

ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ CROSS LAMINATE PANEL

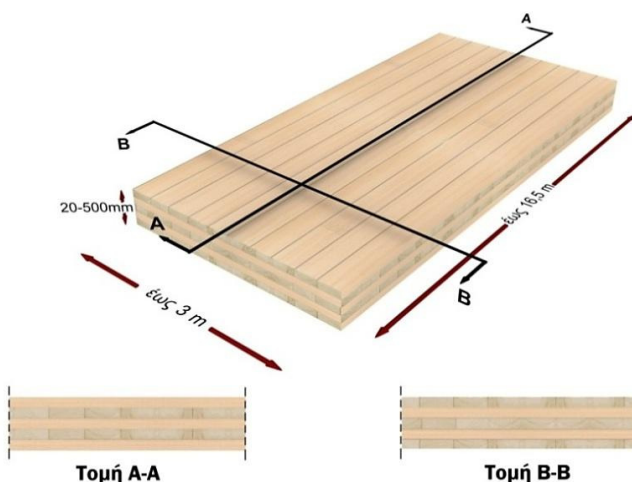
ΚΑΡΑΒΙΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της συμπεριφοράς πλαισιωτών φορέων οπλισμένου σκυροδέματος κατά την ενίσχυση τους με cross laminate πάνελ, καθώς και η επίδραση διαφόρων κατασκευαστικών λεπτομερειών στην απόδοση της μεθόδου. Για το αυτό σκοπό, με την βοήθεια του SAP2000 v16 εξετάσαμε σε έναν απλό πλαισιωτό φορέα την ενίσχυση του: α) με ενιαίο cross laminate panel, β) με δύο πάνελ συνδεδεμένα σε σειρά, γ) με ενιαίο πάνελ με διαφορετική τοποθέτηση συνδέσμων. Επιπλέον εξετάστηκαν τέσσερις αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις ύπαρξης ανοιγμάτων στην επιφάνεια του πάνελ. Τέλος τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με συνήθη τοιχοπλήρωση οπτόπλινθων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το cross laminate panel (σταυρωτά επικολλημένη πλάκα ξύλου πολλαπλών στρώσεων) είναι μια πολυστρωματική σύνθετη κατασκευή η οποία αποτελείται από σημαντικό αριθμό στρώσεων (τουλάχιστον τριών), δύο εξωτερικές στρώσεις τοποθετημένες παράλληλα μεταξύ τους, με ίδιο προσανατολισμό ινών και τουλάχιστον άλλη μια στρώση ανάμεσα τους. Η κάθε στρώση είναι έτσι τοποθετημένη ώστε οι ίνες της να βρίσκονται κάθετα σε σχέση με τις ίνες των γειτονικών δημιουργώντας έτσι μια “σταυρωτή” δομή. Η κάθε μεμονωμένη στρώση απαρτίζεται από μικρότερα τμήματα φυσικού ξύλου (σανίδες), τα οποία μπορεί να είναι συγκολλημένα μεταξύ τους αλλά μπορεί και όχι, ενώ σε ειδικής σχεδίασης πάνελ ενδέχεται να έχουν και κάποια απόσταση μεταξύ τους (στις ενδιάμεσες στρώσεις). Στην βιβλιογραφία και στο εμπόριο τα συναντάμε συνήθως ως CLT (έτσι θα το αναφέρουμε και εμείς), από την αγγλική φράση cross laminate timber, ως BSP ή BSPH από την γερμανική λέξη Brettsperrholz ή σπανιότερα ως X-lam.



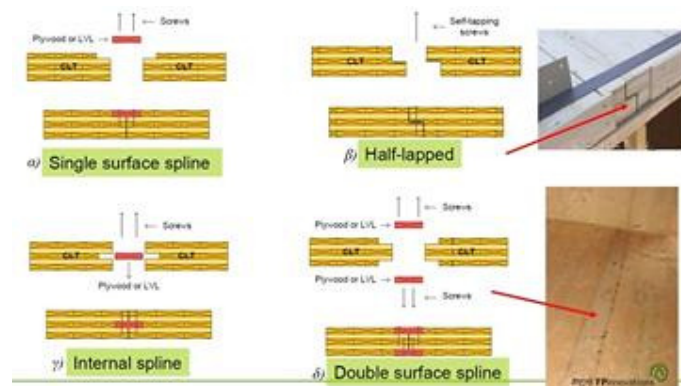
Σχήμα 1: Διαμόρφωση και συνήθεις διαστάσεις cross laminate panel.

Για την κατασκευή του κάθε στρώματος χρησιμοποιείται μαλακή ξυλεία. Κατά κύριο λόγο η πρώτη ύλη είναι έλατο (picea abies), όμως κατά περίπτωση και ανάλογα με τις ανάγκες κατασκευής μπορεί να χρησιμοποιηθεί λαρτζινό (Larix decidua) ή και Douglas fir (pseudotsuga menziesii). Όσο αναφορά την κατηγορία ξυλείας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή πάνελ πιο συχνά είναι της κατηγορίας C24. Βέβαια στο παραγόμενο τελικό προϊόν

ενδέχεται να υπάρχει και ένα μικρό ποσοστό χαμηλότερης κατηγορίας (πχ C16). Για την συγκόλληση τόσο των μικρότερων τμημάτων, όσο και των στρώσεων μεταξύ τους χρησιμοποιούνται ρητίνες, ικανές να δημιουργήσουν ισχυρές συγκολλήσεις μεγάλης αντοχής, μεταξύ των επιμέρους στοιχείων, οι οποίες και να διατηρηθούν ακέραιες για ολόκληρο το προσδόκιμο ζωής της κατασκευής. Στην αγορά κατασκευάζονται πάνελ 3,5,6,7,8,9 και 11 στρώσεων, το πάχος κάθε στρώματος ποικίλει, μπορεί να ξεκινά από 17mm και φθάνει έως τα 40mm (σπανιότερα 80mm). Το συνολικό πάχος του πάνελ κυμαίνεται από 50mm έως και 340mm (μερικές εταιρείες προσφέρουν κατά παραγγελία και CLT με πάχος που φθάνει έως και τα 500mm). Το μήκος των πάνελ φτάνει τα 16,5m (προσφέρεται όμως και η δυνατότητα να κατασκευαστούν και πάνελ μέχρι 20m). Το πλάτος των πάνελ πάλλι ποικίλει ανά εταιρεία, με αυτό να κυμαίνεται από 1,25 έως 3m (1,25/2,4/2,5/2,65/2,75/2,95/3).

Για την ενίσχυση υφιστάμενων κατασκευών με την εφαρμογή CLT έχουν προταθεί δύο μέθοδοι. Η πρώτη δυνατότητα είναι η ανάρτηση εξωτερικά μιας κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος και μέσω συνδέσμων, πάνελ CLT με στόχο την αντισεισμική ενίσχυση της κατασκευής, αλλά και την ταυτόχρονη αναβάθμιση των θερμομονωτικών δυνατοτήτων της, χάρη στα πολύ καλά χαρακτηριστικά του ξύλου στον τομέα αυτό. Η προσθήκη γίνεται μέσω κατάλληλων συνδέσμων, χωρίς την επέμβαση στα υπάρχοντα στοιχεία. Στο [4] δοκιμάστηκε θεωρητικά η αποτελεσματικότητα της μεθόδου με ανελαστική στατική ανάλυση στο πρόγραμμα SAP2000. Η μέθοδος έδειξε 90% αύξηση της επιτρεπόμενης επιτάχυνσης του εδάφους κατά την εφαρμογή όμως ενιαίων πάνελ και πολλών συνδέσμων. Αντίθετα μια πιο συντηρητική εφαρμογή με μικρότερα τμήματα πάνελ και συνδέσμους τοποθετημένους ανά 300mm έδειξε μικρότερη αποτελεσματικότητα με 21% αύξηση της επιτρεπόμενης επιτάχυνσης του εδάφους.

Η δεύτερη μέθοδος, και με την οποία θα ασχοληθούμε στην παρούσα εργασία είναι η τοποθέτηση CLT εντός πλαισίου. Η τοποθέτηση των CLT ως υλικό τοιχοπλήρωσης έχει εξεταστεί στην περίπτωση μεταλλικών κατασκευών με πολύ καλά αποτελέσματα [10]. Σκοπός της μεθόδου είναι η αύξηση της αντοχής και της δυσκαμψίας της κατασκευής χωρίς την αύξηση σημαντικά του βάρους της. Το πάνελ μπορεί να κοπεί στις επιθυμητές διαστάσεις, με μεγάλη ακρίβεια, στο εργοστάσιο με την χρήση μηχανημάτων CNC. Οι διαστάσεις του πάνελ ανάλογα και με τις ανάγκες της κατασκευής μπορεί να είναι πολύ μεγάλες και πρέπει να ληφθεί ειδική μέριμνα για την προσβασιμότητα στο έργο. Ειδικά σε εσωτερικά της κατασκευής πλαίσια που η προσβασιμότητα σε μηχανήματα ανύψωσης είναι περιορισμένη, ενδέχεται να είναι δυσχερής η τοποθέτηση από τα συνεργεία, πολύ μεγάλων διαστάσεων πάνελ. Έτσι πολλές φορές μπορεί να κριθεί απαραίτητο η σύνδεση μικρότερων πάνελ με χρήση διαφόρων μορφών συνδέσεων. Οι πιο κοινές συνδέσεις που βρίσκουν εφαρμογή στην σύνδεση πάνελ σε σειρά φαίνονται στο Σχήμα: 2.



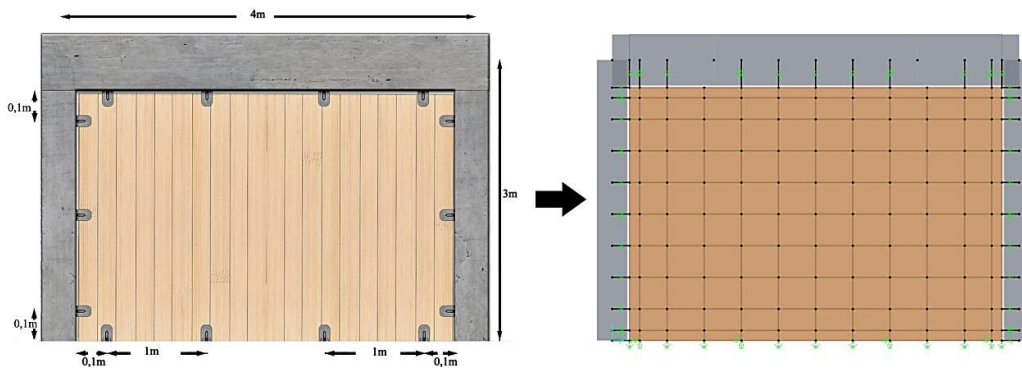
Σχήμα 2: Συνηθισμένοι τύποι σύνδεσης σε CLT [11],[17].

Να σημειώσουμε εδώ ότι οι αποκλειστικά με μηχανικά μέσα σύνδεσμοι, προσφέρουν σημαντικά μικρότερη αντοχή. Αντίθετα σύνδεσμοι στους οποίους χρησιμοποιούνται επιπλέον ρητίνες, αυτοί παρουσιάζουν συμπεριφορά σχεδόν μονολιθική [3]. Ένα άλλο σημείο που θα θέλαμε να τονίσουμε είναι ότι για πρακτικούς λόγους είναι απαραίτητη η ύπαρξη αρμού περιμετρικά του πάνελ, ο οποίος φυσικά στην συνέχεια μπορεί να καλυφτεί με κάποιο κοινό υλικό πλήρωσης. Στην παρούσα εργασία και έλλειψη λεπτομερέστερων στοιχείων θα εξεταστούν οι περιπτώσεις ύπαρξης αρμού 2cm και 4cm. Το πάνελ στερεώνεται στο πλαίσιο με την χρήση μεταλλικών συνδέσμων που είναι ευρέως διαδεδομένοι και στις ξύλινες κατασκευές. Κύριο ρόλος των συνδέσμων είναι η εξασφάλιση σε ανατροπή του πάνελ, ενώ η συμμετοχή τους στην αντοχή του πλαισίου θα διερευνηθεί. Τέλος η τελική κατασκευή μπορεί να καλυφτεί με πληθώρα υλικών τόσο για λόγους αισθητικής αλλά και για την βελτίωση της πυρασφάλεια και της θερμομόνωσης.

2.ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΥΦΟΡΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΑΠΟ CLT.

Στο SAP2000 ορίστηκε ένα απλό πλαίσιο οπλισμένου σκυροδέματος ύψους 3m και ανοίγματος 4m. Τα δύο υποστυλώματα έχουν διαστάσεις 300mm x 300mm με οπλισμό 4φ14, ενώ η δοκός έχει ύψος 500mm και πάχος 300mm. Ο οπλισμός της δοκού στη στήριξη είναι 3φ14 και 2φ14 στο άνω και κάτω πέλμα αντιστοίχως ενώ στο άνοιγμα ο οπλισμός αλλάζει σε 2φ14 στο άνω πέλμα και 3φ14 στο κάτω. Όλα τα μέλη περιλαμβάνουν εγκάρσιο οπλισμό φ8/220 και επικάλυψη οπλισμού c=25mm. Το σκυρόδεμα είναι κατηγορίας C20/25, ο διαμήκης οπλισμός αποτελείται από χάλυβα ποιότητας S400, ενώ ο εγκάρσιος από S220.

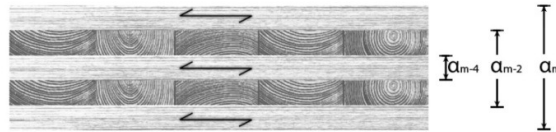
Αρχικά το πλαίσιο πακτώθηκε ενώ φορτίστηκε στο κάθε κόμβο με κατακόρυφο φορτίο 350kN. Η εκτίμηση της αντοχής του ενισχυμένου πλαισίου επιχειρήθηκε να γίνει με ανελαστική στατική ανάλυση για την πρώτη ιδιομορφή του φορέα χωρίς να καταστεί αυτό δυνατό λόγω προβλημάτων σύγκλισης. Ως εκ τούτου το πλαίσιο φορτίστηκε στον ένα



Σχήμα 3: Φορέας που θα εξεταστεί και η μοντελοποίηση του στο SAP2000

κόμβο με οριζόντιο φορτίο 1kN, αυξανόμενο γραμμικά με τον χρόνο (το SAP2000 δεν επιτρέπει την επιβολή μετατόπισης-displacement σε μη στηριζόμενο κόμβο). Αναλυτικότερα για τα κατακόρυφα φορτία ορίστηκε μια αρχική ανελαστική φόρτιση (nonlinear static load case) στην οποία περιλαμβάνονται τα κατακόρυφα φορτία και τα ίδια βάρη των μελών. Ενώ για την πλευρική φόρτιση ορίστηκε time history load case ανελαστική (nonlinear) με άμεση ολοκλήρωση (direct integration) η οποία συνεχίζει αμέσως μετά το πέρας της αρχικής φόρτισης. Επίσης προηγήθηκε modal analysis για το προσδιορισμό της κύριας ιδιοπεριόδου ώστε να οριστεί μία απόσβεση 5%. Παράλληλα προσδιορίστηκαν Hinges για κάθε μέλος με την βοήθεια του section designer του Sap2000. Επιγραμματικά να αναφέρουμε ότι οι διατομές των μελών εισήχθησαν στον section designer, όπου και εξάγαμε τα $(1/\gamma)_y$, M_y . Στην συνέχεια καθορίσαμε τα διάγραμματα M-θ (KAN.ΕΠΕ. §7.2.2 [14]) των μελών τα οποία και εισάγαμε στο SAP2000.

Το πάνελ εξομοιώθηκε ως επιφανειακό στοιχείο μεμβράνη (shell-membrane) αγνοώντας τυχόν κάμψη εκτός επιπέδου, αποτελούμενο από ορθοτροπικό υλικό. Αν και το cross laminate panel έχει σύνθετη δομή μπορεί αυτό να αντικατασταθεί από ομογενή υλικό με εφαρμογή της μεθόδου σύνθεσης [5], [11]. Έτσι θεωρούμε αντί του υπό εξέταση στοιχείου (με την σύνθετη δομή που αυτό έχει) μια υποθετική ομογενή διατομή ίδιου πάχους. Η συσχέτιση και η μετάβαση από το αρχικό υπό εξέταση μέλος cross laminate στην νέα υποθετική διατομή γίνεται με τους συντελεστές σύνθεσης k_i (Πίνακας 1) οι όποιοι ουσιαστικά αντιστοιχούν στο λόγο των αντοχών του CLT προς τις αντίστοιχες αντοχές της νέας διατομής.



Σχήμα 4: CLT πέντε στρώσεων $m=5$.

Από τον πίνακα 2 μπορούμε να υπολογίσουμε με τους συντελεστές σύνθεσης τα ενεργά μέτρα ελαστικότητας παράλληλα και κάθετα στις ίνες, καθώς και τις ενεργές αντοχές παράλληλα και κάθετα στις ίνες για κάμψη, εφελκυσμό, θλίψη. Να τονίσουμε στο σημείο αυτό ότι ως αρχικές τιμές των χαρακτηριστικών αντοχών και μέτρων ελαστικότητας ($f_{m,0}$, $f_{t,0}$, $f_{c,0}$, E_0) παίρνουμε αυτές της συγκολλητής ξυλείας GL28h και όχι του φυσικού ξύλου από το οποίο είναι κατασκευασμένο το πάνελ [2], [5].

	k_i
	$k_3 = 1 - \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) \cdot \frac{a_{m-2} - a_{m-4} + \dots \pm a_1}{a_m}$
	$k_4 = \frac{E_{90}}{E_0} + \left(1 - \frac{E_{90}}{E_0}\right) \cdot \frac{a_{m-2} - a_{m-4} + \dots \pm a_1}{a_m}$

Πίνακας 1: Συντελεστές σύνθεσης k_i για cross laminate panel

Είδος φόρτισης	Σχέση φόρτισης-ινών πάνελ	Ενεργή αντοχή	Ενεργό μέτρο ελαστικότητας
Για φόρτιση παράλληλα στο πάνελ			
Εφελκυσμός	Παράλληλα	$f_{t,0,ef} = f_{t,0} \cdot k_3$	$E_{t,0,ef} = E_0 \cdot k_3$
	Κάθετα	$f_{t,90,ef} = f_{t,0} \cdot k_4$	$E_{t,90,ef} = E_0 \cdot k_4$
Θλίψη	Παράλληλα	$f_{c,0,ef} = f_{c,0} \cdot k_3$	$E_{c,0,ef} = E_0 \cdot k_3$
	Κάθετα	$f_{c,90,ef} = f_{c,0} \cdot k_4$	$E_{c,90,ef} = E_0 \cdot k_4$

Πίνακας 2: Ενεργές αντοχές και μέτρα ελαστικότητας cross laminate panel σύμφωνα με την μέθοδο σύνθεσης

Για τον προσδιορισμό του μέτρου δυσκαμψίας εφαρμόσαμε την μέθοδο που αναπτύχθηκε στον Πανεπιστήμιο Τεχνολογίας του Graz. Λεπτομέρειες για το θεωρητικό υπόβαθρο και τη διαδικασία υπολογισμού μπορούν να βρεθούν στα [7], [8], [9], [18] εδώ θα αναφέρουμε επιγραμματικά ότι για πάνελ χωρίς κενά το μέτρο διάτμησης είναι:

$$G_{12} = G^* = \frac{G_{0,mean}}{1 + 6 \cdot \alpha_{FET-FIT} \cdot \left(\frac{t_i}{a}\right)^2} \quad (1)$$

Με $\alpha_{FET-FIT}$ διορθωτικός συντελεστής:

$$\alpha_{FET-FIT} = p \cdot \left(\frac{t_i}{a}\right)^q \quad (2)$$

Όπου $p:0,53$ για πάνελ 3 στρώσεων

$p:0,49$ για πάνελ 5 στρώσεων

$q:-0,79$ και στις δύο περιπτώσεις

t_i : πάχος στρώσης (ή μέσω πάχος αν δεν είναι κοινό σε όλες τις στρώσεις)

a : μέσω πλάτος μεμονωμένης σανίδας

Στον πίνακα φαίνονται τα μέτρα διάτμησης για τα πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε τα οποία προσδιορίστηκαν με υπόθεση για $a= 185\text{mm}$ (σε CLT το a κυμαίνεται μεταξύ 80mm-240mm).

	k_3	k_4	$E_{m,0}$	$E_{m,90}$	G_{12}	ρ
CLT	0,65	0.3832	8,19Gpa	4,83Gpa	0,5Gpa	410kg/m ³

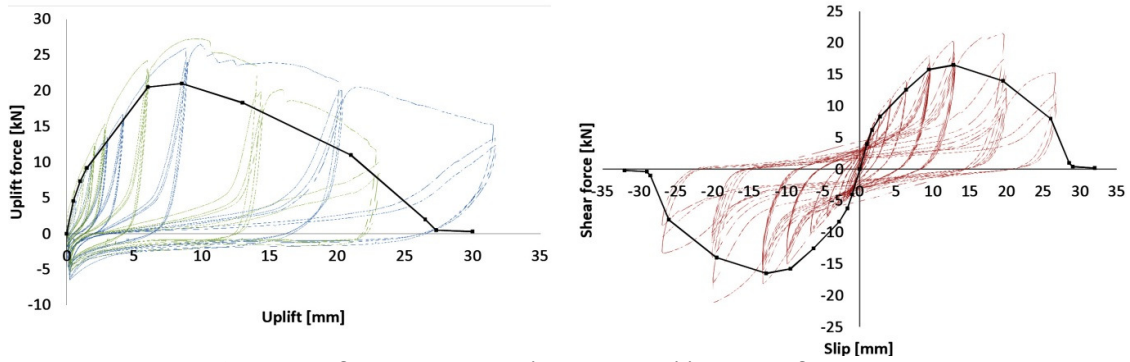
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά ορθοτροπικού υλικού που εισήχθησαν στο SAP2000 για το υπό εξέταση πάνελ.

Για την προσομοίωση της επαφής του πάνελ περιμετρικά με το πλαίσιο ορίστηκε t/c friction link. Αυτό μας επιτρέπει παράλληλα να λάβουμε υπόψη της τριβή που αναπτύσσεται κατά την σχετική κίνηση των μελών, αλλά και την ύπαρξη αρμού. Ο συντελεστής τριβής μεταξύ πάνελ και σκυροδέματος ορίστηκε ως 0,5. Αντίστοιχο link επιλέχθηκε και για την έδραση με τα ίδια χαρακτηριστικά χωρίς όμως τη ύπαρξη κενού.

Για την στήριξη του CLT θεωρήσαμε περιμετρικά την τοποθέτηση μεταλλικών συνδέσμων. Πιο συγκεκριμένα στην παρούσα εργασία θεωρούμε ότι χρησιμοποιήθηκαν γωνιακοί σύνδεσμοι με νεύρωση BMF 105. Για την σύνδεση με το πάνελ χρησιμοποιήθηκαν 10 ήλοι με δακτυλίους μήκους 60mm και διαμέτρου 4mm. Ενώ η αγκύρωση του συνδέσμου με τα περιμετρικά μέλη οπλισμένου σκυροδέματος έγινε με δύο βλήτρα M12. Για την εξομοίωση της εφελκυστικής και διατμητικής συμπεριφοράς των συνδέσμων έγινε χρήση multilinear plastic link. Τα δεδομένα που θα χρησιμοποιήσουμε (Σχήμα 5) προέρχονται από δοκιμές της συγκεκριμένης σύνδεσης σε διάτμηση και εφελκυσμό [1],[4],[6].

	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	$E_{0,mean}$	$E_{90,mean}$	G_{mean}
GL28h	28	19,5	0,45	26,5	3	3,2	12600	420	720

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά μεγέθη ξυλείας GL28h σε Mpa [12].



Σχήμα 5: Αντοχή σε διάτμηση και εφελκυσμό μεταλλικού συνδέσμου BMF105[1].

Ορισμός μεταλλικού συνδέσμου BMF105

Διαγράμμα δύναμης-παράμ. για εφελκυσμό περιμετρικών συνδέσμων

Properties Used For Linear Analysis Cases: Effective Stiffness: 6345, Effective Damping: 0

Διαγράμμα δύναμης-παράμ. για διάτμηση για όλους τους συνδέσμους

Properties Used For Linear Analysis Cases: Effective Stiffness: 2767, Effective Damping: 0

Shear Deformation Location: Distance from EndJ: 0

Διαγράμμα δύναμης-παράμ. για εφελκυσμό συνδέσμων έδρασης

Properties Used For Linear Analysis Cases: Effective Stiffness: 6345, Effective Damping: 0

Ορισμός επαφής-τριβής πάνελ σκυροδέματος

Link/Support Directional Properties: Identification: Property Name: CONTACT 0.02, Direction: J1, Type: F/C Friction Isolator, NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases: Effective Stiffness: 0, Effective Damping: 0

Properties Used For Nonlinear Analysis Cases: Stiffness for Compression: 10000, Stiffness for Tension: 0, Gap Opening for Compression: 0.02, Gap Opening for Tension: 0, Damping Coefficient: 0

Σχήμα 6: Προσομοίωση συνδέσμων και επαφής στο SAP2000.

	Συνολικό πάχος πάνελ	Αριθμός στρώσεων	Διαμόρφωση στρώσεων(mm) K - O- K -O- K
CLT1	94mm	3	30-34-30

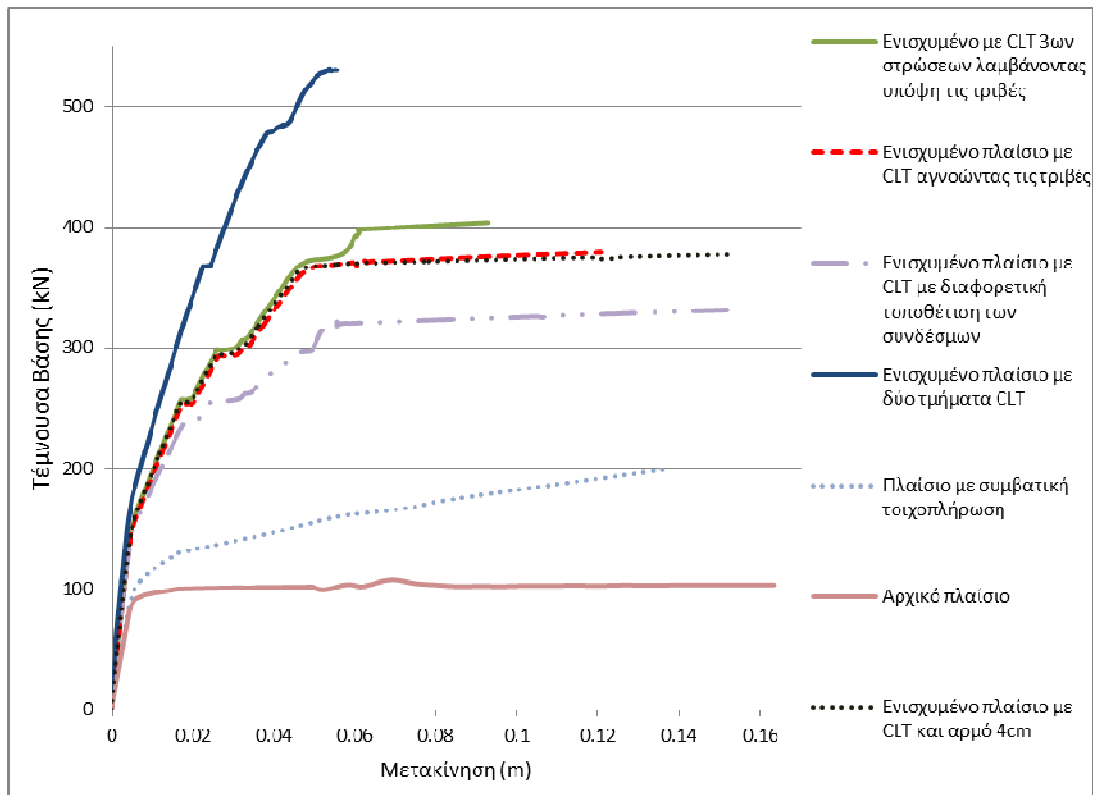
Πίνακας 5: Διαμόρφωση 3ων στρώσεων CLT που θα εξετάσουμε[16]

Με τα παραπάνω δεδομένα αρχικά εκτιμήθηκε η αντοχή του πλαισίου χωρίς κάποια ενίσχυση, ενώ στην συνέχεια εντός του πλαισίου τοποθετήθηκε πάνελ CLT. Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκαν οι εξής περιπτώσεις:

- Ενίσχυση του πλαισίου με πάνελ CLT 3^{ov} στρώσεων με περιμετρικό αρμό 2cm (αλλά και 4cm), με την διάταξη συνδέσμων του Σχήματος 3.
- Ενίσχυση του πλαισίου ομοίως με το προηγούμενο αγνοώντας όμως κατά την ανάλυση την ύπαρξη τριβών μεταξύ του πάνελ και του οπλισμένου σκυροδέματος
- Ενίσχυση του πλαισίου με την ίδια ακριβώς διάταξη (συμπεριλαμβανομένων τριβών) θεωρώντας την ύπαρξη μεγαλύτερου αρμού 4cm.
- Ενίσχυση του πλαισίου με πάνελ CLT 3^{ov} στρώσεων με περιμετρικό αρμό 2cm με διαφορετική διάταξη συνδέσμων. Πιο συγκεκριμένα έγινε μετακίνηση των ακριανών συνδέσμων κατά 260mm προς το εσωτερικό του πάνελ.
- Παράλληλα εξετάστηκε η περίπτωση ενίσχυσης πλαισίου με CLT η οποία όμως δεν είναι ενιαία αλλά αποτελείται από 2 επιμέρους ίσα τμήματα ενωμένα μεταξύ τους. Να σημειώσουμε ότι η προσομοίωση της επαφής μεταξύ των δύο πάνελ και στην

περίπτωση αυτή ορίστηκε t/c friction link με συντελεστή τριβής 0,4 [6]. Θεωρήσαμε δε ότι στο σημείο επαφής τα δύο τμήματα έχουν επίπεδες επιφάνειες χωρίς κάποιο κενό. Λόγο έλλειψης στοιχείων δεν προσομοιώθηκε η μεταξύ τους σύνδεση. Χονδρικά λοιπόν θα μπορούσαμε να υποθέσουμε ότι τα δύο πάνελ είναι συνδεδεμένα με μια απλή σύνδεση μικρής αντοχής, με μηχανικά μόνο μέσα σύνδεσης (κοχλίες αυτοκοχλιοτόμησης, ήλοι).

Τα αποτελέσματα των παραπάνω αναλύσεων παραθέτονται σε συγκριτικό διαγράμματα τέμνουσας βάσης – μετακίνησης.



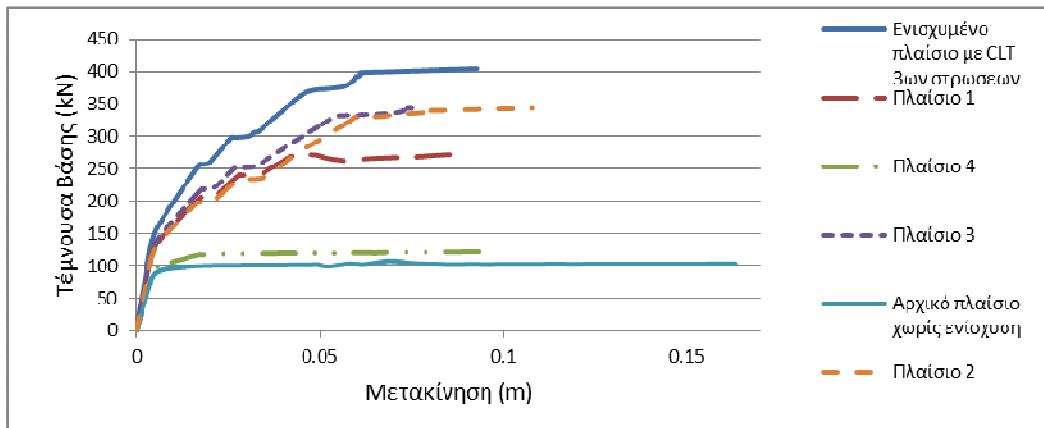
Σχήμα 7: Συγκριτικό διάγραμμα τέμνουσας βάσης μετακίνησης.

Επιπλέον εξετάστηκαν για το ενισχυμένο πλαίσιο με CLT 3^{ov} στρώσεων και αρμό 2cm η επίδραση της παρουσίας ανοιγμάτων στο πάνελ (Σχήμα 8) . Πιο συγκεκριμένα:

- Θύρα πλάτους 1m και ύψος ανωφλιού 2,17m στο κέντρο του πάνελ
- Παράθυρο με ύψος πόδα 97cm ύψος ανωφλιού 2,17m και πλάτος 2,2m
- Δύο παράθυρα (1,1m x 1.2m) στα άκρα του πάνελ στο σημείο επαφής με τα υποστυλώματα.
- Ένα μεγάλο άνοιγμα διαστάσεων 2,9m x 2,17m.

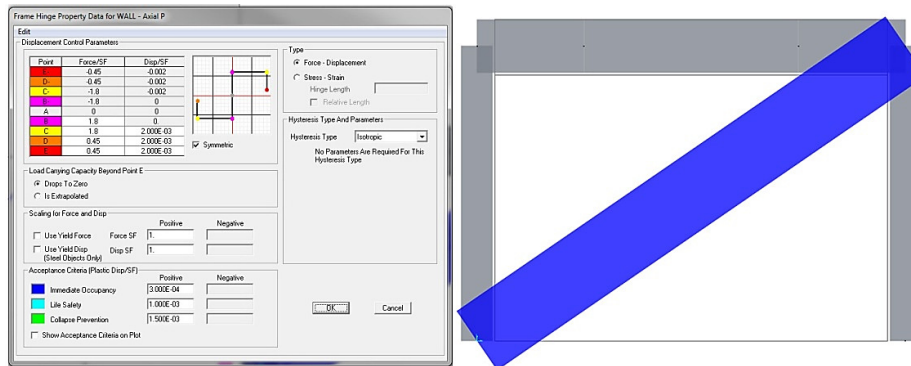


Σχήμα 8: Αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις ανοιγμάτων που ελέγχθησαν.



Σχήμα 9: Συγκριτικό διάγραμμα τέμνουσας βάσης μετακίνησης στην περίπτωση ανοιγμάτων.

Τέλος τα παραπάνω αποτελέσματα τα συγκρίναμε με την περίπτωση συνήθους τοιχοπλήρωσης, πάχους 0,2m,. Ο τοίχος προσομοιώθηκε στο SAP 2000 ως θλιβόμενη διαγώνια ράβδος και συγκεκριμένα με την βοήθεια της §7.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.[14], και του ευρωκώδικα 6 [13]. Έτσι προέκυψε τοίχος με μέση θλιπτική αντοχή κατά την διεύθυνση της διαγώνιας ράβδου, $\bar{f}_{wc,s}=1,8$ Mpa και μέτρο ελαστικότητας $E_{mc}=1,7$ Gpa. Ορίστηκε στην συνέχεια διατομή μηδενικού βάρους και διαστάσεων $t=0,20$ m και $b= 0.663$ m. Παράλληλα εισάγαμε το διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων της ισοδύναμης διαγώνιας ράβδου θέτοντας Hinge αξονικού φορτίου P (Σχήμα 10).



Σχήμα 10: Διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων της ισοδύναμης διαγώνιας ράβδου

3. ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

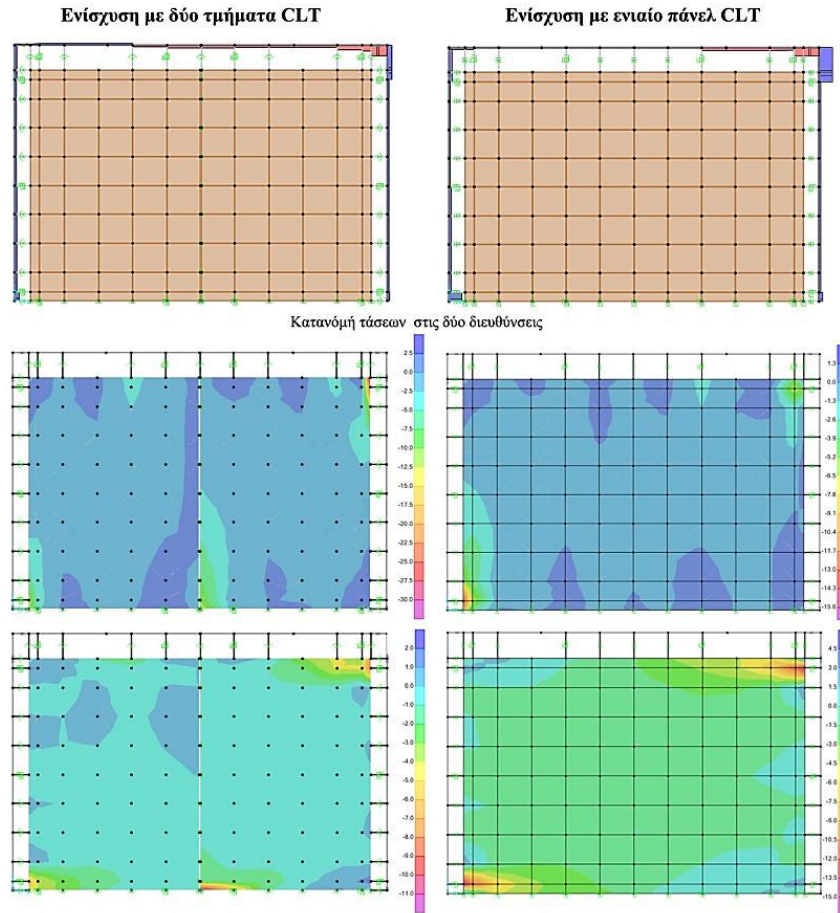
- Η μέθοδος ενίσχυσης με CLT μπορούμε να πούμε ότι φαίνεται να προσφέρει σημαντική αύξηση της αντοχής (285.5%) με μικρή σχετικά αύξηση των μόνιμων φορτίων. Ενώ σε σχέση με τις συμβατικές τοιχοπληρώσεις υπερτερεί σημαντικά τόσο στην αντοχή (58,42% μεγαλύτερη αντοχή) όσο και στο πολύ μικρότερο βάρος του υλικού (πυκνότητα CLT 400kg/m³ -500 kg/m³ σε σχέση με τους συνήθεις τοίχους που φτάνει τα 1500 kg/m³). Μειονέκτημα της μεθόδου είναι η σημαντική αύξηση των διατμητικών τάσεων που παρατηρήθηκε στα υποστηλώματα στις θέσεις επαφής με το πάνελ (στον πόδα και στην κεφαλή των υποστηλωμάτων) καθώς και η ψαθυρή αστοχία του ξύλου. Να σημειώσουμε εδώ ότι SAP2000 δεν προσφέρει την δυνατότητα ορισμού κριτηρίου αστοχίας για ορθοτροπικά επιφανειακά στοιχεία. Οπότε θα πρέπει να γίνεται έλεγχος στις προκύπτουσες κατανομές τάσεων για το αν έχει γίνει υπέρβαση των αντοχών του. Σε ενιαίο πάνελ η φέρουσα ικανότητα του πάνελ είναι ιδιαίτερα μεγάλη (στο πάνελ που εξετάσαμε για παράδειγμα η τέμνουσα

στην οριζόντια διεύθυνση που μπορεί να παραλάβει φτάνει τα 702kN), ιδιαίτερη προσοχή όμως χρειάζεται η περίπτωση ύπαρξης ανοιγμάτων).

- Η αγνόηση τριβών οδηγεί στην υποεκτίμηση ως ένα βαθμό της προσφοράς του CLT στην αντοχή του πλαισίου παρόλα αυτά αυτή είναι σχετικά μικρή (6,13%) και για απλοποίηση της διαδικασίας ανάλυσης φαίνεται να μπορεί να αγνοηθεί.
- Η ύπαρξη ανοιγμάτων επιδρά αρνητικά στην απόδοση της μεθόδου ενίσχυσης κάτι που αναμένονταν. Ειδικότερα σε ανοίγματα όπου αυτά φτάνουν μέχρι την έδραση του πάνελ (θύρες) παρατηρήθηκε πρόωρη διατμητική αστοχία στο σύνδεσμο πλησίον του ανοίγματος. Έτσι στις περιπτώσεις αυτές φαίνεται να είναι κρισιμότερη η αντοχή των συνδέσμων και όχι τόσο το ποσοστό του ανοίγματος.
- Φαίνεται να υπάρχει σημαντική συνεισφορά των συνδέσμων στην συμπεριφορά της ενίσχυσης, και κυρίως τα σημεία τοποθέτησης αυτών. Στην περίπτωση όπου αυξήσαμε τις αποστάσεις των ακριανών συνδέσμων από τα υποστυλώματα παρατηρήθηκε σημαντική μείωση της αντοχής (-17,87%) για του ίδιους κατά τα άλλα συνδέσμους.
- Η περίπτωση που η ενίσχυση δεν είναι ενιαία αλλά αποτελείται από επιμέρους πάνελ ενωμένα μεταξύ τους, με μηχανικά μέσα, φαίνεται να εμφανίζει την καλύτερη συμπεριφορά και την υψηλότερη αντοχή. Αυτό ίσως οφείλεται στο ότι πλέον οι διατμητικές τάσεις που εμφανίζονται στον πόδα και στην κεφαλή των υποστυλωμάτων που έρχονται σε επαφή με το πάνελ, είναι μικρότερες εν συγκρίσει με την περίπτωση του ενιαίου CLT (Σχήμα 11)

	Αντοχή(kN)	Αύξηση αντοχής από αρχικό(%)	Διαφορά αντοχής σε σχέση με ενισχυμένο πλαίσιο με CLT (αρμός 2cm, συμπερ. τριβές)(%)
Αρχικό πλαίσιο	104.78	-	-285.5
Ενισχυμένο πλαίσιο με CLT (αρμός 2cm, συμπερ. τριβές)	403.953	285.5	-
Ενισχυμένο πλαίσιο με CLT (αρμός 4cm, συμπερ. τριβές)	377.46	260.22	-6.56
Ενισχυμένο πλαίσιο με CLT (αρμός 2cm, αγνοώντας τριβές)	379.19	261.89	-6.13
Ενισχυμένο πλαίσιο με CLT (αρμός 2cm, συμπερ. τριβές) με διαφορετική τοποθέτηση συνδέσμων.	331.74	216.63	-17.87
Ενισχυμένο πλαίσιο με 2 τμήματα CLT	530.29	406.1	31.28
Ενισχυμένο πλαίσιο με CLT παρουσία ανοιγμάτων			
Πλαίσιο 1 (άνοιγμα 23,45%)	272.50	160.1	-32.5
Πλαίσιο 2(άνοιγμα 28,54%)	343.90	228.2	-14.9
Πλαίσιο 3(άνοιγμα 29.1%)	344.0	228.3	-14.8
Πλαίσιο 4(άνοιγμα 70%)	121.96	16.39	-69.81
Συμβατική τοιχοπλήρωση	235.99	125.23	-41.58

Πίνακας 6: Σύγκριση αποτελεσμάτων



Σχήμα 11: Σύγκριση ενίσχυσης CLT

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Sustersic I., Fragiacomano M., Dujic B., "Influence of connection properties on the ductility and seismic resistance of multi-storey cross-lam buildings", International council for research and innovation in building and construction Working commission W18 - timber structures (CIB-W18), 44th Meeting, Alghero, Italy, 2011.
- [2] Bruno Dujic, Simona Klobcar, Roko Zarnic, "Influence of Openings on Shear Capacity of Wooden Walls", NZ Timber Design Journal, Volume 16, Issue 1, pp.5-17
- [3] Vessby J., Enquist B., Petersson H., Alsmarker T., "Experimental study of cross-laminated timber wall panels", Eur. J. Wood Prod. (2009) 67, pp.211-218.
- [4] Susteric I, Dujic B, "Seismic Strengthening of Existing Buildings with Cross Laminated Panels", World Conference on Timber Engineering WCTE 2012, July 16-19, Auckland, New Zealand, 2012.
- [5] Blaß, H. J.; Fellmoser, P.: Design of solid wood panels with cross layers. In: Proceedings of the 8th World Conference on Timber Engineering, Volume II, Lahti, Finland 2004.
- [6] Iztok Sustersic, Massimo Fragiacomano, Bruno Dujic, "Influence of the connection behaviour on the seismic resistance of multi-storey crosslam buildings", World Conference on Timber Engineering WCTE 2012, July 16-19, Auckland, New Zealand, 2012.
- [7] Silly, G.: Numerische Studien zur Drill- und Schubsteifigkeit von Brettsperrholz (BSP), Diploma thesis, Institute for Timber Engineering and Wood Technology, Graz University of Technology, 2010.

- [8] Moosbrugger T., Guggenberger W., Bogesperger T., “Cross-Laminated Timber wall Segments under homogenous Shear – with and without Openings”, WCTE, 2006, Portland
- [9] Bogesperger T., Moosbrugger T., Silly G., “Verification of CLT-plates under loads in plane”, 11th World Conference on Timber Engineering WCTE 2010, Trentino, Italy, 2010
- [10] Carla Dickof, “CLT infill panels in steel moment resisting frames as a hybrid seismic force resisting system”, Master Thesis ,University of British Columbia, April 2013.
- [11] Gagnon, S. ;Pirvu C. “Cross-laminated Timber (CLT) Handbook” FPInnovations, 2011.
- [12] EN 1194: “Timber structures Glued laminated timber – Strength classes and determination of characteristic values”
- [13] Ευρωκώδικας 6 (§3.6, §3.7)
- [14] Κανονισμός επεμβάσεων ΚΑΝ.ΕΠΕ. (§7.2.2, §7.4)
- [15] SAP 2000 Manual.
- [16] <http://www.klhuk.com>
- [17] <http://www.fpinnovations.ca>
- [18] <http://www.holzbauforschung.at/>

