπως αναφέρθηκε κατατάσσονται σε:

- Κωνοφόρα (π.χ. πεύκη, ελάτη κ.α.) και
- πλατύφυλλα (π.χ. δρυς, οξιά, καστανιά, καρυδιά, σημύδα, κλπ).

Η ξυλεία από κωνοφόρα χαρακτηρίζεται ως «μαλακή ξυλεία» (softwood) ενώ η ξυλεία από πλατύφυλλα χαρακτηρίζεται ως «σκληρή ξυλεία» (hardwood). Για την πλειονότητα των φερόντων στοιχείων χρησιμοποιείται πριστή ξυλεία κωνοφόρων είτε ως φυσική ξυλεία είτε ως επικολλητή.

Για την ποιοτική ταξινόμηση της πριστής ξυλείας στις δομικές κατασκευές, υπάρχει η μέθοδος της οπτικής ταξινόμησης (visual grading) και η μέθοδος της ταξινόμησης σε κλάσεις (stress grading ή machine grading), με τη βοήθεια μηχανολογικού εξοπλισμού.

Υπάρχουν τρεις κλάσεις ποιότητας με βάση το γερμανικό πρότυπο DIN 4074:

- Ποιότητα 1 : Πριστή ξυλεία με μεγάλη αντοχή στις φορτίσεις
- Ποιότητα 2 : Πριστή ξυλεία με συνήθη αντοχή στις φορτίσεις
- Ποιότητα 3 : Πριστή ξυλεία με μικρή αντοχή στις φορτίσεις

Αντίθετα, με βάση το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 14081:2005, το οποίο παραπέμπει στο EN 338:2003, προβλέπονται 12 κλάσεις αντοχής για πριστή ξυλεία (Πιν.3)

Με βάση τις σύγχρονες προδιαγραφές για τη πριστή ξυλεία (EN 14081:2005) η πιστοποίηση ενός προϊόντος εκφράζεται με το σήμα CE το οποίο τοποθετείται επάνω στο προϊόν και αποτελεί τη δήλωση του κατασκευαστή ότι το συγκεκριμένο προϊόν συμμορφώνεται με τις ουσιαστικές απαιτήσεις της σχετικής Ευρωπαϊκής νομοθεσίας για την προστασία της υγείας, της ασφάλειας και του περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια της χρήσης του. Το σύμβολο CE αποτελεί τη συντομογραφία της γαλλικής φράσης Conformance Européenne, που σημαίνει Ευρωπαϊκή Συμμόρφωση (Κακαράς 2013).

Το σήμα αυτό πάνω σε ένα προϊόν δηλώνει (Σκαρβέλης, 2015) :

- Ότι το προϊόν μπορεί νόμιμα να κυκλοφορεί στην αγορά μιας χώρας και ότι ο φορέας πιστοποίησης ελέγχει την τήρηση των προβλεπόμενων προδιαγραφών.

- Τη δυνατότητα της ελεύθερης μετακίνησης του προϊόντος μέσα στην Ευρωπαϊκή Ένωση.
- Την απομάκρυνση όλων των υπολοίπων προϊόντων της ίδιας κατηγορίας χωρίς σήμανση από την αγορά, με απαγόρευση εισόδου στα τελωνεία, αλλά και ταυτόχρονη επαγρύπνηση των αρχών.

Πίνακας 3 Κλάσεις αντοχής κατασκευών για φυσική ξυλεία κωνοφόρων και λεύκη σύμφωνα με EN 338:2003

Αντοχές (N/mm ²)	Σύμβολο	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Κάμψη	F _{m,k}	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
Εφελκυσμός παράλληλα	F _{t,0,k}	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
Εφελκυσμός κάθετα	F _{t,90,k}	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Θλίψη παράλληλα	F _{c,0,k}	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
Θλίψη κάθετα	F _{c,90,k}	2.0	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.1	3.2
Σχίσση	F _{v,k}	1.7	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0	3.4	3.8	3.8	3.8
Τιμές μέτρου ακαμψίας (kNmm ²)													
M.M ελαστικότητας παράλληλα	E _{0,μέση}	7	8	9	9.5	10	11	11.5	12	13	14	15	16
5% μέτρο ελαστικότητας παράλληλα	E _{0,05}	4.7	5.4	6.0	6.4	6.7	7.4	7.7	8.0	8.7	9.4	10.0	10.7
M.M ελαστικότητας κάθετα	E _{90,μέση}	0.23	0.27	0.30	0.32	0.33	0.37	0.38	0.40	0.43	0.47	0.50	0.53
M. M σχίσσης	G _{μέση}	0.44	0.5	0.56	0.59	0.63	0.69	0.72	0.75	0.81	0.88	0.94	1.00
Πυκνότητα (kg/m ³)													

πυκνότητα	ρ _k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
Μέση πυκνότητα	ρ _{μέση}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Παρατηρήσεις – οι παραπάνω τιμές αναφέρονται σε ξυλεία ξηραμένη σε περιβάλλον με υγρασία ισορροπίας 20 °C και σχετική υγρασία 65%

Η βαθμονομημένη ως προς την αντοχή φυσική δομική ξυλεία κωνοφόρων χαρακτηρίζεται με το γράμμα C από την λατινική ονομασία coniferous (π.χ. C24) ενώ η ξυλεία των πλατύφυλλων χαρακτηρίζεται αντίστοιχα με το γράμμα D deciduous (π.χ. D40) ως προς την αντοχή τους σε κάμψη σύμφωνα πάντα με το EN 338.

Πίνακας 4 Κλάσεις αντοχής κατασκευών για φυσική ξυλεία πλατύφυλλων σύμφωνα με EN338:2003

Αντοχές (N/mm ²)	Σύμβολο	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Κάμψη	F _{m,k}	30	35	40	50	60	70
Εφελκυσμός παράλληλα	F _{t,0,k}	10	21	24	30	36	42
Εφελκυσμός κάθετα	F _{t,90,k}	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Θλίψη παράλληλα	F _{c,0,k}	23	25	26	29	32	34
Θλίψη κάθετα	F _{c,90,k}	8.0	8.4	8.8	9.7	10.5	13.5
Σχίσση	F _{v,k}	3.0	3.4	3.8	4.6	5.3	6.0
Τιμές μέτρου ακαμψίας (kNmm ²)							
M.M ελαστικότητας παράλληλα	E _{0,μέση}	10	10	11	14	17	20
5% μέτρο ελαστικότητας παράλληλα	E _{0,05}	8.0	8.7	9.4	11.8	14.3	16.8
M.M ελαστικότητας κάθετα	E _{90,μέση}	0.64	0.69	0.75	0.93	1.13	1.33
M.M σχίσσης	G _{μέση}	0.60	0.65	0.70	0.88	1.06	1.25

Πυκνότητα (kg/m ³)							
πυκνότητα	ρ _k	530	560	570	650	700	900
Μέση πυκνότητα	ρ _{μέση}	640	670	700	780	840	1080
Παρατηρήσεις – οι παραπάνω τιμές αναφέρονται σε ξυλεία ξηραμένη σε περιβάλλον με υγρασία ισορροπίας 20 °C και σχετική υγρασία 65%							

Σύμφωνα με το EN 14081: 2005 η αντοχή της πριστής ξυλείας εκτιμάται χωρίς καταστρεπτικές δοκιμές με οπτική ταξινόμηση (EN 14081-1) είτε με αξιοποίηση μηχανολογικού εξοπλισμού (14081-3: 2005).

Ανθεκτικότητα σε βιολογικούς οργανισμούς

Η δομική ξυλεία και τα προϊόντα του ξύλου πρέπει, είτε να παρουσιάζουν επαρκή εγγενή (φυσική) ανθεκτικότητα, σύμφωνα με το EN 350-2, για την συγκεκριμένη κατηγορία επικινδυνότητας (όπως ορίζεται στα EN 335-1, EN 335-2 και EN 335-3), ή να υφίστανται επεξεργασία με κατάλληλα συντηρητικά, η οποία επιλέγεται σύμφωνα με τα EN 351-1 και EN 460.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Η επεξεργασία για την προστασία του ξύλου και των προϊόντων ξύλου με κατάλληλα συντηρητικά μπορεί να επηρεάσει τις παραμέτρους αντοχής και δυσκαμψίας. Κανόνες για τις προδιαγραφές της επεξεργασίας του ξύλου και των προϊόντων ξύλου με κατάλληλα συντηρητικά δίδονται στα EN 350-2 και EN 335.

Συγκολλητικές ουσίες

Οι κόλλες για δομικές εφαρμογές πρέπει να επιτυγχάνουν συγκολλήσεις τέτοιας αντοχής και ανθεκτικότητας στον χρόνο, ώστε, για την καθοριζόμενη κλάση λειτουργίας, η σύνδεση να διατηρεί την ακεραιότητά της καθ' όλη την αναμενόμενη διάρκεια ζωής της κατασκευής.

Οι κόλλες που συμμορφώνονται με τις προδιαγραφές Τύπου Ι, όπως καθορίζονται στο EN 301, μπορούν να χρησιμοποιούνται για όλες τις κλάσεις λειτουργίας ενώ οι κόλλες που συμμορφώνονται με τις προδιαγραφές Τύπου ΙΙ, όπως καθορίζονται στο EN 301, μπορούν να χρησιμοποιούνται μόνο για τις κλάσεις λειτουργίας 1 και 2, και χωρίς παρατεταμένη έκθεση σε θερμοκρασίες άνω των 50°C.

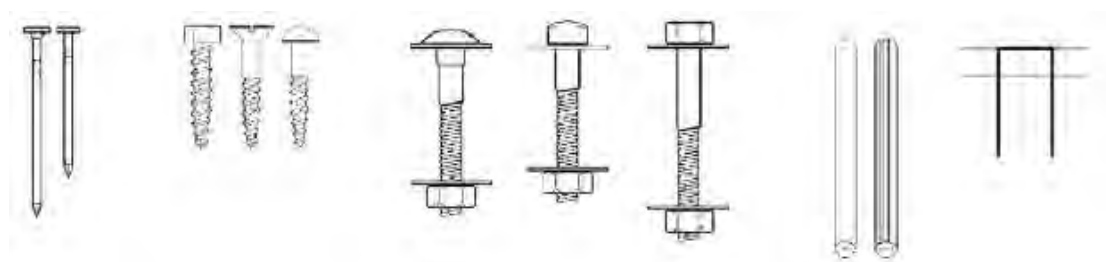
Συνδέσεις με κόλλες οι οποίες, μετά την αρχική πήξη, απαιτούν έναν χρόνο ωριμάνσεως πριν αποκτήσουν την πλήρη αντοχή τους, δεν θα πρέπει να φορτίζονται κατά το απαιτούμενο χρονικό διάστημα.

Μεταλλικοί σύνδεσμοι

Οι μεταλλικοί σύνδεσμοι πρέπει να συμμορφώνονται με το EN 14592 και τα μεταλλικά διατμητικά ενθέματα πρέπει να συμμορφώνονται με το EN 14545 και πρέπει, όπου είναι απαραίτητο, να παρουσιάζουν εγγενή ανθεκτικότητα στην διάβρωση, είτε να προστατεύονται έναντι διαβρώσεως.

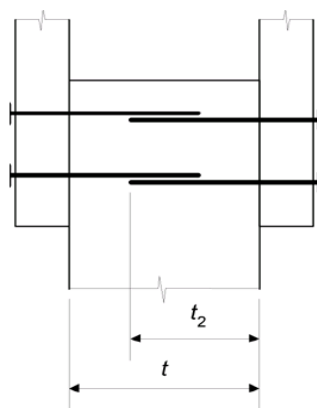
Το κεφάλαιο για τους μεταλλικούς συνδέσμους αποτελεί το μεγαλύτερο κεφάλαιο του Ευρωκώδικα, ενδεικτικό του ότι οι συνδέσεις αποτελούν το σημαντικότερο και δυσκολότερο τμήμα του σχεδιασμού και υπολογισμού των ξύλινων κατασκευών. Καλύπτονται συνδέσεις

- ξύλου - ξύλου,
- ξυλοπλάκας - ξύλου και χάλυβα – ξύλου για ήλους,
- δίκαρφα,
- κοχλίες (μπουλόνια),
- βλήτρα,
- βίδες,
- ηλοφόρες πλάκες,
- δακτυλιοειδή δισκοειδή και οδοντωτά διατμητικά ενθέματα, υπό εγκάρσια και αξονική φόρτιση.

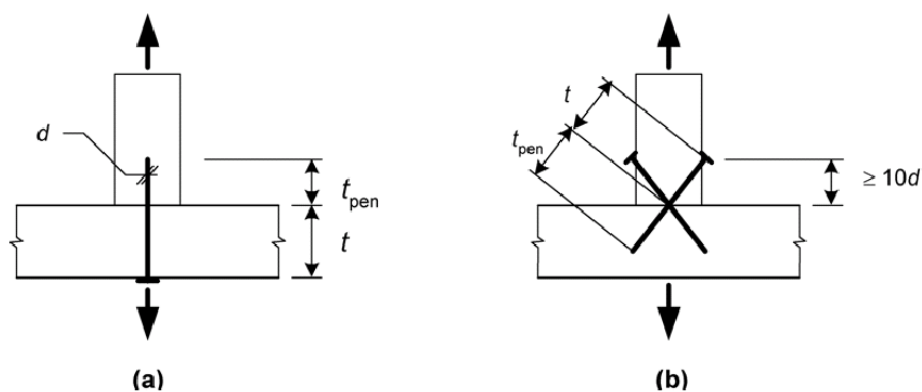


Εικόνα 11 Υλικά για συνδέσμους τύπου βλήτρου: ήλοι (καρφιά), βίδες, κοχλίες (μπουλόνια), βλήτρα και δίκαρφα

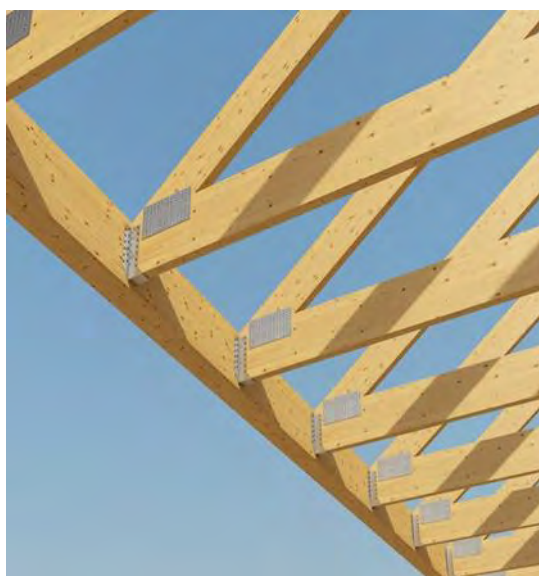
Οι συνδέσεις μπορεί να λάβουν διάφορες μορφές (Εικ. 12-15).



Εικόνα 12 Σύνδεση με αλληλοκαλυπτόμενους ήλους



Εικόνα 13(a) Ήλωση καθέτως προς τις ίνες και (b) λοξή ήλωση



Εικόνα 14 Οδοντωτά διατμητικά ενθέματα και ηλοφόρες πλάκες



Εικόνα 15 Μεταλλική γωνία

3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

Στα κτίρια οφείλεται το 40% της παγκόσμιας συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και το 75% της ηλεκτρικής ενέργειας (Εκδόσεις ΚΤΙΡΙΟ 2022). Συνεπώς, η κλιματική αλλαγή, η ανάγκη για ενεργειακή απεξάρτηση από τρίτες χώρες και η αναγκαιότητα αναβάθμισης του υπάρχοντος κτιριακού αποθέματος οδήγησαν την Ευρώπη στην έκδοση της Κοινοτικής Οδηγίας 2002/91/ΕΚ περί ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων. Η Ελλάδα, ως όφειλε απέναντι στις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εναρμόνισε την εθνική μας νομοθεσία με την Κοινοτική Οδηγία, σύμφωνα με τον Νόμο 3661/2008 (ΤΟΤΕΕ 2017).

Προϋπόθεση για την εφαρμογή του Νόμου υπήρξε η έκδοση του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (Κ.Εν.Α.Κ) το οποίο περιγράφει τη γενική μέθοδο υπολογισμού και τη συνολική προσέγγιση που είναι σύμφωνη με τα ευρωπαϊκά πρότυπα και το Προεδρικό Διάταγμα που θα καθόριζε τις προδιαγραφές και τις διαδικασίες εφαρμογής του συστήματος των Ενεργειακών Επιθεωρητών των Κτιρίων.

Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή οδηγία 91/2002 δημιουργείται τις νέο κανονισμός ο οποίος τέθηκε σε ισχύ το 2010, περί ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων ο οποίος επιβάλλει τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για τα κτίρια στα οποία εκδίδεται πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης για κάθε βασική κατηγορία κύριας χρήσης του κτιρίου ξεχωριστά και τα ταξινομεί σε εννέα ενεργειακές κλάσεις (A+, A, B+, B, C, D, E, F, G) συγκρίνοντας την ενεργειακή τους απόδοση με εκείνη του κτιρίου αναφοράς οι οποίες αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5 Κατηγορίες ενεργειακής απόδοσης κτιρίων

Κατηγορία	Όρια κατηγορίας	Όρια κατηγορίας
A+	$EP \leq 0,33RR$	$T \leq 0,33$
A	$0,33RR < EP \leq 0,50RR$	$0,33 < T \leq 0,50$
B+	$0,50RR < EP \leq 0,75RR$	$0,50 < T \leq 0,75$
B	$0,75RR < EP \leq 1,00RR$	$0,75 < T \leq 1,00$
Γ	$1,00RR < EP \leq 1,41RR$	$1,00 < T \leq 1,41$
Δ	$1,41RR < EP \leq 1,82RR$	$1,41 < T \leq 1,82$
E	$1,82RR < EP \leq 2,27RR$	$1,82 < T \leq 2,27$
Z	$2,27RR < EP \leq 2,73RR$	$2,27 < T \leq 2,73$
H	$2,73RR < EP$	$2,73 < T$

Όπου

ο δείκτης RR είναι ίσος με την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς,

T είναι το πηλίκο της υπολογιζόμενης κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του εξεταζόμενου κτιρίου (EP) προς την υπολογιζόμενη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου αναφοράς (RR) και αποτελεί το κριτήριο για την κατάταξη του κτιρίου στην αντίστοιχη κατηγορία ενεργειακής απόδοσης.

Τα νέα και ανακαινισμένα κτίρια πρέπει να ανήκουν τουλάχιστον στην κατηγορία B, με ορισμένες τεχνικές ή λειτουργικές εξαιρέσεις για ανακαινισμένα κτίρια. Σε κτίρια κατοικιών η ενεργειακή ταξινόμηση λαμβάνει υπόψη την κύρια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση χώρου, ψύξη, κλιματισμού (Θ.Ψ.Κ.) και ζεστού νερού χρήσης (Ζ.Ν.Χ.).

Η ελληνική επικράτεια, διαιρείται σε τέσσερις κλιματικές ζώνες (ανά Νομό) με βάση τις βαθμομημέρες θέρμανσης για την βέλτιστη εκπόνηση μιας ενεργειακής μελέτης οι οποίες αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6 Διαχωρισμός της ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες κατά νομούς

ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΖΩΝΗ	NOMOI
ΖΩΝΗ Α	Ηρακλείου, Χανίων, Ρεθύμνου, Λασιθίου, Κυκλάδων, Δωδεκανήσου, Σάμου, Μεσσηνίας, Λακωνίας, Αργολίδας, Ζακύνθου, Κεφαλληνίας & Ιθάκης, Κύθηρα & νησιά Σαρωνικού (Αττικής), Αρκαδίας (πεδινή).
ΖΩΝΗ Β	Αττικής (εκτός Κυθήρων & νησιών Σαρωνικού), Κορινθίας, Ηλείας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Φωκίδας, Βοιωτίας, Ευβοίας, Μαγνησίας, Λέσβου, Χίου, Κέρκυρας, Λευκάδας, Θεσπρωτίας, Πρέβεζας, Άρτας.
ΖΩΝΗ Γ	Αρκαδίας (ορεινή), Ευρυτανίας, Ιωαννίνων, Λάρισας, Καρδίτσας, Τρικάλων, Πιερίας, Ημαθίας, Πέλλας, Θεσσαλονίκης, Κιλκίς, Χαλκιδικής, Σερρών (εκτός ΒΑ τμήματος), Καβάλας, Ξάνθης, Ροδόπης, Έβρου.
ΖΩΝΗ Δ	Γρεβενών, Κοζάνης, Καστοριάς, Φλώρινας, Σερρών (ΒΑ τμήμα), Δράμας.

Η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων προσδιορίζεται με βάση τη συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Για την μεθοδολογία υπολογισμού θα πρέπει να περιλαμβάνονται τα παρακάτω στοιχεία:

- την πραγματική κύρια χρήση του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας, τις επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία, υγρασία, αερισμό), τα χαρακτηριστικά λειτουργίας καθώς και τον αριθμό των χρηστών,
- τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτιρίου ή της κτιριακής μονάδας (θερμοκρασία, σχετική και απόλυτη υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία),
- τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (μορφή του κτιρίου, διαφανείς και μη επιφάνειες, σκίαστρα κ.ά.), σε σχέση με τον προσανατολισμό και τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών δομικών στοιχείων (χωρίσματα κ.ά.),
- τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτιριακού κελύφους (θερμοπερατότητα, θερμική μάζα, απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας, διαπερατότητα κ.ά.),
- τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Η/Μ συστημάτων για ΘΨΚ και ΖΝΧ (τύπος συστημάτων, δίκτυο διανομής, απόδοση συστημάτων κ.α.),
- τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης γενικού φωτισμού (στα κτίρια τριτογενή τομέα),
- τα τεχνικά χαρακτηριστικά των διατάξεων αυτομάτου ελέγχου και ρύθμισης λειτουργίας των Η/Μ συστημάτων,
- το μηχανικό και φυσικό αερισμό, που περιλαμβάνει και την αεροστεγανότητα,
- τα παθητικά και υβριδικά ηλιακά συστήματα και την ηλιακή προστασία,
- την παθητική θέρμανση και δροσισμό,
- τις κλιματικές συνθήκες εσωτερικού χώρου, λαμβάνοντας υπόψη και τις συνθήκες σχεδιασμού εσωτερικού κλίματος,
- τα εσωτερικά φορτία.

Επίσης, στους υπολογισμούς ενεργειακής απόδοσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η θετική επίδραση των κατωτέρω παραγόντων:

- των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων και άλλων συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, ΖΝΧ και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασιζόμενων σε ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ),
- τις ωφέλιμη θερμική και ηλεκτρική ενέργεια παραγόμενης με συμπαραγωγή (ΣΗΘ) και των συστημάτων τηλεθέρμανσης και τηλεψύξης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου, του φυσικού φωτισμού.

Για κάθε μελέτη υπάρχουν και κάποιες βασικές κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα κτίρια βάσει της κύριας χρήσης της, σύμφωνα με τον κτιριοδομικό κανονισμό προκειμένου να πιστοποιηθεί η ενεργειακή του απόδοση οι οποίες αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 7 Ταξινόμηση των κτιρίων σύμφωνα με τη χρήση τις για τις ανάγκες τις παρούσας τεχνικής οδηγίας

Βασικές κατηγορίες κτιρίων	Χρήσεις κτιρίων που περιλαμβάνονται σε κατηγορίες
Κατοικίας	Μονοκατοικία, πολυκατοικία (κτίριο με περισσότερα του ενός ανεξάρτητα διαμερίσματα)
Προσωρινής διαμονής	Ξενοδοχείο, ξενώνας, οικότροφείο και κοιτώνας.
Συνάθροισης κοινού	Χώρος συνεδρίων, χώρος εκθέσεων, μουσείο, χώρος συναυλιών, θέατρο, κινηματογράφος, αίθουσα δικαστηρίων, κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο, εστιατόριο, ζαχαροπλαστείο, καφενείο, τράπεζα, αίθουσα πολλαπλών χρήσεων.
Εκπαίδευσης	Νηπιαγωγείο, πρωτοβάθμια, δευτεροβάθμια, τριτοβάθμια εκπαίδευση, αίθουσα διδασκαλίας, φροντιστήριο.
Υγείας και κοινωνικής πρόνοιας	Νοσοκομείο, κλινική, αγροτικό ιατρείο, υγειονομικός σταθμός, κέντρο υγείας, ιατρείο, ψυχιατρείο, ίδρυμα ατόμων με ειδικές ανάγκες, ίδρυμα χρονίως πασχόντων, οίκος ευγηρίας, βρεφοκομείο, βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός
Σωφρονισμού	Κρατητήριο, αναμορφωτήριο, φυλακή.
Εμπορίου	Κατάστημα, εμπορικό κέντρο, αγοράς και υπεραγοράς, φαρμακείο, κουρείο και κομμωτήριο, ινστιτούτο γυμναστικής.
Γραφείων	Γραφείο, βιβλιοθήκη.

Φυσικά υπάρχουν και κατηγορίες κτιρίων οι οποίες εξαιρούνται από το πεδίο εφαρμογής του Κ.Ε.Α.Κ. όπως τα βιομηχανικά κτίρια, μνημεία, χώροι λατρείας κ.ά., αλλά και κτίρια που έχουν πολλές χρήσεις.

Τα βασικά τμήματα μιας κατασκευής κατοικίας είναι τα ακόλουθα:

- Ο φέρων οργανισμός (σκελετός σπιτιού),

- Η τοιχοποιία (εσωτερική και εξωτερική),
- Τα ανοίγματα (πόρτες – παράθυρα) και η οροφή – σκεπή.

Τα υλικά από τα οποία αποτελούνται, έχουν ένα τεράστιο εύρος χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων το οποίο συνεχώς τροποποιείται με βάση την εξέλιξη των υλικών και τις ανάγκες της βιομηχανίας για τη συνεχή βελτίωσή της.

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας – thermal conductivity λ (W/Mk) ορίζει την ποσότητα της ροής θερμότητας, που διέρχεται από τη μονάδα επιφάνειας τις υλικού, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο απέναντι επιφανειών του είναι ίση με τη μονάδα. Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (λ) τόσο καλύτερη θερμομόνωση έχει το υλικό (TOTTE 2017).

Πίνακας 8 Τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας

Δομικά υλικά	Πυκνότητα ρ (kg/cm ³)	Θερμική Αγωγιμότητα (λ) (W/m*K)
Κωνοφόρα (πεύκο, έλατο κ.τ.λ.)	600	0,140
Οξιά	800	0,170
Δρυς (βελανιδιά)	800	0,210
Μοριοσανίδες	900	0,180
Σκληρές πλάκες ινώδους ξύλου (ινοσανίδες, MDF)	800	0,180
Αντικολλητά φύλλα ξυλείας (κόντρα πλακέ)	1000	0,240
Γυαλί, υαλοπίνακας	2500	1,00
Σκυρόδεμα άοπλο ή ελαφρός οπλισμένο μέσης πυκνότητας	1800	1,150
Σκυρόδεμα άοπλο ή ελαφρός οπλισμένο υψηλής πυκνότητας	2400	2,000
Οπλισμένο σκυρόδεμα (1% σίδηρος)	2300	2,300
Οπλισμένο σκυρόδεμα ($\geq 2\%$ σίδηρος)	2400	2,500

Χυτοσίδηρος	7500	50,00
Αλουμίνιο, κράμα αλουμινίου	2800	160,00

Κατά συνέπεια, ο παραπάνω πίνακας δείχνει ότι το ξύλο είναι πιο μονωτικό σαν υλικό από (Σκαρβέλης, 2015) :

- Το γυαλί: ≈ 7 φορές
- Το ελαφρύ σκυρόδεμα: $\approx 7,5$ φορές
- Το χάλυβα: ≈ 570 φορές
- Το αλουμίνιο: ≈ 1700 φορές

Η θερμοχωρητικότητα ενός δομικού στοιχείου επηρεάζεται από τη μάζα του. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας. Στόχος είναι η αποθηκευμένη ποσότητα θερμότητας να μπορεί να επαναποδοθεί στο εσωτερικό περιβάλλον του κτιρίου, όταν η θερμοκρασία του χώρου πέφτει σε χαμηλότερα επίπεδα από τη θερμοκρασία της μάζας του.

Ο περιορισμός στο ελάχιστο δυνατό της ανταλλαγής της θερμότητας μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού περιβάλλοντος με την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας επιτυγχάνεται ουσιαστικά με την θερμομονωτική προστασία των δομικών στοιχείων.

Η απαίτηση για τη θερμομονωτική προστασία των κτιριακών κατασκευών που επιβάλλει ο Κ.Εν.Α.Κ. συμβάλλει σε αυτή τη κατεύθυνση, αξιολογώντας την επάρκεια της θερμομονωτικής προστασίας του κτιρίου διττώς:

- με τον έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας των επί μέρους δομικών στοιχείων,
- με τον έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας του κτιριακού κελύφους στο σύνολό του.

Οι θερμικές απώλειες μέσω ενός δομικού στοιχείου ορίζονται από το συντελεστή θερμοπερατότητας (U – Value), που δίνει την ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου σε σταθερό θερμοκρασιακό πεδίο μέσω της μοναδιαίας επιφάνειας του δομικού στοιχείου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας του αέρα στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου ισούται με τη μονάδα (TOTEE, 2010).

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου ορίζεται από τη σχέση :

$$U = \frac{1}{R}$$

Όπου:

U Συντελεστής θερμοπερατότητας ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$).

R Συντελεστής θερμικής αντίστασης ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$)

Καθώς ο συντελεστής θερμοπερατότητας εξαρτάται από τα πάχη των στρώσεων του δομικού στοιχείου και από τη συναγωγή που παρουσιάζει με τα στρώματα αέρα εκατέρωθεν των όψεων του, αύξηση ή μείωση του πάχους μιας στρώσης του υλικού επηρεάζει το συντελεστή θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου (ΤΟΤΕΕ, 2017).

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του CLT που θα δούμε στη πορεία n στρώσεων ορίζεται από τον τύπο:

$$U = \frac{1}{R_i + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_j} + R_\delta + R_a} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$$

όπου:

U [$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,

n [-] το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,

d [m] το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου,

λ [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$] ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της κάθε στρώσης,

R_δ [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$] η θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος,

R_i [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,

R_a [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.

Πίνακας 9 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ανέγερσης νέου κτιρίου

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α`	Ζώνη Β`	Ζώνη Γ`	Ζώνη Δ`
Εξωτερική οριζόντια ή επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,55	0,45	0,40	0,35
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,45	0,40	0,35	0,30
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,10	0,80	0,65	0,60
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,30	0,90	0,70	0,65
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,10	0,80	0,65	0,60
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,80	2,60	2,40	2,20
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,10	1,90	1,75	1,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,00	4,60	4,30	4,00
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	3,80	3,40	3,00	2,80

Πίνακας 10 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές του συντελεστή θερμοπερατότητας των επί μέρους δομικών στοιχείων ανά κλιματική ζώνη σε περίπτωση ριζικής ανακαίνισης υφιστάμενου κτιρίου

Δομικό στοιχείο	Μέγιστος επιτρεπόμενος συντελεστής θερμοπερατότητας U [W/(m ² ·K)]			
	Ζώνη Α`	Ζώνη Β`	Ζώνη Γ`	Ζώνη Δ`
Εξωτερική οριζόντια ή επιφάνεια σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (οροφή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Εξωτερικός τοίχος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	0,60	0,50	0,45	0,40
Δάπεδο σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα (πιλοτή)	0,50	0,45	0,40	0,35
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με κλειστό μη θερμαινόμενο χώρο	1,20	0,90	0,75	0,70
Οριζόντια ή κεκλιμένη οροφή σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Τοίχος σε επαφή με το έδαφος	1,50	1,00	0,80	0,70
Δάπεδο σε επαφή με το έδαφος	1,20	0,90	0,75	0,70
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	3,20	3,00	2,80	2,60
Γυάλινη πρόσοψη κτηρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με τον εξωτερικό αέρα	2,20	2,00	1,80	1,80
Κούφωμα ανοίγματος σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,70	5,20	4,80	4,40
Κούφωμα ανοίγματος χωρίς υαλοπίνακα σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	5,70	5,20	4,80	4,40
Γυάλινη πρόσοψη κτιρίου μη ανοιγόμενη ή μερικώς ανοιγόμενη σε επαφή με μη θερμαινόμενο χώρο	4,00	3,60	3,10	2,90

Συμπερασματικά, το ξύλο συγκρατεί στο εσωτερικό του μεγάλα ποσά ενέργειας, σε σύγκριση με άλλα υλικά, ίδιας μάζας, στις ίδιες συνθήκες. Έχει μεγαλύτερη

ενθαλπία και αυτό σημαίνει ότι σε μεταβολές της θερμοκρασίας προς τα κάτω, το ξύλο «αργεί να κρυώσει» (Σκαρβέλης, 2015).

4. ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΣΥΝΘΕΤΗ ΞΥΛΕΙΑ

ΓΕΝΙΚΑ

Στα κτίρια καταναλώνεται το 40% τις παγκόσμιας συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης και το 75% τις ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς στα κτίρια απονέμεται η ευθύνη για το 50% περίπου της εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα (CO₂). Η ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος απέναντι στην ραγδαία κλιματική αλλαγή έχει οδηγήσει στην αναθεώρηση του τρόπου κατασκευής των κτιρίων. Υπολογίζεται ότι με την χρήση του ξύλου σαν δομικό υλικό στα κτίρια, μπορεί να μειώσει έως και 90% τις εκπομπές CO₂ (TOTEE 2017).

Για αυτό το λόγο, τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί κάποιες καινούριες μέθοδοι δόμησης με βάση το ξύλο ή το συνδυασμό του με άλλα υλικά, όπου το καθιστούν ως ασυναγώνιστο υλικό καθώς πρόκειται για προϊόντα μεγάλης αντοχής και σε συνδυασμό με το χαμηλό του βάρος, τη φυσική υψηλή θερμομονωτική ικανότητα και την πυραντίσταση που διαθέτει σαν υλικό σε μεγάλες διατομές (δηλαδή επειδή καίγεται από έξω προς τα μέσα με αργό ρυθμό, σε θερμοκρασία πυρκαγιάς 300°C και πάνω το εσωτερικό μιας καιγόμενης ξύλινης δοκού έχει θερμοκρασία 20-30°C. Είναι το πλέον κατάλληλο για οποιαδήποτε δομική κατασκευή όπως κατοικίες, κτίρια, αθλητικές εγκαταστάσεις γέφυρες κτλ.

Αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη νέων συστημάτων δόμησης, με χρήση και άλλων υλικών πέραν της συμπαγούς ξυλείας. Στα νέα τεχνολογικά συστήματα δόμησης ανήκουν:

- η επικολλητή ξυλεία glulam (glued laminated timber),
- η ξυλεία επικολλημένων φύλλων LVL (laminated venner lumber),
- η σταυρωτή επικολλητή ξυλεία CLT (cross laminated timber) όπου θα αναλυθεί παρακάτω σε ξεχωριστό κεφάλαιο,
- συνδυασμός αυτών με σκυρόδεμα και χάλυβα (υβριδικές κατασκευές).

ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΗ – ΣΥΝΘΕΤΗ ΞΥΛΕΙΑ GLULAM

Η επικολλητή ή σύνθετη ξυλεία Glulam (Laminated wood ή Glued laminated timber) παράγεται με τη συγκόλληση δυο τουλάχιστον ή περισσότερων στρώσεων ξύλου με τις ίνες παράλληλες μεταξύ τους σε ευθύγραμμο ή καμπύλο στοιχεία.

Χρήση συγκολλημένων κατασκευών γινόταν για αιώνες, ωστόσο η ανακάλυψη της επικολλητής ξυλείας εμφανίστηκε από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα από τον Γερμανό Otto Hetzer. Το 1906 γίνεται η ανακάλυψη της καμπυλωμένης επικολλητής ξυλείας (curved glulam) η οποία αποτελείται από συγκολλημένα πριστά τοποθετημένα με συγκεκριμένο τρόπο τα οποία αναλόγως τη σχεδίαση του προϊόντος, καμπυλώνονται εφαρμόζοντας πίεση με τα κατάλληλα εργαλεία.

Μέχρι το 1960 η παραγωγή ήταν μικρή αλλά από κει και μετά άρχισε να αυξάνεται λόγω της ραγδαίας τεχνολογικής ανάπτυξης των συγκολλητικών ουσιών (adhesives) αλλά και την βελτίωση των μηχανών παραγωγής.



Εικόνα 16 Επικολλητή ξυλεία ορθογωνικής και τετραγωνικής διατομής

Στις μέρες μας αυτός ο τρόπος παραγωγής υλικών από ξυλεία σε συνδυασμό με καινοτόμες και υπερσύγχρονες τεχνολογίες κόλλας κάνουν το επικολλητό ξύλο ένα δομικό υλικό υψηλής ποιότητας και αξίας με μοναδικά χαρακτηριστικά.

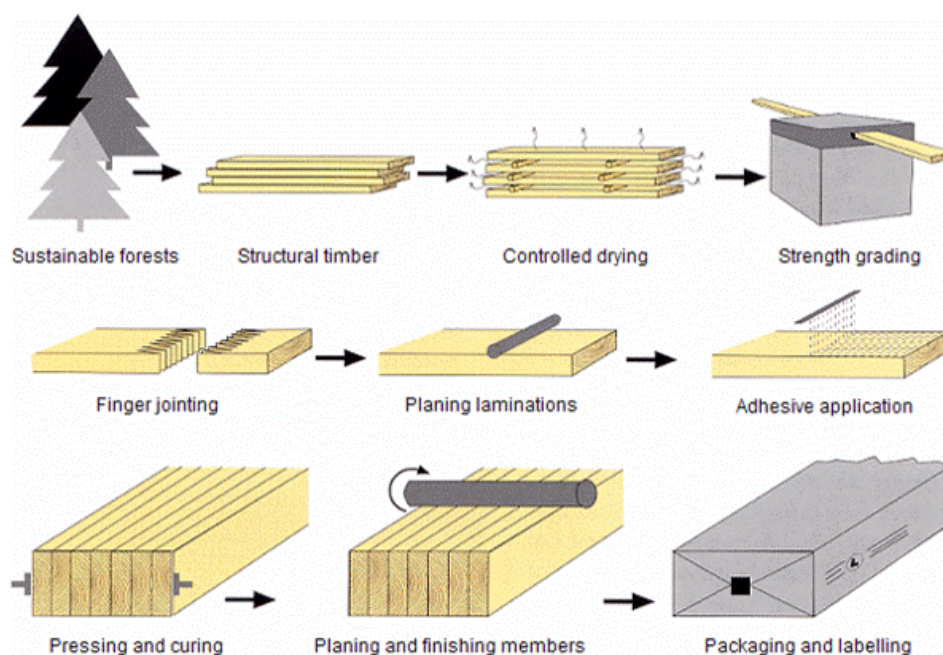
Σε σύγκριση με την απλή δομική ξυλεία, η επικολλητή επιτυγχάνει (Τσουμής, 2009):

1. Παραγωγή διαφόρων μεγεθών και σχημάτων γεγονός που δίνει μεγάλες δυνατότητες στην αρχιτεκτονική σχεδίαση.
2. Υπάρχει περιορισμός σπάταλης του ξύλου καθώς χρησιμοποιούνται ξυλοτεμάχια μικρών διαστάσεων.
3. Βελτιωμένη μηχανική αντοχή καθώς για κάθε κατασκευή μπορεί να γίνει επικόλληση του κατάλληλου είδους και είναι ευκολότερη η ξήρανση κάθε επιπέδου για την αποφυγή παρουσίας ελαττωμάτων στο μέλλον.
4. Βελτιωμένη διάρκεια γιατί υπάρχει δυνατότητα καλύτερου εμποτισμού κάθε στρώσης για προστασία από προσβολές μυκήτων ή εντομών.

5. Φέροντα στοιχεία μεγάλου πάχους παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στη φωτιά.

Η τεχνολογία παραγωγής των προϊόντων επικολλητής ξυλείας είναι σχεδόν ίδια , ανεξαρτήτως χώρας και κατασκευαστή. Έτσι τα στάδια παραγωγής είναι :

- Δάσος
- Πριστή-Δομική ξυλεία
- Ξήρανση
- Ποιοτική διαλογή
- Σύνδεση κατά μήκος πριστών (jointing) με συγκόλληση
- Πλάνιση
- Εφαρμογή συγκολλητικής ουσίας
- Κατά πάχος συγκόλληση – Πρεσάρισμα
- Τελικό πλάνισμα και ξεμάκρισμα
- Συσκευασία



Εικόνα 17 Διάγραμμα σταδίων παραγωγής επικολλητής ξυλείας

Η ξυλεία που θα χρησιμοποιηθεί, θεωρητικά μπορεί να προέρχεται από οποιοδήποτε είδος πλατύφυλλου ή κωνοφόρου ξύλου. Πρακτικά όμως, λόγω των δυσκολιών που παρουσιάζουν τα πλατύφυλλα (hardwoods) στην κόλληση μεταξύ τους, τα κυριότερα είδη ξύλου που χρησιμοποιούνται είναι τα κωνοφόρα (softwoods) και ειδικότερα η ελάτη και η λάρικα. Σε περιπτώσεις που οι περιβαλλοντικές συνθήκες χαρακτηρίζονται από αυξημένα ποσοστά υγρασίας τότε η εμποτισμένη Πεύκη είναι κυρίαρχη.

Τα κομμάτια των πριστών που χρησιμοποιούνται έχουν πάχος που κυμαίνεται από 40-50mm και μήκος από 1,5-5m. Σε περίπτωση όμως που θέλουμε καμπυλωμένη επικολλητή ξυλεία τότε το πάχος των μελών – πριστών πρέπει να είναι από 20-30mm.

Ξήρανση: Πέρα από το μέγεθος, ένας απ' τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα των επικολλητών είναι η υγρασία του κάθε πριστού που αποτελεί την επικολλητή δοκό με συνέπεια να επηρεάζονται αρνητικά οι μηχανικές ιδιότητες του ξύλου, πράγμα σημαντικότερο για τις δομικές κατασκευές.

Η ξήρανση στα πριστά κομμάτια γίνεται ομοιόμορφα αποκτώντας υγρασία μεταξύ 8-15% αναλόγως τις εξωτερικές συνθήκες. Η τυπική απόκλιση των τιμών της υγρασίας ανάμεσα στα πριστά δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 5%. Για παράδειγμα αν θέλουμε υγρασία επικολλητού 15% τότε όλα τα κομμάτια που το αποτελούν θα πρέπει να έχουν υγρασία από 14,25%-15,75%.



Εικόνα 18 Κατασκευή βιομηχανικού κτιρίου από επικολλητή ξυλεία



Εικόνα 19 Αθλητικός χώρος από επικολλητή ξυλεία

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 5 τα μέλη από συγκολλητή ξυλεία πρέπει να συμμορφώνονται με το EN 14080. Στο EN 1194 (κατάταξη σε κλάσεις αντοχής), δίδονται οι τιμές αντοχών και δυσκαμψιών για τη συγκολλητή ξυλεία και μπορεί να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή του μεγέθους του μέλους στην αντοχή.

Χαρακτηρίζεται με το γράμμα GL ακολουθούμενο από την αντοχή σε κάμψη π.χ. GL28. Διακρίνεται σε 2 υποκατηγορίες :

- Την ομοιογενή επικολλητή ξυλεία για την παραγωγή τις οποίας χρησιμοποιούνται τις κατηγορίας αντοχής στρώσεις από σανίδες ξύλου σε

όλο το ύψος τις διατομής. Συμβολίζεται με το γράμμα h (homogenous), μετά την τιμή της αντοχής σε κάμψη (π.χ. GL28h).

Πίνακας 11 Κατηγορίες αντοχών για επικολλητή ξυλεία (ΕΛΟΤ, EN 1194)

Αντοχές (N/mm ²)	Σύμβολο	GL24h	GL28h	GL32h	GL36h	GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
		Ομοιογενής επικολλητή ξυλεία				Ανομοιογενής επικ/τις ξυλεία			
Κάμψη	F _{m,k}	24	28	32	36	24	28	32	36
Εφελκυσμός παράλληλα	F _{t,0,k}	16.5	19.5	22.5	26	14	16.5	19.5	22.5
Εφελκυσμός κάθετα	F _{t,90,k}	0.4	0.45	0.5	0.6	0.35	0.4	0.45	0.5
Θλίψη παράλληλα	F _{c,0,k}	24	26.5	29	31	21	24	26.5	29
Θλίψη κάθετα	F _{c,90,k}	2.7	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7
Σχίσση	F _{v,k}	2,7	3,0	3,8	4,3	2,2	2,7	3,0	3,3
Τιμές μέτρου ακαμψίας (kNmm ²)									
M.M ελαστικότητας παράλληλα	E _{0,μέση}	11,6	12,6	13,7	14,7	11,6	12,6	13,7	14,7
5% μέτρο ελαστικότητας παράλληλα	E _{0,05}	9,4	10,2	11,1	11,9	9,4	10,2	11,1	11,9
M.M ελαστικότητας κάθετα	E _{90,μέση}	0,39	0,42	0,49	0,32	0,32	0,39	0,420	0,46
M. M σχίσσης	G _{μέση}	0,72	0,78	0,91	0,59	0,59	0,72	0,78	0,85
Πυκνότητα (kg/m ³)									
πυκνότητα	ρ _k	380	410	450	395	350	380	410	430
Μέση πυκνότητα	ρ _{μέση}	420	450	495	350	395	430	460	485

Παρατηρήσεις – οι παραπάνω τιμές αναφέρονται σε ξυλεία ξηραμένη σε περιβάλλον με υγρασία ισορροπίας 20 °C και σχετική υγρασία 65%

- Την ανομοιογενή επικολλητή ξυλεία η οποία έχει προκύψει από τον συνδυασμό στρώσεων σανίδων ξύλου διαφορετικών αντοχών, για την καλύτερη αξιοποίηση του υλικού. Οι μεγαλύτερης αντοχής στρώσεις τοποθετούνται στο άνω και κάτω άκρο της διατομής όπου αναπτύσσονται και οι μεγαλύτερες καμπτικές τάσεις μειώνοντας το κόστος του υλικού εφ' όσον βέβαια θα χρησιμοποιηθούν για κύρια καμπτόμενα στοιχεία. Συμβολίζεται με το γράμμα c (combined), μετά την τιμή της αντοχής σε κάμψη (π.χ. GL28c).

ΣΥΝΘΕΤΗ ΞΥΛΕΙΑ ΕΠΙΚΟΛΛΗΜΕΝΩΝ ΦΥΛΛΩΝ LVL

Η ξυλεία με επικολλημένα ξυλόφυλλα LVL (laminated venner lumber), είναι ένα από τα χρησιμοποιούμενα προϊόντα μηχανικής ξυλείας για κατασκευαστικές εφαρμογές. Είναι ένα σύνθετο προϊόν που κατασκευάζεται από πολλαπλές λεπτές στρώσεις ξυλόφυλλων που ευθυγραμμίζονται με το μήκος της τελικής ξυλείας, επομένως έχουν παρόμοιες ιδιότητες με αυτές της συμπαγούς ξυλείας. Η παραγωγή του LVL ξεκίνησε το 1941 όπου χρησιμοποιήθηκε για εξαρτήματα αεροσκαφών και κατασκευάστηκε από καπλαμά της Sitka spruce πάχους 3,6 mm. Η ψευδοτσούγκα (*Pseudotsuga menziessii*) είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη πρώτη ύλη για την κατασκευή LVL αλλά δοκιμάζονται και άλλα είδη.

Τα φύλλα καπλαμά μπορεί να είναι πάχους 2,5mm έως 12mm όμως το τυπικό πάχος είναι 3,2mm και το πλάτος συνήθως ίδιο με τα πάχη της πριστής ξυλείας που υπάρχει στο εμπόριο (20-75mm) με μέγιστο τα 1,2m, ενώ τα μήκη του μπορεί να φτάσουν και τα 25m με πιο σύνθητες τα 12m. Τα φύλλα καπλαμά κόβονται σε ένα ορισμένο πλάτος και ξηραίνονται μέχρι την επιθυμητή περιεκτικότητα σε υγρασία. Για ταχεία ξήρανση διοχετεύεται ζεστός αέρας κάθετα στην επιφάνεια των φύλλων καπλαμά (jet drying) και η υγρασία απομακρύνεται, μειώνοντας τη συνολική περιεκτικότητα σε υγρασία του καπλαμά. Συνήθως ο καπλαμάς πάχους 3 mm μπορεί να χρειαστεί 10-13 min για να μειωθεί η περιεκτικότητά του σε υγρασία στο 8 έως 10%.

Τα ελαττώματα σε κάθε καπλαμά εξαλείφονται κατά τη διαδικασία κοπής. Ακόμα κι αν παραμείνουν ελαττώματα σε κάθε φύλλο καπλαμά, η τυχαία κατανομή τέτοιων ελαττωμάτων κατά τη συναρμολόγηση του καπλαμά θα κάνει τα τελικά προϊόντα πιο ομοιόμορφα και πιο ανθεκτικές ιδιότητες συγκρίσιμες με εκείνες της ξυλείας υψηλής ποιότητας. Η συγκολλητική ουσία που χρησιμοποιείται είναι συνήθως φαινόλη-

φορμαλδεΐδη, και τα φύλλα συμπιέζονται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 120 – 230 °C.

Χρήσεις:

- με κόντρα πλακέ ξυλεία ή OSB σαν δοκός τύπου I,
- στοιχεία ζευκτών,
- σαν πάνελ τοιχωμάτων ακαμψίας,
- καταστρώματα οχημάτων,
- ειδικά κατασκευασμένα πάνελ για θαλάσσιες τις κ.ά.

Πλεονεκτήματα

Τα κύρια πλεονεκτήματα του LVL περιλαμβάνουν τη διάσταση, το σχήμα, τις ιδιότητες υψηλής αντοχής. Το LVL είναι ένα από τα ισχυρότερα δομικά υλικά με βάση το ξύλο σε σχέση με την πυκνότητά του. Επειδή κατασκευάζεται με ομοιογενή ποιότητα που έχει ελάχιστο αριθμό ελαττωμάτων ή ακόμη και κατανομή ελαττωμάτων, μπορούν να προβλεφθούν οι μηχανικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Γενικά, το LVL μπορεί να παραχθεί σε διαφορετικά σχήματα ανάλογα με το τι θα χρησιμοποιηθεί.

Μειονεκτήματα

Αντίθετα, το LVL έχει αρκετά μειονεκτήματα ως σύνθετο υλικό ξύλου. Αν και η σταθερότητα των διαστάσεων του είναι καλύτερη από το μασίφ ξύλο, το προϊόν μπορεί να προκαλέσει κάποιο ελάττωμα, όπως παραμόρφωση, εάν δεν αποθηκευτεί σωστά στην αποθήκη. Γενικά, το LVL απαιτεί υψηλές επενδύσεις κεφαλαίου για να έχει σχετικά χαμηλό κόστος παραγωγής.

Πίνακας 12 Επιτρεπόμενες τάσεις για LVL κατασκευής κτιρίων

Είδος τάσεως	Επιτρεπόμενη αντοχή (Lb/in ²)
Αντοχή σε κάμψη παράλληλα προς ίνες	2.200 – 4.200
Αντοχή σε εφελκυσμό παράλληλα προς ίνες	1.600 – 2.800
Ανοχή σε θλίψη παράλληλα προς ίνες	2.400 – 3.200
Αντοχή σε θλίψη κάθετα στις ίνες και κάθετα στη γραμμή συγκόλλησης	400 – 600
Αντοχή σε θλίψη κάθετα στις ίνες και παράλληλα στη γραμμή συγκόλλησης	400 – 800
Αντοχή σε οριζόντια σχίση παράλληλα στη γραμμή συγκόλλησης	100 – 200

Αντοχή σε οριζόντια σχίσση κάθετα στη γραμμή συγκόλλησης	200 – 300
Όριο ελαστικότητας	$1.8 \times 10^6 - 2.8 \times 10^6$

Τα δομικά μέλη από ξυλεία συγκολλημένων φύλλων (LVL) πρέπει να συμμορφώνονται με το EN 14374 και EN 14279. Για ορθογωνικής διατομής ξυλεία συγκολλημένων φύλλων (LVL) με τις ίνες σε όλα τα φύλλα προσανατολισμένες κυρίως σε μία διεύθυνση, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή του μεγέθους του μέλους στην καμπτική και την εφελκυστική αντοχή. Για ξυλεία συγκολλημένων φύλλων (LVL) με τις ίνες σε όλα τα φύλλα προσανατολισμένες κυρίως σε μία διεύθυνση, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επιρροή του μεγέθους του μέλους στην εφελκυστική αντοχή καθέτως προς τις ίνες.



Εικόνα 20 Δοκοί από LVL



Εικόνα 21 Βιομηχανικό κτίριο από LVL

ΥΒΡΙΔΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Υβριδικές κατασκευές ονομάζονται αυτές όπου για την ολοκλήρωσή τους απαιτείται ο συνδυασμός υλικών για καλύτερα αποτελέσματα πυρασφάλειας και θερμομόνωσης αλλά και για μειωμένο ενεργειακό κόστος, όταν πάντα ο κατάλληλος σχεδιασμός της εκάστοτε κατασκευής το επιτρέπει. Είναι σαφές ότι στις υβριδικές κατασκευές χρησιμοποιούνται όλα τα σύγχρονα σύνθετα προϊόντα από ξύλο (LVL, CLT, GLT).

Ακολουθεί βίντεο στον παρακάτω σύνδεσμο σχετικό με τη δοκιμή σε σεισμική τράπεζα στο υψηλότερο κτίριο μέχρι σήμερα που υλοποιήθηκε στο Σαν Ντιέγκο από διάφορα πανεπιστήμια σε 10όροφο κτίριο κατασκευασμένο από ξύλο (mass timber), προσομοιώνοντας τον σεισμό με αυτόν στη Ταιβάν στο 1999 και τον σεισμό τις Καλιφόρνιας το 1994 με τα αποτελέσματα να είναι πολύ καλύτερα από τα προσδοκώμενα.

<https://www.youtube.com/watch?v=5Di3d-Bxgri>



Εικόνα 22 Επιτραπέζια σεισμική δοκιμή στο Σαν Ντιέγκο

Για τα υβριδικά δάπεδα, εδώ και πολλά χρόνια χρησιμοποιούνται πλάκες σκυροδέματος οι οποίες παραλαμβάνουν τις θλιπτικές τάσεις σε συνδυασμό με το ξύλο όπου παραλαμβάνει τις εφελκυστικές τάσεις. Το μόνο αρνητικό σε αυτόν τον συνδυασμό είναι ότι δεν μπορεί να αποσυναρμολογηθεί και με αυτόν τον τρόπο δεν συμβάλλει στην αειφορική λειτουργία του κτιρίου.



Εικόνα 23 Υβριδικό κτίριο

Αντίθετα ο συνδυασμός ξύλινων πετασμάτων με χάλυβα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί καθώς η διάνοξη των οπών για την επάκτωση των ξύλινων πετασμάτων δεν μειώνει την αντοχή του χάλυβα.

Σαν φέρων οργανισμός από την άλλη, σε μεγάλα κτίρια τύπου εμπορικά κέντρα συνήθως συναντάται περισσότερο το σκυρόδεμα και χάλυβας, ενώ το ξύλο λειτουργεί σαν επένδυση στις όψεις του κτιρίου αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις όπου οι κύριες δοκοί είναι από χάλυβα και επί αυτών στηρίζονται ξύλινες δοκοί. Ο συνδυασμός ξύλου – χάλυβα είναι μια αρκετά ασφαλής λύση καθώς με τον τρόπο που χρησιμοποιούνται, το ξύλο παραλαμβάνει τις θλιπτικές τάσεις ενώ ο χάλυβας τις εφελκυστικές τάσεις.

Αντίθετα, σε βιομηχανικά κτίρια συναντάται σκυρόδεμα σαν δάπεδο, πλαίσια από χάλυβα στα οποία πακτώνονται ξύλινα δοκάρια με ξύλινη επένδυση.



Εικόνα 24 Υβριδικό κτίριο

5. ΔΙΑΣΤΑΥΡΟΥΜΕΝΗ ΕΠΙΚΟΛΛΗΤΗ ΞΥΛΕΙΑ CLT

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ CLT

Σε αρκετές αναπτυγμένες χώρες ένα από τα πιο σύγχρονα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται είναι η Διασταυρούμενη Επικολλητή Ξυλεία CLT (Cross Laminated Timber), που προέκυψε για την αξιοποίηση ποσότητας υπολειμμάτων κατεργασίας ξύλου των πριστηρίων. Για πρώτη φορά τα CLT, που έγιναν γνωστά ως κατασκευαστική τεχνική, αξιοποιήθηκαν σε οικοδομικές κατασκευές στην Ελβετία (1993), στη Γερμανία (1995) και στην Αυστρία (1998), όπου και κατασκευάστηκε το πρώτο πολυώροφο κτίριο.

Πρόκειται για ένα αειφορικό τρόπο προκατασκευασμένης δόμησης, ο οποίος ολοένα και περισσότερο κερδίζει έδαφος την τελευταία δεκαετία ιδιαίτερα στην βόρεια Ευρώπη, την Αμερική και την Αυστραλία έναντι των δομικών κατασκευών από σκυρόδεμα και χάλυβα, με τα οποία όμως συνδυάζεται άριστα στις υβριδικές κατασκευές δημιουργώντας εντυπωσιακές κατασκευές.

Ο Καναδάς εισήγαγε πρώτος το CLT στη Βόρεια Αμερική και η Αμερικανική Εθνική Ένωση Προτύπων ενέκρινε τα πρότυπα ANSI/APAPRG 320-2012 για την ολοκλήρωση κανόνων – προτύπων (CLT) προϊόντων που απαριθμούν τις απαιτήσεις κατασκευής και απόδοσης για την εξασφάλιση ποιότητας.

Στην Ευρώπη, το πρότυπο το οποίο αναπτύχθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης (CEN) , και αφορά τις απαιτήσεις των κατασκευών από επικολλητή ξυλεία είναι το EN 16351 (Timber structures – Cross laminated timber – Requirements, Category: 7328 Wooden constructions, execution) και το προαναφερθέν EN 338.

Τα CLT πάνελς κατασκευάζονται από επάλληλες στρώσεις συμπαγούς ξύλου οι οποίες συνδέονται μεταξύ τους με κόλλες (ρητίνες) εξωτερικής χρήσεως ικανές να διατηρηθούν ακέραιες για όλη την ζωή τις κατασκευής. Η κάθε στρώση είναι έτσι τοποθετημένη, ώστε οι ίνες της να βρίσκονται κάθετα σε σχέση με τις ίνες των γειτονικών, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτόν μια σταυρωτή δομή και επιτυγχάνοντας ιδιότητες ακαμψίας, υψηλής αντοχής σε κάμψη και αποφυγή ρικνώσεων – διογκώσεων από μεταβολές υγρασίας.



Εικόνα 25 Σχηματική παράσταση κατεύθυνσης στρώσεων

Ο αριθμός των στρώσεων ποικίλει από 3 που είναι το πιο σύνηθες αλλά συναντάται και 5,7 στρώσεις και σπανιότερα 9 στρώσεις το οποίο τις καθορίζεται από το μέγεθος της κατασκευής και το εργοστάσιο. Επίσης οι διαστάσεις του καθορίζονται από το εκάστοτε εργοστάσιο καθώς κάθε εταιρία χρησιμοποιεί δικιά της προτυποποίηση για τις διαστάσεις, τον αριθμό των στρώσεων τη μηχανική αντοχή των στοιχείων αλλά και το είδος της ξυλείας που χρησιμοποιείται.

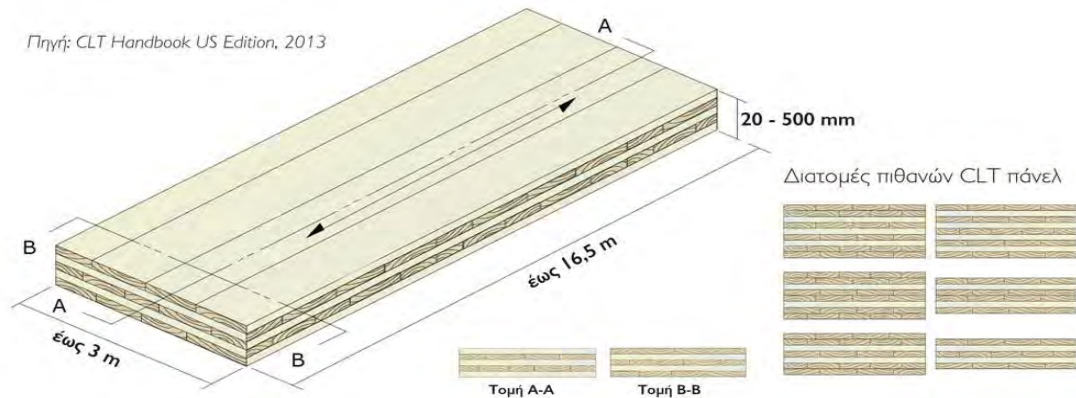


Εικόνα 26 Πάνελ CLT

Η ξυλεία που χρησιμοποιείται συνήθως είναι από κωνοφόρα, όπως η ελάτη, η ερυθρελάτη, ξυλεία πεύκης, και σπανιότερα από ξυλεία πλατύφυλλων (για μικρές κατασκευές).

Οι διαστάσεις όπως προαναφέρθηκε ποικίλουν με το πάχος κάθε στρώσης να ξεκινάει από 1,7cm έως τα 8,0cm. Το συνολικό πάχος του πάνελ κυμαίνεται από 6cm έως 50cm κατά παραγγελία. Το μήκος των πάνελ μπορεί να φτάσει και τα 32 m ενώ όσον αφορά το πλάτος, ποικίλει ανά εταιρεία, με αυτό να κυμαίνεται από 1,25 έως

4,8m αλλά σημαντικό ρόλο τις τελικές διαστάσεις των πάνελ παίζει το μέσο μεταφοράς από το εργοστάσιο στο εργοτάξιο.



Εικόνα 27 Διατομές πιθανών CLT πάνελ

Τα CLT πάνελς έχουν πολλά πλεονεκτήματα με τα βασικά τους να είναι:

- Έχουν υψηλή μηχανική αντοχή σε σχέση με το ίδιο βάρος (όπως και το συμπαγές ξύλο σαν ενιαίο υλικό).
- Καλή θερμομονωτική ικανότητα.
- Εύκολη και γρήγορη συναρμολόγηση στο εργοτάξιο καθώς τα πάνελς είναι έτοιμα με τα ανοίγματα που απαιτούνται από το εργοστάσιο (παράθυρα, πόρτες, ηλεκτρικές και υδραυλικές συνδέσεις).
- Σχεδιαστική ευελιξία.
- Ικανοποιητική αντίσταση σε κατάσταση πυρκαγιάς.
- Χρησιμοποιείται τόσο σε τοίχους όσο και σε δάπεδα και αποτελεί φέροντα οργανισμό που σημαίνει απουσία δοκαριών και κολόνων .
- Βελτιωμένη διαστασιακή σταθερότητα.
- Αντικαθιστά εξ ολοκλήρου σχεδόν όλες τις κατασκευές από σκυρόδεμα και χάλυβα.
- Δεσμεύει μεγάλες ποσότητες άνθρακα καθ' όλη την ύπαρξή του.
- Αποτελεί προϊόν προερχόμενο από ανανεώσιμη πρώτη ύλη.

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ CLT

Με βάση ερευνητικές εργασίες που διεξάγονται σε όλο τον κόσμο και τα αποτελέσματα από μια σειρά στατικών δοκιμών σε πάνελ CLT που διεξάγονται σε κανονικά και μεγάλα πάνελ τοιχοποιίας από την FPIinnovations, τα πάνελ τοιχωμάτων CLT μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αποτελεσματικό σύστημα πλευρικής

αντίστασης φορτίου. Αποτελέσματα από επιτραπέζιες σεισμικές δοκιμές μικρής και μεγάλης κλίμακας σε δύο Κτίρια CLT στην Ιαπωνία από το Ινστιτούτο Δασών και Ξυλείας της Ιταλίας (IVALSA) το 2009 κατέδειξε ότι οι δομές CLT αποδίδουν αρκετά καλά όταν υποβάλλονται σε σεισμικές δυνάμεις.

Ακολουθεί σχετικό βίντεο στον παρακάτω σύνδεσμο.

<https://www.youtube.com/watch?v=knZQfQGS-ZI>



Εικόνα 28 Επιτραπέζια σεισμική δοκιμή 7όροφου κτιρίου

Οι δοκιμές διατμητικού τοιχώματος των FPInnovations έως σήμερα έδειξαν επίσης ότι τα πάνελ τοίχων CLT επέδειξαν επαρκή σεισμική απόδοση όταν καρφιά ή λεπτές βίδες χρησιμοποιούνται με χαλύβδινα στηρίγματα για τη σύνδεση των τοιχωμάτων με τα δάπεδα.

Η χρήση στηριγμάτων με καρφιά σε κάθε άκρο των τοιχωμάτων τείνει να βελτιώνει περαιτέρω τη σεισμική απόδοση. Η χρήση συνδέσμων half-lapped (πατούρα) σε μακρύτερα τοιχώματα μπορεί να είναι μια αποτελεσματική λύση όχι μόνο για να μειωθεί η ακαμψία του τοιχώματος και έτσι να μειωθεί η σεισμικό φορτίο εισόδου, αλλά και για τη βελτίωση της ολκιμότητας του τοίχου. Καρφιά ξύλου από ξυλεία με προσαρμοσμένα στηρίγματα διαπιστώθηκε ότι ήταν οι πλέον αποτελεσματικοί σύνδεσμοι για πάνελ τοίχου CLT λόγω τις ενδεχομένως υψηλής έλξης.

Αφού η μη γραμμική συμπεριφορά (και η πιθανή ζημιά) εντοπίζεται μόνο στις περιοχές πρόσδεσης και σύνδεσης των στηριγμάτων, οι οποίες είναι τα κάθετα στοιχεία μεταφοράς φορτίου, τα πάνελς ουσιαστικά αφήνονται άθικτα στη θέση τους, ακόμα και μετά από βλάβη των συνδέσεων. Επιπλέον, όλα τα CLT τοιχώματα ενός ορόφου συμβάλλουν στην πλευρική αντίσταση και αντίσταση στη βαρύτητα,

παρέχοντας έτσι ένα βαθμό υπέρτερης προστασίας και ένα σύστημα που μοιράζεται όλη την επίδραση των δυνάμεων.

Ακόμα, έχει διεξαχθεί σε εργαστήριο κοντά στο Κόμπε της Ιαπωνίας, μια προσομοίωση ισχυρής σεισμικής δόνησης σε κτίριο 7 ορόφων, κατασκευασμένο από CLT για να διαπιστωθεί η αντοχή του. Το αποτέλεσμα ήταν να προκληθούν μικρές κλίμακας ζημιές.

ΑΝΤΟΧΗ ΣΤΗ ΦΩΤΙΑ

Τα CLT πάνελς έχουν τη δυνατότητα να παρέχουν μια πολύ καλή άμυνα στη φωτιά, συγκρίνοντάς τα πάντα με τα συνήθη αντίστοιχα μη εύφλεκτα υλικά. Αυτό οφείλεται στην εγγενή φύση της επί μέρους ξυλείας (με την εξαιρετικά χαμηλή θερμική αγωγιμότητα) και στο πάχος της κατασκευής, με αποτέλεσμα η φωτιά να δρα αργά και μάλιστα σε προβλέψιμο ρυθμό, επιτρέποντας έτσι στο ξύλο να λειτουργήσει μαζικά ως σύστημα και να διατηρήσει σημαντικά τις ιδιότητες του για αρκετή ώρα σε εκτεταμένη και διαρκή φωτιά.

Έχει ολοκληρωθεί ήδη μια σειρά πειραμάτων αντίστασης σε πυρκαγιά πλήρους κλίμακας, για να καταστεί δυνατή η σύγκριση μεταξύ της αντίστασης στη φωτιά, που μετράται κατά τη διάρκεια μιας πρότυπης δοκιμής, και στην θεωρητικά υπολογιζόμενη. Ο εκτιμώμενος ρυθμός απανθράκωσης για τα CLT πάνελ είναι 0.7 – 0.8 mm/min, ομοίως με την επικολλητή ξυλεία GLT κωνοφόρων και χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι ένα 5στρωμο πάνελ υπό θερμοκρασία 1.000 °C αναπτύσσει πυραντίσταση 3 ωρών.

Υπάρχουν 3 τρόποι για να αυξηθεί η πυραντίσταση:

- Αυξάνοντας το πάχος των πάνελς, που σημαίνει ότι υπάρχει περισσότερο κατασκευαστικό υλικό σε περίπτωση φωτιάς
- Αύξηση στον αριθμό των στρώσεων. Αυτή η μέθοδος καταφέρνει να βελτιώσει την πυραντίσταση παρέχοντας μεγαλύτερο χρόνο αναμονής στον χώρο σε περίπτωση φωτιάς, καθώς οι εξωτερικές στρώσεις παρέχουν προστασία στις εσωτερικές.
- Χρησιμοποιώντας πυράντοχα υλικά όπως την γυψοσανίδα, επένδυση αλουμινίου, ειδικές μεμβράνες κ.ά.

Ακολουθεί σχετικό βίντεο με τεστ πυραντίστασης σε CLT πάνελ που υλοποιήθηκε από το Tallwood Design Institute στο Όρεγκον στην Αμερική το 2018 :

<https://www.youtube.com/watch?v=0TXEEBb4Plm>

ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την παραγωγή του CLT είναι οι κόλλες. Υπάρχουν 3 τύποι δομικών κολλών έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στην παραγωγή CLT οι οποίοι είναι:

- Φαινολικοί τύποι όπως η φαινόλη – φορμαλδεΐδη ρεσορκινόλης (PRF).
- Ισοκυανικό πολυμερές γαλακτώματος (EPI).
- Ενός συστατικού πολυουρεθάνης (PUR).

Η κόλλα PRF είναι μια γνωστή κόλλα για τη δομική χρήση που χρησιμοποιείται συνήθως για την κατασκευή επικολλητής ξυλείας στη βόρεια Αμερική. Η κόλλα EPI χρησιμοποιείται για την ξύλινη δοκό-Ι. Η κόλλα PUR έχει χρησιμοποιηθεί συνήθως στην Ευρώπη για την παραγωγή CLT. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν καλύπτονται όλες οι διατυπώσεις σε έναν συγκολλητικό τύπο σχετικά με τις απαιτήσεις των δομικών συγκολλητικών προτύπων και μπορούν να υπάρξουν ιδιαίτερες παραλλαγές στις ιδιότητες σε κάθε συγκολλητικό τύπο. Η τεκμηρίωση που δείχνει ότι η κόλλα έχει ανταποκριθεί στα κατάλληλα πρότυπα απαιτείται για την πιστοποίηση προϊόντων CLT.

Εκτός φυσικά από το κόστος και τις ιδιότητες, κάθε συγκολλητικός τύπος κατέχει άλλες ιδιότητες που μπορούν να είναι σημαντικές. Παραδείγματος χάριν, η PRF αποδίδει ένα σκοτεινό καφετί χρώμα ενώ το EPI και PUR είναι αδιαφανείς. Η PUR κατασκευάζεται χωρίς την προσθήκη των διαλυτών ή τις φορμαλδεΐδης. Το EPI είναι επίσης απαλλαγμένο από τη φορμαλδεΐδη.



Εικόνα 29 Κτίριο από CLT

ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ CLT

Το κλειδί για μια επιτυχημένη διαδικασία κατασκευής CLT, είναι η συνέπεια στην ποιότητα της ξυλείας και στον έλεγχο των παραμέτρων που επηρεάζουν την ποιότητα της πρόσφυσης, καθώς επίσης και οι αυστηρές δοκιμές ποιοτικού ελέγχου στο εργοστάσιο.

Στάδιο 1 Αρχικά, τα τεμάχια/σανίδες ξυλείας που προορίζονται για την παραγωγή του CLT τοποθετούνται σε στοίβες και στην συνέχεια προωθούνται σε ξηραντήρια, έτσι ώστε να αποκτήσουν την κατάλληλη υγρασία που χρειάζεται, η οποία κυμαίνεται στα επίπεδα του $12\% \pm 2\%$.



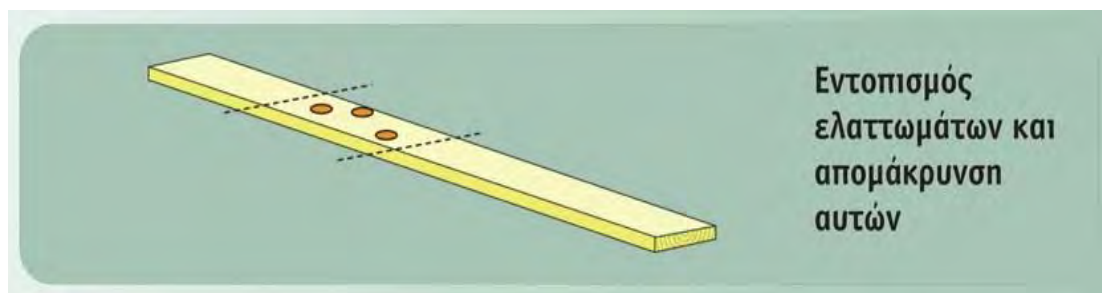
Εικόνα 30 Τοποθέτηση σε στοίβες



Εικόνα 31 Ξηραντήριο

Επίσης, γίνεται η ποιοτική ταξινόμηση της ξυλείας με βάση τη μηχανική της αντοχή. Η καλύτερη ξυλεία και χωρίς σφάλματα δομής, αξιολογείται πρόσθετα.

Στάδιο 2 Τα τεμάχια που έχουν χαμηλή αισθητική εμφάνιση και παρατηρούνται πολλά σφάλματα, στο στάδιο αυτό κόβονται στα συγκεκριμένα σημεία. Η κοπή των σανίδων και η διαμόρφωση των εγκάρσιων επιφανειών για δακτυλοειδής σύνδεση (finger-joint) χρησιμοποιείται για να επιτευχθούν τα επιθυμητά μήκη. Η δυνατότητα αυτή είναι εφικτή, αλλά δεν συνιστάται παρά μόνο για την κατά μήκος ένωση (επιμήκυνση) των επί μέρους σανίδων και πλανίζονται για το επιθυμητό πάχος.

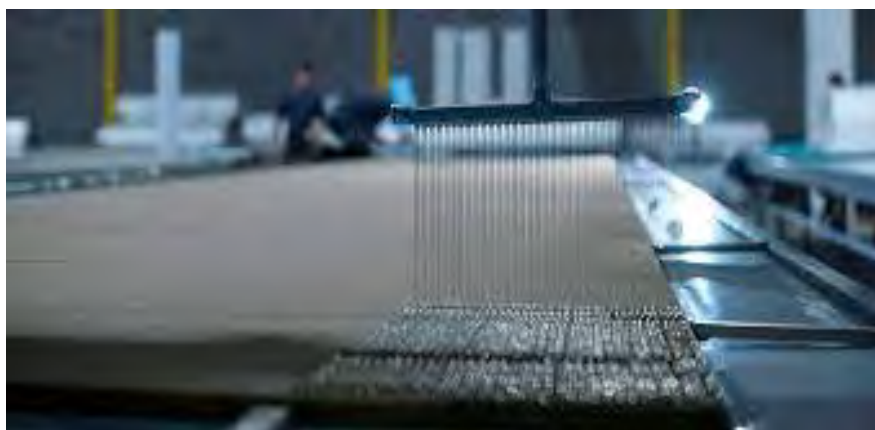


Εικόνα 32 Εντοπισμός ελαττωμάτων



Εικόνα 33 Δακτυλοειδής σύνδεση (finger-joint)

Στάδιο 3 Η κόλλα είναι το δεύτερο σημαντικό υλικό μετά το ξύλο, όπου πρέπει να πληρεί τις ίδιες απαιτήσεις με εκείνες που χρησιμοποιούνται στην επικολλητή ξυλεία. Στην Ευρώπη κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται η κόλλα πολυουρεθάνης ενός συστατικού (PUR). Οι σανίδες τοποθετούνται ανάλογα με την στρώση π.χ. πρώτη στρώση οριζόντια, δεύτερη στρώση κάθετα κ.ο.κ., δηλαδή σε γωνίες 90° ή μια στρώση από την άλλη στρώση.



Εικόνα 34 Εφαρμογή συγκολλητικής ουσίας

Στάδιο 4 Ακολουθεί το πρεσάρισμα του παραγόμενου CLT σε υδραυλικές πρέσες ή πρέσες κενού.



Εικόνα 35 Εισαγωγή πάνελ στην ειδική πρέσα

Σχετικό βίντεο με την εφαρμογή της συγκολλητικής ουσίας και του πρεσαρίσματος ακολουθεί στον παρακάτω σύνδεσμο:

<https://www.youtube.com/watch?v=BiklSh6F1wo>

Στάδιο 5 Το τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει τον τεμαχισμό του CLT στις τελικές διαστάσεις, καθώς και το άνοιγμα (κενά) για τις θέσεις των κουφωμάτων, όπως και τα κανάλια για τις ηλεκτρολογικές – υδραυλικές συνδέσεις, περαιτέρω επεξεργασίες κ.ά.



Εικόνα 36 Πάνελ CLT με διαμορφωμένα τα ανοίγματα στο χώρο του εργοταξίου



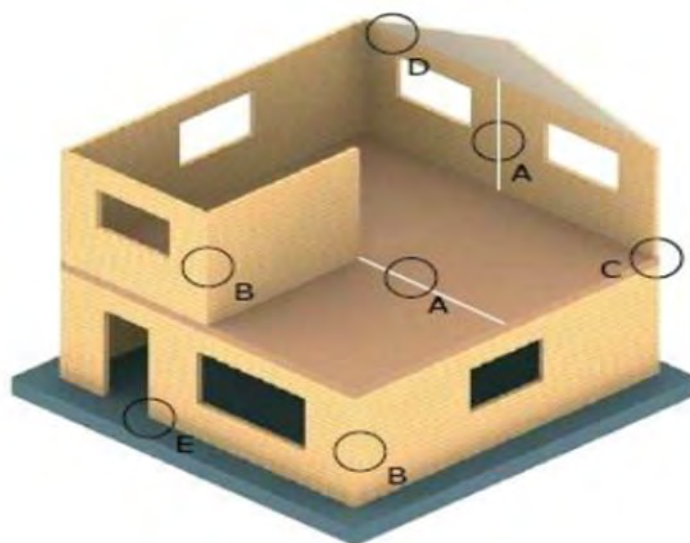
Εικόνα 37 Μηχάνημα κοπής/διατρήσεων CNC



Εικόνα 38 Εργοτάξιο – κατασκευή κτιρίου από ξυλεία CLT

ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ CLT

Σε αυτό το μέρος παρουσιάζονται πληροφορίες και σχηματικές αναπαραστάσεις που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση μεταξύ των CLT πάνελ, μεταξύ των τοίχων με τα θεμέλια και μεταξύ των τοίχων με τα πατώματα. Στην ακόλουθη φωτογραφία παρουσιάζονται διάφορα σημεία τέτοιων συνδέσεων.

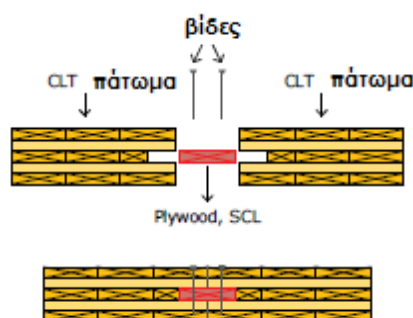


Εικόνα 39 Διάφορες συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων

Πάνελ με πάνελ

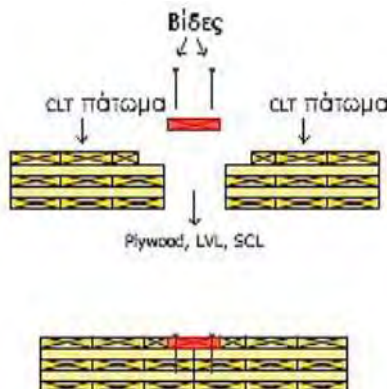
Αυτή είναι η θεμελιώδης μορφή σύνδεσης που χρησιμοποιείται χαρακτηριστικά για να διαμορφώσει τις συναρμώσεις τοίχων και πατωμάτων. Χρησιμοποιείται επίσης για να συνδεθούν τα πάνελ κατά μήκος των διαμήκων άκρων τους. Εξαιτίας του περιορισμού παραγωγής και μεταφοράς των πάνελ, λόγω του σχετικά μεγάλου μεγέθου και πως αυτά κατανέμονται στον χώρο οικοδόμησης, κατά κύριο λόγο η μεταξύ τους σύνδεση γίνεται στην οικοδομή. Συνεπώς θα πρέπει οι συνδέσεις να είναι εύκολες καθώς η συναρμολόγηση θα πρέπει να γίνεται με γρήγορους ρυθμούς. Γι' αυτό το λόγο έχουν αναπτυχτεί οι παρακάτω συνδέσεις για εξοικονόμηση χρόνου.

Εσωτερική γκινισιά. Μονές ή διπλές ξύλινες /λουρίδες φτιαγμένες από ξυλεία, SCL όπως επίσης η τοποθετημένη σε στρώματα ξυλεία καπλαμάδων (LVL), λεπτό CLT ή το κοντραπλακέ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να διαμορφώσει αυτήν την σύνδεση.



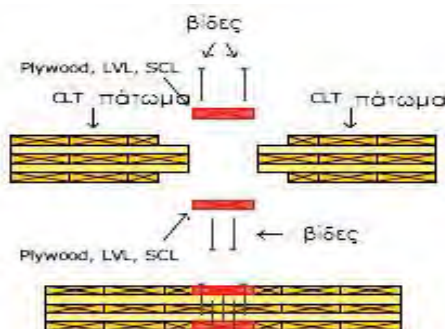
Εικόνα 40 Εσωτερική γκινισιά

Μονή σύνδεση επιφάνειας. Αυτή είναι μια απλή λεπτομέρεια σύνδεσης που μπορεί να βοηθήσει στη γρήγορη τοποθέτηση. Οι άκρες πχ των πατωμάτων CLT μορφοποιούνται για να υποδεχτούν μια λουρίδα ξυλείας ή SCL, LVL, PSL ή η τοποθετημένη σε στρώματα ξυλεία σκελών (LSL).



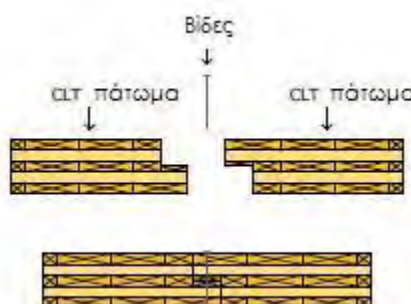
Εικόνα 41 Μονή σύνδεση επιφάνειας

Διπλή χάραξη επιφάνειας. Αυτή η λεπτομέρεια σύνδεσης είναι παρόμοια με αυτήν της μονής χάραξης επιφάνειας που περιεγράφηκε προηγουμένως, με την διαφορά μόνον ότι χρησιμοποιείται και μια διπλή χάραξη για να αυξήσει τη δύναμη και την ακαμψία σύνδεσης.



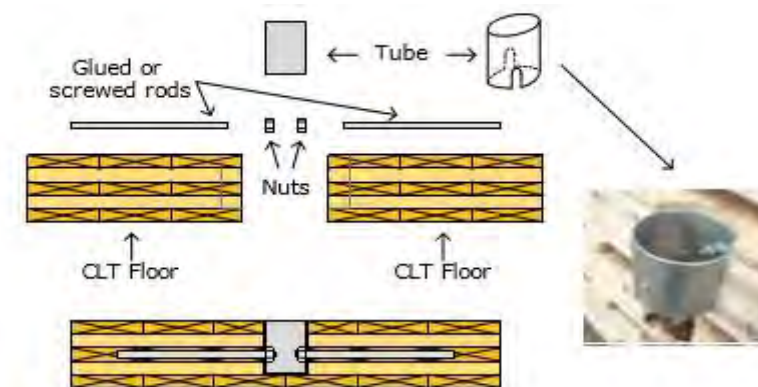
Εικόνα 42 Διπλή χάραξη επιφάνειας

Μισό-χαρακτή ένωση. Αυτή η λεπτομέρεια σύνδεσης περιλαμβάνει την αφαίρεση μιας λωρίδας ξύλου με σκοπό την ένωση στις εγκαταστάσεις και χρησιμοποιείται συνήθως για τις συνδέσεις τις συνελεύσεις τοίχων και πατωμάτων.



Εικόνα 43 Μισό-χαρακτή ένωση

Σύστημα σύνδεσης με σωλήνα. Αυτό είναι ένα σύστημα σύνδεσης-εφεύρεση, το οποίο μελετήθηκε και αναπτύχθηκε στην Αυστρία. Αυτό το σύστημα προϋποθέτει ένα μεταλλικό σωλήνα/μούφα με 2 τρύπες. Σε αυτόν τον τύπο συνδέσεως, τα πάνελ έρχονται στην οικοδομή έχοντας κολλήσει ή βιδώσει μεταλλικούς ράβδους σε συγκεκριμένα σημεία στα άκρα των πάνελ όπου υποδέχονται τον σωλήνα και συνδέονται τα πάνελ μεταξύ τις.

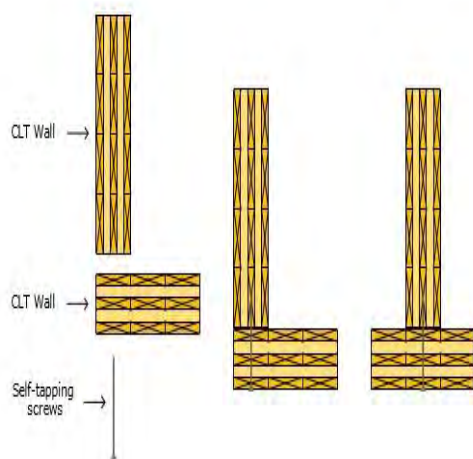


Εικόνα 44 Σύνδεση με το σύστημα σωλήνα

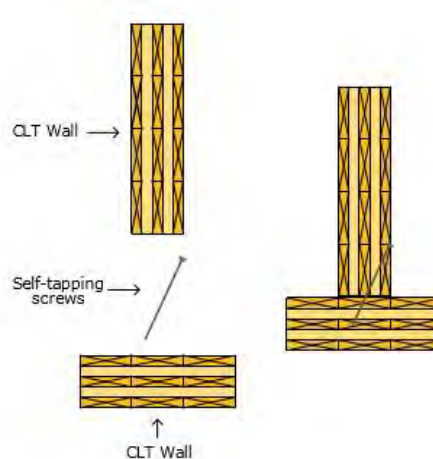
Τοίχος με τοίχο

Αυτό το τμήμα καλύπτει τις λεπτομέρειες σύνδεσης για τη σύνδεση των τοίχων με τους τοίχους που τοποθετούνται κάθετα μεταξύ τους (σύνδεση τοίχων σε εγκάρσια κατεύθυνση). Τέτοιες λεπτομέρειες σύνδεσης περιλαμβάνουν τα εσωτερικά χωρίσματα με τις εξωτερικούς τοίχους ή την απλή εξωτερική γωνία.

Αυτό – διάτρητες βίδες. Πολλά συστήματα έχουν υιοθετηθεί για τις συνδέσεις τοίχων τις κατάλληλες γωνίες. Το πιο απλό είναι με τις αυτό – διάτρητες βίδες.

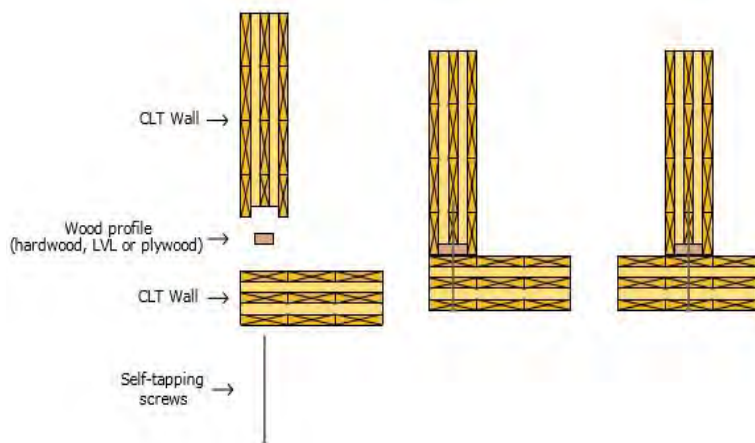


Εικόνα 45 Αυτό-διάτρητες βίδες εξωτερικά



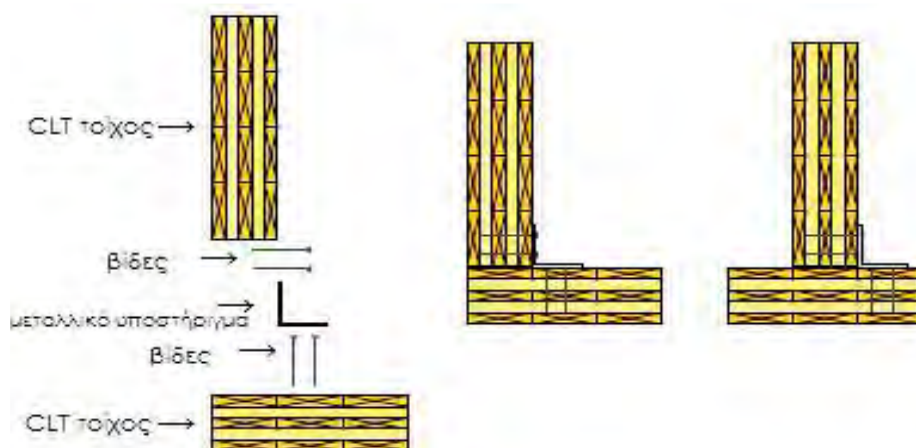
Εικόνα 46 Αυτό-διάτρητες βίδες υπό γωνία

Ξύλινα προφίλ. Κρυμμένα ξύλινα προφίλ μπορούν τις να χρησιμοποιηθούν με παρόμοιο τρόπο με τις βίδες.



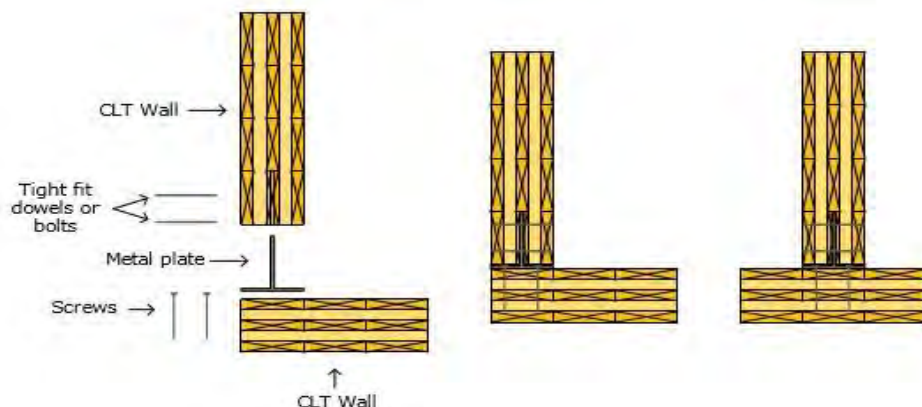
Εικόνα 47 Κρυμμένα ξύλινα προφίλ

Μεταλλικά στηρίγματα. Μια άλλη απλή μορφή σύνδεσης των τοίχων στην εγκάρσια κατεύθυνση είναι η χρήση των υποστηρίγματος μετάλλων με βίδες ή καρφιά. Αυτό το σύστημα είναι το πιο απλό και ο πιο αποτελεσματικός τύπος σύνδεσης ως προς την αντοχή που προκύπτει στο δέσιμο των πάνελ κάθετα μεταξύ τους.



Εικόνα 48 Εσωτερικά μεταλλικά στηρίγματα

Κρυμμένες μεταλλικές πλάκες, είναι ακόμα μια μέθοδος για κάθετη σύνδεση. Φυσικά γι' αυτόν τον τρόπο σύνδεσης είναι απαραίτητες και βίδες.

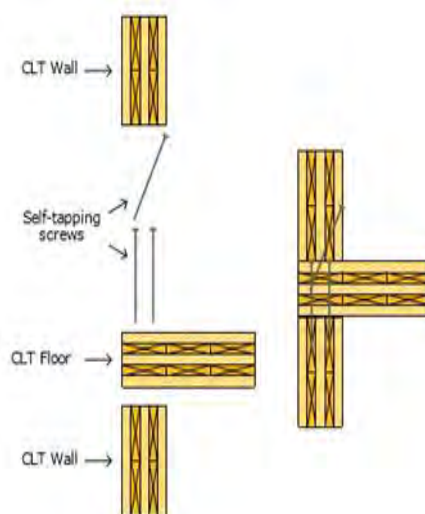


Εικόνα 49 Κρυμμένες μεταλλικές πλάκες

Τοίχος με δάπεδο

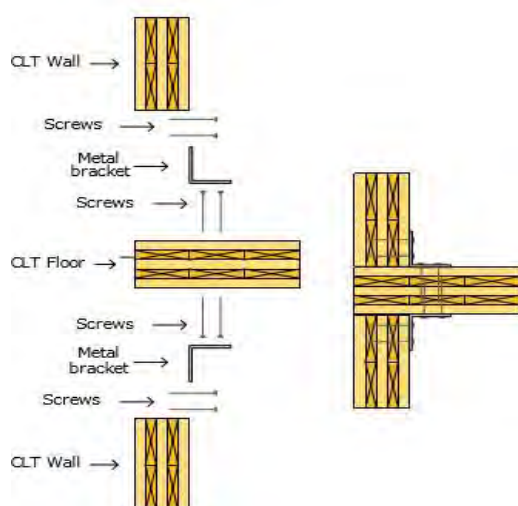
Υπάρχουν διάφορες δυνατότητες όταν πρόκειται για συνδέσεις των τοίχων με τα πατώματα ή τη σύνδεση των τοίχων στα ανώτερα πατώματα δηλαδή στους ορόφους, ανάλογα με τη μορφή δομικών συστημάτων (δηλ., με πλατφόρμα ή σύστημα μπαλονιού), τη διαθεσιμότητα των συνδέσμων και ο βαθμός προκατασκευής.

Κατασκευή πλατφόρμας με αυτό - διάτρητες βίδες. Είναι η πιο απλή μέθοδος η οποία πάει κατευθείαν από τον τοίχο στο πάτωμα και αντίστροφα.

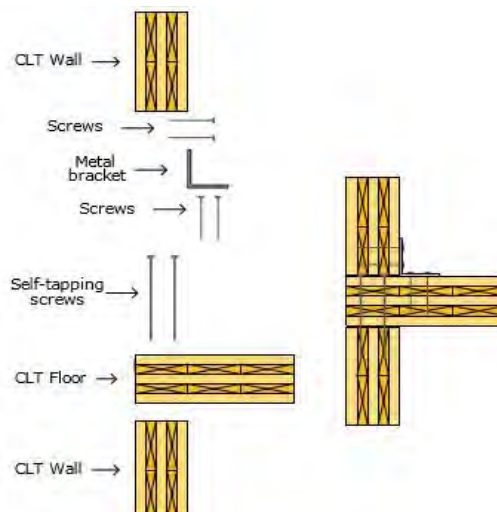


Εικόνα 50 Κατασκευή πλατφόρμας με αυτό-διάτρητες βίδες

Κατασκευή πλατφόρμας με μεταλλικά στηρίγματα. Τα στηρίγματα μετάλλων χρησιμοποιούνται συνήθως για να συνδέσουν τα πατώματα με τους τοίχους των ανώτερων και κατώτερων σημείων για να μεταφέρουν όταν απαιτείται, πλευρικά φορτία από ένα πλευρικό φορτίο που αντιστέκεται στο σύστημα από το άλλο. Χρησιμοποιούνται επίσης για τη σύνδεση των στεγών με τους τοίχους. Τα καρφιά ή οι ξύλινες βίδες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να συνδέσουν τα υποστηρίγματα μετάλλων με τις επιτροπές CLT.

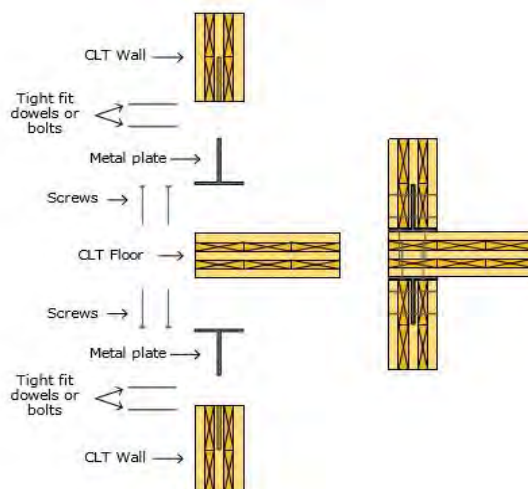


Εικόνα 51 Κατασκευή πλατφόρμας με μεταλλικά στηρίγματα



Εικόνα 52 Κατασκευή πλατφόρμας με μεταλλικά στηρίγματα με αυτό-διάτρητε βίδες

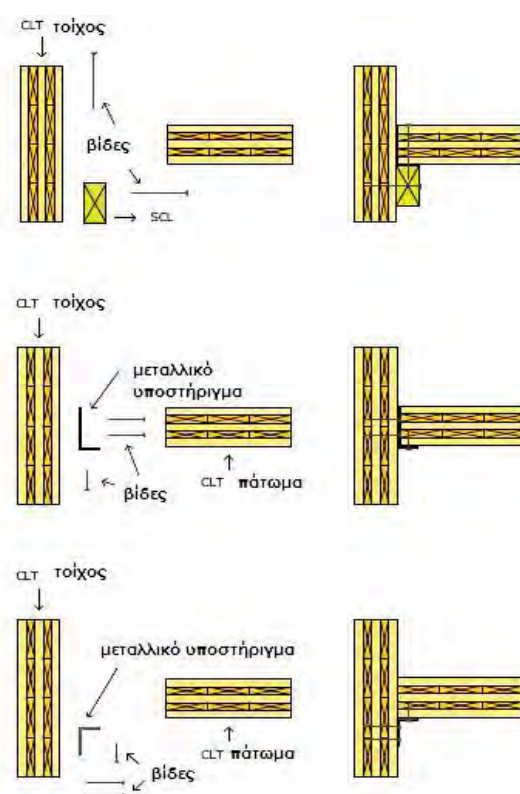
Κατασκευή πλατφόρμας με κρυμμένες μεταλλικές πλάκες. Σε αυτήν την κατηγορία για καλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιούνται CNC για το άνοιγμα των οπών.



Εικόνα 53 Κατασκευή πλατφόρμας με κρυμμένες μεταλλικές πλάκες

Κατασκευή τύπου «μπαλονιών»

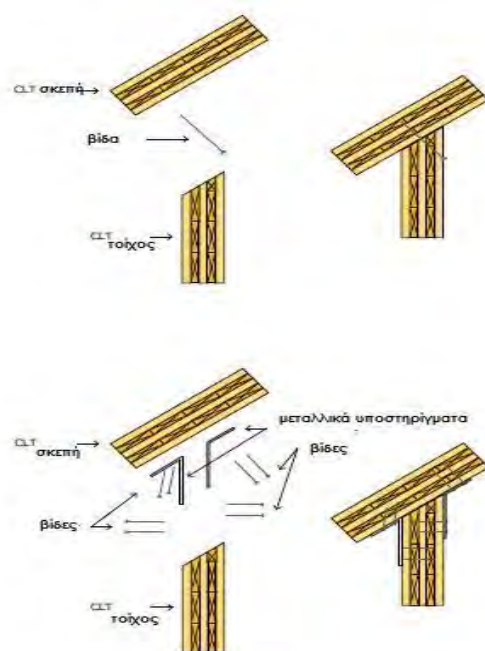
Ο κυρίαρχος τύπος δομικής μορφής στην κατασκευή CLT στην Ευρώπη είναι ο τύπος «πλατφόρμας», λόγω της απλότητάς του στο σχεδιασμό και την ανέγερση. Εντούτοις, στις μη οικιστικές κατασκευές, συμπεριλαμβανομένου των αγροτικών και των βιομηχανικών κτηρίων, μια κοινή σύνδεση για την χρησιμοποίηση σε ψηλούς τοίχους με έναν ενδιάμεσο ημιώροφο που αποτελεί ένα ενδιάμεσο πάτωμα μεταξύ των κύριων πατωμάτων από ένα κτίριο. Η κατασκευή αυτή προσομοιάζει με τις κατοικίες με ολόσωμους στύλους ή υψηλές τοιχοποιίες, τις λεγόμενες «balloon type» στην αγγλική βιβλιογραφία (Κακαράς 2013)ς. Η απλούστερη λεπτομέρεια σύνδεσης σε αυτή τη περίπτωση περιλαμβάνει τη χρήση ενός ξύλινου στοιχείου με σκοπό την παροχή μιας συνεχής υποστήριξης στις επιτροπές των πατωμάτων CLT. Το στοιχείο σύνδεσης αποτελείται συνήθως από SCL όπως το LVL, το LSL ή PSL.



Εικόνα 54 Συνδέσεις κατασκευής μπαλονιού

Στέγη με τοίχο

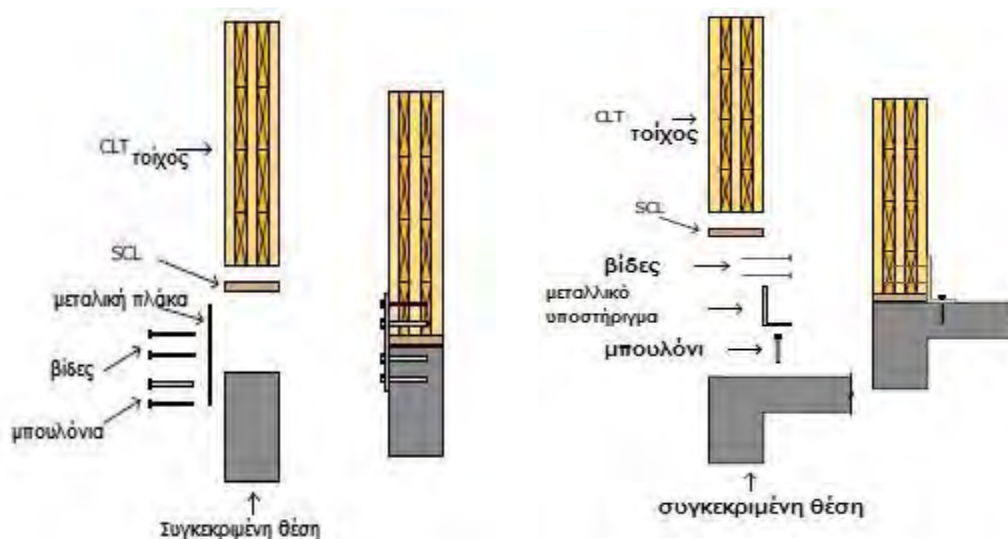
Για την σύνδεση της στέγης υπό κλίση ή την επίπεδη στέγη με τους τοίχους χρησιμοποιούνται συνδέσεις παρόμοιες με εκείνες της ένωσης των πατωμάτων με τους τοίχους. Οι βίδες και τα υποστηρίγματα μετάλλων είναι τα πιο συνηθέστερα για τη στερέωση των συστημάτων σε αυτήν την εφαρμογή.



Εικόνα 55 Σύνδεση οροφής

Σύνδεση τοίχου με θεμέλια

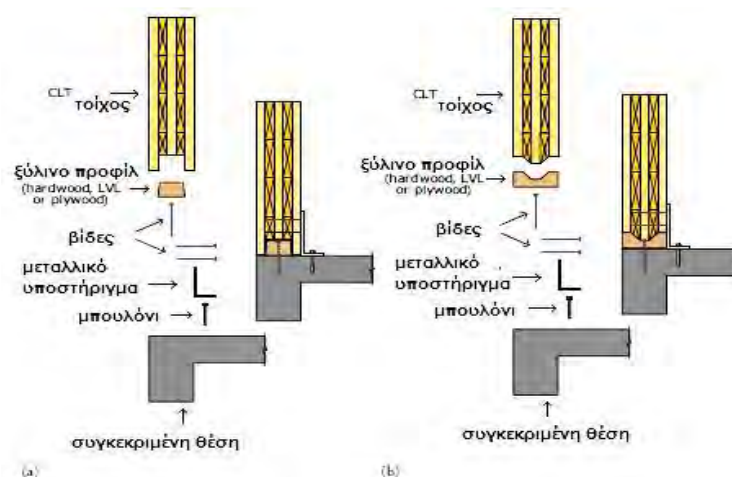
Ορατά/εκτεθειμένα μέσα σύνδεσης. Στη σύνδεση των τοίχων CLT με τα θεμέλια, χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα στερέωσης που είναι διαθέσιμα για να εγκαταστήσουν μια τέτοια σύνδεση. Τα εξωτερικά μεταλλικά στοιχεία σύνδεσης και τα υποστηρίγματα χρησιμοποιούνται συνήθως σε τέτοιες εφαρμογές, υπάρχει ποικιλία τέτοιων μεταλλικών υλικών συνδέσεων εύκολα - διαθέσιμων στην αγορά.



Εικόνα 56 Εξωτερική μεταλλική πλάκα

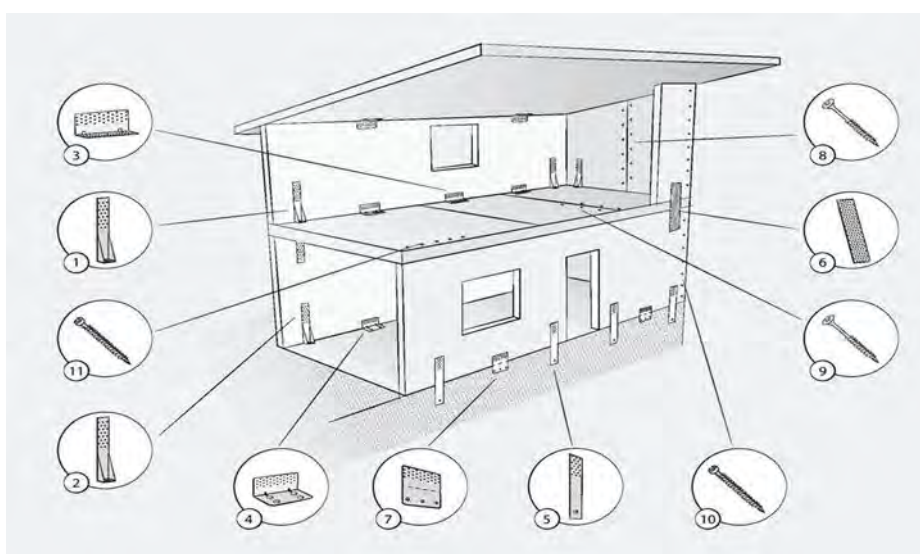
Εικόνα 57 Μεταλλικά στηρίγματα τύπου γωνία

Ξύλινα μέσα σύνδεσης. Τα ξύλινα μέσα σύνδεσης χρησιμοποιούνται συνήθως στη σύνδεση των δομικών μονωμένων επιτροπών και άλλων τύπων προκατασκευασμένων ξύλινων πλασίων τοίχου. Είναι σημαντικό ότι τέτοια ξύλινα σχεδιαγράμματα κατασκευάζονται από υψηλής πυκνότητας και σταθερά υλικά. Τα κατασκευασμένα ξύλινα προϊόντα ή το σκληρό ξύλο υψηλής πυκνότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν γενικά για το σκοπό αυτό. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι η ευκολία σύνδεσης. Μηχανές κατεργασίας CNC απαιτούνται για να παράγουν τις εγχοπές στις επιτροπές CLT.



Εικόνα 58 Κρυμμένα (a) και εκτεθειμένα (b) ξύλινα προφίλ

ΥΛΙΚΑ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΩΝ ΠΑΝΕΛ



Εικόνα 59 Διάφορα υλικά σύνδεσης

Γωνίες σε εφελκυσμό

- Τοίχου - Τοίχου
- Τοίχου – Θεμελίωσης

Γωνίες σε διάτμηση

- Τοίχου - Δάπεδο Ορόφου / Τοίχου - Τοίχου
- Τοίχου – Θεμελίωσης

Διάτρητα ελάσματα (σε διάτμηση ή σε εφελκυσμό)

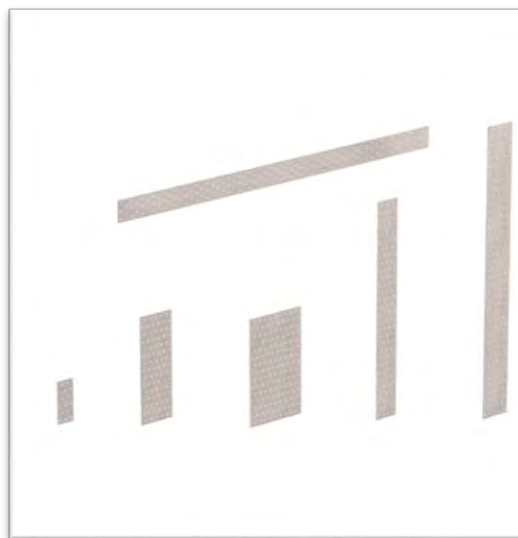
- Τοίχου - Θεμελίωσης (εφελκυσμός)
- Τοίχου - Τοίχου (εφελκυσμός)
- Τοίχου - Θεμελίωσης (διάτμηση)

Αυτό – διάτρητες βίδες

- Τοίχου - Τοίχου
- Δάπεδο Ορόφου - Δάπεδο Ορόφου
- Τοίχου - Τοίχου (υπό γωνία)



Εικόνα 60 Διάφορα μεγέθη γωνιακών βραχιόνων για εφελκυστικά φορτία



Εικόνα 61 Διάφορα μεγέθη από διάτρητες πλάκες



Εικόνα 62 Γωνιακοί βραχίονες για την σύνδεση θεμελίωσης - τοίχου



Εικόνα 63 Ιμάντες μεταφοράς πάνελ στο εργοτάξιο

Γίνεται σαφές πως για κάθε συνδεσμολογία ανάλογα με την καταπόνηση και τα φορτία που δέχεται υπάρχουν τα κατάλληλα συνδετικά μέσα τα οποία φαίνονται στη προσομοίωση κατά τη διάρκεια της σχεδίασης της εκάστοτε κατασκευής για την γρηγορότερη αλλά και καλύτερη σύνδεση των επιμέρους στοιχείων σύμφωνα πάντα με αυτά που ορίζει ο Ευρωκώδικας 5.

ΘΕΡΜΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΑΝΕΛ CLT ΧΩΡΙΣ ΜΟΝΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Η θερμική απόδοση ενός εξαρτήματος καθορίζεται από την τιμή U του (θερμική μετάδοση). Η δομή και ο προσανατολισμός του στοιχείου, καθώς και η θερμική αγωγιμότητα λ των υλικών που περιέχονται πρέπει να είναι γνωστές για τον υπολογισμό αυτής της τιμής. Η θερμική αγωγιμότητα της επιφάνειας CLT καθορίζεται ουσιαστικά από τη φαινομενική πυκνότητα και τη περιεχόμενη υγρασία. Σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 10456, η θερμική αγωγιμότητα λ της διασταυρούμενης επικολλητής ξυλείας CLT είναι $0,12 \text{ W/mK}$.

Βάση αυτού, σύμφωνα με έρευνα της εταιρίας Stora Enso σε ένα πάνελ CLT πάχους 100mm (3ply) η τιμή U είναι ίση με $0.997 \text{ W/m}^2\text{K}$ όπως φαίνεται και στον πίνακα 13.

Πίνακας 13 Υπολογισμός θερμικής αγωγιμότητας CLT πάχους 100mm

Thermal transmittance	$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}}$
Heat transfer resistance	$R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}$
Thermal conductivity of CLT	$\lambda_{CLT} = 0.12 \text{ W/mK}$
Thermal transmittance	$U_{CLT,100} = \frac{1}{0.13 \text{ m}^2\text{K/W} + \frac{0.1 \text{ m}}{0.12 \text{ W/mK}} + 0.04 \text{ m}^2\text{K/W}} = 0.997 \text{ W/m}^2\text{K}$

Όπου :

Thermal transmittance = Θερμική μετάδοση

Heat transfer resistance = Αντίσταση μεταφοράς θερμότητας

Thermal conductivity of CLT = Θερμική αγωγιμότητα

U [**W/(m²·K)**] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,

n [-] το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,

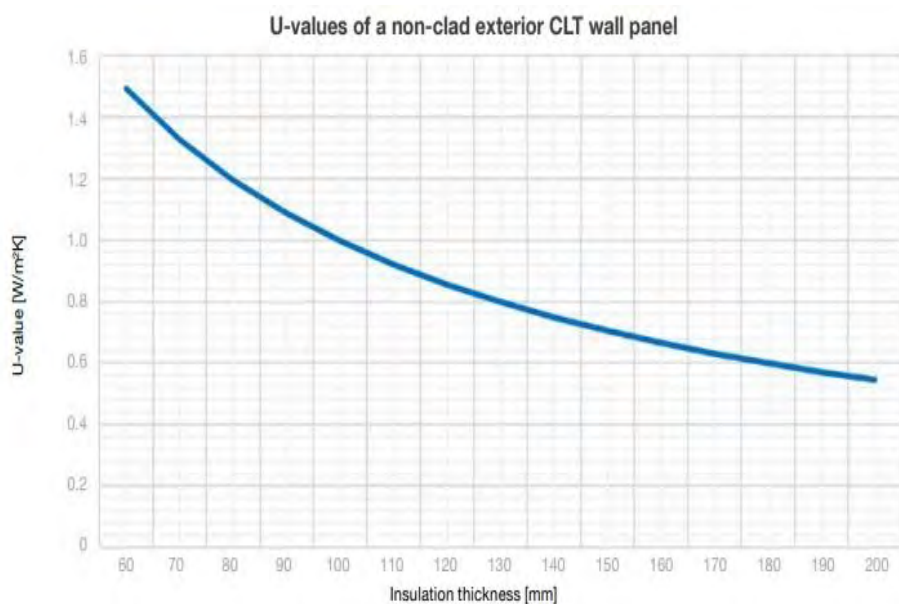
d [**m**] το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου,

λ [**W/(m·K)**] ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του CLT,

R_δ [**m²·K/W**] η θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος,

R_i [**m²·K/W**] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,

R_a [**m²·K/W**] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 1 Σχέση τιμής U ανάλογα με το πάχος των πάνελ χωρίς μονωτικά

6. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Έπειτα από όλη αυτή τη πληροφορία και την ευρύτητα δόμησης κτιρίων σε όλο τον κόσμο με ξύλο και ειδικά σε CLT, οφείλουμε να διερευνήσουμε αντίστοιχες δυνατότητες με ξυλεία ελληνικής προέλευσης.

Δηλαδή θα διενεργηθούν κάποιες συγκεκριμένες κατεργασίες σε πιστά δοκίμια, τα οποία μέσω επιμέρους συγκόλλησης σε συγκεκριμένο αριθμό, με συγκεκριμένες διαστάσεις (μήκος, πλάτος και πάχος) και διάταξη θα αποφέρει τα δύο τελικά πάνελς τύπου CLT, τα οποία θα υποστούν κάποιες ειδικές μετρήσεις προκειμένου να ελεγχθεί η θερμική τους συμπεριφορά τους και να διαπιστωθεί αν η ξυλεία ελληνικής προελεύσεως η οποία υποτιμάται από πολλούς κατασκευαστές για τις δυνατότητές της, μπορεί να τύχει ευρύτερης αξιοποίησης.

Η ξυλεία ελληνικής προελεύσεως η οποία προτιμήθηκε για το εν λόγω πείραμα δεν είναι άλλη από την υβριδογενή ελάτη (*Abies cephalonica* x *Abies alba* ή *Abies borisii regis* Mattf.) για την οποία γίνεται σχετική αναφορά στη συνέχεια.

7. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Στα πειράματά μας χρησιμοποιήθηκε ξυλεία υβριδογενούς ελάτης ελληνικής προέλευσης, που προμηθευτήκαμε από πριστήριο της Καρδίτσας.

ΜΕΘΟΔΟΙ

Το πείραμα ξεκίνησε με την μέτρηση των διαστάσεων των δοκιμών με Μ.Ο. τα 2500*95*45mm και στην συνέχεια την μέτρηση της υγρασίας της ξυλείας.

Ύστερα από αρκετές μετρήσεις σε διαφορετικά δοκίμια παρατηρήθηκε ότι η περιεχόμενη υγρασία του ξύλου ξεπερνούσε το 60% κατά μ.ό., έχοντας ως αποτέλεσμα να μην μπορεί να ξεκινήσει το πείραμα από το στάδιο της λείανσης της ξυλείας (πλάνισμα – ξεχόνδρισμα). Συνεπώς αποφασίστηκε να υλοποιηθεί τεχνητή ξήρανση της ξυλείας, διάρκειας 4 ημερών προκειμένου να κατέβει η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών τουλάχιστον στο 10 – 14 %.

ΞΗΡΑΝΣΗ

Έτσι λοιπόν μεταφέρθηκαν όλα τα δοκίμια στο ξηραντήριο, τοποθετήθηκαν μέσα σε αυτό με κενά σε κάθε στρώση για να κυκλοφοράει καλύτερα ο θερμός αέρας σε όλες τις στρώσεις σε όλες τις επιφάνειες, με βάρος στο επάνω μέρος ώστε να αποφευχθεί όσο το δυνατόν περισσότερο η παραμόρφωση της ξυλείας με την σταδιακή απώλεια της υγρασίας.



Εικόνα 64 Εξωτερική όψη ξηραντηρίου

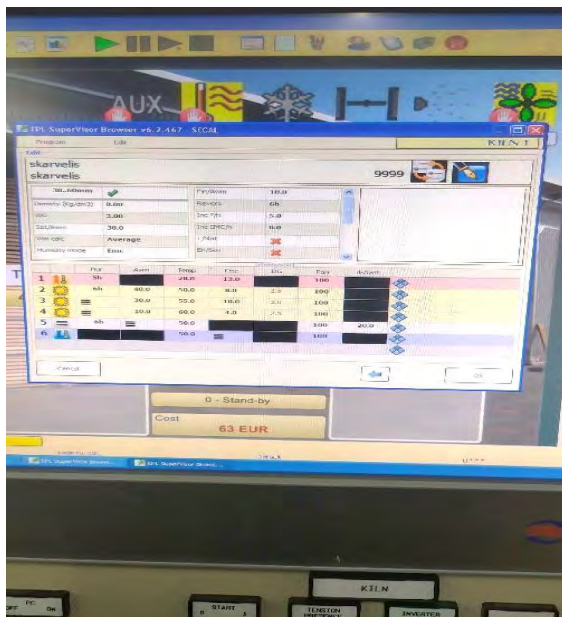


Εικόνα 64 Εσωτερική όψη ξηραντηρίου με τοποθετημένα τα προς ξήρανση δοκίμια

Στο πρόγραμμα που δημιουργήθηκε ορίστηκαν 4 στάδια με προβλεπόμενη λήξη έπειτα από 4 ημέρες. Πρώτο στάδιο, πριν ακόμα τοποθετηθούν οι αισθητήρες για την μέτρηση υγρασίας του ξύλου ήταν απλά να ανέβει η θερμοκρασία του θαλάμου στους 28°C μέχρι την επομένη το πρωί.

Δεύτερο στάδιο ήταν μόλις τοποθετηθούν οι αισθητήρες, να ανέβει η θερμοκρασία του θαλάμου στους 50°C και να παραμείνει έτσι μέχρι η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών να πέσει στο 40%.

Τρίτο στάδιο, η θερμοκρασία να ανέβει στους 55°C και να παραμείνει έτσι μέχρι η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών να πέσει στο 30% και τελευταίο στάδιο η θερμοκρασία να ανέβει στους 60°C μέχρι η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών να πέσει στο 10%.



Εικόνα 65 Ρύθμιση προγράμματος ξήρανσης



Εικόνα 66 Τοποθέτηση αισθητήρων

Τελικά όμως το πρωί της επόμενης ημέρας, παρατηρήθηκε ότι οι αντιστάσεις οι οποίες ήταν στο αυτόματο είχαν κλείσει και δούλευαν μόνο οι ανεμιστήρες με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να έχει ανέβει μόνο στους 18,9°C. Έτσι έγινε αλλαγή στη λειτουργία από αυτόματο στο χειροκίνητο. Τοποθετήθηκαν και οι αισθητήρες και οι ενδείξεις στον πίνακα εκείνη την χρονική στιγμή ανέφεραν πως η θερμοκρασία του θαλάμου είχε ανέβει στους 25°C, η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών ήταν στο 65% και η υγρασία του χώρου στο 18%.

Η όλη διαδικασία συνεχίστηκε χειροκίνητα με πρώτο βήμα στις 18:30 να κλείσει η αντίσταση έτσι ώστε να πέσει η θερμοκρασία η οποία χωρίς τις αντιστάσεις ανέβαινε ανεξέλεγκτα.

Στις 20:30 με την θερμοκρασία θαλάμου να έχει πέσει στους 40°C, την περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών να είναι στο 48,7% και η υγρασία του χώρου στο 11%, άνοιξε

ξανά η αντίσταση και ο ψεκασμός για να υγράνει το χώρο μέχρις ότου η υγρασία ισορροπίας του χώρου φθάσει το 21%, έτσι ώστε να μην δημιουργηθούν ραγιδώσεις στη ξυλεία από την απότομη άνοδο της θερμοκρασίας καθώς θα δούλευε όλο το βράδυ.

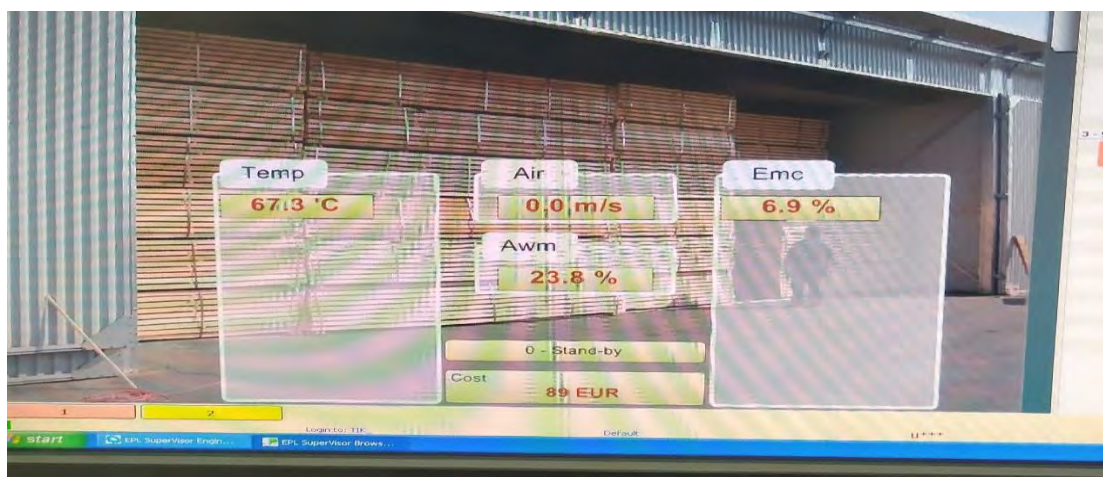
Την επομένη μέρα, μετά από 10h περίπου, έκλεισε η αντίσταση θέρμανσης του χώρου και άνοιξε ξανά ο ψεκασμός μέχρι η υγρασία ισορροπίας του χώρου ανέβει στο 7%, καθώς οι ενδείξεις ανέφεραν πως η θερμοκρασία του θαλάμου είχε ανέβει στους 72,3°C, η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών ήταν στο 36,5% και η υγρασία ισορροπίας του χώρου στο 4%. Διαμορφώθηκε δηλαδή ένα πηλίκιο υγρασίας περίπου 5,2 που θεωρείται αρκετά γρήγορο για ξήρανση κωνοφόρων.

Μετά από 3,5h, η θερμοκρασία θαλάμου είχε πέσει στους 43,8°C, η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών ήταν στο 40% και η υγρασία ισορροπίας του χώρου στο 6,5%, συνεπώς άνοιξε ξανά την αντίσταση και ο ψεκασμός, έως ότου η υγρασία του χώρου φθάσει το 11,4%. Διαμορφώθηκε δηλαδή ένα πηλίκιο υγρασίας κάτω από 4,0, που κρίνεται ικανοποιητικό για το δεδομένο επίπεδο υγρασίας του ξύλου (Κακαράς, 2009). κάτω από 4,0, που κρίνεται ικανοποιητικό για το δεδομένο επίπεδο υγρασίας του ξύλου (Κακαράς, 2009). Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε αρκετές φορές μέχρι και τη τέταρτη μέρα της τεχνητής ξήρανσης.

Συγκεκριμένα, μετά από 4h, με την θερμοκρασία θαλάμου να έχει ανέβει στους 71,3°C, η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών ήταν στο 29,2% και η υγρασία του χώρου στο 3,4%, έκλεισε ξανά η αντίσταση και άνοιξε ο ψεκασμός νερού, μέχρι η υγρασία ισορροπίας του χώρου φθάσει το 8,9% (διαμορφώθηκε δηλαδή ένα πηλίκιο υγρασίας περίπου 3,0).

Αργότερα την ίδια μέρα, έχοντας περάσει 6h, η θερμοκρασία θαλάμου είχε πέσει στους 42,8°C, η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών ήταν στο 30,5% και η υγρασία του χώρου στο 6,2%, άνοιξε ξανά η αντίσταση και ο ψεκασμός, μέχρι η υγρασία του χώρου φθάσει το 16,7% (πηλίκιο υγρασίας περίπου 2,0).

Την επομένη μέρα (3^η μέρα), μετά από 9h, έκλεισε η αντίσταση και άνοιξε ο ψεκασμός μέχρι η υγρασία του χώρου ανέβει στο 6,9%, καθώς οι ενδείξεις ανέφεραν πως η θερμοκρασία του θαλάμου είχε ανέβει στους 77,7°C, η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών ήταν στο 20,8% και η υγρασία του χώρου στο 2%.



Εικόνα 67 Νέα ρύθμιση προγράμματος ξήρανσης

Έπειτα από 7,5h, η θερμοκρασία θαλάμου είχε πέσει στους 42°C, η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών ήταν στο 21,5% και η υγρασία του χώρου στο 4,7%. Με την θερμοκρασία στην Καρδίτσα εκείνη την μέρα να είναι στους 20°C χωρίς να σταματήσει η διαδικασία, άνοιξε ο θάλαμος για να εκτελεσθεί οπτικός έλεγχος της κατάστασης της ξυλείας. Διαπιστώθηκε ότι είχαν δημιουργηθεί ραγαδώσεις στα άκρα της ξυλείας ενώ με την αφή ότι η ξυλεία επιφανειακά είχε στεγνώσει με αποτέλεσμα φυσικά να γίνουν πιο τραχιές οι επιφάνειες, σε αντίθεση με την πρώτη μέρα όπου ήταν πιο λείες και μπορούσε να αντιληφθεί ο οποιοσδήποτε ότι η περιεχόμενη υγρασία της ξυλείας ήταν υψηλή. Έτσι λοιπόν, με την θερμοκρασία του θαλάμου να έχει πέσει στους 37,9°C, άνοιξε ξανά η αντίσταση και ο ψεκασμός, μέχρι η υγρασία του χώρου φθάσει το 11,5% και η διαδικασία συνεχίστηκε κανονικά.



Εικόνα 68 Οπτικός έλεγχος προόδου ξήρανσης

Μετά από 6,5h, η θερμοκρασία θαλάμου είχε ανέβει στους 79°C, η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών ήταν στο 16,2% και η υγρασία ισορροπίας του θαλάμου στο

1,5%, έκλεισε ξανά η αντίσταση και άνοιξε ο ψεκασμός, μέχρι η υγρασία του χώρου φθάσει το 4,7%.

Μετά από διαδοχικές παρακολουθήσεις ανά 4 - 6h περίπου (4^η μέρα), η θερμοκρασία του θαλάμου είχε ανέβει στους 79,6°C, η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών ήταν στο 11,6% και η υγρασία ισορροπίας του χώρου στο 1%. Έτσι, έκλεισε για τελευταία φορά η αντίσταση χωρίς να ανοίξει ο ψεκασμός αυτή τη φορά. Η λογική όλων αυτών των κινήσεων ήταν να εφαρμοστούν – έστω και χειροκίνητα – συνθήκες ισοδύναμης υγρασίας (υγρασία ισορροπίας) στο χώρο που αντιστοιχούσαν σε πηλίκo υγρασίας 2,0 – 3,0, που θεωρείται κατάλληλο για ξήρανση κωνοφόρων με υγρασία κάτω από το σημείο ινοκόρου (Σκαρβέλης, 1996)

Την επόμενη μέρα το πρωί, μετά από 12h το πρόγραμμα τερματίστηκε και η θερμοκρασία θαλάμου είχε πέσει στους 46,4°C, η περιεχόμενη υγρασία των δοκιμών ήταν στο 12,3% και η ισοδύναμη υγρασία του χώρου στο 3,4%. Έπειτα άνοιξε η πόρτα του θαλάμου για περίπου 1 ώρα έτσι ώστε να πέσει και άλλο η θερμοκρασία στο θάλαμο και για να μην βγουν απότομα στο περιβάλλον όπου εκείνη την χρονική στιγμή στην Καρδίτσα είχε περίπου 17°C. Διενεργήθηκε οπτικός έλεγχος της κατάστασης, απομακρύνθηκαν οι βαριές κατασκευές όπου είχαν τοποθετηθεί στο επάνω μέρος και έπειτα μεταφέρθηκαν όλα τα δοκίμια στο μεταλλικό κτίριο (εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου) για να ξεκινήσουν οι μηχανικές κατεργασίες.

Σε γενικές γραμμές η χειροκίνητη παρακολούθηση της ξήρανσης απέδωσε, καθώς δεν παρατηρήθηκαν σφάλματα ξήρανσης, πέραν κάποιων μικρών ραγαδώσεων στις εγκάρσιες επιφάνειες των πριστών και μερικών παραμορφώσεων (σκεβρώματα) σε ανεκτό βαθμό.



Εικόνα 69 Τερματισμός προγράμματος ξήρανσης

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

Αρχικά τα πριστά δοκίμια της ελάτης κόπηκαν κατά μήκος στη μέση ($2500\text{mm}/2=1250\text{mm}$) στο επιτραπέζιο δισκοπρίονο τύπου ράντιαλ.



Εικόνα 70 Τεμαχισμός ξυλείας σε επιτραπέζιο δισκοπρίονο τύπου ράντιαλ

Έπειτα μεταφέρθηκαν στην πλάνη για να λειανθούν οι πρώτες δύο επιφάνειες καθώς με την ξήρανση οι επιφάνειες ήταν τραχείες και η ξυλεία με την αφαίρεση της περιεχόμενης υγρασίας είχε σκεβρώσει. Επομένως απαιτούνταν να γίνει επίπεδη και να δημιουργηθεί γωνία 90° στην μια εκ των 4 γωνιών για να μην υπάρχουν κενά κατά την επιμέρους συγκόλληση – δημιουργία Σταυρωτής Επικολλητής Ξυλείας CLT. Σε αυτό το στάδιο παρατηρήθηκε ότι η ξυλεία εκτός από το σκέβρωμα, με την αφαίρεση της υγρασίας είχε αλλάξει και διαστασιολογικά. Δηλαδή από $95*45\text{mm}$ είχε κατέβει κατά Μ.Ο στο $93*43\text{mm}$ και όχι το ίδιο σε όλο το μήκος, λόγω ρίκνωσης. Συνεπώς υπήρχαν πολλά διαφορετικά πάχη και πλάτη.



Εικόνα 71 Κατεργασία λειάνσεως ξυλείας (πλάνισμα)

Το επόμενο βήμα ήταν η ενιαία διαμόρφωση πάχους (ξεχόνδρισμα), το οποίο ουσιαστικά γίνεται για να γίνουν το ίδιο επίπεδες και οι άλλες δύο επιφάνειες και παράλληλες στις πρώτες και να δημιουργηθούν 90° και στις άλλες τρεις γωνίες. Να αποκτήσουν δηλαδή τα πριστά τέλεια πρισματική μορφή ορθογωνίων παραλληλεπιπέδων. Εκεί, τα 78 δοκίμια από τα συνολικά 90 κατέβηκαν στο $89 \times 35\text{mm}$, ενώ τα υπόλοιπα 12 στο 87×30 λόγω και των πολλών σφαλμάτων που είχαν.

Την επόμενη μέρα, συνεχίστηκε το ξεχόνδρισμα στο πάχος όπου καταλήξαν τα δοκίμια στα 35mm οι 7 στρώσεις και 30mm η 1 στρώση και προχώρησε η διαδικασία στο ξεχόνδρισμα κατά πλάτος των δοκιμίων. Καθώς περνούσε η ώρα και ο χρόνος λιγόστευε, σταμάτησε το ξεχόνδρισμα, και προχώρησε η μηχανική κατεργασία με όσα δοκίμια χρειαζόταν για την κατασκευή του 3στρωμου.

Τελικά, από τα πριστά που χρησιμοποιήθηκαν διαμορφώθηκαν ώστε να έχουν διαστάσεις: $1150 \times 90 \times 35\text{mm}$ οι 7 στρώσεις και $1150 \times 90 \times 30\text{mm}$ η μια στρώση.



Εικόνα 72 Μέτρηση πάχους ξυλείας με ειδικό παχύμετρο

Αρχικά, κόπηκαν στην γωνιάστρα όλα τα δοκίμια στο ίδιο μήκος (1150mm) καθώς υπήρχαν διαφορές μεταξύ τους. Πριν κοπούν έγινε οπτικός έλεγχος, δηλαδή ποια άκρα έπρεπε να κοπούν έτσι ώστε να απομακρυνθούν όσο γίνεται περισσότερα σφάλματα (ρόζοι, ραγαδώσεις, απλάνιστα άκρα).



Εικόνα 73 Κοπή άκρων δοκιμίων στις τελικές διαστάσεις στη γωνιάστρα

Στη συνέχεια, έγινε πάλι οπτικός έλεγχος αναφορικά με την ποιότητα των δοκιμίων όπου για το 3ο στρώμα είχαμε 2 ποιότητες. Την ποιότητα 1 για τις 2 εξωτερικές στρώσεις οι οποίες ήταν με τα λιγότερα σφάλματα και η ποιότητα 2 που θα ήταν η μεσαία στρώση δηλαδή αυτή με τα περισσότερα σφάλματα.



Εικόνα 74 Διαλογή δοκιμίων

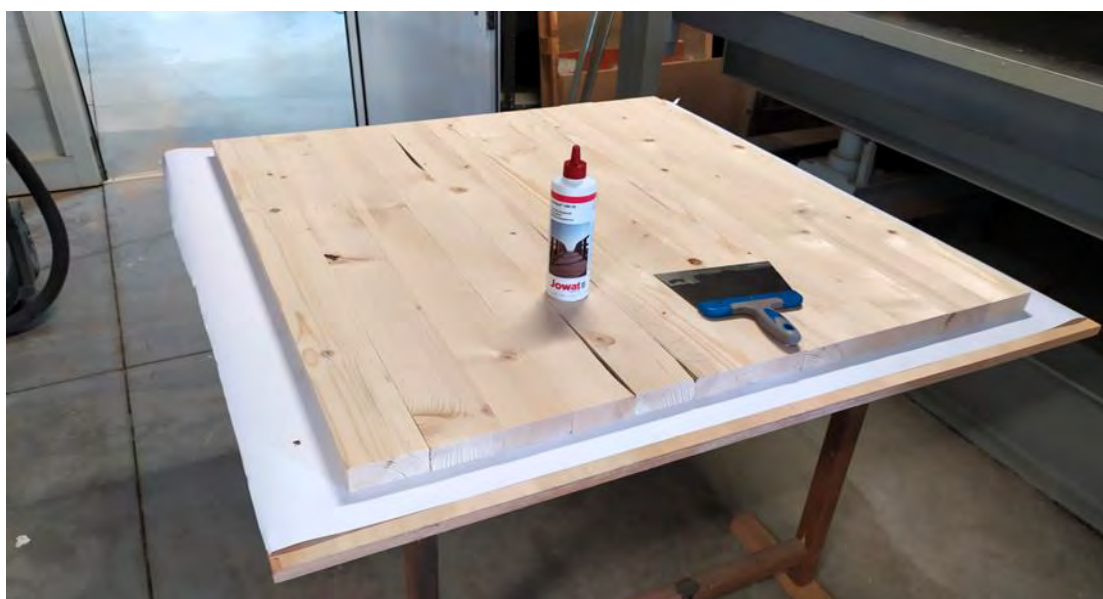
Έπειτα, πριν από την συγκόλληση, υλοποιήθηκε δοκιμαστική σύνδεση των στρώσεων (η μια πάνω στην άλλη) για να αποφευχθούν τυχόν λάθη πριν μπει η κόλλα και για να ελεγχθεί ότι η ξυλεία είναι αρκετή για το επιθυμητό πλάτος (αρχικό πλάτος – μήκος 1150*1090mm και τελικό 1050*1050mm).



Εικόνα 75 Δοκιμαστική σύνδεση στρώσεων

Έχοντας τα πάντα έτοιμα λοιπόν για το πρεσάρισμα, κόπηκε η επιφάνεια (κόντρα πλακέ 1250*1250*18mm) πάνω στην οποία θα γινόταν η συγκόλληση πριν τα δοκίμια μπουν στη πρέσα, τοποθετήθηκε χαρτί έτσι ώστε να μην κολλήσουν τα δοκίμια και η επιφάνεια στην περίπτωση που υπήρχε διαρροή της κόλλας και διαδοχικά τοποθετήθηκαν οι στρώσεις με την τοποθέτηση της κόλλας σε κάθε στρώση από την μία επιφάνεια.

Για την συγκόλληση και δημιουργία των πάνελ χρησιμοποιήθηκε συγκολλητική ουσία πολυουρεθάνης 1 συστατικού η οποία απλώθηκε σε όλη την επιφάνεια στη συνέχεια με την χρήση σπάτουλας.



Εικόνα 76 Προετοιμασία συγκόλλησης

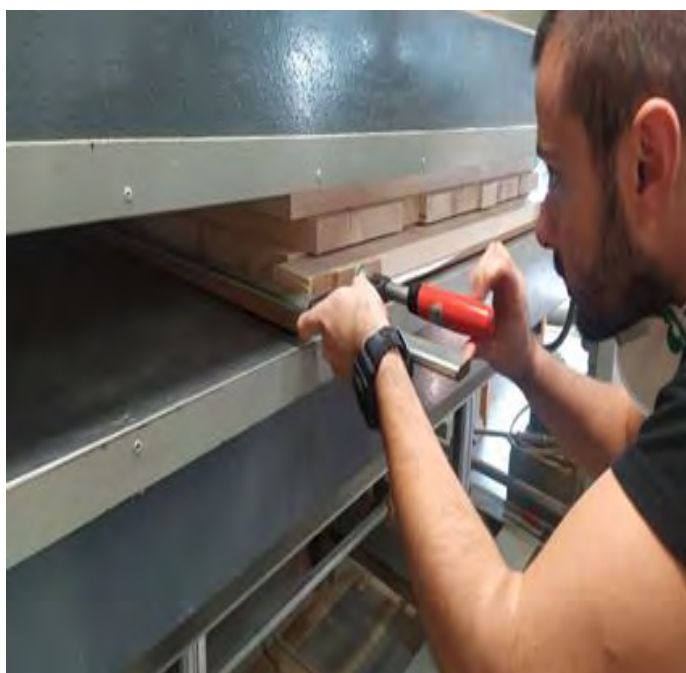


Εικόνα 77 Διεργασία συγκόλλησης



Εικόνα 78 Επάλειψη συγκολλητικής ουσίας

Στο τελευταίο στάδιο, η πλάκα τοποθετήθηκε στην πρέσα και με επιμέρους σφίξιμο με σφικτήρες χειρός, 2 σε κάθε στρώση με τάκους έτσι ώστε να πιάνει όλη την επιφάνεια κατά μήκος, η πλάκα ήταν έτοιμη.



Εικόνα 79 Τοποθέτηση σφικτήρων ανά στρώση για πλευρική σύνδεση



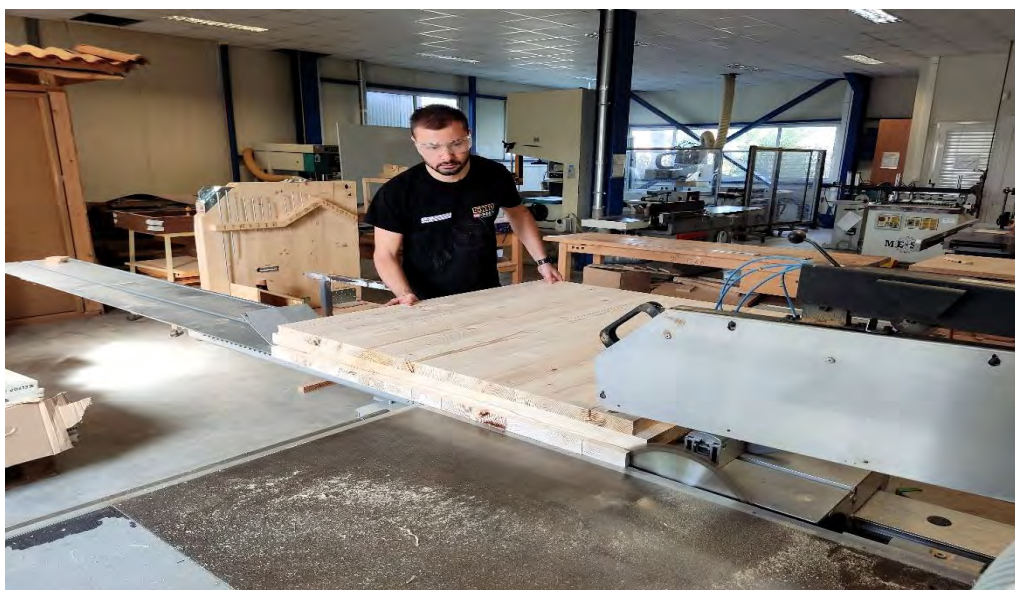
Εικόνα 80 Πίνακας προγράμματος θερμαινόμενης πρέσας

Την επόμενη μέρα, έπειτα από 15h η πλάκα αφαιρέθηκε από την πρέσα, αφαιρέθηκαν και οι σφικτήρες και μεταφέρθηκε την γωνιάστρα για να κοπεί και να γωνιαστεί περιμετρικά διαδικασία που έγινε σε 2 φάσεις καθώς ο δίσκος δεν έφτανε

να καλύψει όλο το πάχος της πλάκας και τελικά ήρθε στις επιθυμητές διαστάσεις για τις μετρήσεις οι οποίες είναι 1050 x 1050 x 105mm.



Εικόνα 81 Τελική κοπή (γώνιασμα) πάνελ στην γωνιάστρα



Εικόνα 82 Τελική κοπή (γώνιασμα) πάνελ στην γωνιάστρα

Μετάπειτα η πλάκα μεταφέρθηκε στον μηχάνημα για τις ενεργειακές μετρήσεις, τοποθετήθηκε σε αυτό και συνεχίστηκαν οι διαδικασίες για την κατασκευή του 5στρωμου πάνελ (5ply) με τελικές διαστάσεις 1050 x 1050 x 170mm, ομοίως με το 3στρωμο πάνελ (3ply).



Εικόνα 83 Τοποθέτηση 3στρωμου πάνελ στο μηχάνημα μετρήσεων θερμοπερατότητας



Εικόνα 84 3στρωμο πάνελ τοποθετημένο στο μηχάνημα μετρήσεων θερμοπερατότητας



Εικόνα 85 Τοποθέτηση 5στρωμου πάνελ στην θερμαινόμενη πρέσα



Εικόνα 86 Πλευρική κοπή 5στρωμου πάνελ στη γωνιάστρα



Εικόνα 87 Τελική εικόνα 5στρωμου πάνελ



Εικόνα 88 Διαδικασία μέτρησης θερμοπερατότητας στο 5στρωμο πάνελ

Σε περίοδο 24h έγιναν 3 επιμέρους μετρήσεις για κάθε πάνελ, οι οποίες υλοποιήθηκαν με το φορητό μηχάνημα TESTO 635-2 με εξωτερική θερμοκρασία 5°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) και εσωτερική 20°C ($\pm 1^\circ\text{C}$). Τα αποτελέσματα κατά μ.ο. θερμοπερατότητας για την κάθε πειραματική στρώση είναι τα εξής:

- 3στρωμο U-value (3ply): 1.103 W/m²K
- 5στρωμο U-value (5ply): 0.994 W/m²K

Η 5στρωμη διάταξη επομένως είχε μια βελτιωμένη απόδοση κατά 10,9% σε σχέση με την 3στρωμη.

Ειδικότερα για το πείραμα, έχοντας ως δεδομένο τα στοιχεία που δίνει η Stora Enso, δηλαδή σύμφωνα με το Διάγραμμα 1 και τον Πίνακα 13 για ένα 3στρωμο πάνελ με πάχος 105mm η τιμή U είναι ίση με 0.9 W/m²K περίπου, ενώ για ένα 5στρωμο πάνελ με πάχος 170mm η τιμή U είναι ίση με 0.6 W/m²K περίπου αλλά με τις μετρήσεις

αυτές να έχουν γίνει με πιο εξειδικευμένη τεχνική (κατάλληλα μηχανήματα – πιο βιομηχανοποιημένη παραγωγή) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι τιμές που προέκυψαν από τις εργαστηριακές μετρήσεις (πείραμα), δηλαδή η τιμή U (3ply): $1.103 \text{ W/m}^2\text{K}$ πάχους 105mm και η τιμή U (5ply): $0.994 \text{ W/m}^2\text{K}$ πάχους 170mm είναι πολύ καλές.

Γίνεται σαφές ότι αν το πείραμα είχε υλοποιηθεί με πιο εξειδικευμένη τεχνική, θα είχε σαφέστερα καλύτερα αποτελέσματα, καθώς υπήρξε καθυστέρηση στην επάλειψη της συγκολλητικής ουσίας η οποία έπαιξε μεγάλο ρόλο αλλά και στην πλευρική συμπίεση κάθε στρώσης.

ΥΛΙΚΑ

Όπως προ αναφέρθηκε παραπάνω, η ξυλεία η οποία χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του πειράματος είναι η υβριδογενής ελάτη (*Abies cerhalonica* x *Abies alba* ή *Abies borisii regis* Mattf.) η οποία και αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά ελληνικά δασοπονικά είδη καθώς εξαπλώνεται σε όλη την ηπειρωτική Ελλάδα (και όχι μόνο), σχηματίζοντας δάση έκτασης 5,43 εκατομ. στρεμμάτων περίπου με συνολικό ξυλαπόθεμα εκτιμώμενο στα 43,0 εκατομ. m^3 , το οποίο είναι περισσότερο από όλα μαζί τα υπόλοιπα γένη κωνοφόρων.

Πρόκειται για είδος το οποίο είναι ελαφρύτερο από το ξύλο διαφόρων ειδών εγχώριας πεύκης (χαλέπιος πεύκη $0,565 \text{ g/cm}^3$, τραχεία πεύκη $0,517 \text{ g/cm}^3$, μαύρη πεύκη $0,507 \text{ g/cm}^3$), βαρύτερο της ερυθρελάτης ($0,348 - 0,378 \text{ g/cm}^3$) και ανάλογη είναι η κατάταξη των μηχανικών ιδιοτήτων του (στατική κάμψη: $76,52 \text{ N/mm}^2$, σκληρότητα: $17,90 \text{ N/mm}^2$, αξονική θλίψη: $39,86 \text{ N/mm}^2$, εγκάρσια θλίψη: $5,49 \text{ N/mm}^2$, διάτμηση: $11,01 \text{ N/mm}^2$, κρούση: $340,68 \text{ Nm/mm}^2$, σχίση: $7,89 \text{ N/mm}^2$) (Σκαρβέλης, Ρουσόδημος, Γ. 2008).

Για την συγκόλληση και δημιουργία των πάνελ χρησιμοποιήθηκε συγκολλητική ουσία πολυουρεθάνης 1 συστατικού Jowapur 686.20 της εταιρίας Jowat Adhesives (Εικ. 77) η οποία είναι κατάλληλη για δομικές κατασκευές που δέχονται φορτία.

Η κόλλα πολυουρεθάνης 1 συστατικού πολυμερίζεται με την υγρασία του ξύλου και την υγρασία του περιβάλλοντος για να δημιουργήσει μια αδιάλυτη στο νερό ρητίνη. Είναι κατάλληλη δομική ξυλεία, επικολλητή ξυλεία GLT, διασταυρούμενη επικολλητή ξυλεία CLT και ξυλοδοκούς τύπου I.

8. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα πάνελς παρότι είναι εργαστηριακή κατασκευή χωρίς υψηλές προδιαγραφές συμπεριφέρθηκαν καλά, χωρίς να υπάρχουν αποκολλήσεις ή παραμορφώσεις. Φυσικά, θα χρειαστούν πολλές επαναλήψεις και έκθεση σε διάφορα περιβάλλοντα για να φανεί η συνολική συμπεριφορά του για να γίνουν μελλοντικές βελτιώσεις.

Αν και τα αποτελέσματα δεν είναι ίδια με αυτά της εταιρίας Stora Enso για γνωρίζοντας ότι είμαστε ακόμα ψηλά σε θέμα θερμοπερατότητας και βάσει των προδιαγραφών που προαναφέρθηκαν ότι πρέπει να πληρούν τα κτίρια καταλαβαίνουμε ότι απαιτούνται μονωτικά υλικά για να πέσει περισσότερο ο δείκτης.

Γνωρίζοντας ότι η θερμική αγωγιμότητα λ της διασταυρούμενης επικολλητής ξυλείας CLT είναι 0,12 W/mK και ότι η θερμική αγωγιμότητα λ του ορυκτοβάμβακα είναι 0,035 W/mK συμπεραίνουμε ότι με την χρήση μόνο ενός μονωτικού υλικού η τιμή U πέφτει αρκετά (Πίνακας 14). Εκεί που είχαμε δηλαδή σε ένα πάνελ CLT πάχους 100mm (3ply) τη τιμή U να είναι ίση με 0.997 W/m²K (Πίνακας 13), τώρα έχουμε το αντίστοιχο πάνελ (CLT 100mm 3ply) με τη προσθήκη ορυκτοβάμβακα 160mm να έχει τη τιμή U ίση με 0.179 W/m²K.

Πίνακας 14 Υπολογισμός θερμικής αγωγιμότητας CLT πάχους 100mm και ορυκτοβάμβακα 160mm

Thermal transmittance	$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}}$
Heat transfer resistance	$R_{si} = 0.13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ $R_{se} = 0.04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$
Thermal conductivity of CLT	$\lambda_{CLT} = 0.12 \text{ W/mK}$
Thermal conductivity of insulation	$\lambda_{insulation} = 0.035 \text{ W/mK}$
Thermal transmittance	$U_{CLT,100} = \frac{1}{0.13 \text{ m}^2 \text{ K/W} + \frac{0.1 \text{ m}}{0.12 \text{ W/mK}} + \frac{0.16 \text{ m}}{0.035 \text{ W/mK}} + 0.04 \text{ m}^2 \text{ K/W}} = 0.179 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Όπου :

Thermal transmittance = Θερμική μετάδοση

Heat transfer resistance = Αντίσταση μεταφοράς θερμότητας

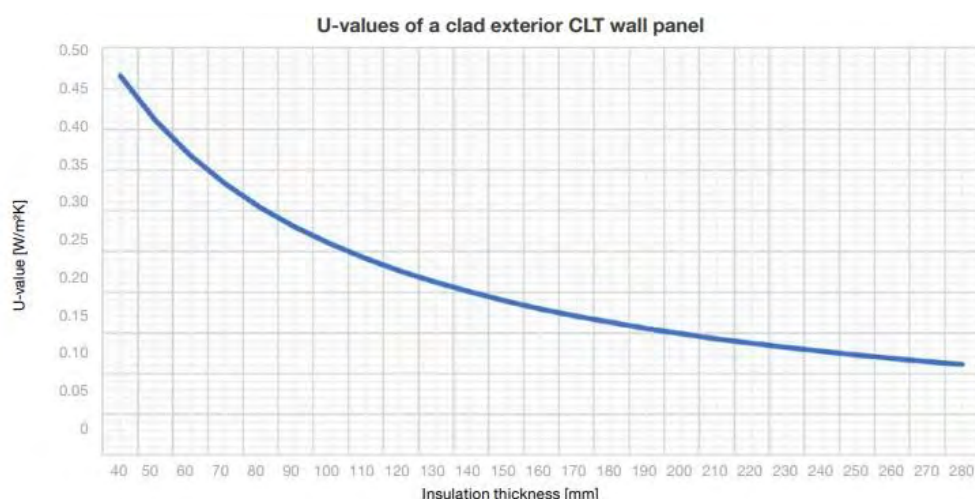
Thermal conductivity of insulation = Θερμική αγωγιμότητα της μόνωσης

Thermal conductivity of CLT = Θερμική αγωγιμότητα

U [W/(m²·K)] ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,

n [-] το πλήθος των στρώσεων του δομικού στοιχείου,

- d** [m] το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου,
- λ** [W/(m·K)] ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του CLT – μόνωσης,
- δ** [m²·K/W] η θερμική αντίσταση στρώματος αέρα σε τυχόν υφιστάμενο διάκενο ανάμεσα στις στρώσεις του δομικού στοιχείου, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας του διακένου δεν επικοινωνεί με το εξωτερικό περιβάλλον και θεωρείται πρακτικά ακίνητος,
- R_i** [m²·K/W] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο προς το δομικό στοιχείο,
- R_a** [m²·K/W] η αντίσταση θερμικής μετάβασης που προβάλλει το επιφανειακό στρώμα αέρα στη μετάδοση της θερμότητας από το δομικό στοιχείο προς το εξωτερικό περιβάλλον.



Διάγραμμα 2 Σχέση τιμής U ανάλογα με το πάχος των πάνελ με προσθήκη μονωτικού υλικού

Σε αντίστοιχη έρευνα της εταιρίας Stora Enso τοιχοποιίας αποτελούμενης από τούβλο, κονίαμα σοβατίσματος εξωτερικά και ασβεστοσοβά εσωτερικά συνολικού πάχους 210mm η τιμή U ισούται με 0,74 W/m²K καθώς η θερμική αγωγιμότητα λ του τούβλου είναι 0,16 W/mK, η θερμική αγωγιμότητα λ του κονιάματος είναι 0,31 W/mK και η θερμική αγωγιμότητα λ του σοβά είναι 0,7 W/mK την στιγμή που η τιμή U ενός CLT πάνελ χωρίς καμία μόνωση ίδιου πάχους είναι περίπου 0,55 W/m²K.

Από τα παραπάνω προκύπτει συνεπώς η υπεροχή του ξύλου σαν θερμομονωτικό υλικό και σε συνδυασμό με το χαμηλό του βάρος, την αντοχή του σε χρόνια φορτίσεις και τον ανανεώσιμο χαρακτήρα του, ότι μιλάμε για ένα αξεπέραστο προϊόν.

Γίνεται σαφές ότι αν το πείραμα είχε υλοποιηθεί με πιο εξειδικευμένη τεχνική θα είχε σαφέστερα καλύτερα αποτελέσματα, καθώς υπήρξε καθυστέρηση στην επάλειψη της συγκολλητικής ουσίας η οποία έπαιξε μεγάλο ρόλο αλλά και στην πλευρική συμπίεση κάθε στρώσης.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Γενικότερα για την Διασταυρούμενη Επικολλητή Ξυλεία CLT η οποία προέκυψε για την αξιοποίηση ποσότητας υπολειμμάτων κατεργασίας ξύλου των πριστηρίων, κατέληξε να είναι μια επεξεργασία που χαίρει άκρας αποδοχής και χρησιμοποιείται εκτενώς. Το προϊόν CLT σαν υλικό δόμησης έχει πολύ μεγάλα οφέλη στις κατασκευές. Βασικά πλεονεκτήματα:

1. Μικρός χρόνος ανέγερσης που περνάει απαρατήρητος, όταν συγκρίνεται με διάφορες άλλες μεθόδους οικοδόμησης όπως με το σκυρόδεμα και το χάλυβα. Τα πάνελ CLT μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ολόκληρη τη δομή κτιρίου (δηλ. πάτωμα, τοίχοι και στέγη). Ο χρόνος δημιουργίας του ελαττώνεται καθώς ακολουθεί μια προκαθορισμένη διαδικασία.
2. Ωστόσο, σε αυτό που θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση, είναι η ανάγκη για τεχνογνωσία, πληροφόρηση, κοινοποίηση της γνώσης που αφορά στο ξύλο σαν υλικό και τις δομικές κατασκευές στη χώρα μας στις οποίες πρέπει να χρησιμοποιείται.
3. Πρόκειται για ένα πράσινο δομικό υλικό νέας σχετικά γενιάς με χαμηλές εκπομπές άνθρακα για προκατασκευασμένα κτίρια. Υπάρχει μεγάλη ώθηση παγκοσμίως προς αυτή τη κατεύθυνση, γεγονός που προϊδεάζει για την ακόμα μεγαλύτερη ανάπτυξη που θα υπάρξει στο μέλλον χωρίς αρνητικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Η υβριδογενείς ελάτη αποδείχθηκε πολύ καλό υλικό τόσο για την κατασκευή διασταυρούμενης επικολλητής ξυλείας όσο και από άποψη θερμομόνωσης με βασικό βέβαια ρόλο να έχει το πάχος των πάνελ καθώς όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα, όσο μεγαλώνει το πάχος πέφτει και η τιμή του U.

Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την χρήση ξυλείας ελάτης ελληνικής προέλευσης είναι πάρα πολύ ελπιδοφόρα για το μέλλον των κατασκευών στη χώρα μας, και αν φυσικά γινόταν καλύτερη διαχείριση των ελληνικών δασών ίσως στο μέλλον και να μπορούσε χωρίς εισαγωγές να γίνει παραγωγή πάνελ Διασταυρούμενης Επικολλητής Ξυλείας CLT και στην Ελλάδα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

1. Άρθρο ewood.gr CLT: ένα νέο προϊόν ξύλου, πολλά υποσχόμενο στις δομικές κατασκευές (30/9/2019) <https://ewood.gr/clt-%CE%AD%CE%BD%CE%B1-%CE%BD%CE%AD%CE%BF-%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD-%CE%BE%CF%8D%CE%BB%CE%BF%CF%85/>.
2. Εκδόσεις ΚΤΙΡΙΟ (2022), Το Ξύλο στα Κτίρια, οδηγός σχεδιασμού και κατασκευής.
3. EN 1995 - 1 - 1 : 2004 Ευρωκώδικας 5 Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών Μέρος 1 – 1 : Γενικά - Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτήρια.
4. Κακαράς Ι.(2009). Τεχνολογία Ξύλου: Πρίση, Ξήρανση, Εμποτισμός, Καμπύλωση, Καπλαμάδες. Εκδόσεις ΙΩΝ, σελ 248.
5. Κακαράς Ι.(2013). Τεχνολογία Ξύλινων Δομικών Κατασκευών. Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ, σελ 734.
6. Κοντού Αφρ., Τετράδη Αικ. (2013). Πτυχιακή εργασία : Διερεύνηση και ανάπτυξη λογισμικού για τη μη γραμμική συμπεριφορά δοκών Ω.Σ. σύμφωνα με τους Ευρωκώδικες 2 και 8.
7. Μαντάνης Γ.(2015). Παρέμβαση για τις ξύλινες κατασκευές, δημόσια παρέμβαση στα τοπικά ΜΜΕ (εφημερίδα Ν. Αγών, Καρδίτσα).
8. Μαντάνης, Γ. (2018). Ιδιότητες ξύλου. Διδακτικές σημειώσεις. Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου, Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας.
9. Μαντάνης, Γ. (2019). Δομή ξύλου. Διδακτικές σημειώσεις. Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου, Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας.
10. Μπαρμπούτης Ι. (2002). “Η χρήση του ξύλου ως παράγοντας προστασίας του περιβάλλοντος και επιβράδυνση της κλιματικής αλλαγής”.
11. Νταλός Γ. (2019). Σημειώσεις CLT, Σημειώσεις ΠΜΣ «Προηγμένες Μέθοδοι Σχεδιασμού, Τεχνολογίας & Μάνατζμεντ Προϊόντων από Ξύλο», Τμήμα Δασολογίας, Επιστήμων Ξύλου και Σχεδιασμού, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
12. Σκαρβέλης Μ. (1996). Ξήρανση πριστής ξυλείας με αξιοποίηση ηλιακής ενέργειας, Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωτεχνικών Επιστημών, ΑΠΘ, 1996 σελ. 192.
13. Σκαρβέλης Μ., Ρουσόδημος, Γ. 2008. Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του ξύλου της κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica* Loud.) και της υβριδογενούς ελάτης (*Abies borisii regis* Mattf.) διαφόρων προελεύσεων του ελληνικού χώρου. «Δασική Έρευνα», τ. 21/2008, σελ. 3-14.
14. Σκαρβέλης Μ. (2015). Ενεργειακή απόδοση των ξύλινων κατοικιών, στεγών. Σημειώσεις ΠΜΣ «Προηγμένες Μέθοδοι Σχεδιασμού,

Τεχνολογίας & Μάνατζμεντ Προϊόντων από Ξύλο», Τμήμα Δασολογίας, Επιστήμων Ξύλου και Σχεδιασμού, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

15. Τζιάφκος Ε. (2017) : Μελέτη σχεδιασμού και υλοποίησης ξύλινης κατασκευής τεχνολογίας CLT στο τμήμα ΣΤΞΕ, Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου/ΤΕΙ Θεσσαλίας.
16. Τσακανίκα Ε., Ζαννής - Κοντέας Θ. (2010) EN 1995-1-1 Ευρωκώδικας 5 Σχεδιασμός ξύλινων κατασκευών Μέρος 1 – 1 Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτήρια.
17. Τσουμής Γ. (2009), “Επιστήμη και τεχνολογία του ξύλου” Τόμος Α: Δομή και ιδιότητες.
18. Υ.Π.ΕΝ. ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ, ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017, παράρτημα 1, Εφημερίδα της κυβερνήσεως.
19. Υ.Π.ΕΝ. ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ, ΤΕΧΝΙΚΗ ΟΔΗΓΙΑ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΠΙΜΕΛΗΤΗΡΙΟΥ ΕΛΛΑΔΑΣ Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/2017, παράρτημα 2, Εφημερίδα της κυβερνήσεως.

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

1. Xlam Dolomiti, manufacturing CLT
2. CLT-HANDBOOK-US-EDITION-2031
3. CLT by Stora Enso (2020), Building physics
4. Oklahoma State University (2016), Laminated Veneer Lumber (LVL) as a construction material.
5. Ultralam <https://ultralam.com/products/laminated-veneer-lumber-lvl/>
6. Kallesoe machinery <https://kallesoemachinery.com/system-solutions/clt-system-solutions/>
7. EN 14081-1:2005, Timber structures - Strength graded structural timber with rectangular cross section - Part 1: General requirements
8. EN 14081-2:2005, Timber structures — Strength graded structural timber with rectangular cross section — Part 2: Machine grading; additional requirements for initial type testing
9. EN 14081-3:2005, Timber structures — Strength graded structural timber with rectangular cross section — Part 3: Machine grading; additional requirements for factory production control
10. EN 14081-4:2005, Timber structures — Strength graded structural timber with rectangular cross section — Part 4: Machine grading; grading machine settings for machine controlled systems
11. prEN 15228, Structural timber — Structural timber preservative treated against biological attack

12. Jowat Adhesives <https://www.jowat.com/en/applications/wood-industry/solid-wood-processing/glulam/>