



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΝΕΛΩΝ CLT ΚΑΤΑ EC5  
ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ»**



**ΕΥΤΥΧΙΑ ΜΑΣΣΑΛΗ**

Επιβλέπων: Εμμανουήλ Βουγιούκας, Λέκτορας ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2014



## Ευχαριστίες

---

Η παρούσα εργασία αποτελεί το τέλος πέντε πολύ δημιουργικών χρόνων, νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω πρωτίστως τους γονείς μου Αλέξανδρο και Γλυκερία για την αγάπη, τη συνεχή υποστήριξη και την υπομονή τους σε αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ.Εμμανουήλ Βουγιούκα, Λέκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για την καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Νικόλαο Ζυγούρη για την πολύτιμη καθοδήγηση του, τη βοήθειά του στις επιλύσεις με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP2000, την ενθάρρυνση και το άριστο κλίμα καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας, καθώς και τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Κωνσταντίνο Χριστίδη για τις παρατηρήσεις και τις επισημάνσεις του κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας εργασίας.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ χρωστάω στους φίλους και τις φίλες μου για την αμέριστη συμπεράσταση και στήριξη τους, είτε γνωσική είτε ψυχική, για κάθε χαρούμενη, αγχωτική και δυσάρεστη στιγμή που περάσαμε.

Μασσαλή Ευτυχία  
Αθήνα  
Νοέμβριος 2014



## Περίληψη

---

Την τελευταία δεκαετία επικρατεί μια τάση εξερεύνησης των δομικών υλικών, πέρα από το σκυρόδεμα και το χάλυβα. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό να γνωστοποιήσει την πολύστρωτη συγκολλητή ξυλεία – Cross Laminated Timber – CLT και να διερευνήσει την συμπεριφορά ενός πανέλου CLT υπό διάφορες φορτίσεις.

Στα πρώτα κεφάλαια της εργασίας γίνεται αναφορά στο ξύλο ως υλικό, αναλύοντας τις ιδιότητες του και τη χρήση του στις διάφορες κατασκευές σε όλο τον κόσμο ανά τους αιώνες. Εύκολα διαπιστώνονται τα πολλαπλά πλεονεκτήματα που προσφέρει ως δομικό υλικό. Αξιοσημείωτα είναι: το μικρό ειδικό του βάρος με άμεση συνέπεια μικρά νεκρά φορτία, μεγάλες αντοχές και ικανοποιητικό μέτρο ελαστικότητας, ευκολία στην κατεργασία του, ευνοϊκή συμπεριφορά έναντι σεισμικών δυνάμεων, υψηλή ενεργειακή απόδοση, ηχομονωτικό και θερμομονωτικό.

Ένα πανέλο Cross Laminated Timber (ορθόστρωτο ξύλινο πανέλο) ορίζει μια πλάκα που κατασκευάζεται από εφαπτόμενες παράλληλες, συμπαγείς χονδροσανίδες, φυσικής ξυλείας που συνδέονται μεταξύ τους με συγκόλληση. Το CLT είναι υλικό με πολλαπλές εφαρμογές σε κατασκευές στο εξωτερικό ενώ είναι νεοεισαχθέν στον κατασκευαστικό κόσμο της χώρας μας. Έπειτα από λεπτομερή αναζήτηση στην βιβλιογραφία βρέθηκαν πειραματικές δοκιμές σε πανέλα CLT και επιλέχθηκε η κατάλληλη. Το μοντέλο του πειράματος προσομοιάστηκε στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP2000 με την μορφή επιφανειακού στοιχείου. Στο υπάρχον πείραμα η συμπεριφορά της κάθε στήριξης προσομοιάζοταν με ένα νόμο ελατηρίου ιδιαίτερα πολύπλοκο. Επομένως στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγιναν διάφορες προσπάθειες προσέγγισης και απλοποίησης του υπάρχοντος νόμου. Καταλήξαμε σε δύο νόμους:

- Νόμος 1: Αποτελείται από τρεις κλάδους και πλησιάζει τη συμπεριφορά των συμβατικών υλικών:
  - a. Γραμμικά-ελαστικά από την έναρξη της φόρτισης μέχρι την φέρουσα ικανότητα της στήριξης σύμφωνα κατά τον EC5 8.2.3 (σημείο διαρροής).
  - b. Πλάστικά χωρίς γραμμική κράτνυση, από το σημείο διαρροής μέχρι το σημείο αστοχίας.
  - c. Μείωση της δύναμης αντοχής ακαριαία στο 20% της μέγιστης κατά αναλογία με τον ΚΑΝ.ΕΠΕ.
- Νόμος 2 : Αποτελείται από τρεις κλάδους:
  - a. Γραμμικά-ελαστικά από την έναρξη της φόρτισης μέχρι την φέρουσα ικανότητα της στήριξης σύμφωνα κατά τον EC5 8.2.3 (σημείο διαρροής).
  - b. Πλάστικά χωρίς γραμμική κράτνυση, από το σημείο διαρροής μέχρι το σημείο αστοχίας.
  - c. Μείωση της δύναμης αντοχής της στήριξης με ίδια κλίση όπως στο αριθμητικό μοντέλο της υπάρχουσας πειραματικής δοκιμής.

Συγκρίνοντας τα τελικά αποτελέσματα συμπεριφοράς του πανέλου καταλήξαμε πως ο νόμος 2 προσεγγίζει ικανοποιητικά την τελική πραγματική συμπεριφορά του τοίχου CLT.

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τον απλοποιημένο-γραμμικό νόμο στήριξης διερευνήσαμε την επιρροή της ακαμψίας της στήριξης.

Ακολούθως έγινε μια διερεύνηση της συμπεριφοράς του πανέλου στηριζόμενο σε διαφορετικό αριθμό στηρίξεων.

Τέλος προσομοιάστηκε το μοντέλο του πακτωμένου CLT τοίχου στο λογισμικό του SAP2000, έχοντας ελαστική συμπεριφορά. Έγινε ένας παραλληλισμός της ακαμψίας του πειραματικού-ανελαστικού πανέλου με την ακαμψία του πακτωμένου μοντέλου του SAP2000, και προέκυψε μια υπερεκτίμηση της ακαμψίας σε περίπτωση που επιληφθεί ο τοίχος ως ελαστικό μέσο.

## Abstract

---

During the last decade, there is a trend of exploring structure materials, apart from concrete and steel. This thesis aims to communicate the Cross Laminated Timber - CLT and to investigate the behavior of a panel's-CLT behavior under various loads.

The first chapters of the diploma work deal with wood as a material, analyzing its properties and use in various structures around the world over the centuries. We can easily notice its multiple advantages as a structure material. Remarkable characteristics are: its low specific weight that leads to small dead loads, high resistance and satisfactory modulus, easy processing, favorable attitude regarding seismic forces, high energy efficiency, acoustic and thermal insulation.

CLT panels consist of several layers of structural lumber boards stacked crosswise (typically at 90 degrees) and glued together on their wide faces and, sometimes, on the narrow faces as well. A cross-section of a CLT element has at least three glued layers of boards placed in orthogonally alternating orientation to the neighboring layers. CLT, an engineered wood product developed initially in Europe, has been gaining popularity in residential and non-residential applications in several countries but totally new in our country. After a thorough literature research, experimental tests for CLT panels were found and the most appropriate was selected. The analysis was based on the FE method and the software used was SAP2000 of CSi company. The CLT element was modeled by using shell elements. The bracket's behavior was modeled with non-linear springs. A number of analyses were carried out with various approximations and simplification of the existing law that was considered for the bracket's non-linear behavior.

We came up with two laws:

- Law 1: Consists of three sectors and it approaches conventional materials' behavior:
  - a. Linear-elastic from the beginning of the load till the maximum bracket capacity according to EC5 8.2.3 (yield point).
  - b. Fully Plastic without linear hardening, from the yield point to the point of failure.
  - c. Reduction of resistance force instantaneously to 20% of the maximum in analogy with Greek Code Of Intervention.
- Law 2: Consists of three sectors:
  - a. Linear-elastic from the beginning of the load till the maximum bracket capacity according to EC5 8.2.3 (yield point).
  - b. Fully Plastic without linear hardening, from the yield point to the point of failure.
  - c. Reduction of bracket's resistance force with the same slope as in the numerical test model.

Comparing the final behavior results of the panel we reached that the second law approaches sufficiently the final actual behavior of the CLT wall.

Then, using the simplified-linear bracket law we investigated the stiffness influence in the bracket.

Subsequently, we investigated the panel's behavior based on different number of brackets.

The compacted CLT wall was modeled with linear elastic shell elements. We did a parallelism - stiffness of the experimental-rigid panel with the stiffness of compacted model of SAP2000. An overestimation of stiffness was revealed in case of a wall assumed as an elastic agent.



## Πίνακας περιεχομένων

1	Ξύλινες Κατασκευές .....	1
1.1	Ιστορική αναδρομή .....	1
1.2	Η ξύλινη κατασκευή ανά τον πλανήτη .....	3
1.2.1	Η ξύλινη κατασκευή στη Βόρεια Αμερική .....	6
1.2.2	Η ξύλινη κατασκευή στην Ιαπωνία .....	7
1.3	Η ξύλινη κατασκευή στην ελληνική πραγματικότητα .....	8
1.4	Ιδιότητες.....	9
1.4.1	Ανθεκτικότητα του ξύλου .....	9
1.4.2	Πυρασφάλεια .....	10
1.4.3	Αντοχή στο χρόνο .....	10
1.4.4	Οικολογία.....	11
1.4.5	Αντισεισμικότητα.....	11
1.4.6	Θερμομόνωση-Ηχομόνωση .....	12
1.4.7	Το πρόβλημα της ακαμψίας στις ξύλινες κατασκευές .....	13
1.5	Μηχανικές ιδιότητες του ξύλου .....	15
1.5.1	Εφελκυστική αντοχή κάθετα και παράλληλα προς τις ίνες .....	15
1.5.2	Θλιπτική αντοχή παράλληλα και κάθετα στις ίνες .....	16
1.5.3	Αντοχή σε διάτμηση.....	17
1.5.4	Αντοχή σε κάμψη.....	18
1.5.5	Ελαστικότητα.....	18
1.5.6	Αντοχή σε κρουστικά φορτία.....	19
1.5.7	Αντοχή σε σχίση .....	19
1.5.8	Σκληρότητα.....	20
1.5.9	Κόπωση.....	20
1.5.10	Φαινόμενο κλίμακας .....	21
1.5.11	Αντοχή υπό επαναλαμβανόμενη και ανακυκλιζόμενη ένταση .....	21
1.6	Παράγοντες που επηρεάζουν τις μηχανικές αντοχές του ξύλου .....	21
1.6.1	Υγρασία του ξύλου .....	21
1.6.2	Πυκνότητα του ξύλου .....	22
1.6.3	Θερμοκρασία.....	22
1.6.4	Σφάλματα δομής .....	22

1.6.5	Διάρκεια φόρτισης .....	22
2	Περιγραφή Δομικού Συστήματος.....	23
2.1	Κατασκευαστικές μέθοδοι ξύλινων οικοδομημάτων .....	23
2.1.1	Η μέθοδος του σκελετού .....	23
2.1.2	Η μέθοδος των κατακόρυφων διαφραγμάτων.....	23
2.2	Δομικά συστήματα ξύλινων κατοικιών.....	25
2.2.1	Κορμόσπιτα (log houses) .....	25
2.2.2	Συστήματα δοκού επί στύλου (post and beam).....	29
2.2.3	Κατοικίες με ξύλινους κατακόρυφους στύλους ως φέροντα στοιχεία .....	29
2.2.4	Σπίτια από ελαφρύ και πυκνό ξύλινο σκελετό (Light Timber Frame).....	30
2.2.5	Σπίτια τύπου πάνελ (Cross-Laminated-Timber-Panels-CLT/ Timber-Shear-Walls).....	34
2.2.6	Κατοικίες από ξύλινο σκελετό και «πάνελς» (Timber-Shear-Walls) .....	35
2.2.7	Σπίτια με αντικολλητές ξυλοπλάκες από στοιχεία φυσικής ξυλείας (Glulam timber).....	37
3	Ανάλυση Cross Laminated Timber .....	39
3.1	Φορτία που καταπονούν την τοιχοποιία.....	39
3.2	Cross Laminated Timber .....	39
3.2.1	Μορφή CLT διαφόρων στρώσεων .....	39
3.2.2	Τρόπος συγκόλλησης.....	41
3.2.3	Στατικό σύστημα τοίχου τύπου CLT .....	42
3.2.4	Κατακόρυφα και εκτός επιπέδου κάμψης φορτία .....	45
3.2.5	Έλεγχοι για κάθε φόρτιση .....	55
3.2.6	Διαγράμματα αντοχής συγκολλητής ξυλείας GL24, GL28, GL32 .....	59
4	Συνδέσεις Ξύλινων Κατασκευών Τύπου CLT .....	65
4.1	Γενικά.....	65
4.2	Τα μέσα συνδέσεως.....	66
4.2.1	Ήλοι (Nails) .....	66
4.2.2	Βλήτρα .....	66
4.2.3	Ηλοφόρες πλάκες .....	67
4.2.4	Βίδες (bolts) και ξύλινοι πείροι (dowels).....	68
4.2.5	Συνδέσεις που φέρουν συνδετήρες .....	68
4.2.6	Καινοτόμες συνδέσεις (innovative type of fasteners) .....	68
4.3	Πιθανοί τρόποι αστοχίας.....	69
4.3.1	Μονότμητη σύνδεση .....	69
4.3.2	Δίτμητη συμμετρική σύνδεση .....	70

4.4	Συμπεριφορά και βλάβες συνδέσεων σε σεισμική φόρτιση.....	76
5	Κινηματικό μοντέλο για τοίχο CLT.....	77
5.1	Απλοποιημένο μοντέλο στα πλαίσια πειραματικών αναγκών.....	77
5.2	Αριθμητικό μοντέλο τοίχου κάνοντας χρήση πειραματικών δεδομένων.....	79
5.3	Πειραματικές διαμορφώσεις τοίχου CLT.....	82
5.3.1	Τυπικές διαμορφώσεις συνδέσεων τοίχου CLT.....	82
5.3.2	Πειραματικές δοκιμές CLT πάνελ.....	83
5.3.3	Εγκατάσταση πειραματική δοκιμής.....	85
5.4	Αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών.....	86
6	Προσομοίωση πάνελ σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP2000.....	89
6.1	Non linear supports.....	89
6.2	Υπολογισμός φέρουσα ικανότητα συνδέσμων σύμφωνα με τον EC5.....	90
6.3	Προσομοίωση στο SAP2000 του πειραματικού μοντέλου.....	91
6.3.1	Προσομοίωση στο SAP2000 τοίχου CLT από πειραματικές δοκιμές πακτωμένος στη βάση του.....	92
6.3.2	Μη γραμμική ανάλυση.....	95
7	Συμπεράσματα-Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	113
7.1	Συμπεράσματα.....	113
7.2	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	115
	Βιβλιογραφία.....	117



## 1 Ξύλινες Κατασκευές

### 1.1 Ιστορική αναδρομή

Το ξύλο είναι ένα παραδοσιακό δομικό υλικό, αν αναλογιστούμε ότι από τους Αρχαίους Ελληνικούς Πολιτισμούς έχουμε αναφορές και ευρήματα πώς το χρησιμοποιούσαν θερμά, αλλά και στην Ευρώπη γενικότερα καθώς τα παλαιότερα γνωστά ξύλινα κτίρια είναι ξύλινες κατοικίες που βρέθηκαν στην Πολωνία και χρονολογούνται περίπου στο 700 π.Χ.

Το ξύλο και η ξύλινη κατασκευή, μαζί με την πέτρα και τον πηλό, απετέλεσαν τους βασικούς συντελεστές της ανθρώπινης δομικής δραστηριότητας για πολλές χιλιάδες χρόνια. Η ξύλινη κατασκευή έπαιξε χαρακτηριστικό ρόλο στην δομική δραστηριότητα του ανθρώπου. Ιστορικά αξίζει να σημειωθεί ότι το ξύλο χρησιμοποιήθηκε προϊστορικά στη Μινωική Αρχιτεκτονική ως φέρων οργανισμός των κτιρίων, δημιουργώντας επανάσταση στον τότε τρόπο δόμησης. Οι Μινωίτες χρησιμοποιούσαν το ξύλο στα φέροντα στοιχεία, όπως στην τοιχοποιία και στις δοκούς, όπου η ιδιότητα του ξύλου να μεταφέρει φορτία ήταν κρίσιμη.

Για χιλιάδες χρόνια ξύλινα πλεούμενα αποτελούσαν τον χώρο επιβίωσης και δραστηριότητας του ανθρώπου στις πιο κρίσιμες συνθήκες για ένα κτίσμα. Διότι ένα πλεούμενο είχε κάθε μέρα δυναμική καταπόνηση από τον κυματισμό και πάντοτε βρισκόταν υπό την απειλή της υγρασίας συντηρώντας μέσα του και την φωτιά, που ήταν απαραίτητη για την θέρμανση, το μαγείρεμα και την μετακίνηση. Η κατεργασία της ξυλείας είναι εύκολη ακόμα και με εργαλεία χεριού και απαραίτητη για την αξιοποίηση της σε μια κατασκευή. Η μικρή πυκνότητα, η αντοχή, η εξαιρετική συμπεριφορά στις σεισμικές δονήσεις και το υψηλό μέτρο ελαστικότητας αποτελούν τα κυριότερα πλεονεκτήματα του ξύλου. Στα μειονεκτήματα του περιλαμβάνονται η ευαισθησία στις συνθήκες του περιβάλλοντος και το γεγονός ότι είναι ιδιαίτερα εύφλεκτο. Τα κείμενα του Θεοφράστου αποδεικνύουν ότι οι Αρχαίοι Έλληνες γνώριζαν τις ιδιότητες και τις διαφορές των διάφορων ειδών ξύλου. Συγκεκριμένα, ο Θεόφραστος αναφέρει ότι στην κατασκευή μερικών τριηρών είχε χρησιμοποιηθεί ξύλο πεύκου διότι δεν μπορούσαν να βρουν έλατο. Το πεύκο έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το έλατο, γεγονός που περιόριζε την ταχύτητα του σκάφους. Ο Θεόφραστος γνώριζε ότι στη Συρία και στη Φοινίκη οι τριήρεις ήταν κατασκευασμένες από κέδρο, επειδή το πεύκο ήταν επίσης δυσεύρετο. Η καρύνα των τριηρών κατασκευαζόταν από δρυ ώστε να είναι ανθεκτική καθώς οι τριήρεις σύρονταν συχνά στις ακτές. Παράλληλα συμπληρώνει ότι στα μικρότερα σκάφη χρησιμοποιούσαν οξιά για την καρύνα. Από τα σύγχρονα στοιχεία επιβεβαιώνονται οι καλύτερες μηχανικές ιδιότητες της δρυός και η χαμηλότερη

πυκνότητα του ελάτου σε σχέση με το πεύκο. Επίσης, το ναυάγιο της Κυρήνειας στα ανοικτά της ομώνυμης πόλης της κατεχόμενης σήμερα Κύπρου, μαρτυρά ότι τα αρχαία εμπορικά πλοία της εποχής ήταν κατασκευασμένα κυρίως από πεύκο, οξιά και δρυ. Σύμφωνα με τα στοιχεία (μπρούτζινα νομίσματα και ραδιοχρονολόγηση) το εν λόγω ναυάγιο χρονολογείται στο 300 π.Χ., δηλαδή την εποχή περίπου του Μεγάλου Αλεξάνδρου. Η "αχίλλειος πτέρνα" των αρχαίων ελληνικών ναών ήταν ίσως οι οροφές. Δεν είναι τυχαίο ότι μόνο μέρη από οροφές έχουν βρεθεί. Πολλές οροφές ήταν κατασκευασμένες από ξύλινο σκελετό και ήταν καλυμμένες από κεραμίδια. Οι οροφές στηρίζονταν στους κίονες και συνδέονταν από κίονα σε κίονα με δοκούς. Σύμφωνα με στοιχεία του Πανεπιστημίου Richmond των ΗΠΑ, η μεγαλύτερη δοκός σε αρχαίο ναό στην Ελλάδα ήταν στον Παρθενώνα και είχε μήκος της τάξης των 11 μέτρων. Πρέπει να σημειωθεί ότι στον ναό του "Απόλλωνα" στην αποικιοκρατούμενη Σικελία υπήρχαν δοκοί με μήκος 18 μέτρων. Προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι στις αποικίες οι μηχανικοί κατόρθωσαν να ξεπεράσουν τις Μητροπόλεις. Ο Trevor Hodge, ο οποίος είχε γράψει βιβλίο με θέμα τις αρχαίες ελληνικές ξύλινες οροφές (πανεπιστημιακές εκδόσεις Cambridge) διατύπωσε την εικασία ότι στις αποικίες τις Σικελίας πρέπει να γνώριζαν τις αρχές του χωροδικτυώματος από το 550 π.Χ.! Το συμπέρασμα του αυτό στηρίζεται στη λογική ότι μόνο με χωροδικτυώματα θα μπορούσαν οι αρχαίοι να καλύψουν ανοίγματα 18 μέτρων. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα χωροδικτυώματα χρησιμοποιούνται όχι μόνο στις ξύλινες αλλά και στις μεταλλικές οροφές καθώς είναι ένας οικονομικός, αποτελεσματικός και αντισεισμικός τρόπος κάλυψης μεγάλων επιφανειών. Για αυτό τον λόγο, χωροδικτυώματα μπορεί να αντικρύσει κανείς στις οροφές βιομηχανικών κτηρίων (για παράδειγμα εργοστάσια), σε πισίνες και σε γήπεδα καλαθοσφαίρισης και ποδοσφαίρου. Υπάρχουν όμως και αρκετοί επιστήμονες που διαφωνούν με τις απόψεις του Hodge. Το κυριότερο επιχείρημα είναι ότι η αρχιτεκτονική στη Σικελία ήταν λιγότερο ανεπτυγμένη, ενώ είχε τάσεις μίμησης της αρχιτεκτονικής των πόλεων της Αρχαίας Ελλάδας. Συνοψίζοντας τα παραπάνω, διαπιστώνουμε ολοφάνερα πως είτε η ξύλινη κατασκευή είτε ο ξύλινος σκελετός ήταν ευρέως διαδεδομένος στον αρχαίο κόσμο. Προχωρώντας στους αιώνες συναντάμε στα Βυζαντινά χρόνια ιερούς ναούς που εντυπωσιάζουν ακόμα και σήμερα με το μέγεθος και την αντοχή τους στους αιώνες. Αποτελούν σύνθετες κατασκευές, δομημένες από τοιχοποιία ενισχυμένη από ξύλινα στοιχεία. Οι ξύλινες ενισχύσεις αυξάνουν την αντοχή της τοιχοποιίας σε φορτία εφελκυσμού και κάμψης.

Ένα ξύλινο γραμμικό στοιχείο έχοντας την χαρακτηριστική ιδιότητα και ικανότητα να παραλαμβάνει με ασφάλεια τόσο τις θλιπτικές όσο και τις εφελκυστικές και καμπτικές φορτίσεις, αποτελεί μία ισχυρή στατική φέρουσα κατασκευή.

Επομένως, τα ξύλινα στοιχεία ως φέρων οργανισμός εξασφαλίζουν άλλη μία κρίσιμη και απαραίτητη για τους ισχυρούς σεισμούς ικανότητα στα κτίρια. Εξαιρετικό παράδειγμα κατασκευής, την οποία ο άνθρωπος αποκάλεσε «οικία» του και εντός της οποίας οργάνωνε το ιδιαίτερο κλιματικά, περιβαλλοντικά, συναισθηματικά, από άποψης ασφάλειας κόσμο του, είναι το πλεούμενο, το πλοίο, η ναυς.

Η ξύλινη κατασκευή, συνεπώς απέδειξε για χιλιάδες χρόνια ότι είναι ικανή να παίζει αυτόν τον ρόλο με ασφάλεια και με ανθεκτικότητα στον χρόνο.

Η εξάπλωση, μετά από τον Β παγκόσμιο πόλεμο, διεθνώς, της χρήσης του οπλισμένου σκυροδέματος σε ορισμένες χώρες περιορισμένης τεχνολογικής ανάπτυξης περιόρισε ή και εξαφάνισε τα δομικά συστήματα με άλλα δομικά υλικά και κυρίως το ξύλο. Ο τεχνικός κόσμος (αρχιτέκτονες, πολιτικοί μηχανικοί) αυτών των περιοχών αποστασιοποιήθηκε από τον σχεδιασμό της ξύλινης φέρουσας κατασκευής και έχασε την εμπιστοσύνη του σε αυτήν.

Η ηρωική εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης ασχολήθηκε ιδιαίτερα με το πώς οι κατασκευές θα μπορούσαν να γίνουν μεγαλύτερες από ποτέ. Όταν εμφανίστηκε η δυνατότητα χρήσης του χυτοσιδήρου και αργότερα του χάλυβα και καθώς άρχισε να αναπτύσσεται το οπλισμένο σκυρόδεμα, το ξύλο αντιμετωπίστηκε ως ένα φτωχό υλικό, ως το παραδοσιακό υλικό δηλαδή που ήταν κατάλληλο για μία παραδοσιακή κατασκευή, για φθηνή στέγαση ή μια μικρή πεζογέφυρα, αλλά δεν μπορούσε να ανταγωνιστεί τα νέα υλικά σε άλλου είδους σύγχρονες κατασκευές.

Όμως μετά βίας φαίνεται να πρωταγωνιστεί στον τομέα της τεχνολογίας στη σύγχρονη εποχή.

## **1.2 Η ξύλινη κατασκευή ανά τον πλανήτη**

Όλες οι χώρες της Βόρειας και Κεντρικής Ευρώπης, της Βόρειας Αμερικής και της Ιαπωνίας έχουν μεγάλη εμπειρία πάνω στις ξύλινες κατασκευές, καθώς το ξύλο είναι το βασικό δομικό υλικό όχι μόνο για αγροτικές εφαρμογές, αλλά και για κύρια ή δευτερεύουσα κατοικία με εφαρμογές ακόμα και σε πολυώροφα κτίρια. Οι αναφορές στις ξύλινες κατασκευές είναι πολλές, τόσο κατά το πέρασμα των χρόνων όσο και στην σύγχρονη εποχή. Το επιστημονικό και το κατασκευαστικό ενδιαφέρον εστιάζεται στις ξύλινες κατασκευές στη Βόρεια Ευρώπη εκμεταλλευόμενη το ταχύρυθμο τρόπο κατασκευής τους. Οι Σκανδιναβικές χώρες, η Βόρεια Ευρώπη, όπως η Ρωσία, η Κεντρική Ευρώπη,

όπως η Αυστρία, αλλά και η Νότια Ευρώπη, όπως η Ισπανία, έχουν πολλά αρχιτεκτονικά αριστουργήματα να παρουσιάσουν.



Εικόνα 1.1 Η μεγαλύτερη ξύλινη κατασκευή στον κόσμο βρίσκεται στην Ισπανία (<http://traveltipsgr.blogspot.com>)



Εικόνα 1.2 Η εντυπωσιακή ξύλινη ορθόδοξη εκκλησία στην Ρωσία (<http://www.newsbeast.gr> )



Άξιο λόγου είναι το γεγονός πως η Β.Αμερική και η Ιαπωνία, στις οποίες το ξύλο παίζει κυρίαρχο ρόλο στον κατασκευαστικό τομέα είναι σεισμογενείς περιοχές. Άμεση απόδειξη της αντισεισμικότητας των ξύλινων κατασκευών.



Εικόνα 1.3 Πλάκες λιθόσφαιρας και κατευθύνσεις κίνησης. (Γεωλογικό Ινστιτούτο Αθηνών)

### 1.2.1 Η ξύλινη κατασκευή στη Βόρεια Αμερική

Η Βόρεια Αμερική είναι ιδιαίτερα σεισμογενής περιοχή στην οποία οι ξύλινες κατασκευές πρωταγωνιστούν. Αξιολογήθηκε η συμπεριφορά κτιρίων με ξύλινο σκελετό τύπου πλατφόρμας στους ακόλουθους πρόσφατους σεισμούς:

- Αλάσκα 1964, San Fernando –
- California 1971, Edgemoor
- - New Zealand 1987, Saguenay,
- Quebec 1988, Loma Prieta, California 1989 Northridge,
- California 1994
- Kobe Japan 1995.

όπου η συμπεριφορά των κτιρίων συσχετίσθηκε με τη μετρηθείσα ακραίες οριζόντιες εδαφικές επιταχύνσεις-δονήσεις (peak horizontal ground accelerations). Η μελέτη απέδειξε ότι η πλειονότητα των ξύλινων κατασκευών διαφόρων εποχών όταν δέχθηκε τις ακραίες οριζόντιες εδαφικές δονήσεις

των 0.6g και μεγαλύτερες άντεξαν (επέζησαν) τις δονήσεις χωρίς σοβαρές βλάβες στις κατασκευές και με πολύ λίγους τραυματισμούς και θανάτους (Πίνακας 1.1), (Karacabeyli, Erol, Rainer, Hans, 2000).

**Πίνακας 1.1** Δεδομένα πρόσφατων σεισμών παγκοσμίως.( Karacabeyli, Erol, Rainer, J. Hans. 2000.)

Στοιχεία σεισμού	Μέγεθος σεισμού	Αριθμός ανθρώπων που σκοτώθηκαν (ολικός)	Αριθμός ανθρώπων που σκοτώθηκαν σε ξύλινα σπίτια	Αριθμός ξύλινων κατασκευών που δέχτηκαν χτυπημα σεισμού
Alaska 1964	8,4	130	10	
San Fernando 1971	6,7	63	4	100.000
Edgecumbe 1987	6,3	0	0	7.000
Saguenay 1988	5,7	0	0	10.000
Loma Prieta 1989	7,1	66	0	50.000
Northridge 1994	6,7	60	16+4	200.000
Hyigo-kwn Nambu(Kobe) 1995	6,8	6.300	0	8.000

### 1.2.2 Η ξύλινη κατασκευή στην Ιαπωνία

Η Ιαπωνία έχει μακρά ιστορία σε ξύλινες κατασκευές. Το παλαιότερο υπάρχον ξύλινο κτίριο στο Horyuji Kondo κατασκευάστηκε τον 7<sup>ο</sup> αιώνα. Πολλά ξύλινα κτίρια επέζησαν των ισχυρών ανέμων και των σεισμών επί αιώνες. Από την άποψη αυτή έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον τα κατασκευαστικά των κτιρίων αυτών. Αναφέρονται δύο σπουδαία κτίρια για τον μηχανικό και αρχιτεκτονικό κόσμο.

- Κτίριο Horyuji Kondo:

Επρόκειτο για εκκλησία που κατασκευάστηκε τον 7<sup>ο</sup> αιώνα και είναι το παλαιότερο ξύλινο κτίριο στην Ιαπωνία. Το κτίριο έχει διπλή οροφή και αποτελείται από δύο κατασκευαστικά μέρη, την κεντρική μονάδα, τον γείσο και τους τοίχους που περιβάλλουν τον κεντρικό τοίχο (Εικόνα 1.4.).



Εικόνα1.4 . Ξύλινη εκκλησία του 7ου αι. με διπλή οροφή στο Kondo της Ιαπωνίας. ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

Το κτίριο έχει μήκος 18.4m και βάθος 15.2m. Η κατασκευή δεν διαθέτει πλευρικά στοιχεία στήριξης πέραν των μεγάλης διαμέτρου κολονών με θριγκό και των τοίχων από άργιλο. Δεν υπάρχουν οριζόντιοι δοκοί που συνδέουν τις μεγάλες κολόνες και τα οριζόντια στοιχεία στην κορυφή των κολονών δεν φαίνεται να παίζουν σημαντικό ρόλο σε ότι αφορά την αντίσταση των πλευρικών δυνάμεων. Υποτίθεται ότι το μπλοκάρισμα των κολονών αντιστέκεται στις πλευρικές φορτίσεις, όπως συμβαίνει στα πολύ παλιά κτίρια.

- Κτίριο Todaiji Daibutsuden

Το κτίριο με τον μεγάλο Βούδα κατασκευάστηκε αρχικά τον 8<sup>ο</sup> αι. Στη συνέχεια κάηκε και κατασκευάστηκε εκ νέου το 1709. Έχει πλάτος 57m, βάθος 50.5m και ύψος 47.5m. Είναι το μεγαλύτερο υπάρχον ιστορικό ξύλινο κτίριο (Εικόνα 1.5.).

Οι συνεχόμενες μακρές κολόνες προσεγγίζουν την κορυφή του κτιρίου και συνδέονται με τις πλευρικές κολόνες με οριζόντια στοιχεία που υποστηρίζουν το γείσο ως προεξέχοντα κυρτά δοκάρια. Στην ανακατασκευή του 18ου αι. Χρησιμοποιήθηκαν επικολλητές δοκοί και μεταλλικές συνδέσεις.



Εικόνα.1.5 Todaiji Daibutsuden: Το μεγαλύτερο υπάρχον ιστορικό ξύλινο κτίριο. ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org))

### 1.3 Η ξύλινη κατασκευή στην ελληνική πραγματικότητα

Η χρήση της ξύλινης κατασκευής ξεχάστηκε. Όμως αυτό δεν σημαίνει πως δεν είναι σε θέση να επιστρέψει με τον ίδιο ρόλο και σήμερα. Ο ρόλος της δεν άλλαξε, άλλαξαν οι μορφές με τις οποίες εμφανίζεται το ξύλο στην δόμηση. Άλλαξαν τα μεγέθη και τα δομικά συστήματα. Άλλαξε το σύστημα της παρακολούθησης και οργάνωσης των δασών, ώστε η ανανέωση της αναγεννώμενης ξυλείας να ευρίσκεται πάντοτε λίγο πάνω από τις ανάγκες κατανάλωσης της.

Τα ξύλινα σπίτια αποτελούν σχετικά νέο προϊόν για τη χώρα μας, η οποία ως γνωστόν ακολουθεί τις εξελίξεις. Το ξύλο είναι ίσως το πιο παρεξηγημένο υλικό, κυρίως ως προς την ανθεκτικότητα, το κόστος, και τη συντήρηση. Η εμμονή που έχει αναπτυχθεί απέναντι στο τσιμέντο και η δυσπιστία προς κάτι εν μέρει καινούριο έχουν στερήσει από τα ξύλινα σπίτια τη θέση που τους αξίζει στην ελληνική αγορά.

Τα τελευταία χρόνια έχει αλλάξει ο τρόπος με τον οποίο αντιμετωπίζεται το ξύλο ως δομικό υλικό, χάρη σε δύο παράγοντες. Ο ένας είναι η περιβαλλοντική ευαισθητοποίηση σε συνδυασμό με το αυξημένο ενδιαφέρον γύρω από τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής. Επιπλέον, το ξύλο έχει γίνει πολύ πιο τεχνολογικό απ' ό,τι ήταν πριν, με την ανάπτυξη της επικολητής ξυλείας, καθώς και την δυνατότητα να χρησιμοποιούνται σχεδόν όλα τα μέρη ενός δέντρου, συμπεριλαμβανομένων και των πριονιδίων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην δημιουργία μορισανίδων.

Όλα ξεκίνησαν μετά το τέλος του 20<sup>ου</sup> αιώνα που εμφανίστηκε η επείγουσα ανάγκη εξοικονόμησης ενεργειακών πόρων καθώς και του περιορισμού κατάχρησης των διαθέσιμων υλικών αποθεμάτων. Μεταξύ των κύριων δομικών υλικών, δηλαδή του χάλυβα, του οπλισμένου σκυροδέματος και του ξύλου μόνο το τελευταίο προέρχεται από πλήρως ανανεώσιμη φυσική πηγή.

Οι κατασκευαστικές προδιαγραφές γίνονται πιο φιλικές στο περιβάλλον και τους ανθρώπους για τους οποίους προορίζονται. Έτσι, καθώς η άνεση, η επιθυμία για καλύτερη ποιότητα ζωής και η επιστροφή σε ένα πιο φυσικό περιβάλλον αποτελεί ανάγκη για ανθρώπους που αναζητούν έναν απλό και υγιεινό τρόπο ζωής, όλο και περισσότεροι άνθρωποι καταλήγουν στην ίδια λύση: “ξύλινες κατοικίες”. Οι νέοι πανευρωπαϊκοί δομικοί κανονισμοί, οι Ευρωκώδικες, συμπεριλαμβάνουν το ξύλο ισότιμα με τον χάλυβα και το οπλισμένο σκυρόδεμα, ως υλικό σχεδιασμού φορέων, για την αντιμετώπιση στατικών δυναμικών ή και θερμικών φορτίων.

## 1.4 Ιδιότητες

### 1.4.1 Ανθεκτικότητα του ξύλου

Η περιεκτικότητα του ξύλου σε υγρασία είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την ανθεκτικότητά του. Εάν η περιεκτικότητα σε υγρασία του ξύλου είναι μικρότερη από 20% δεν υπάρχει περίπτωση να αναπτυχθούν μύκητες στο ξύλο. Η περιεκτικότητα του ξύλου σε υγρασία υπερβαίνει αυτό το ποσοστό μόνον όταν η σχετική υγρασία του αέρα έχει παραμείνει άνω του 85% για μια μεγάλη χρονική περίοδο.

### 1.4.2 Πυρασφάλεια

Ο κίνδυνος πυρκαγιάς είναι από τους κυριότερους εχθρούς των ξύλινων κατασκευών και φτάνει στο σημείο της υπέρμετρης παραπλάνησης.

Οι ξύλινες κατασκευές έχουν υψηλό δείκτη πυρασφάλειας. Το ξύλο όπως και κάθε άλλη κατασκευή καίγεται, αλλά καίγεται επιφανειακά και αργά δίνοντας τη δυνατότητα να αντικατασταθεί το φθαρμένο κομμάτι, κάτι που δεν μπορεί να γίνει σε μια συμβατική κατασκευή. Σε επίσημη δοκιμή απεδείχθη ότι μόλις τα φλόγιστρα που τροφοδοτούσαν με φωτιά το πείραμα έσβηναν, έσβηναν εύκολα και οι φλόγες της ξύλινης δοκού. Μελέτες και εργαστηριακές δοκιμές στη συμπεριφορά του ξύλου στη φωτιά απέδειξαν ότι η ταχύτητα απανθράκωσης των επιφανειών του ξύλου είναι γνωστή από πριν, σταθερή, με πολύ μικρές διαφορές στα διάφορα είδη, (π.χ. πιο αργή στα ξύλα υψηλής πυκνότητας ή

στην επικολλητή ξυλεία με την προϋπόθεση ότι έχουν χρησιμοποιηθεί κατάλληλες κόλλες κλπ). Γενικά αποδεκτή ταχύτητα απανθράκωσης των επιφανειών του ξύλου (για δομική ξυλεία) είναι 0,67 του χλιοστού ανά λεπτό, ενώ η επίδραση της θερμότητας αυξάνει την αντοχή του ξύλου, λόγω της μείωσης της εσωτερικής υγρασίας.

Εάν για παράδειγμα κάποιος ξύσει το καμένο κομμάτι το ξύλο που υπάρχει μέσα είναι λευκό και ανέγγιχτο από την φωτιά. Ο εμποτισμός βοηθάει μεν στην καθυστέρηση καύσης αλλά φυσικά δεν λειτουργεί αποτρεπτικά. Ο ιδιοκτήτης ενός ξύλινου σπιτιού δεν χάνει ολόκληρο το σπίτι όπως συμβαίνει με τις συμβατικές κατασκευές καθώς όπως όλοι γνωρίζουμε αν πάρει φωτιά ένα τσιμεντένιο σπίτι πρέπει να κατεδαφιστεί και να χτιστεί από την αρχή.

### 1.4.3 Αντοχή στο χρόνο

Το ξύλο έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, δεν θα θεωρούμασταν υπερβολικοί αν αναφέραμε ότι ο χρόνος ζωής μιας ξύλινης κατοικίας μπορεί να ξεπεράσει τους τρεις αιώνες, ενώ ο ελάχιστος χρόνος ζωής καθορίζεται περίπου στα 100 χρόνια, σχεδόν διπλάσιος χρόνος από αυτόν μιας συμβατικής κατοικίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της μεγάλης αντοχής των ξύλινων κατασκευών στον χρόνο αποτελούν οι εκατοντάδες ρωσικές εκκλησίες του 14ου αιώνα που υπάρχουν ακόμη και διατηρούνται σε άριστη κατάσταση καθώς και οι ξύλινες εκκλησίες στην Σκανδιναβία (stavkirker). Για να έχει μια ξύλινη κατασκευή μεγάλη αντοχή στο χρόνο, είναι επιβεβλημένη εκτός από τη συντήρησή της και η προστασία από την υγρασία μέσω κατάλληλου σχεδιασμού.



Εικόνα 1.6 Ξύλινη νορβηγική εκκλησία «Stavkirke» 13ος αιώνας. ( [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) )

#### 1.4.4 Οικολογία

Εκτός από την ενέργεια για την λειτουργία των κατοικιών και δημοσίων κτιρίων, στην Ευρώπη υπολογίζεται πλέον και η ενέργεια που καταναλίσκεται για την κατασκευή τους (αποτύπωμα άνθρακα). Το ξύλο ως δομικό υλικό απαιτεί για την επεξεργασία του την λιγότερη δυνατή ενέργεια σε σύγκριση με όλα τα άλλα δομικά υλικά, επομένως έχει το χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα (CO<sub>2</sub>). Για να γίνουμε πιο ακριβείς, μελέτη από το Αυστριακό Ινστιτούτο για Κατασκευές και Οικολογία IBO έδειξε ότι οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για την κατασκευή μιας ενεργειακής ξύλινης κατοικίας 143m<sup>2</sup> ανέρχονται στα 8.292kg CO<sub>2</sub>. Συγκριτικά για την κατασκευή του ίδιου κτιρίου με συμβατικό τρόπο οι εκπομπές ανέρχονται στα 44.327 kg CO<sub>2</sub>, δηλαδή 400% παραπάνω. Για να κατανοήσουμε τι σημαίνει αυτό, ένα αυτοκίνητο Diesel, που καταναλώνει 6 λίτρα ανά 100 χιλιόμετρα, πρέπει να διανύσει 226.635 χιλιόμετρα για να εκπέμψει 36.035 kg CO<sub>2</sub>.

#### 1.4.5 Αντισεισμικότητα

Κάθε ξύλινη κατασκευή παρέχει μεγάλες αντοχές με σχετικά μικρό ίδιο βάρος και συμπεριφέρεται εξαιρετικά σε σεισμικές καταπονήσεις όταν είναι σχεδιασμένη σωστά. Το ξύλο αποτελεί το κυρίαρχο δομικό υλικό των σημαντικότερων αντισεισμικών δομικών συστημάτων του κόσμου

Οι ξύλινες κατασκευές παρουσιάζουν πολύ καλή σεισμική συμπεριφορά, παρέχουν μεγάλες αντοχές με σχετικά μικρό ίδιο βάρος με αποτέλεσμα να καταπονούνται από μικρές σεισμικές δυνάμεις. Η σεισμική δράση σε ένα ξύλινο κτίριο απορροφάται από τις συνδέσεις του σκελετού, λόγω της πλαστικής συμπεριφοράς του. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στην ολκιμότητα και στην απορρόφηση (ανάλωση) ενέργειας. Επομένως απαραίτητη προϋπόθεση για την καλή σεισμική συμπεριφορά είναι ο σωστός σχεδιασμός κυρίως των περιοχών σύνδεσης των ξύλινων μελών. Η επιλογή του ξύλου ως κύριο δομικό υλικό των συμβατικών κατασκευών σε σειсмоγενείς χώρες όπως η Ιαπωνία και η Αμερική, αποτελεί την έμπρακτη απόδειξη των πλεονεκτημάτων των ξύλινων σπιτιών, στη διάρκεια του σεισμού.

#### 1.4.6 Θερμομόνωση-Ηχομόνωση

Η θερμομόνωση ενός σπιτιού καθορίζεται από την θερμοχωρητικότητα των υλικών κατασκευής του, δηλαδή από την ποσότητα της θερμότητας που πρέπει να απορροφήσουν τα υλικά αυτά για να αρχίσει μετά να θερμαίνεται και ο εσωτερικός χώρος. Το ξύλο έχει μικρή θερμοχωρητικότητα ως υλικό καθώς

διαθέτει σημαντικά μικρό συντελεστή θερμομόνωσης, σε αντίθεση με τα συμβατικά υλικά, όπως μπετόν και πέτρα, που έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα, το οποίο σημαίνει ότι το ξύλινο σπίτι θερμαίνεται πολύ πιο γρήγορα.

**Πίνακας 1.2** Συντελεστές θερμομόνωσης διαφόρων υλικών και ξύλου.

	<b>Ξύλο</b>	<b>Σκυρόδεμα</b>	<b>Κεραμίδι Τούβλο</b>	<b>Γυψοσανίδα</b>	<b>Γυαλί</b>	<b>Μέταλλο</b>
<b>Συντελεστής θερμικής Αγωγιμότητας Kcal/mh°C</b>	0,12	1,75	0,45	0,50	0,81	35-70

Για παράδειγμα, ένα ξύλινο σπίτι 100m<sup>2</sup> περίπου θα έρθει στο εσωτερικό του στην επιθυμητή θερμοκρασία των 22°C με εξωτερική θερμοκρασία 0-5°C σε διάστημα 2 ωρών περίπου, σε αντίθεση με το μπετόν και τη πέτρα που χρειάζονται περίπου 24 ώρες. Το ξύλο είναι 9 φορές πιο μονωτικό από το μπετόν, 700 φορές από τον σίδηρο και 2.000 φορές από το αλουμίνιο. Το ξύλο είναι το καλύτερο θερμομονωτικό υλικό λόγω της υφής του, επειδή αποτελείται από πολλά ινώδη κύτταρα που περικλείουν μεταξύ τους μικρές ποσότητες ακίνητου αέρα. Σε έρευνες έχει αποδειχθεί ότι τα σπίτια με κορμούς δένδρων έχουν 24 έως 46% λιγότερη κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες η καλή θερμομόνωση του ξύλου λειτουργεί αντιστρόφως με αποτέλεσμα την δροσιά. Η κατασκευή της σκεπής, η οποία είναι αεριζόμενη και με μεγάλο πάχος μονωτικού υλικού 100-190mm., βοηθά στην εξασφάλιση ζέστης το χειμώνα και δροσιάς το καλοκαίρι. Επίσης οι κατασκευές στήριξης των ενδιάμεσων ορόφων αλλά και του ισογείου μονώνονται με τα ίδια υλικά. Τα θερμαντικά σώματα που προτείνονται είναι οι θερμοπομποί.

Ο μικρότερος κορμός με πάχος 95x170mm, που χρησιμοποιείται στις κατοικίες έχει ηχομόνωση 35db. Όσο αυξάνουμε το πάχος του κορμού π.χ. 120x170mm., 145x170mm κλπ. αυξάνεται και η ηχομόνωση που μπορεί να υπερκαλύψει απαιτήσεις ξενοδοχείων και καταλυμάτων που η ηχομόνωση πρέπει να είναι 39 έως 60db ανάλογα της φύσης των χώρων που περικλείει ο τοίχος. Οι κατασκευές στήριξης των ενδιάμεσων ορόφων, με ανάλογη μόνωση περιορίζουν την μετάδοση των ήχων που γίνονται στις επιφάνειες των πατωμάτων. Τα παράθυρα και οι πόρτες έχουν ηχομόνωση 38db. (διπλά τζάμια, αεροστεγή). Σε περίπτωση που θέλουμε να αυξήσουμε και άλλο την ηχομόνωση σε ένα χώρο,



το επιτυγχάνουμε με την εφαρμογή μόνωσης στην τοιχοποιία και πάνελ ίδιας εμφάνισης με τους κορμούς.

#### 1.4.7 Το πρόβλημα της ακαμψίας στις ξύλινες κατασκευές

##### 1.4.7.1 Γενικά



Εικόνα 1.7 Λεπτομέρεια ξύλινης κατασκευής. ( [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) )

Στην ξύλινη κατασκευή απαραίτητη είναι η ανάγκη εξασφάλισης της ακαμψίας στις οριζόντιες παραμορφώσεις. Αυτό είναι αναγκαίο, γιατί η ξύλινη κατασκευή δημιουργείται από σύνθεση ξύλινων στοιχείων γραμμικών (υποστυλώματα, δοκοί κλπ) και επιφανειακών (σανίδες, μαδέρια, κόντρα πλακέ) που συνδέονται μεταξύ τους δημιουργώντας αρθρώσεις με πολύ περιορισμένη αν όχι ανύπαρκτη αντοχή στις παραμορφώσεις.

Τρία είναι τα επίπεδα στα οποία μπορεί να συμβεί η παραμόρφωση εξ αιτίας των διαφόρων πλαγίων φορτίσεων ανέμου ή σεισμού. Τα δύο είναι κατακόρυφα επίπεδα παράλληλα προς τους δύο άξονες του κτίσματος, τον κατά μήκος και τον εγκάρσιο, ενώ το τρίτο είναι οριζόντιο και ταυτίζεται με το επίπεδο των πατωμάτων ή της στέγασης.

Σε ένα πολυώροφο κτίσμα η ακαμψία των κατακόρυφων επιπέδων πρέπει να εξασφαλίζεται σ' όλο τους το ύψος, των δε οριζοντίων σ' όλες τους τις επάλληλες θέσεις.

#### 1.4.7.2 Τρόποι εξασφάλισης της ακαμψίας

Τέσσερις είναι οι βασικοί τρόποι να εξασφαλισθεί ακαμψία σε μια ξύλινη κατασκευή.

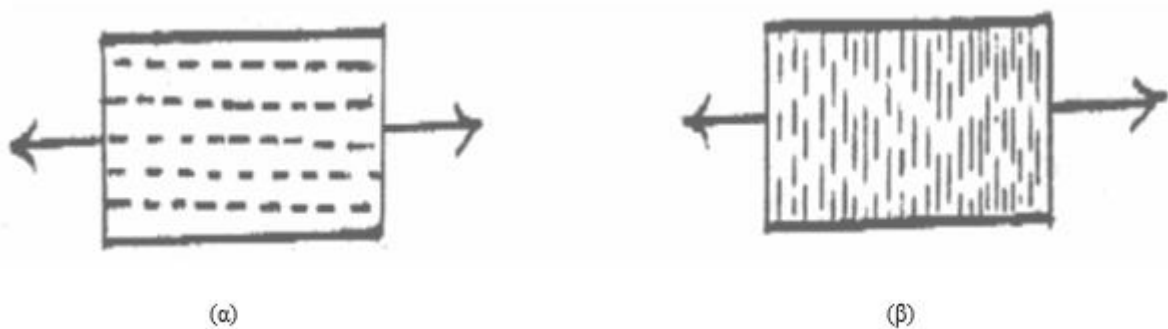
1. Να δημιουργηθούν συνδέσεις μεταξύ των ξύλινων στοιχείων (π.χ. δοκός με υποστύλωμα) ή μεταξύ των ξύλινων στοιχείων και άλλων μελών του κτίσματος (π.χ. υποστύλωμα με θεμέλιο) που να είναι ικανές να αντισταθούν στις παραμορφώσεις και να παραλάβουν τις πλάγιες ωθήσεις. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί όταν πακτωθούν τα υποστυλώματα στα θεμέλια ή όταν ενισχυθούν οι συνδέσεις μιας δοκού με τα υποστυλώματα δημιουργώντας την μορφή πλαισίου.
2. Να σχηματισθούν τρίγωνα με τα ξύλινα στοιχεία του κτίσματος ή με τη βοήθεια πρόσθετων στοιχείων, που ονομάζονται αντιανέμια ή διαγώνιες ενισχύσεις. Οι διαγώνιες ενισχύσεις μπορούν να είναι είτε ελκυστήρες πρέπει να είναι δύο, διασταυρούμενοι για να παραλάβουν τις εφελκυστικές τάσεις παραμόρφωσης και κατά τις δύο κατευθύνσεις. Εάν όμως το ίδιο ορθογώνιο σχήμα θέλουμε να το κάνουμε απαραμόρφωτο με ράβδους τότε δεν χρειάζεται παρά μόνο μία που θα παραλαμβάνει άλλοτε εφελκυστικές τάσεις παραμόρφωσης κι άλλοτε θλιπτικές.
3. Να δημιουργηθούν διαφράγματα (ή διαφραγματικά επίπεδα) πάνω στα επίπεδα που πρέπει να γίνουν απαραμόρφωτα. Η επένδυση του σκελετού ενός κατακόρυφου ή οριζόντιου επιπέδου του κτιρίου με φύλλα κόντρα πλακέ το καθιστούν απαραμόρφωτο διάφραγμα. Ακόμα και το σανίδωμα ιδίως εάν είναι ραμποταρισμένο δημιουργεί διάφραγμα. Εξαιρετικά αποτελέσματα προκύπτουν όταν το σανίδωμα καρφωθεί παράλληλα προς τη διαγώνιο του ορθογώνιου που σχηματίζει ο τοίχος ή το πάτωμα που ενισχύεται. Τέλος, η ακαμψία ενισχύεται όταν παρεμβάλλονται ανάμεσα από τα στοιχεία (συνήθως τα κατακόρυφα) του σκελετού πανέλλα διαφόρων τύπων.
4. Να χρησιμοποιηθούν στην ξύλινη κατασκευή άλλα στοιχεία του κτίσματος που έχουν την απαιτούμενη ακαμψία. Έτσι όταν ενσωματωθούν στην κατασκευή πέτρινη τοίχοι, τοιχεία ή κλιμακοστάσια από μπετόν, οι απαιτήσεις ακαμψίας προς μία ή προς όλες τις κατευθύνσεις ικανοποιούνται.

## 1.5 Μηχανικές ιδιότητες του ξύλου

Οι μηχανικές ιδιότητες είναι το μέτρο της μηχανικής αντοχής του ξύλου, δηλαδή της αντίστασής του σε εξωτερικές δυνάμεις, που τείνουν να το παραμορφώνουν. Το ξύλο ως υλικό είναι ανισότροπο και

ανομοιογενές. Έχει συνεπώς διαφορετικές μηχανικές αντοχές στις διάφορες κατευθύνσεις του. Η γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων κάθε ξύλινου στοιχείου είναι βασική προϋπόθεση για την αξιοποίησή του σε προϊόντα και κατασκευές. Σημειώνονται οι ιδιαίτερες υψηλές αντοχές του ξύλου σε δυνάμεις παράλληλα προς τις ίνες.

### 1.5.1 Εφελκυστική αντοχή κάθετα και παράλληλα προς τις ίνες



Εικόνα 1.8. Δοκίμιο ξύλου σε εφελκυσμό παράλληλα (α) και κάθετα (β) προς τις ίνες. (<http://www.wfdt.teilar.gr>)

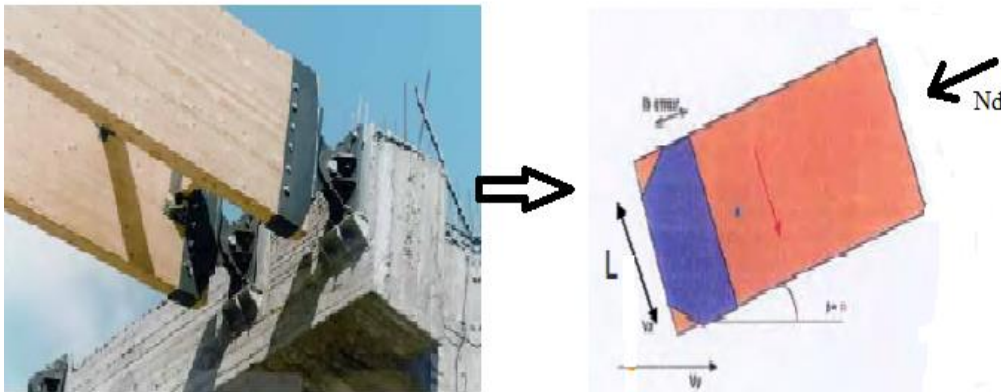
Το ξύλο έχει αντοχή σε εφελκυσμό παράλληλα στις ίνες είναι 30-50 φορές μεγαλύτερη από την αντοχή του σε εφελκυσμό κάθετα στις ίνες. Η αντοχή του ξύλου σε εφελκυσμό παράλληλα προς τις ίνες κυμαίνεται από  $500-1600 \frac{Kp}{cm^2}$  περίπου ενώ η αντοχή του σε εφελκυσμό κάθετα προς τις ίνες από  $10-70 \frac{Kp}{cm^2}$ . Στην πραγματικότητα σε κατασκευές ξύλου, οι τάσεις εφελκυσμού αναπτύσσονται μαζί με τις τάσεις διάτμησης, στις οποίες το ξύλο παρουσιάζει μειωμένη αντοχή. Επομένως πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η μείωση της διατομής των ξύλινων στοιχείων στις περιοχές όπου διαμορφώνονται εγκοπές για την σύνδεση των ξύλων (ξυλουργικές παραδοσιακές συνδέσεις). Να επισημάνουμε πως ο έλεγχος εφελκυσμού καθέτως προς τις ίνες δεν αφορά έλεγχο μέλους (N,Q,M ) αλλά έλεγχο σύνδεσης (τρόπο μεταφοράς φορτίων).

1.5.2 Θλιπτική αντοχή παράλληλα και κάθετα στις ίνες



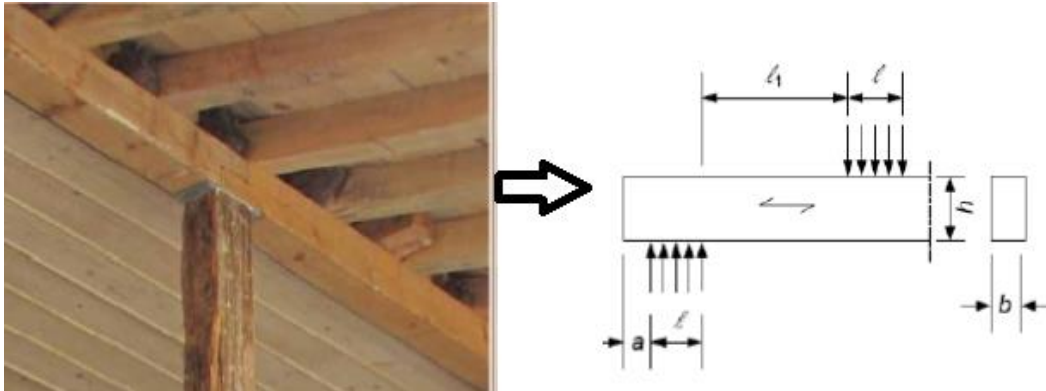
Εικόνα 1.9. Δοκίμιο ξύλου σε θλίψη παράλληλα (α) και κάθετα (β) προς τις ίνες. (<http://www.wfdt.teilar.gr>)

Η αντοχή του ξύλου σε θλίψη παράλληλα προς τις ίνες είναι 10-15 φορές μεγαλύτερη σε σχέση με τη θλίψη κάθετα προς τις ίνες. Η αντοχή του ξύλου σε θλίψη παράλληλα προς τις ίνες κυμαίνεται από  $250-950 \frac{Kp}{cm^2}$  περίπου ενώ η αντοχή του σε θλίψη κάθετα προς τις ίνες από  $10-200 \frac{Kp}{cm^2}$ . Σε ξύλινες κατασκευές, φορτίσεις του ξύλου σε θλίψη παράλληλα προς τις ίνες παρατηρούνται σε ξύλινα υποστηρίγματα υποστέγων, όπου έχει σημασία η σχέση μήκους/διαμέτρου του υποστηρίγματος.



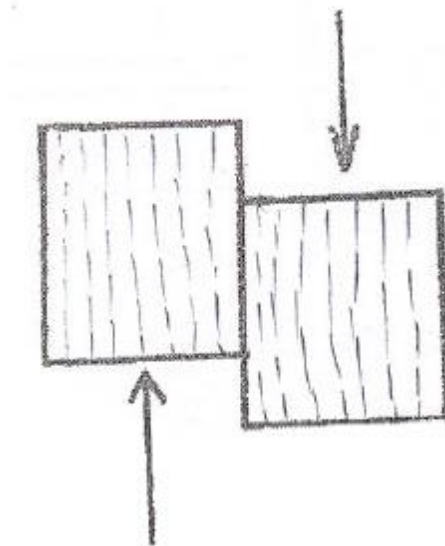
Εικόνα 1.10.Θλίψη παράλληλα στις ίνες-Υπολογισμός επιφάνειας  $b \cdot L$  για την παραλαβή της αξονικής δύναμης  $N_d$ . ([http://library.tee.gr/digital/m2464/m2464\\_ec5.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2464/m2464_ec5.pdf))

Η θλιπτική αντοχή κάθετα στις ίνες είναι δύσκολο να μετρηθεί γιατί αυξάνει όσο αυξάνει η παραμόρφωση, φθάνοντας στο μέγιστο της τιμής όταν το ξύλο έχει συμπιεστεί στο ένα τρίτο περίπου της αρχικής του διατομής. Οι ίνες που δεν βρίσκονται στην περιοχή εφαρμογής της δύναμης υποβοηθούν τις άμεσα φορτιζόμενες. Γι' αυτό η αντοχή μικρών περιοχών φόρτισης είναι μεγαλύτερη από αυτή μεγαλύτερων περιοχών, για την ίδια τάση.



Εικόνα 1.11. Θλίψη κάθετα στις ίνες-Υπολογισμός επιφάνειας έδρασης δοκού σε μεμονωμένες στηρίξεις. ([http://library.tee.gr/digital/m2464/m2464\\_ec5.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2464/m2464_ec5.pdf))

### 1.5.3 Αντοχή σε διάτμηση



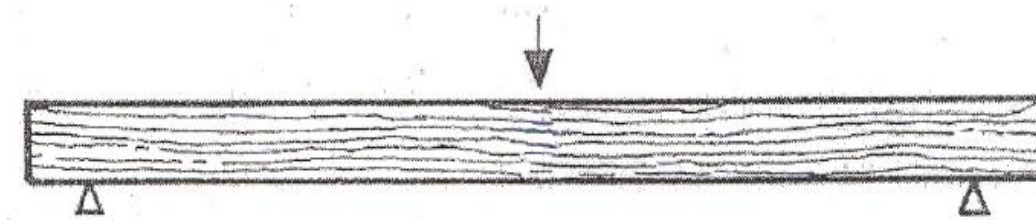
Εικόνα 1.12. Δοκίμιο ξύλου σε τάσεις διάτμησης. (<http://www.wfdt.teilar.gr>)

Όταν ξύλινα μέλη φορτίζονται σε θλίψη παράλληλα στις ίνες ή κάμψη, τότε αναπτύσσονται και τάσεις αξονικής διάτμησης. Η αξονική διάτμηση του ξύλου κυμαίνεται από  $50-200 \frac{Kp}{cm^2}$ . Η αντοχή σε αξονική διάτμηση έχει μεγαλύτερη πρακτική σημασία, διότι με την επίδραση τάσεων διάτμησης, το ξύλο τις περισσότερες φορές υποχωρεί με αυτόν τον τρόπο. Δυνάμεις τείνουν να προκαλέσουν ολίσθηση μέρους του σώματος που φορτίζεται, σε παράπλευρο μέρος του ίδιου σώματος.

Οι αποτιμήσεις, οι οπές και εγκοπές, εκτός από απομείωση της διατομής ( $h_{ef}$  = μειωμένο ύψος διατομής) προκαλούν συγκέντρωση τάσεων στις αντίστοιχες περιοχές προκαλώντας πρώιμες και ψαθυρές διατμητικές αστοχίες και γι' αυτό μείωση της φέρουσας ικανότητας σε διάτμηση.

#### 1.5.4 Αντοχή σε κάμψη

Η αντοχή σε κάμψη και ειδικότερα σε στατική κάμψη είναι η σπουδαιότερη μηχανική ιδιότητα του ξύλου. Η αντοχή σε κάμψη εκτιμάται με το μέτρο θραύσης που δείχνει τις μέγιστες τάσεις των ινών των εξωτερικών πλευρών του ξύλου. Το μέτρο θραύσης του ξύλου γενικά κυμαίνεται μεταξύ 600-1600  $\frac{Kp}{cm^2}$ . Η αντοχή σε κάμψη είναι ανάλογη της αντοχής σε εφελκυσμό παράλληλα στις ίνες. Το ξύλο στις περισσότερες κατασκευές που συναντάμε γύρω μας φορτίζεται κυρίως με δυνάμεις που προκαλούν κάμψη.



Εικόνα 1.13. Δοκίμιο ξύλου σε στατική κάμψη. (<http://www.wfdt.teilar.gr>)

#### 1.5.5 Ελαστικότητα

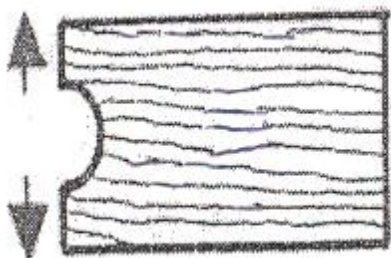
Το ξύλο έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα από άλλα υλικά, δηλαδή κάμπτεται περισσότερο κάτω από ορισμένο φορτίο. Η ελαστικότητα μετριέται συνήθως με το μέτρο ελαστικότητας, που προσδιορίζεται από στατικές ή δυναμικές δοκιμές αντοχής. Στην αξονική διεύθυνση το μέτρο ελαστικότητας κυμαίνεται μεταξύ 25.000-170.000  $\frac{Kp}{cm^2}$ , ενώ στην εγκάρσια διεύθυνση είναι μόνον 3.000-6.000  $\frac{Kp}{cm^2}$ .

#### 1.5.6 Αντοχή σε κρουστικά φορτία

Η αντοχή σε κρούση αναφέρεται σε δυναμική φόρτιση και έχει σημασία για ορισμένες χρήσεις του ξύλου. Κατασκευές όπως λαβές εργαλείων, αθλητικά είδη, κιβώτια συσκευασίας, όπου το ξύλο παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή σε δυναμικά φορτία, παρά τα στατικά. Υπό το κρουστικό φορτίο δεν προλαβαίνουν να αναπτυχθούν οι συμπληρωματικοί μηχανισμοί αντοχής της συνδέσεως (τριβές,

διαδοχική πλαστικοποίηση του ξύλου στις περιοχές των οπών των συνδέσμων ), με συνέπεια τη μείωση της φέρουσας ικανότητας των συνδέσμων και την άμεση κρουστική φόρτιση της φέρουσας ικανότητας των συνδέσμων και την άμεση κρουστική φόρτιση του ξύλου. Αρκετές από τις σεισμικές βλάβες που σημειώνονται σε συνδέσεις και αγκυρώσεις πρέπει να αποδοθούν στις συνέπειες της κρουστικής φορτίσεως που υφίσταται το ξύλο. Μια ξύλινη δοκός μπορεί να αντέξει περίπου διπλάσιο φορτίο σε δυναμική φόρτιση από ότι σε στατική. Επίσης, η κάμψη (παραμόρφωση ) δοκού σε δυναμική φόρτιση είναι περίπου διπλάσια από ότι σε στατική.

### 1.5.7 Αντοχή σε σχίση



Σχήμα 1.5. Δοκίμιο ξύλου σε τάσεις σχίσης. (<http://www.wfdt.teilar.gr>)

Το ξύλο δοκιμάζεται σε αντοχή σε σχίση όταν οι εξωτερικές δυνάμεις δρουν πάνω του με μορφή σφήνας. Το ξύλο έχει πολύ μικρή αξονική αντοχή σε σχίση. Η αντοχή του σε σχίση κυμαίνεται μεταξύ  $3-10 \frac{Kp}{cm^2}$ . Η ιδιότητα του ξύλου να σχίζεται εύκολα είναι τόσο πλεονέκτημα ορισμένων χρήσεων (σχίσιμο καυσοξύλων), όσο και σοβαρό μειονέκτημα άλλων (σχίσιμο ξύλου σε κατασκευές μετά από κάρφωμα ή βίδωμα). Η αντοχή σε σχίση είναι ιδιότητα ανάλογη με την αντοχή σε εφελκυσμό εγκάρσια με τις ίνες. Τα κωνοφόρα και τα ελαφρά πλατύφυλλα παρουσιάζουν μικρή αντοχή σε σχίση σε σχέση με τα βαρύτερα πλατύφυλλα.

### 1.5.8 Σκληρότητα

Ως σκληρότητα του ξύλου νοείται η αντίστασή του στην είσοδο ξένων σωμάτων στη μάζα του. Η αντίσταση αυτή είναι 1,2 με 2 φορές μεγαλύτερη στην αξονική διεύθυνση (αξονική σκληρότητα) από ότι στην εγκάρσια διεύθυνση (εγκάρσια σκληρότητα). Η ιδιότητα αυτή έχει άμεση εφαρμογή σε ορισμένες χρήσεις του ξύλου, όπως παρκέτα, πατώματα, αθλητικά είδη, κ.ά. Επίσης, η ευκολία

κατεργασίας του ξύλου εξαρτάται άμεσα από την σκληρότητα του. Η κατάταξη των σπουδαιότερων ελληνικών ειδών με βάση τη σκληρότητα γίνεται ως εξής: σκληρά: ίταμος, δρυς, φτελιά, ακακία, φράξος, πλατάνι, οξιά, γαύρος, ελιά, μέτρια: πεύκη, ελάτη, άρκευθος, καρυδιά και μαλακά: λεύκη, ιτιά, φιλύρα, και καστανιά.

**Πίνακας 1.3** Μηχανικές αντοχές διαφόρων ειδών ξύλου ( $\frac{Kp}{cm^2}$ ). (<http://www.wfdt.teilar.gr>)

Είδος ξύλου	ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ		ΘΛΙΨΗ		ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΜΨΗ	
	Αξονικός	Εγκάρσιος	Αξονική	Εγκάρσια	ΜΘ	ΜΕ
Ελάτη	-	17	369	-	939	-
Ερυθροελάτη	857	15	331	42	610	93.000
Πεύκη,μαύρη	1.040	20	398	-	1.049	120.000
Πεύκη, δασική	1.040	30	550	77	1.000	120.000
Κυπαρίσσι	-	-	540	-	550	-
Καρυδιά	1.000	36	720	120	1.470	125.000
Λεύκη	1.108	28	477	27	783	109.000
Οξιά	1.331	36	474	81	1.065	134.000
Καστανιά	1.350	-	500	-	770	90.000
Δρυς	1.282	31	475	71	993	123.000
Φτελιά	800	40	560	100	890	110.000
Σοενδάμι	820	35	580	150	1.120	94.000
Φράξος	1.650	70	520	110	1.200	134.000

### 1.5.9 Κόπωση

Το φαινόμενο της κοπώσεως εμφανίζεται και στο ξύλο: μικρότερα από την υπολογιστική τιμή τους αλλά με πολλούς κύκλους επαναλήψεως, όπως ο άνεμος ή το κινητό των γεφυρών, μπορούν να προκαλέσουν στο ξύλο την εμφάνιση μικροαστοχιών κοπώσεως. Αυτές μειώνουν τα χαρακτηριστικά αντοχής και ακαμψίας του υλικού καθώς και την ανθεκτικότητα του σε διάρκεια.

Η αντοχή σε κόπωση μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος της εντάσεως και της επαναλήψεως, με μεγαλύτερη την αντοχή σε κόπωση από αξονικό εφελκυσμό.

### 1.5.10 Φαινόμενο κλίμακας

Το γνωστό και από το σκυρόδεμα «φαινόμενο κλίμακας», δηλαδή η παρατηρούμενη αύξηση της αντοχής με τη μείωση του όγκου του δοκιμίου, εμφανίζεται και στο ξύλο. Η ποιοτική ερμηνεία του



φαινομένου είναι απλή: όσο μικραίνει ο όγκος μειώνεται και η πιθανότητα να βρεθούν εστίες χαμηλής αντοχής, οι οποίες θα καθορίσουν την αντοχή του συνόλου.

Πιο συγκεκριμένα, για το ξύλο, σε μια καμπτόμενη δοκό μεγαλύτερου ύψους θα υπάρξουν περισσότερα θλιβόμενα «καλαμάκια/ίνες» που θα φτάσουν στη τάση λυγισμού τους, από όσα σε μια δοκό μικρότερου ύψους, δηλαδή είναι πιθανότερο να βρεθούν και να αστοχήσουν καλαμάκια χαμηλότερης αντοχής.

#### 1.5.11 Αντοχή υπό επαναλαμβανόμενη και ανακυκλιζόμενη ένταση

Το ξύλο γενικώς, εμφανίζει αξιοσημείωτα καλή συμπεριφορά υπό επαναλαμβανόμενη ένταση όπως φαίνεται και στο σχήμα.

Για το λόγο αυτό, στο σχεδιασμό των ξύλινων κατασκευών έναντι σεισμού σημασία έχει η συμπεριφορά των κόμβων, οι οποίοι είναι οι περιοχές που, ανάλογα με το είδος της συνδέσεως, σημειώνεται μεγαλύτερη ή μικρότερη ανάλωση ενέργειας. Έτσι, καθορίζεται η συμπεριφορά της κατασκευής και εισάγεται ο κατάλληλος συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς  $q > 1$ .

### 1.6 Παράγοντες που επηρεάζουν τις μηχανικές αντοχές του ξύλου

#### 1.6.1 Υγρασία του ξύλου

Το ξύλο λόγω της χημικής του σύστασης είναι ένα υγροσκοπικό υλικό. Έχει δηλαδή την ιδιότητα να προσλαμβάνει και να αποβάλλει υγρασία από και προς στη μέγιστη διόγκωση του σταματά την πλήρωση των κυτταρικών τοιχωμάτων και συνεχίζει την πλήρωση των κοιλοτήτων με αποτέλεσμα να αυξάνεται το βάρος του, σαν ένα σφουγγάρι που σταματάει να απορροφάει το νερό. Στις ξυλοκατασκευές, τα φαινόμενα της ρίκνωσης και της διόγκωσης επηρεάζουν σημαντικά τις μηχανικές ιδιότητες αυτών. Μείωση της υγρασίας του ξύλου, αυξάνει τη μηχανική αντοχή του. Είναι γνωστό ότι όσο πιο ξερό είναι το ξύλο, τόσο πιο γερό είναι.

#### 1.6.2 Πυκνότητα του ξύλου

Πυκνότητα του ξύλου είναι το μέτρο μάζας που περιέχεται (περικλείεται) σε ορισμένο όγκο του και εκφράζεται με το πηλίκο της μάζας διά του όγκου. Η πυκνότητα και το ειδικό βάρος εκφράζονται με τον ίδιο αριθμό. Η πυκνότητα αποτελεί τον καλύτερο δείκτη ποιότητας και μηχανικής αντοχής του

ξύλου. Ξύλο με μεγάλη πυκνότητα πάντοτε έχει και μεγάλη μηχανική αντοχή. Η πυκνότητα των ελληνικών ειδών ξύλου, γενικά, κυμαίνεται από  $0,30 \frac{g}{cm^3}$  έως  $0,90 \frac{g}{cm^3}$ . Με βάση την ξηρή πυκνότητά τους, τα ελληνικά είδη διαχωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες ξύλου: τα ελαφρά ( $0,30-0,45 \frac{g}{cm^3}$ ), τα μέτρια ( $0,45-0,65 \frac{g}{cm^3}$ ), τα βαριά ( $0,65-0,80 \frac{g}{cm^3}$ ) και τα πολύ βαριά ( $0,80-1,00 \frac{g}{cm^3}$ ).

### 1.6.3 Θερμοκρασία

Η μηχανική αντοχή ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Μεγάλες θερμοκρασίες είναι δυνατό να προκαλέσουν (χημική) αλλοίωση του ξύλου και να ελαττώσουν την αντοχή του σημαντικά.

### 1.6.4 Σφάλματα δομής

Η δομική ξυλεία παρουσιάζει διάφορα ελαττώματα (ρόζοι, σκισίματα, ρηγματώσεις, ανώμαλη ανάπτυξη, σήψη κ.α.), μικρότερης ή μεγαλύτερης σημασίας και εκτάσεως, τα οποία είτε δημιουργούνται κατά την ανάπτυξη του δέντρου είτε οφείλονται στην κοπή, ή προκαλούνται από τις περιβαλλοντικές προσβολές. Η παρουσία σφαλμάτων στο ξύλο προκαλεί μείωση της μηχανικής του αντοχής.

### 1.6.5 Διάρκεια φόρτισης

Η διάρκεια φόρτισης έχει σημαντική (αντιστρόφως ανάλογη) επίδραση στη μηχανική αντοχή του ξύλου, δηλαδή στο μέγεθος του φορτίου που μπορεί να βαστάξει μία ξύλινη κατασκευή. Μόνιμη φόρτιση ελαττώνει την αντοχή του σε ποσοστό 50-75%.

## 2 Περιγραφή Δομικού Συστήματος

### 2.1 Κατασκευαστικές μέθοδοι ξύλινων οικοδομημάτων

Τα οικοδομήματα από ξύλο ακολουθούν τους ίδιους κανονισμούς με τους οποίους κτίζονται και όλα τα υπόλοιπα. Για την Ευρώπη οι κανονισμοί αυτοί ονομάζονται Ευρωκώδικες. Δηλαδή όποιες προδιαγραφές ισχύουν για τους Φιλανδούς και τους Γερμανούς οι ίδιες ακριβώς ισχύουν και για μας. Και οι κατασκευαστικές μέθοδοι είναι πλέον ίδιες σ' όλον τον κόσμο. Αυτές χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: την μέθοδο του σκελετού και την μέθοδο των διαφραγμάτων.

#### 2.1.1 Η μέθοδος του σκελετού

Η μέθοδος του σκελετού δεν διαφέρει και πολύ από τον τρόπο με τον οποίο κατασκευάζουμε κτήρια από μπετό. Υπάρχουν δοκάρια στύλοι. Στη θέση των τοιχίων από μπετό τοποθετούνται ισχυρά ξύλινα δικτυώματα. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σπάνια. Και αυτό γιατί προσκρούει στην αδυναμία μας να διαμορφώσουμε αξιόπιστους και φθηνούς κόμβους. Δηλαδή σημεία σύνδεσης μεταξύ δοκών και υποστυλωμάτων.

#### 2.1.2 Η μέθοδος των κατακόρυφων διαφραγμάτων

Η μέθοδος των κατακόρυφων διαφραγμάτων αντίθετα μιμείται την κατασκευή των κατασκευών από τοιχοποιία. Διαμορφώνονται ξύλινοι τοίχοι οι οποίοι φέρουν κατακόρυφα και οριζόντια (άνεμος και σεισμός) φορτία. Οι τρόποι με τους οποίους δομούνται οι ξύλινοι τοίχοι έχουν μια παλιά και καθοριστική κεντρική ιδέα. Κατασκευάζεται καφασωτό το οποίο γεμίζει με ένα υλικό. Το υλικό πλήρωσης παλιά ήταν πλιθιά (ξυλόπηκτη τοιχοποιία), ενώ σήμερα είναι πλάκες προϊόντων ξύλου (OSB ή/και plywood). Βέβαια υπάρχει και η μέθοδος κατασκευής τοίχων με ξύλινους επεξεργασμένους μικροκορμούς οι οποίοι τοποθετούνται ο ένας πάνω στο άλλον. (παράγοντας τα λεγόμενα κορμόσπιτα ή ξυλόσπιτα). Στην περίπτωση των διαφραγμάτων από καφασωτό οι δοκίδες αναλαμβάνουν τα κατακόρυφα φορτία και οι καρφωμένες πλάκες τα οριζόντια ενώ στην περίπτωση των μικροκορμών τα κατακόρυφα αναλαμβάνονται από τους κορμούς φορτιζόμενους κάθετα στις ίνες τους ενώ τα οριζόντια από τις δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται μεταξύ τους.



Εικόνα 2.1 Καφασωτός σκελετός πριν την στερέωση των δομικών φύλλων. ([www.allwood.gr](http://www.allwood.gr))

Δεν είναι υποχρεωτική η κατασκευή βάσης από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αυτό πραγματοποιείται σε περίπτωση που επιθυμείται να καλυφθούν υστεροβουλίες των χρηστών που συχνά θέλουν να μετατρέψουν το υπόγειο σε κατοικήσιμο. Ανεξάρτητα από αυτά, ακόμη και σε περίπτωση κατασκευής υπογείου ή τμήματος υπογείου αρκεί να κατασκευασθούν περιμετρικά τοιχία και η πλάκα να αντικατασταθεί με ξύλινο πάτωμα. Φυσικά σε κατασκευές σε σαθρό ή βαλτώδες έδαφος η κατασκευή συμφέρει να γίνεται πάνω σε αποστειρωμένους (ή ακόμη και πλαστικούς) στύλους που προεξέχουν γύρω στο μέτρο πάνω από το έδαφος (αποφυγή συμβατικής θεμελίωσης).



Εικόνα 2.2 Φάση κατασκευής πλατφόρμας χωρίς υπόγειο. ([www.allwood.gr](http://www.allwood.gr))

## 2.2 Δομικά συστήματα ξύλινων κατοικιών

### 2.2.1 Κορμόσπιτα (log houses)

#### 2.2.1.1 Γενικά

Οι κατοικίες που κατασκευάζονται από κορμούς δένδρων έχουν ως πρώτη ύλη κατάλληλα επεξεργασμένους κορμούς με διάμετρο 12 έως 25 cm. Οι κορμοί τοποθετούνται ο ένας πάνω στον άλλο και με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται οι εξωτερικοί τοίχοι και τα εσωτερικά χωρίσματα. Ειδικές εγκοπές στις άκρες των κορμών διασφαλίζουν την ένωση των τοίχων μεταξύ τους (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.3 Ορθογώνιος κορμός. (<http://www.elkefficienthouses.gr>)

Επικουρικά χρησιμοποιούνται και μεταλλικές συνδέσεις. Η ξυλεία που χρησιμοποιείται είναι κυρίως δασική πεύκη, ερυθρελάτη, ελάτη, λάρικα.(Εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4 Κατοικία με οριζόντια τοποθέτηση κορμών. (<http://www.xilokatoikia.gr>)

### 2.2.1.2 Τύποι κορμόσπιτων

Υπάρχουν δύο τύποι κορμόσπιτων:

- Χειροποίητα (Handcrafted): Κατασκευασμένα από κορμούς που έχουν αποφλοιωθεί, αλλά κατά τα άλλα είναι ουσιαστικά αμετάβλητοι από την αρχική μορφή τους ως κορμοί δέντρων.

Επεξεργασμένα (Milled): Κατασκευασμένα από κορμούς που έχουν περάσει από μια διαδικασία επεξεργασίας η οποία τους μετατρέπει σε ξύλα ίδια ως προς το μέγεθος και την εμφάνιση.

### 2.2.1.3 Τύποι επεξεργασμένων κορμών

Οι επεξεργασμένοι κορμοί διακρίνονται στις παρακάτω κύριες κατηγορίες με βάση το σχήμα (προφίλ) τους:

- D-shape logs : Τα D-Logs έχουν πάρει το όνομά τους από την ομοιότητα που έχουν με το κεφαλαίο γράμμα D. Είναι επίπεδοι εσωτερικά με εγκοπή σχήματος V και ελαφρώς στρογγυλεμένοι εξωτερικά.



Εικόνα 2.5 D-shape logs. (<http://www.elkefficienthouses.gr>)

- Full-round logs: Είναι οι εξ' ολοκλήρου στρογγυλοί κορμοί και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κατοικιών από πολύ παλιά.



Εικόνα 2.6 Full-round logs (<http://www.elkefficienthouses.gr>)

- Square logs: Είναι επίπεδοι μέσα και έξω (ορθογωνισμένη διατομή). Τα τελευταία χρόνια, με την εξέλιξη της τεχνολογίας τα square logs έχουν εξελιχθεί σε ένα πολύ λειτουργικό προφίλ.



Εικόνα 2.7 Square logs (<http://www.elkefficienthouses.gr>)

- Swedish Cope logs: Είναι στην ουσία στρογγυλοί κορμοί, με μια εγκοπή στο κάτω μέρος τους που έχει σχήμα μισοφέγγαρου.

Εκτός από το σχήμα, ένας άλλος τρόπος κατηγοριοποίησης είναι, αν πρόκειται για μασίφ (ολόσωμο) ή συγκολλητό κορμό. Ο συγκολλητός κορμός αποτελείται από ξυλοτεμάχια πάχους 4-5cm περίπου, τα οποία είναι κολλημένα μεταξύ τους με ειδικές κόλλες σε ειδικές πρέσες. Η διαμόρφωση του προφίλ του κορμού γίνεται μετά τη συγκόλληση με ειδικά μηχανήματα (φρέζες).

Η εξωτερική τοιχοποιία των κορμόσπιτων αποτελείται από κορμίδια, τα οποία επεξεργάζονται από εοδικά μηχανήματα όπου κυλινδρομορφώνονται και ταυτόχρονα δημιουργούνται κατά μήκος προεξοχές και εσοχές έτσι, ώστε με την οριζόντια τοποθέτηση του ενός επάνω στο άλλο, να προκύπτει η πλήρης εφαρμογή τους.



Εικόνα 2.8 Μορφοποιημένοι κορμοί (<http://www.g-e-maris.gr>)

Η εσωτερική τοιχοποιία είναι από μικρότερης διαμέτρου κορμίδια ή από ελαφρύ ξύλινο σκελετό με επένδυση. Ο ελαφρύς ξύλινος σκελετός κατασκευάζεται από ξυλεία πεύκης, ερυθρελάτης, ελάτης. Για

την επένδυση υπάρχουν διάφορων ειδών προϊόντα όπως: μοριοσανίδες, ινοσανίδες, ξυλεπένδυση, τσιμεντοσανίδες, γυψοσανίδες.

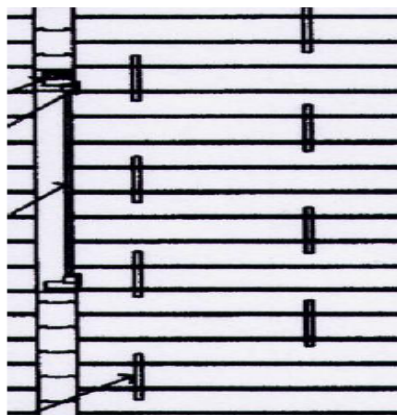
Για το δέσιμο των κορμιδίων σε κάθε τοίχο περιμετρικά και σε αποστάσεις 2-3m, οι κορμοί φέρουν κατακόρυφες οπές, μέσα από τις οποίες περνάνε ανοξειδωτες μεταλλικές ράβδοι (ντίζες), οι οποίες φέρουν σπείρωμα, όπου βιδώνονται παξιμάδια και σφίγγονται οι κορμοί (Εικόνα 2.9).



Εικόνα 2.9 Σύνδεση με ανοξειδωτες μεταλλικές ράβδους.

( Αντωνία Πασπουτάκη, Τεχνολογία ξύλινης κατοικίας με έμφαση στην αντισεισμική προστασία, Διπλωματική εργασία 2008, Τ.Ε.Ι Λάρισας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου).

Εναλλακτική σύνδεση των κορμιδίων ανά 2 γίνεται με ξύλινες καβίλιες (Εικ.2.10)



Εικόνα 2.10 Σύνδεση με καβίλιες.

(Αντωνία Πασπουτάκη, Τεχνολογία ξύλινης κατοικίας με έμφαση στην αντισεισμική προστασία, Διπλωματική εργασία 2008, Τ.Ε.Ι Λάρισας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου).



Το σφίξιμο των κορμών μπορεί να γίνεται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, όταν το ξύλο χάνει υγρασία με αποτέλεσμα να ρικνώνεται και οι διαστάσεις του να μικραίνουν. Το αντίθετο γίνεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όταν τα κορμίδια παίρνουν υγρασία από την ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να διογκώνονται και να αυξάνει η διάμετρός τους. Κορμόσπιτα χρησιμοποιούνται κυρίως στις Σκανδιναβικές χώρες.

Η υγρασία των κορμιδίων εξαρτάται από την υγρασία ισορροπίας του χώρου, στον οποίο θα εγκατασταθεί η κατοικία. Για τα ελληνικά δεδομένα ένα εύρος υγρασίας 12-14% είναι πολύ αποδεκτό.

### 2.2.2 Συστήματα δοκού επί στύλου (post and beam)

Το σύστημα δοκού επί στύλου είναι ένα σύστημα κατασκευής όπου ο βασικός φέρων οργανισμός αποτελείται από ξύλινα δοκάρια που στηρίζονται σε ξύλινα υποστυλώματα όχι σε τόσο κοντινές αποστάσεις όσο το σύστημα με πυκνό και ελαφρύ σκελετό. Οι κατασκευές με το σύστημα δοκού επί στύλου, χρησιμοποιούνται εδώ και αιώνες και εξακολουθούν να εφαρμόζονται στη σύγχρονη εποχή, παρά την μεγάλη τεχνολογική πρόοδο που έχει σημειωθεί στον τομέα των κατασκευών και της αρχιτεκτονικής τα τελευταία χρόνια. Η κατασκευή με το σύστημα δοκού επί στύλου είναι μια εξειδικευμένη μορφή κατασκευής η οποία απαιτεί πολύ χρόνο και εξειδικευμένες δεξιότητες ξυλουργικής. (Εικόνα 2.11)



Εικόνα 2.11 Κατασκευές τύπου δοκού επί στύλου. (<http://www.easyhomeprokat.gr/>)

### 2.2.3 Κατοικίες με ξύλινους κατακόρυφους στύλους ως φέροντα στοιχεία

Ως φέροντα στοιχεία χρησιμοποιούνται στύλοι ξυλείας χωρίς σφάλματα στρεψοίνας και κωνικομορφίας, κυρίως από πεύκη, ερυθρελάτη, ελάτη, εμποτισμένοι υπό πίεση με υδατοδιαλυτά άλατα βορίου οι οποίοι τοποθετούνται κατακόρυφα και πακτώνονται στο έδαφος με ειδικό τρόπο θεμελίωσης (Εικόνα 2.12).



Εικόνα 2.12 Κατοικία με ξύλινους κατακόρυφους στύλους ως φέροντα στοιχεία. (<http://www.allwood.gr>)

## 2.2.4 Σπίτια από ελαφρύ και πυκνό ξύλινο σκελετό (Light Timber Frame)

### 2.2.4.1 *Light Timber Frame*

Το Light Timber Frame είναι ένα δομικό σύστημα κατάλληλο για μικρά ανοίγματα μέχρι 6m., όπου, όλα τα φορτία, κινητά και μόνιμα καθώς, και τα φορτία από ανεμοπίεση και σεισμό παραλαμβάνονται από ξύλινα στοιχεία μικρής διατομής, τα οποία συνθέτουν τον ξύλινο πυκνό και ελαφρύ σκελετό. Η επένδυση του σκελετού γίνεται από plywood (contreplaque, ο γαλλικός όρος με τον οποίο είναι γνωστό στη χώρα μας, αντικολλητή ξυλεία, ο επίσημος Ελληνικός όρος), ή OSB το οποίο καρφώνεται επάνω του, εξασφαλίζοντας έτσι την ακαμψία του. Τα απαραμόρφωτα διαφράγματα που δημιουργούνται έτσι, είναι ικανά να μεταφέρουν σημαντικά φορτία από την ανωδομή στη θεμελίωση.



Εικόνα 2.13 Κατοικία από ελαφρύ και πυκνό ξύλινο σκελετό. (<http://www.allwood.gr>)

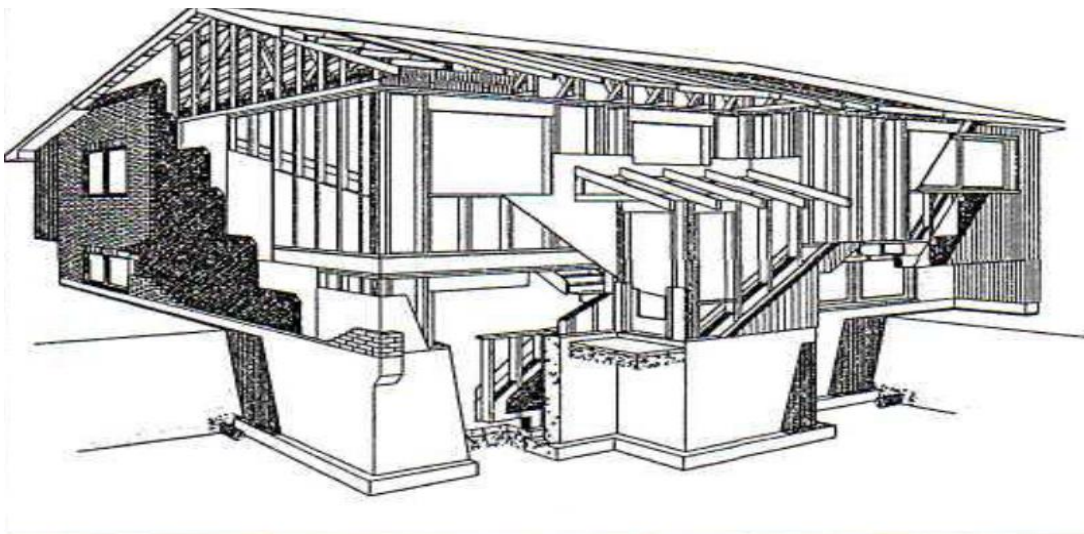
Ο ξύλινος σκελετός των εξωτερικών τοίχων αποτελείται από κατακόρυφους ορθοστάτες, οι οποίοι τοποθετούνται σε διαστήματα ανά 40 έως 60cm. Οι ορθοστάτες αποτελούν τα κατακόρυφα στοιχεία των πλαισίων του σκελετού και στερεώνονται στα άκρα τους με οριζόντια στοιχεία ίδιας διατομής, ενώ δένονται οριζόντια με τραβέρσες. Η κάθε πλευρά των εξωτερικών και των εσωτερικών τοίχων μπορεί να αποτελείται από δύο, τρία ή και περισσότερα πλαίσια σκελετού, ανάλογα με το μήκος της κάθε πλευράς.

Τα πλαίσια του σκελετού στερεώνονται στο κάτω μέρος τους κατά τη διάρκεια του στήσιματος του σκελετού, επάνω σε ξύλινους οι οποίοι πακτώνονται στη βάση από μετό περιμετρικά με αγκυρόβιδες υψηλής αντοχής οι οποίες τοποθετούνται ανά 1m μεταξύ τους.

Τα πλαίσια κάθε πλευράς στερεώνονται στην πάνω πλευρά τους κατά το στήσιμο με ξύλινους δοκούς (στρωτήρες, ώστε να εξασφαλίζεται αντοχή και περιμετρικό δέσιμο όλου του σκελετού.

Χρησιμοποιείται πιστή ξυλεία κωνοφόρων, πεύκης, ελάτης, ερυθρελάτης, ψευδοτσούγκα, λάρικας. Η εξωτερική επικάλυψη αποτελείται από σανίδες τύπου ραμποτέ από πεύκη, ψευδοτσούγκα ή αντικολλητά εξωτερικής χρήσεως από ανθεκτικά είδη.

Όλα τα ξύλινα στοιχεία τα οποία αποτελούν την κατασκευή της κατοικίας συνδέονται μεταξύ τους με τα εξής υλικά σύνδεσης: καρφιά, κοχλίες, αγκυρόβιδες, ξυλόβιδες, ηλοφόρες μεταλλικές πλάκες και λάμες συνδέσεων τα οποία πρέπει να είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές για να έχουν μεγάλη αντοχή.



Εικόνα 2.14 Κατοικία από ελαφρύ ξύλινο σκελετό.

( Canada Mortgage and Housing Corporation, *Canadian Wood-Frame House Construction*, 1997 )

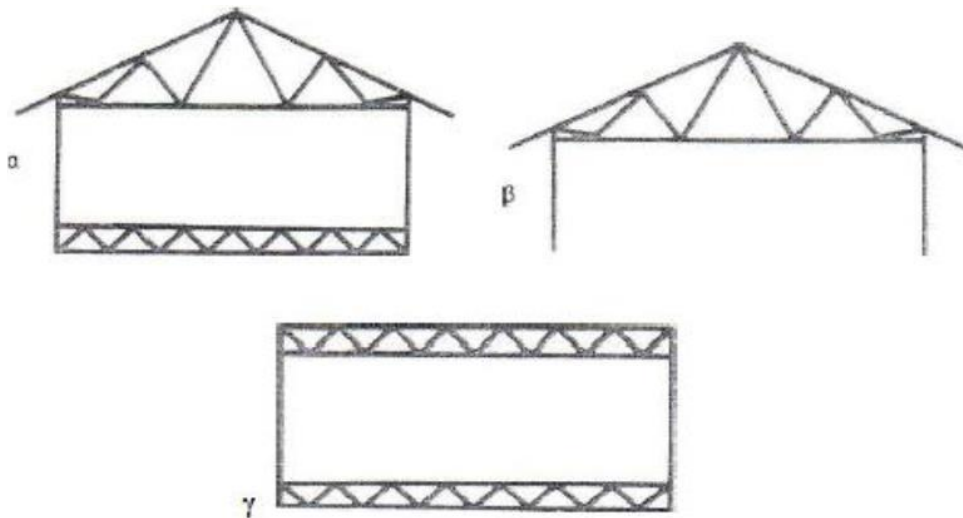
#### 2.2.4.1.1 Είδη δομικών συστημάτων Light Timber Frame

Κάθε κατασκευή Timber Frame μπορεί να δημιουργηθεί:

- Με το «**σύστημα της πλατφόρμας**» (*platform system*) όπου το πάτωμα εκτείνεται ως τις εξωτερικές παρειές του κτίσματος, εξασφαλίζοντας στα πρώτα στάδια της κατασκευής μια «πλατφόρμα» πάνω στην οποία στηρίζονται οι εξωτερικοί τοίχοι καθώς και τα εσωτερικά χωρίσματα ανά όροφο. Η κατασκευαστική αρτιότητα του φέροντα οργανισμού εξαρτάται από το σωστό κάρφωμα στις συνδέσεις, επιδιώκοντας στο σύνολο τα καρφιά να φορτίζονται διαμητικά και όχι σε εξόρυξη. Εξωτερικά τελειώματα και επενδύσεις για λόγους μορφολογίας ή προστασίας δεν έχουν συνήθως στατική λειτουργία, εκτός από το φύλλο plywood που μπορεί να χρησιμοποιείται και σαν τελική επένδυση. Η αντίσταση στη φωτιά που απαιτείται από τους κανονισμούς, συνήθως καλύπτεται με τη χρήση γυψοσανίδων σαν υλικό εσωτερικής επένδυσης. Ο χώρος μεταξύ των φύλλων plywood, στο εσωτερικό του σκελετού των τοίχων, των πατωμάτων και των στεγών, επιτρέπει την εύκολη τοποθέτηση των διαφόρων εγκαταστάσεων και μονώσεων. Κάναβοι και ανοίγματα καθορίζονται από τυποποιημένα δομικά υλικά και στοιχεία. Η θεμελίωση θα πρέπει να είναι υπερυψωμένη σε σχέση με το έδαφος για τη προστασία του κτηρίου από την υγρασία και το νερό.
  
- Με το «**σύστημα κλωβού**» (*balloon frame*). Στο σύστημα αυτό οι ορθοστάτες των τοίχων δεν διακόπτονται σε κάθε όροφο (όπως στο «σύστημα πλατφόρμας») αλλά είναι συνεχείς από την επιφάνεια θεμελίωσης μέχρι το γείσο της στέγης. Τα δοκάρια των ενδιάμεσων πατωμάτων στηρίζονται σε οριζόντιο ξύλινο στοιχείο που βρίσκεται τοποθετημένο σε ειδικές εγκοπές των ορθοστατών. Το «σύστημα κλωβού» έχει αντικατασταθεί με το «σύστημα πλατφόρμας» λόγω των προβλημάτων που παρουσιάζονται στο σχεδιασμό, στην παραγωγή και στην ανέγερση.



- Χρησιμοποιείται έως και 30% μειωμένη ποσότητα ξυλείας σε σχέση με άλλες προκατασκευές.
- Αποφεύγονται οι κολόνες, οι δοκοί και οι φέροντες εσωτερικοί τοίχοι.



Εικόνα 2.16 Τρεις τύποι ολόσωμων πλαισίων για σκελετούς: α) Ολόσωμο πλαίσιο σκελετού, β) Πλαίσιο σκελετού οροφής και τοίχων, γ) Πλαίσιο σκελετού δύο πατωμάτων και τοίχων

(Αντωνία Πασπουτάκη, Τεχνολογία ξύλινης κατοικίας με έμφαση στην αντισεισμική προστασία, Διπλωματική εργασία 2008, Τ.Ε.Ι Λάρισας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου).

### 2.2.5 Σπίτια τύπου πάνελ (Cross-Laminated-Timber-Panels-CLT/ Timber-Shear-Walls)

Πρόκειται για ένα δομικό σύστημα στο οποίο μεγάλα πάνελα αποτελούν τον φέροντα οργανισμό ενός κτιρίου. Αυτή η κατασκευαστική μέθοδος διαθέτει πολλούς οπαδούς στον τομέα των ξύλινων κατασκευών κυρίως στην Αυστρία, τη Γερμανία, και τις ιταλικές περιφέρειες του Νοτίου Τιρόλου και Βένετου. Το υψηλό επίπεδο προκατασκευασμένων στοιχείων και ο εξαιρετικά σύντομος χρόνος κατασκευής των κτιρίων είναι παράγοντες που βελτιστοποιούν αυτήν τη διαδικασία. Τα μέσα μεταφοράς είναι ο μόνος παράγοντας που περιορίζει το μέγεθος των δομικών στοιχείων. Τα πάνελ είναι φτιαγμένα από μεγάλα φύλλα ξύλου που, ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής, είναι τοποθετημένα σε στρώσεις και συγκολλημένα κάθετα μεταξύ τους. Το μέγεθος και η αντοχή του κάθε πάνελ (συμπεριλαμβανομένων των τοίχων και των πλακών), η συναρμολόγηση των επιμέρους πάνελ, οι λεπτομέρειες των ενώσεων, η τοποθέτηση και το πάχος της μόνωσης, καθώς και τα είδη ξύλου που χρησιμοποιούνται, εξαρτώνται από τους διάφορους κατασκευαστές, τις στατικές απαιτήσεις, και τέλος το επιθυμητό αρχιτεκτονικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 2.17 Κατοικία τύπου πάνελ. (<http://www.easyhomeprokat.gr/>)



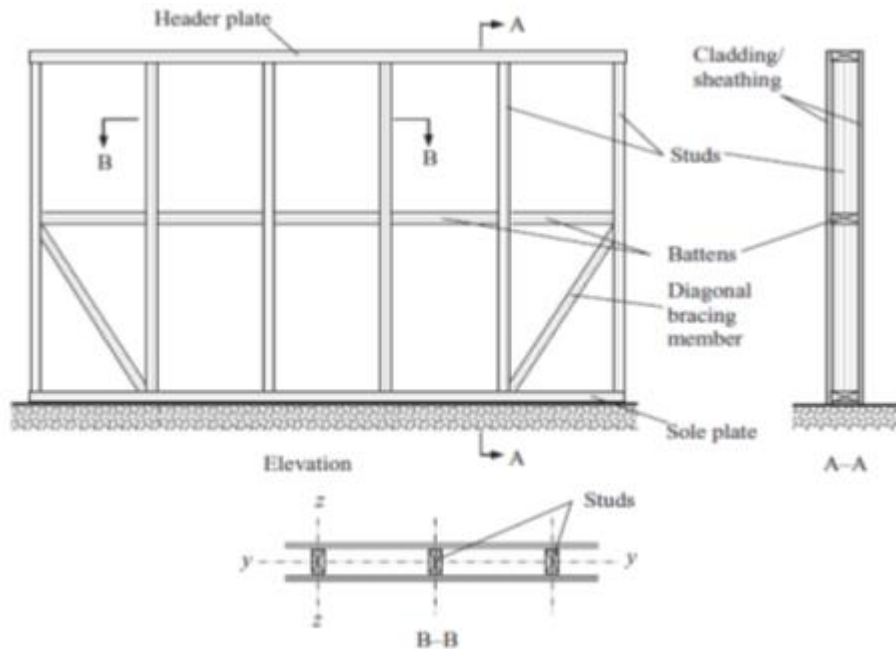
Εικόνα 2.18 Κατασκευή κτιρίου τύπου πάνελ. (<http://www.easyhomeprokat.gr/>)

### 2.2.6 Κατοικίες από ξύλινο σκελετό και «πάνελς» (Timber-Shear-Walls)

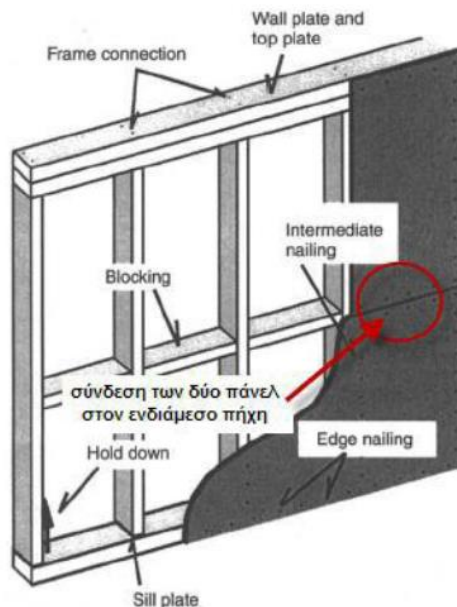
Ο τύπος αυτός προϋποθέτει την προκατασκευή και την εγκατάσταση ενισχυμένου ξύλινου σκελετού τοίχων και στέγης. Είναι υψηλής αντοχής και κατά τη φόρτιση συμπεριφέρονται ως δοκοί τύπου διπλού ταφ (I) πέραν αυτών εξασφαλίζουν υψηλή μόνωση, χαμηλό κόστος παραγωγής και μεγάλη ταχύτητα τοποθέτησης.

Η ξύλινη εξωτερική ή εσωτερική τοιχοποιία με τέτοιου τύπου στατικό σύστημα αποτελείται από:

- μια σειρά κατακόρυφων στοιχείων-ορθοστατών (studs), οι οποίοι είναι τοποθετημένοι με τέτοιο τρόπο ώστε ο ισχυρός άξονας ψ-ψ να είναι παράλληλος με την όψη του τοίχου.
- στρωτήρες στον πόδα (sole plate) και στην κεφαλή (header plate)
- ξύλινα πάνελ στις δύο πλευρές του τοίχου.



Εικόνα 2.19 Τυπική διάταξη τοίχου (<https://mycourses.ntua.gr> – Ξύλινες κατασκευές.)



Εικόνα 2.20 Οριζόντιοι πήχεις (<http://www.mqn.gr>)

Τα κατακόρυφα και τα εκτός επιπέδου φορτία αναλαμβάνονται από τους ορθοστάτες, ενώ τα εντός επιπέδου από τα πάνελς. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε λειτουργία stud wall, ενώ στην δεύτερη λειτουργία shear wall. Τις περισσότερες φορές τα πάνελς καρφώνονται στους ορθοστάτες με

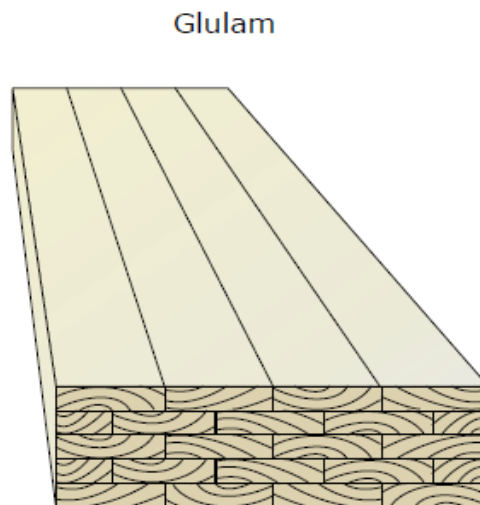


αποτέλεσμα ορθοστάτες και πάνελ να μπορούν να θεωρηθούν ότι δρουν ως μια σύνθετη διατομή για τα κατακόρυφα και τα εκτός επιπέδου φορτία.

Τα πάνελ OSB παράγονται σε πλάτη 1.2m, θεωρούμε ότι το κάθε τοιχοπέτασμα έχει συνολικό πλάτος  $b=1.2m$  και ύψος ίσο με το καθαρό ύψος του ορόφου, που κυμαίνεται από 2.2-3m. Τυπικό ύψος της εξωτερικής τοιχοποιίας είναι 2.5m.

### 2.2.7 Σπίτια με αντικολλητές ξυλοπλάκες από στοιχεία φυσικής ξυλείας (Glulam timber)

Στην τεχνολογία αυτή κυριαρχεί ως δομικό στοιχείο ένα σχετικά νέο προϊόν ξύλου γνωστό διεθνώς ως Glulam, που ονομάζεται: πολύστρωμη αντικολλητή ξυλόπλακα από ομογενές συμπαγές φυσικό ξύλο. Πρόκειται για επιφάνεια ξυλοπλάκας με πολλές στρώσεις μασίφ ξύλου, οι οποίες επικολλώνται η μία επί της άλλης σε παράλληλη διάταξη ινών. Συνέπεια της συγκόλλησης των στρώσεων με προσανατολισμένες τις ίνες προς την ίδια κατεύθυνση είναι το γεγονός πως συνολικά το πάνελ είναι προσανατολισμένο, άρα παρουσιάζει πολύ υψηλή αντοχή ως προς εκείνη τη διεύθυνση, όμως υστερεί προς την άλλη. Η συνηθέστερη επιλογή των στρώσεων γίνεται από συνδυασμό του κόντρα πλακέ και ξυλοπλακών που παράγονται με πλαγιοσυγκόλληση (συγκόλληση στις ράχες) πριστών πάχους τουλάχιστο 27mm. Ο αριθμός των στρώσεων είναι περιττός από 3 έως 11 και περισσότερες. Οι διαστάσεις των δομικών αυτών στοιχείων είναι περίπου, μήκος έως 20m, πλάτος έως 4.80m, πάχος: 8.5cm έως 30cm.



Εικόνα 2.21 Πανέλο Glulam (<http://jasonw11030714northumbria.wordpress.com>)



Εικόνα 2.22 Κατασκευή με δομικό στοιχείο Glulam. (<http://www.e-architect.co.uk>)

### 3 Ανάλυση Cross Laminated Timber

#### 3.1 Φορτία που καταπονούν την τοιχοποιία

Ο τύπος εξωτερικής και εσωτερικής τοιχοποιίας CLT λαμβάνουν τα ίδια είδη φορτίων:

- ❖ Κατακόρυφα φορτία, παράλληλα στο επίπεδο του τοίχου(εντός επιπέδου του τοίχου):
  - νεκρά βάρη (dead weighs)
  - ωφέλιμα φορτία(working loads)
  - φορτία χιονιού(snow loads)
- ❖ Οριζόντια φορτία:
  - Διατμητικά φορτία εντός επιπέδου του τοίχου. Κυρίως περιλαμβάνεται η σεισμική φόρτιση.

Φορτία κάθετα στην επιφάνεια των πανέλων, εκτός επιπέδου του τοίχου, κυρίως περιλαμβάνεται η δράση του ανέμου.

#### 3.2 Cross Laminated Timber

##### 3.2.1 Μορφή CLT διαφόρων στρώσεων

Με σκοπό τη βιομηχανική παραγωγή ημιέτοιμων και έτοιμων κατασκευών , έχουν παραχθεί πολλά είδη πάνελς σε μορφή σάντουιτς διαφόρων στρώσεων για συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως:

- Εξωτερικές και εσωτερικές επενδύσεις τοίχων προκατασκευασμένων σπιτιών,
- εσωτερικά χωρίσματα σπιτιών και άλλων χώρων καταστημάτων,
- υποδομή ειδικών πατωμάτων,
- πόρτες,
- ειδικά ηχομονωτικά - θερμομονωτικά - διακοσμητικά πάνελς.

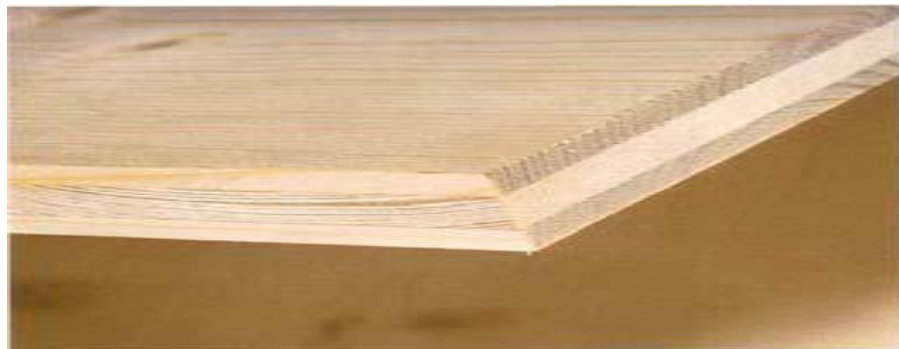
Η σύνθεση των στρώσεων εξαρτάται από την τελική χρήση. Επιλέγουμε συγκεκριμένες στρώσεις τις οποίες συγκολλούμε στο επιθυμητό πάχος σε ειδική πρέσσα.

*Ολόσωμο πάνελ τοιχοποιίας 3 ή 5 στρώσεων με αντικολλητή διάταξη των στρώσεων.* Η κάθε στρώση αποτελείται από πριστά ίδιου πάχους 2 έως 3cm τα οποία συγκολλούνται πλευρικά και δημιουργούν μια επικολλητή ξυλοπλάκα. Το συνολικό πάχος του πάνελ τοιχοποιίας είναι 8-10cm έως 25cm. Η

μεσαία στρώση του πάνελ μπορεί να είναι από κόντρα πλακέ πάχους 8 έως 16mm για περιπτώσεις ενισχυμένου πάνελ τοιχοποιίας. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι τέτοιων πάνελς με τις αντίστοιχες εφαρμογές, είναι οι ακόλουθοι:

#### 3.2.1.1 Πάνελ 3 στρώσεων

- Πάνελ 3 στρώσεων από: Αντικολλητή ξυλόπλακα 3 στρώσεων από μασίφ ξύλο πεύκης, δρυός, οξυάς κ.α. με την εμπορική ονομασία 3 ply board. Εφαρμογές: εσωτερική και εξωτερική επένδυση τοίχων, ξυλουργικές κατασκευές και έπιπλα (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1. Αντικολλητή ξυλόπλακα 3 στρώσεων.

(Αντωνία Πασπουτάκη, Τεχνολογία ξύλινης κατοικίας με έμφαση στην αντισεισμική προστασία, Διπλωματική εργασία 2008, Τ.Ε.Ι Λάρισας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου.)

#### 3.2.1.2 Πάνελ 5 στρώσεων

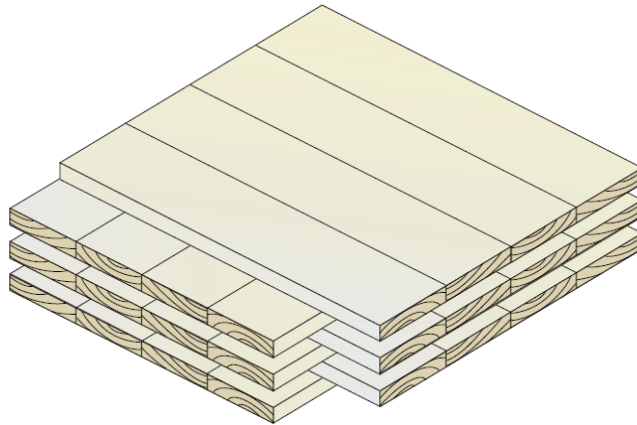
- Πάνελ 5 στρώσεων από: Ξυλόφυλλο - O.S.B - ξυλόφυλλο - O.S.B ξυλόφυλλο: Χρησιμοποιείται για επικάλυψη τοίχων εξωτερικής χρήσεως (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2. Ολόσωμο πάνελ τοιχοποιίας 3 ή 5 στρώσεων με αντικολλητή διάταξη των στρώσεων.

(Αντωνία Πασπουτάκη, Τεχνολογία ξύλινης κατοικίας με έμφαση στην αντισεισμική προστασία, Διπλωματική εργασία 2008, Τ.Ε.Ι Λάρισας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου.)

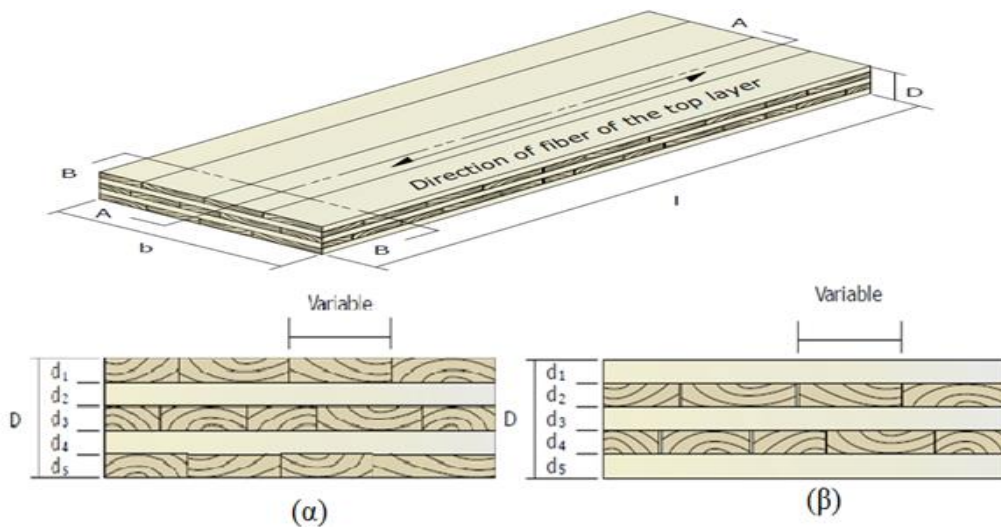
### 3.2.2 Τρόπος συγκόλλησης.



Εικόνα 3.3. Παράδειγμα τρόπου συγκόλλησης πολύστρωτης επικολλητής ξυλείας.  
[http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf)

Οι στρώσεις συγκολλούνται σε δύο διαστάσεις:

- Παράλληλα μεταξύ τους, με προσανατολισμό των ινών κάθετα για τις διαδοχικές στρώσεις.
- Κάθετα μεταξύ τους, κατά τη διεύθυνση του πλάτους τους



Εικόνα 3.4 Πανέλο CLT πέντε στρώσεων (α) τομή B-B (β) τομή A-A.  
[http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf)

Ως αποτέλεσμα της συγκόλλησης των διαδοχικών στρώσεων κάθετα μεταξύ τους παρουσιάζεται το γεγονός ότι το συγκεκριμένο υλικό δεν είναι προσανατολισμένο προσφέρει υψηλή αντοχή και προς τις δύο κατευθύνσεις, σε αντίθεση με το προσανατολισμένο πανέλο Glulam, που υπερτερεί στην προσανατολισμένη διεύθυνση και υστερεί στην εγκάρσια. Επιπλέον πρέπει να τονισθεί ότι κάθε πανέλο CLT είναι ευαίσθητο σε κυλινδρισμό (μορφή διάτμησης), εξαιτίας των κάθετων μεταξύ τους στρώσεων, σε σύγκριση με το ενιαίο συγκολλημένο ομογενές Glulam.

### 3.2.3 Στατικό σύστημα τοίχου τύπου CLT

#### 3.2.3.1 Κανονισμοί

Το cross-laminated-timber (ορθόστρωτο ξύλινο πάνελ) ορίζει μία πλάκα που κατασκευάζεται από επαπτόμενες παράλληλες, συμπαγείς χονδροσανίδες φυσικής ξυλείας που συνδέονται μεταξύ τους με συγκόλληση (EC5 1.5.2.6).

EN 594:1995 Ξύλινες κατασκευές-Μέθοδοι δομικών-Αντίστασης έναντι τέμνουσας και δυσμησία τοιχοπετασμάτων με ξύλινο πλαίσιο.

- PrEN 636-3 Αντικολλητή ξυλεία- Προδιαγραφές Μέρος 3: Απαιτήσεις για αντικολλητή ξυλεία για χρήση σε εξωτερικές συνθήκες.
- EN 1990:2002 Ευρωκώδικας- Βάσεις σχεδιασμού
- EN1991-1-1:2002 Ευρωκώδικας 1:Δράσεις στις κατασκευές-Μέρος 1-2. Γενικές δράσεις- Πυκνότητες, ίδια βάρη και επιβαλλόμενα φορτία
- EN 1990: 2002 Ευρωκώδικας – Βάσεις σχεδιασμού
- EN14080 Ξύλινες κατασκευές – Συγκολλητή ξυλεία – Απαιτήσεις
- EN 14279 Ξυλεία συγκολλημένων φύλλων (LVL) - Προδιαγραφές, ορισμοί, ταξινόμηση και απαιτήσεις
- EN 14374 Ξύλινες κατασκευές – Δομική ξυλεία συγκολλημένων φύλλων (LVL) – Απαιτήσεις

#### 3.2.3.2 Αντοχή υλικού

Οι συγκολλημένες στρώσεις δίνονται για τέσσερις κατηγορίες αντοχής , που ορίζονται ως GL24 , GL28 , GL32 και GL38. Η διατομή μελέτης πανέλου Glulam είναι απλή, αφού έχει ενιαία αντοχή, ενώ η διατομή μελέτης πανέλου CLT είναι σύνθετη, καθώς η κάθε στρώση έχει διαφορετική αντοχή ως ενιαία στρώση Glulam. Οπότε από τον πίνακα 3.1 πρέπει να γίνει αναγωγή της αντοχής του πανέλου CLT. Οι διαφορετικές χαρακτηριστικές τιμές αντοχής σε κάμψη δίνονται στον Πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.1** Χαρακτηριστικές τιμές αντοχής της ομογενούς και της συνδυασμένης συγκολλητής ξυλείας. (EN 1194:“Timber Structures-Glued laminated timber. Strength classes and determination of characteristic values”)

	GL20	GL24	GL28	GL32	GL36
$f_{m,g,k}$ (MPa)	20	24	28	32	36
$f_{t,0,g,k}$ (MPa)	15	28	21	24	27
$f_{t,90,g,k}$ (MPa)	0,35	0,35	0,45	0,45	0,45
$f_{c,0,g,k}$ (MPa)	21	24	27	29	31
$f_{c,90,g,k}$ (MPa)	5,0	5,5	6,0	6,0	6,3
$f_{v,g,k}$ (MPa)	2,8	2,8	3,0	3,5	3,5
$E_{0,mean,g}$ (Gpa)	10	11	12	13,5	14,5
$E_{0,05,g}$ (Gpa)	8,0	8,0	9,6	10,8	11,6
$\rho_k$ (Kg/m <sup>3</sup> )	360	380	410	440	480

### 3.2.3.3 Κλάσεις διάρκειας φορτίσεως

Οι κλάσεις διάρκειας φορτίσεως χαρακτηρίζονται από την επιρροή ενός σταθερού φορτίου που δρα για ορισμένο διάστημα στο χρόνο ζωής της κατασκευής. Προκειμένου περί μεταβλητής δράσης, η κατάλληλη κλάση φορτίσεως πρέπει να καθορίζεται βάσει μιας εκτιμήσεως της τυπικής μεταβλητότητας του φορτίου στον χρόνο.

**Πίνακας 3.2** Κατηγορία διάρκειας φόρτισης σύμφωνα με τον EC5 2.3.1.2.

Κατηγορία διάρκειας φόρτισης	Παραδείγματα φορτίων	Σωρευτική διάρκεια χαρακτηριστικού φορτίου
Μόνιμη	Ιδίο βάρος	Άνω των 10 ετών
Μακροχρόνια	Φορτία αποθηκείωσης	6 μήνες έως 10 έτη
Μεσοχρόνια	Επιβαλλόμενα (κινητά) φορτία πατωμάτων	1 εβδομάδα έως 6 μήνες
Βραχυχρόνια	Χιόνι	Λιγότερο από 1 εβδομάδα
Στιγμαία	Άνεμος, τυχηματικά φορτία (π.χ. σεισμός)	

### 3.2.3.4 Κλάσεις λειτουργίας

**Πίνακας 3.3** Κατηγορία λειτουργίας σύμφωνα με το EC5 2.3.1.3.

Κατηγορίες λειτουργίας	Θερμοκρασία και σχετική υγρασία περιβάλλοντος	Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας του ξύλου (Π.Π.Υ.)	Παραδείγματα
1	20°C, υγρασία>65% για λίγες εβδομάδες το χρόνο	Το Π.Π.Υ. των ξύλινων στοιχείων που χρησιμοποιούνται σε αυτούς τους χώρους σταθεροποιείται στο 9±3%	Κλειστές κατασκευές ή χώροι που θερμαίνονται, θερμές στέγες, εσωτερικά πατώματα και εσωτερικοί τοίχοι
2	20°C, υγρασία>85% για λίγες εβδομάδες το χρόνο	Π.Π.Υ. ξύλινων στοιχείων=(12±3%) Π.Π.Υ. ξύλινων στοιχείων=(15±3%)	Κλειστές κατασκευές, μη θερμαινόμενες. Ανοικτές στεγασμένες κατασκευές, που δεν εκτίθενται στα καιρικά φαινόμενα (π.χ. άμεση διαβροχή), ψυχρές στέγες, εξωτερικοί τοίχοι
3	Κλιματικές συνθήκες οι οποίες οδηγούν σε Π.Π.Υ. του ξύλου ανώτερο από εκείνο της κατηγορίας 2	Π.Π.Υ. ξύλινων στοιχείων>19%	Κατασκευές πλήρως εκτεθειμένες στα καιρικά φαινόμενα (π.χ. άμεση διαβροχή)



### 3.2.3.5 Διάφοροι αυξητικοί συντελεστές των αντοχών

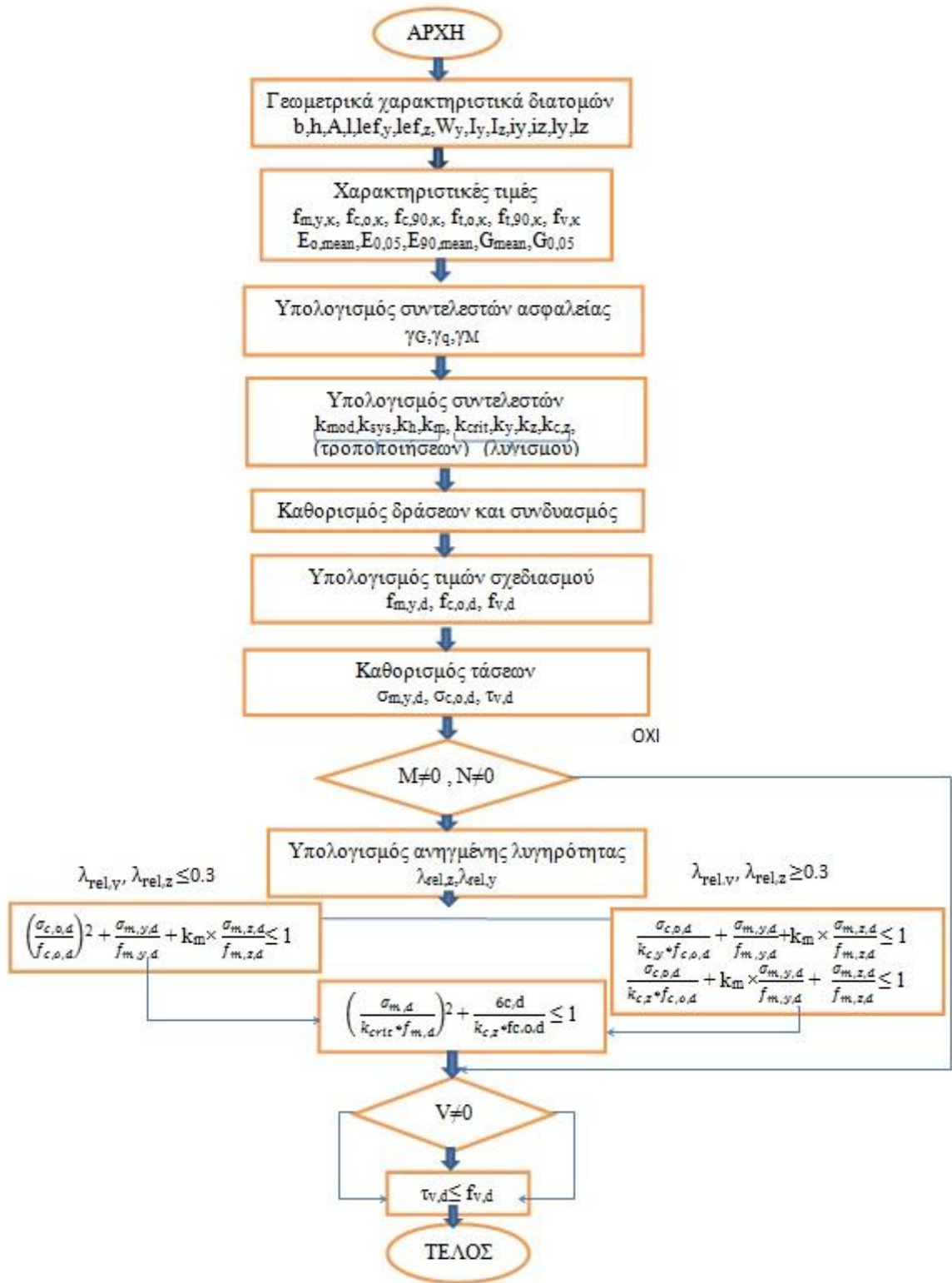
Λαμβάνεται υπ' όψιν το "φαινόμενο κλίμακας", δηλαδή αύξηση της αντοχής ενός δοκιμίου όταν μειώνεται ο όγκος του. Όσο μικρότερος είναι ο όγκος ενός δομικού στοιχείου, τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα να βρεθούν περιοχές χαμηλής αντοχής που θα καθορίσουν την αντοχή του συνόλου. Στο ξύλο το φαινόμενο αυτό είναι πολύ πιο έντονο από άλλα δομικά υλικά, λόγω της μεγάλης πιθανότητας ύπαρξης ρόζων και άλλων φυσικών ελαττωμάτων τα οποία καθορίζουν την αντοχή των ξύλινων μελών.

### 3.2.4 Κατακόρυφα και εκτός επιπέδου κάμψης φορτία

Το CLT αποτελείται από σταυρωτή επικολλητή ξύλινη μάζα, οπότε η διατομή σχεδιασμού και ελέγχου θεωρείται σύνθετη (ίσως αριθμός από απλές διατομές διαφορετικών αντοχών με τον αριθμό των στρώσεων). Η ανάληψη των κατακόρυφων και διατμητικών (εντός επιπέδου) φορτίων και των εκτός επιπέδου φορτίων γίνεται απευθείας από τη συμπαγή ξύλινη μάζα κυρίως ως θλιπτικό κατανεμημένο φορτίο και ως ροπή περί τον ισχυρό άξονα y-y αντίστοιχα. Επειδή η κύρια δράση είναι η εκτός επιπέδου κάμψη, ισχύει ότι  $M_y \gg M_z$ , ώστε πρακτικά θεωρείται ότι  $M_z=0$  και αμελείται πλήρως στους ελέγχους.

Για τον έλεγχο ευστάθειας του πάνελ ισχύει ως ενεργό μήκος για λυγισμό περί τον y-y λαμβάνεται όλο το μήκος του CLT.

3.2.4.1 Διάγραμμα πορείας επίλυσης



3.2.4.2 Αναλυτική πορεία επίλυσης CLT υπό κατακόρυφα και εκτός επιπέδου κάμψης φορτία

Βήμα 1. Καθορισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών διατομών:

- a) Πλάτος:  $b$
- b) Ύψος:  $h$
- c) Εμβαδόν:  $A=b \times h$
- d) Μήκος τοίχου:  $l$
- e) Ενεργό μήκος λυγισμού:  $\begin{cases} y - y : l_{d,y} = l \\ z - z : l_{d,z} = l \end{cases}$
- f) Ροπή αντίστασης κατά  $y$ - $y$ :  $W_y = \frac{b \times h^2}{6}$
- g) Ροπή αδράνειας:  $\begin{cases} y - y : I_y = \frac{b \times h^3}{12} \\ z - z : I_z = \frac{h \times b^3}{12} \end{cases}$
- h) Ακτίνα αδράνειας:  $\begin{cases} y - y : i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \\ z - z : i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} \end{cases}$
- i) Ανηγγμένη λυγηρότητα:  $\begin{cases} y - y : \lambda_y = \sqrt{\frac{l_{d,y}}{i_y}} \\ z - z : \lambda_z = \sqrt{\frac{l_{d,z}}{i_z}} \end{cases}$

Βήμα 2.

1. Χαρακτηριστικές τιμές ξυλείας:

- Χαρακτηριστική αντοχή σε κάμψη κατά τον κύριο άξονα  $y$ :  $f_{m,y,k} = 24 \frac{N}{mm^2}$
- Χαρακτηριστική διατμητική αντοχή:  $f_{v,k} = 2.7 \frac{N}{mm^2}$
- Χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή παραλλήλως προς τις ίνες:  $f_{c,o,k} = 21 \frac{N}{mm^2}$
- Ποσοστημόριο 5% του μέτρου ελαστικότητας:  $E_{0,05} = 9.4 \frac{KN}{mm^2}$

- Ποσοστημόριο 5% του μέτρου διατμήσεως:  $G_{0,05} = \frac{G_{0,05}}{16} = 0.59 \frac{KN}{mm^2}$

2. Συντελεστές ασφαλείας:

- Μόνιμες δράσεις:  $\gamma_G = 1.35$
- Μεταβλητές δράσεις:  $\gamma_q = 1.5$
- Φυσική ξυλεία:  $\gamma_M = 1.3$
- Συγκολλητή ξυλεία:  $\gamma_M = 1.25$

**Πίνακας 3.5** Συντελεστής ασφαλείας  $\gamma_M$  σύμφωνα με τον EC 2.4.1.

<b>Θεμελιώδεις συνδυασμοί</b>	
Φυσική ξυλεία	1,3
Συγκολλητή ξυλεία	1,25
Ξυλεία συγκολλημένων φύλλων (LVL), αντικολλητή ξυλεία, πλάκες προσανατολισμένων ινών (OSB)	1,2
Μοριόπλακες	1,3
Ινόπλακες, σκληρές	1,3
Ινόπλακες, μεσαίες	1,3
Ινόπλακες, MDF	1,3
Ινόπλακες, μαλακές	1,3
Συνδέσεις	1,3
Ηλοφόρες πλάκες	1,25
<b>Τυχηματικοί συνδυασμοί</b>	<b>1,0</b>

**Βήμα 3.** Καθορισμός δράσεων – Συνδυασμός δράσεων σε Ο.Κ.Α.

$$Ed = \sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

όπου  $\gamma_{G,j} = 1.35$  (δυσμενής επιρροή)  $\gamma_{Q,i} = 1.50$  (δυσμενής επιρροή),

$\gamma_{G,j} = 1.00$  (ευμενής επιρροή)  $\gamma_{Q,i} = 0.00$  (ευμενής επιρροή)

Στον παρακάτω Πίνακα 3.3. δίνονται οι προτεινόμενες τιμές για  $\psi_0$ , σύμφωνα με τον οποίο θα ληφθεί  $\psi_{0,i} = 0.50$  για το χιόνι και  $\psi_{0,i} = 0.60$  για τον άνεμο.

( η κύρια δράση είναι η εκτός επιπέδου κάμψη άρα  $\varphi = 1.0$  )

( εντός επιπέδου δράσεων:  $\varphi = 0.5$  (χιόνι),  $\varphi = 0.6$  (άνεμος)

**Πίνακας 3.6** Προβλεπόμενες τιμές  $\psi_0$  για τα κτίρια. (Ξύλινες κατασκευές - <https://mycourses.ntua.gr>)

Δράσεις	$\psi_0$
Επιβαλλόμενα φορτία σε κτίρια:	
Κατηγορία A: κατοικίες, συνήθη κτίρια κατοικιών	0,7
Κατηγορία B: χώροι γραφείων	0,7
Κατηγορία C: χώροι συνάθροισης	0,7
Κατηγορία D: χώροι καταστημάτων	0,7
Κατηγορία E: χώροι αποθήκευσης	0,7
Κατηγορία F: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων (βάρος οχημάτων $\leq 30\text{kN}$ )	1,0
Κατηγορία G: χώροι κυκλοφορίας οχημάτων ( $30\text{kN} < \text{βάρος οχημάτων} \leq 160\text{kN}$ )	0,7
Κατηγορία H: στέγες	0,7
Φορτία χιονιού επάνω σε κτίρια:	
Φινλανδία, Ισλανδία, Νορβηγία, Σουηδία	0,7
Υπόλοιπα κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H > 1000\text{m}$	0,7
Υπόλοιπα κράτη Μέλη του CEN για τοποθεσίες που βρίσκονται σε υψόμετρο $H \leq 1000\text{m}$	0,5
Φορτία ανέμου σε κτίρια	0,6
Θερμοκρασία (εκτός πυρκαϊάς) σε κτίρια	0,6

**Βήμα 4.** Συντελεστές τροποποιήσεων

Τροποποιητικός συντελεστής για τη διάρκεια φορτίσεως και το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας .

**Πίνακας 3.7** Τιμές του  $k_{mod}$  EC5 (πίνακας 3.1)

Υλικό	Πρότυπο	Κλάση Λατουργίας	Κλάση διάρκειας φορτίσεως				
			Μόνη δράση	Μακρο-χρόνια δράση	Μεσο-χρόνια δράση	Βραχυ-χρόνια δράση	Στηλιαία δράση
Φυσική ξυλεία	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Συγκολλητή ξυλεία	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Ξυλεία συγκολλημένων φύλλων (LVL)	EN 14374, EN14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Αντικολλητή ξυλεία	EN 636 Μέρη 1, 2, 3 Μέρη 2, 3 Μέρος 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Πλάκες προσανατολισμένων ινών (OSB)	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		3	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Μοριόπλακες	EN 312 Μέρος 4, Μέρος 5 Μέρος 5 Μέρος 6, Μέρος 7 Μέρος 7	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Ινόπλακα σκληρή	EN 622-2 HB.LA,HB.HLA 1 ή 2 HB.HLA 1 ή 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Ινόπλακα μέτρια	EN 622-3 MBH.LA 1 ή 2 MBH.HLS 1 ή 2 MBH.HLS 1 ή 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	-	-	-	0,45	0,80
Ινόπλακα MDF	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	-	-	-	0,45	0,80

Συντελεστής αντοχής συστήματος:  $K_{sys}=1$

- Συντελεστής ύψους:  $K_h$ , EC 3.4

$$K_h = \begin{cases} 1.0 & \text{αν } h \geq 300mm \\ \left(\frac{300}{h}\right)^{0.1} & \text{αν } 1,2 \leq \left(\frac{300}{h}\right)^{0.1} \\ 1.2 & \end{cases}$$

- Συντελεστής ανακατανομής καμπτικών τάσεων:
  - για ορθογώνιες διατομές:  $k_m=0.7$
  - για διατομές πλην ορθογωνίων:  $k_m=1.0$

Βήμα 5. Καθορισμός τάσεων, EC5 6.1.6

1. Τάση κάμψης:  $\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y}$

CLT πρόβολος:  $M_y = \frac{q \times l^2}{2}$

$V_y = q \times l$

Τάση διάτμησης:  $\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \times \frac{V}{b \times h}$

2. Τάση θλίψης:  $\sigma_{c,o,d} = \frac{N}{A}$

Αντοχή σχεδιασμού σε κάμψη κατά την κύριο άξονα  $f_{m,y,d}$

$$f_{m,y,d} = \frac{K_{mod} \times K_{sys} \times K_h \times f_{m,y,k}}{\gamma_M}$$

3. Κρίσιμη τάση κάμψης, EC5 6.3.3(2)

$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \times b^2 \times \sqrt{E_{0.05} \times G_{0.05} \times (1 - 0.63 \times \frac{b}{h})}}{h \times l_{ef}},$$

**Πίνακας 3.8** Μήκος λυγισμού για στρεπτοκαμπτικό λυγισμό. EC5 6.3.3(3).

Τύπος δοκού	Τύπος φορτίσεως	$l_{ef} / l^a$
Αμφιέριστη	Σταθερή ροπή	1,0
	Ομοιομόρφως κατανεμημένο φορτίο	0,9
	Συγκεντρωμένο φορτίο στο μέσον του ανοίγματος	0,8
Πρόβολος	Ομοιομόρφως κατανεμημένο φορτίο	0,5
	Συγκεντρωμένο φορτίο στο ελεύθερο άκρο	0,8

<sup>a</sup> Ο λόγος  $l_{ef} / l$  ισχύει μόνο για δοκό με στρεπτικά άκαμπτες στηρίξεις, φορτιζόμενη στον κεντροβαρικό της άξονα. Αν το φορτίο επιβάλλεται στην θλιβόμενη πλευρά της δοκού το  $l_{ef}$  θα πρέπει να αυξάνεται κατά  $2h$  και μπορεί να μειώνεται κατά  $0,5h$  αν το φορτίο επιβάλλεται στην εφελκυστική πλευρά της δοκού.

**Βήμα 6.** Καθορισμός λυγηροτήτων

- Ανηγμένη λυγηρότητα κάμψης κατά EC5 6.3.2:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{6_{m,crit}}}$$

Συντελεστής που χρησιμοποιείται για τον καμπτικό λυγισμό κατά EC5 6.3.3(4):  $k_{crit}$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \lambda_{rel,m} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75 \times \lambda_{rel,m} & 0.75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & 1.4 \geq \lambda_{rel,m} \end{cases}$$



Θλιπτική αντοχή σχεδιασμού παραλλήλως προς τις ίνες:  $f_{c,o,d}$

$$f_{c,o,d} = \frac{k_{mod} \times k_{sys} \times f_{c,o,k}}{\gamma_M}$$

- Ανηγμένη λυγηρότητα

- Λυγηρότητα που αντιστοιχεί σε κάμψη κατά τον άξονα y (βέλος κάμψης στη διεύθυνση z), EC5 6.3.2(3):

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}}$$

- Λυγηρότητα που αντιστοιχεί σε κάμψη κατά τον άξονα z (βέλος κάμψης στη διεύθυνση y), EC5 6.3.2(3):

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}}$$

### Βήμα 7. Καθορισμός συντελεστών

- Συντελεστής ευθυγραμμίας:  $\beta_c$

$$\beta_c = \begin{cases} 0.2 & \text{, φυσική ξυλεία} \\ 0.1 & \text{, συγκολλητή ξυλεία και ξυλεία συγκολλημένων φύλλων} \end{cases}$$

- Συντελεστές EC5 6.3.2(3):

- $k_y = 0.5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2)$

- $k_z = 0.5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2)$

- $k_{c,y} = \frac{1}{k \sqrt{ky^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$

- $k_{c,z} = \frac{1}{k \sqrt{kz^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$

Βήμα 8. Έλεγχοι κάμψης και αξονικής δύναμης

- Αν  $\lambda_{rel,y} \leq 0.3$  και  $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$  πρέπει να ισχύουν κατά EC5 6.2.4(1):

$$\left(\frac{\sigma_{c,o,d}}{f_{c,o,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,o,d}}{f_{c,o,d}}\right)^2 + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

- Σε κάθε άλλη περίπτωση πρέπει να ισχύουν κατά EC5 6.3.2(3):

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \times f_{c,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \times f_{c,o,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Στην περίπτωση που εφαρμόζεται ροπή  $M_y$  κατά τον ισχυρό άξονα  $y$  και αξονική θλιπτική δύναμη  $N_c$  πρέπει να ικανοποιείται η σχέση κατά EC5 6.3.3(6):

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,y,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \times f_{c,o,d}} \leq 1$$

Βήμα 9. Έλεγχοι διάτμησης

Συντελεστής:

$$f_{v,d} = \frac{K_{mod} \times K_{sys} \times K_h \times f_{v,k}}{\gamma_M}$$

Πρέπει:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{A} \leq f_{v,d}$$

### 3.2.5 Έλεγχοι για κάθε φόρτιση

#### 3.2.5.1 Κάμψη και θλίψη (χωρίς λυγισμό) – EC5 6.2.4

$$\left(\frac{\sigma_{c,o,d}}{f_{c,o,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,o,d}}{f_{c,o,d}}\right)^2 + k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

- Συντελεστής ανακατανομής καμπτικών τάσεων:
  - για ορθογώνιες διατομές:  $k_m = 0.7$
  - για διατομές πλην ορθογωνίων:  $k_m = 1.0$

#### 3.2.5.2 Θλίψη με λυγισμό – EC5 6.2.3

Ανηγμένη λυγηρότητα

- Λυγηρότητα που αντιστοιχεί σε κάμψη κατά τον άξονα y (βέλος κάμψης στη διεύθυνση z):

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}}$$

- Λυγηρότητα που αντιστοιχεί σε κάμψη κατά τον άξονα z (βέλος κάμψης στη διεύθυνση y):

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,o,k}}{E_{0,05}}}$$

- ❖ Σε περίπτωση που  $\lambda_{rel,y} \leq 0.3$  και  $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$ , τότε δεν υπάρχει επιρροή λυγισμού, οπότε από EC5 6.2.4:

$$\sigma_{m,y,d} = \sigma_{m,z,d} = 0$$

$$\sigma_{c,o,d} \leq f_{c,o,d}$$

- ❖ Σε κάθε άλλη περίπτωση θα πρέπει να ισχύει:

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \times f_{c,o,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,z} \times f_{c,o,d}} \leq 1$$

- Συντελεστής ευθυγραμμίας:  $\beta_c$

$$\beta_c = \begin{cases} 0.2 & \text{, φυσική ξυλεία} \\ 0.1 & \text{, συγκολλητή ξυλεία και ξυλεία συγκολλημένων φύλλων} \end{cases}$$

- Συντελεστές:

$$\triangleright k_y = 0.5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

$$\triangleright k_z = 0.5 \times (1 + \beta_c \times (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2)$$

$$\triangleright k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$\triangleright k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

### 3.2.5.3 Κάμψη και θλίψη (με λυγισμό), κάμψη περί τον ισχυρό άξονα - EC5 6.3.3

Κρίσιμη τάση κάμψης  $\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \times b^2 \times \sqrt{E_{0,05} \times G_{0,05} \times (1 - 0,63 \times b/h)}}{h \times l_{ef}}$  ,

Ανηγμένη λυγηρότητα κάμψης:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,y,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

Συντελεστής που χρησιμοποιείται για τον καμπτικό λυγισμό:  $k_{crit}$

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \lambda_{rel,m} \leq 0.75 \\ 1.56 - 0.75 \times \lambda_{rel,m} & 0.75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1.4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & 1.4 \geq \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

Έλεγχος στρεπτοκαμπτικού λυγισμού:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \times f_{m,y,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} \leq 1$$

#### 3.2.5.4 Εφελκυσμός παράλληλος προς τις ίνες – EC5 6.1.2

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$\sigma_{t,0,d}$ : εφελκυστική τάση σχεδιασμού παράλληλα προς τις ίνες

$f_{t,0,d}$ : εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού παράλληλα προς τις ίνες

#### 3.2.5.5 Εφελκυσμός κάθετος προς τις ίνες - EC5 6.1.3

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d}$$

$\sigma_{t,90,d}$ : εφελκυστική τάση σχεδιασμού κάθετα προς τις ίνες

$f_{t,90,d}$ : εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού κάθετα προς τις ίνες

#### 3.2.5.6 Θλίψη παράλληλη προς τις ίνες - EC5 6.1.4

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$\sigma_{c,0,d}$ : θλιπτική τάση σχεδιασμού παράλληλα προς τις ίνες

$f_{c,0,d}$ : θλιπτική αντοχή σχεδιασμού παράλληλα προς τις ίνες

#### 3.2.5.7 Κάμψη διατομής – απουσία αξονικής – EC5 6.1.6

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$k_m \times \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

### 3.2.5.8 Διάτμηση - EC5 6.1.7

Συντελεστής:

$$f_{v,d} = \frac{K_{mod} \times K_{sys} \times K_h \times f_{v,k}}{\gamma_M}$$

Πρέπει:

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{A} \leq f_{v,d}$$

$\tau_{v,d}$ : διατμητική τάση σχεδιασμού

$f_{v,d}$ : διατμητική αντοχή σχεδιασμού για την πραγματική κατάσταση

3.2.6 Διαγράμματα αντοχής συγκολλητής ξυλείας GL24, GL28, GL32

ΦΥΛΛΟ EXCEL

ΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΗ ΞΥΛΕΙΑ GL 24													
fc,0,k(N/mm <sup>2</sup> )	E0,05(N/mm <sup>2</sup> )	H/L	H/b	λz	λy	λrel,z	λrel,y	kz	ky	kc,z	kc,z teliko	σc,0,d/fc,0d	
21	9400	2	4	6.928203	13.85641	0.104236	0.208471	0.495644	0.517154	0.998289	0.99828938		1
21	9400	2	6	6.928203	20.78461	0.104236	0.312707	0.495644	0.549528	0.967036	0.96703566		1
21	9400	2	7	6.928203	24.24871	0.104236	0.364825	0.495644	0.56979	0.948452	0.94845194		1
21	9400	2	8	6.928203	27.71281	0.104236	0.416943	0.495644	0.592768	0.928223	0.92822276		1
21	9400	2	9	6.928203	31.17691	0.104236	0.469061	0.495644	0.618462	0.9066	0.90660041		1
21	9400	2	10	6.928203	34.64102	0.104236	0.521178	0.495644	0.646872	0.883836	0.88383552		1
21	9400	2	12	6.928203	41.56922	0.104236	0.625414	0.495644	0.711842	0.835839	0.83583948		1
21	9400	2	14	6.928203	48.49742	0.104236	0.72965	0.495644	0.787677	0.786017	0.78601721		1
21	9400	2	16	6.928203	55.42563	0.104236	0.833886	0.495644	0.874377	0.735869	0.73586947		1
21	9400	2	18	6.928203	62.35383	0.104236	0.938121	0.495644	0.971942	0.686577	0.68657665		1
21	9400	2	20	6.928203	69.28203	0.104236	1.042357	0.495644	1.080372	0.639006	0.63900554		1
21	9400	5.8	4	20.09179	13.85641	0.302284	0.208471	0.545802	0.517154	1.029227	1		1
21	9400	5.8	6	20.09179	20.78461	0.302284	0.312707	0.545802	0.549528	0.996038	0.99603807		0.996038073
21	9400	5.8	7	20.09179	24.24871	0.302284	0.364825	0.545802	0.56979	0.976334	0.97633431		0.976334307
21	9400	5.8	8	20.09179	27.71281	0.302284	0.416943	0.545802	0.592768	0.954912	0.95491169		0.954911694
21	9400	5.8	9	20.09179	31.17691	0.302284	0.469061	0.545802	0.618462	0.932043	0.93204338		0.932043376
21	9400	5.8	10	20.09179	34.64102	0.302284	0.521178	0.545802	0.646872	0.908	0.90799974		0.907999744
21	9400	5.8	12	20.09179	41.56922	0.302284	0.625414	0.545802	0.711842	0.857418	0.85741849		0.857418489
21	9400	5.8	14	20.09179	48.49742	0.302284	0.72965	0.545802	0.787677	0.805071	0.80507103		0.805071028
21	9400	5.8	16	20.09179	55.42563	0.302284	0.833886	0.545802	0.874377	0.752544	0.7525438		0.752543797
21	9400	5.8	18	20.09179	62.35383	0.302284	0.938121	0.545802	0.971942	0.70107	0.70106991		0.701069906
21	9400	5.8	20	20.09179	69.28203	0.302284	1.042357	0.545802	1.080372	0.651542	0.65154164		0.651541638
21	9400	6	4	20.78461	13.85641	0.312707	0.208471	0.549528	0.517154	1.031956	1		1
21	9400	6	6	20.78461	20.78461	0.312707	0.312707	0.549528	0.549528	0.998594	0.99859376		0.998593762
21	9400	6	6.5	20.78461	22.51666	0.312707	0.338766	0.549528	0.55932	0.988925	0.98892453		0.988924531
21	9400	6	7	20.78461	24.24871	0.312707	0.364825	0.549528	0.56979	0.97879	0.97878976		0.978789757
21	9400	6	8	20.78461	27.71281	0.312707	0.416943	0.549528	0.592768	0.95726	0.95726044		0.957260443
21	9400	6	9	20.78461	31.17691	0.312707	0.469061	0.549528	0.618462	0.934281	0.93428084		0.934280844
21	9400	6	10	20.78461	34.64102	0.312707	0.521178	0.549528	0.646872	0.910123	0.91012313		0.91012313
21	9400	6	12	20.78461	41.56922	0.312707	0.625414	0.549528	0.711842	0.859312	0.85931165		0.859311646
21	9400	6	14	20.78461	48.49742	0.312707	0.72965	0.549528	0.787677	0.80674	0.80673985		0.806739853
21	9400	6	16	20.78461	55.42563	0.312707	0.833886	0.549528	0.874377	0.754002	0.75400176		0.754001763
21	9400	6	18	20.78461	62.35383	0.312707	0.938121	0.549528	0.971942	0.702335	0.70233508		0.702335076
21	9400	6	20	20.78461	69.28203	0.312707	1.042357	0.549528	1.080372	0.652634	0.65263422		0.652634223
21	9400	10	4	34.64102	13.85641	0.521178	0.208471	0.646872	0.517154	1.110715	1		1
21	9400	10	6	34.64102	20.78461	0.521178	0.312707	0.646872	0.549528	1.072162	1		1
21	9400	10	7	34.64102	24.24871	0.521178	0.364825	0.646872	0.56979	1.049365	1		1
21	9400	10	8	34.64102	27.71281	0.521178	0.416943	0.646872	0.592768	1.024659	1		1
21	9400	10	9	34.64102	31.17691	0.521178	0.469061	0.646872	0.618462	0.998374	0.99837371		0.998373705
21	9400	10	10	34.64102	34.64102	0.521178	0.521178	0.646872	0.646872	0.970837	0.97083665		0.970836648
21	9400	10	12	34.64102	41.56922	0.521178	0.625414	0.646872	0.711842	0.913234	0.91323444		0.913234397
21	9400	10	16	34.64102	55.42563	0.521178	0.833886	0.646872	0.874377	0.795201	0.79520092		0.795200919
21	9400	10	18	34.64102	62.35383	0.521178	0.938121	0.646872	0.971942	0.737948	0.73794814		0.737948135
21	9400	10	20	34.64102	69.28203	0.521178	1.042357	0.646872	1.080372	0.683275	0.68327535		0.683275346
21	9400	7	4										
21	9400	7	6	24.24871	20.78461	0.364825	0.312707	0.56979	0.549528	1.012958	1		1
21	9400	7	6.5	24.24871	22.51666	0.364825	0.338766	0.56979	0.55932	1.00301	1		1
21	9400	7	7	24.24871	24.24871	0.364825	0.364825	0.56979	0.56979	0.992586	0.99258612		0.992586115
21	9400	7	8	24.24871	27.71281	0.364825	0.416943	0.56979	0.592768	0.970452	0.97045246		0.970452461
21	9400	7	9	24.24871	31.17691	0.364825	0.469061	0.56979	0.618462	0.946843	0.94684294		0.946842944
21	9400	7	10	24.24871	34.64102	0.364825	0.521178	0.56979	0.646872	0.92204	0.92203985		0.922039849
21	9400	7	12	24.24871	41.56922	0.364825	0.625414	0.56979	0.711842	0.869927	0.86992715		0.869927146
21	9400	7	14	24.24871	48.49742	0.364825	0.72965	0.56979	0.787677	0.816089	0.81608913		0.816089129
21	9400	7	16	24.24871	55.42563	0.364825	0.833886	0.56979	0.874377	0.762162	0.76216245		0.762162451
21	9400	7	18	24.24871	62.35383	0.364825	0.938121	0.56979	0.971942	0.70941	0.70941044		0.70941044
21	9400	7	20	24.24871	69.28203	0.364825	1.042357	0.56979	1.080372	0.658739	0.65873929		0.658739287

ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΝΕΛΩΝ CLT ΚΑΤΑ EC5 ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΓΙΑ ΥΛΙΚΟ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΗΣ ΕΥΛΕΙΑΣ GL28

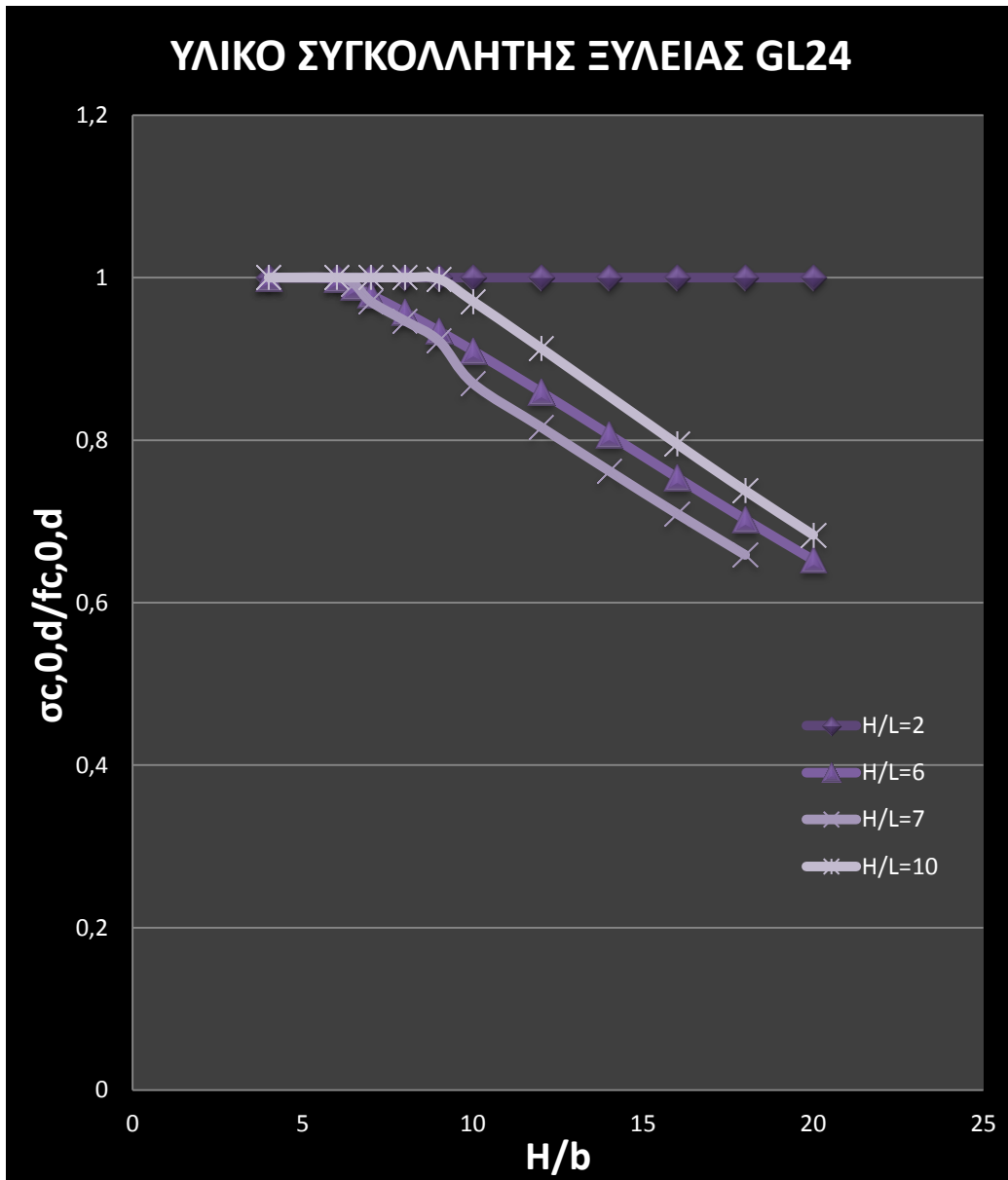
fc,0,k(N/mm <sup>2</sup> )	E0,05(N/mm <sup>2</sup> )	H/L	H/b	λz	λy	λrel,z	λrel,y	kz	ky	kc,z	kc,z teliko	σc,0,d/fc,0d
24	10200	2	4	6.928203	13.85641	0.106974	0.213947	0.49607	0.518584	0.997026	0.997025791	1
24	10200	2	6	6.928203	20.78461	0.106974	0.320921	0.49607	0.552541	0.964376	0.964375867	1
24	10200	2	7	6.928203	24.24871	0.106974	0.374407	0.49607	0.573811	0.944992	0.944992152	1
24	10200	2	8	6.928203	27.71281	0.106974	0.427894	0.49607	0.597941	0.923924	0.923923719	1
24	10200	2	9	6.928203	31.17691	0.106974	0.481381	0.49607	0.624933	0.901444	0.901443507	1
24	10200	2	10	6.928203	34.64102	0.106974	0.534868	0.49607	0.654785	0.877821	0.877821231	1
24	10200	2	12	6.928203	41.56922	0.106974	0.641841	0.49607	0.723072	0.828177	0.828177155	1
24	10200	2	14	6.928203	48.49742	0.106974	0.748815	0.49607	0.802802	0.776879	0.776879163	1
24	10200	2	16	6.928203	55.42563	0.106974	0.855788	0.49607	0.893976	0.725492	0.725491897	1
24	10200	2	18	6.928203	62.35383	0.106974	0.962762	0.49607	0.996593	0.675223	0.675223021	1
24	10200	2	20	6.928203	69.28203	0.106974	1.069735	0.49607	1.110653	0.626939	0.62693861	1
24	10200	5.8	4	20.09179	13.85641	0.310223	0.213947	0.54863	0.518584	1.029776	1	1
24	10200	5.8	6	20.09179	20.78461	0.310223	0.320921	0.54863	0.552541	0.994984	0.994983593	0.994983593
24	10200	5.8	7	20.09179	24.24871	0.310223	0.374407	0.54863	0.573811	0.974363	0.97436309	0.97436309
24	10200	5.8	8	20.09179	27.71281	0.310223	0.427894	0.54863	0.597941	0.95198	0.951980176	0.951980176
24	10200	5.8	9	20.09179	31.17691	0.310223	0.481381	0.54863	0.624933	0.928132	0.928131558	0.928131558
24	10200	5.8	10	20.09179	34.64102	0.310223	0.534868	0.54863	0.654785	0.903109	0.903109272	0.903109272
24	10200	5.8	12	20.09179	41.56922	0.310223	0.641841	0.54863	0.723072	0.850649	0.850649197	0.850649197
24	10200	5.8	14	20.09179	48.49742	0.310223	0.748815	0.54863	0.802802	0.79662	0.796620369	0.796620369
24	10200	5.8	16	20.09179	55.42563	0.310223	0.855788	0.54863	0.893976	0.742679	0.742678993	0.742678993
24	10200	5.8	18	20.09179	62.35383	0.310223	0.962762	0.54863	0.996593	0.690086	0.690086468	0.690086468
24	10200	5.8	20	20.09179	69.28203	0.310223	1.069735	0.54863	1.110653	0.639732	0.639732188	0.639732188
24	10200	6	4	20.78461	13.85641	0.320921	0.213947	0.552541	0.518584	1.032658	1	1
24	10200	6	6	20.78461	20.78461	0.320921	0.320921	0.552541	0.552541	0.997674	0.997673792	0.997673792
24	10200	6	7	20.78461	24.24871	0.320921	0.374407	0.552541	0.573811	0.976943	0.976942795	0.976942795
24	10200	6	8	20.78461	27.71281	0.320921	0.427894	0.552541	0.597941	0.954443	0.954442571	0.954442571
24	10200	6	9	20.78461	31.17691	0.320921	0.481381	0.552541	0.624933	0.930472	0.930471973	0.930471973
24	10200	6	10	20.78461	34.64102	0.320921	0.534868	0.552541	0.654785	0.905325	0.905325042	0.905325042
24	10200	6	12	20.78461	41.56922	0.320921	0.641841	0.552541	0.723072	0.852615	0.852614744	0.852614744
24	10200	6	14	20.78461	48.49742	0.320921	0.748815	0.552541	0.802802	0.798344	0.79834391	0.79834391
24	10200	6	16	20.78461	55.42563	0.320921	0.855788	0.552541	0.893976	0.744177	0.744176805	0.744176805
24	10200	6	18	20.78461	62.35383	0.320921	0.962762	0.552541	0.996593	0.691379	0.691379473	0.691379473
24	10200	6	20	20.78461	69.28203	0.320921	1.069735	0.552541	1.110653	0.640843	0.640843228	0.640843228
24	10200	7	4	24.24871	13.85641	0.374407	0.213947	0.573811	0.518584	1.048861	1	1
24	10200	7	6	24.24871	20.78461	0.374407	0.320921	0.573811	0.552541	1.012789	1	1
24	10200	7	6.5	24.24871	22.51666	0.374407	0.347664	0.573811	0.562818	1.002356	1	1
24	10200	7	7	24.24871	24.24871	0.374407	0.374407	0.573811	0.573811	0.991432	0.991432278	0.991432278
24	10200	7	8	24.24871	27.71281	0.374407	0.427894	0.573811	0.597941	0.968268	0.968267595	0.968267595
24	10200	7	9	24.24871	31.17691	0.374407	0.481381	0.573811	0.624933	0.943607	0.943606515	0.943606515
24	10200	7	10	24.24871	34.64102	0.374407	0.534868	0.573811	0.654785	0.917754	0.917754488	0.917754488
24	10200	7	12	24.24871	41.56922	0.374407	0.641841	0.573811	0.723072	0.86363	0.863630171	0.863630171
24	10200	7	14	24.24871	48.49742	0.374407	0.748815	0.573811	0.802802	0.807994	0.807993718	0.807993718
24	10200	7	16	24.24871	55.42563	0.374407	0.855788	0.573811	0.893976	0.752555	0.7525547	0.7525547
24	10200	7	18	24.24871	62.35383	0.374407	0.962762	0.573811	0.996593	0.698605	0.698604989	0.698604989
24	10200	7	20	24.24871	69.28203	0.374407	1.069735	0.573811	1.110653	0.647046	0.647046315	0.647046315
24	10200	10	4	34.64102	13.85641	0.534868	0.213947	0.654785	0.518584	1.115713	1	1
24	10200	10	6	34.64102	20.78461	0.534868	0.320921	0.654785	0.552541	1.074986	1	1
24	10200	10	7	34.64102	24.24871	0.534868	0.374407	0.654785	0.573811	1.050956	1	1
24	10200	10	8	34.64102	27.71281	0.534868	0.427894	0.654785	0.597941	1.024963	1	1
24	10200	10	9	34.64102	31.17691	0.534868	0.481381	0.654785	0.624933	0.99737	0.997370391	0.997370391
24	10200	10	10	34.64102	34.64102	0.534868	0.534868	0.654785	0.654785	0.968534	0.968533511	0.968533511
24	10200	10	12	34.64102	41.56922	0.534868	0.641841	0.654785	0.723072	0.90845	0.908450197	0.908450197
24	10200	10	14	34.64102	48.49742	0.534868	0.748815	0.654785	0.802802	0.847094	0.847094271	0.847094271
24	10200	10	16	34.64102	55.42563	0.534868	0.855788	0.654785	0.893976	0.786361	0.786361452	0.786361452
24	10200	10	18	34.64102	62.35383	0.534868	0.962762	0.654785	0.996593	0.727645	0.727644834	0.727644834
24	10200	10	20	34.64102	69.28203	0.534868	1.069735	0.654785	1.110653	0.671882	0.671881727	0.671881727



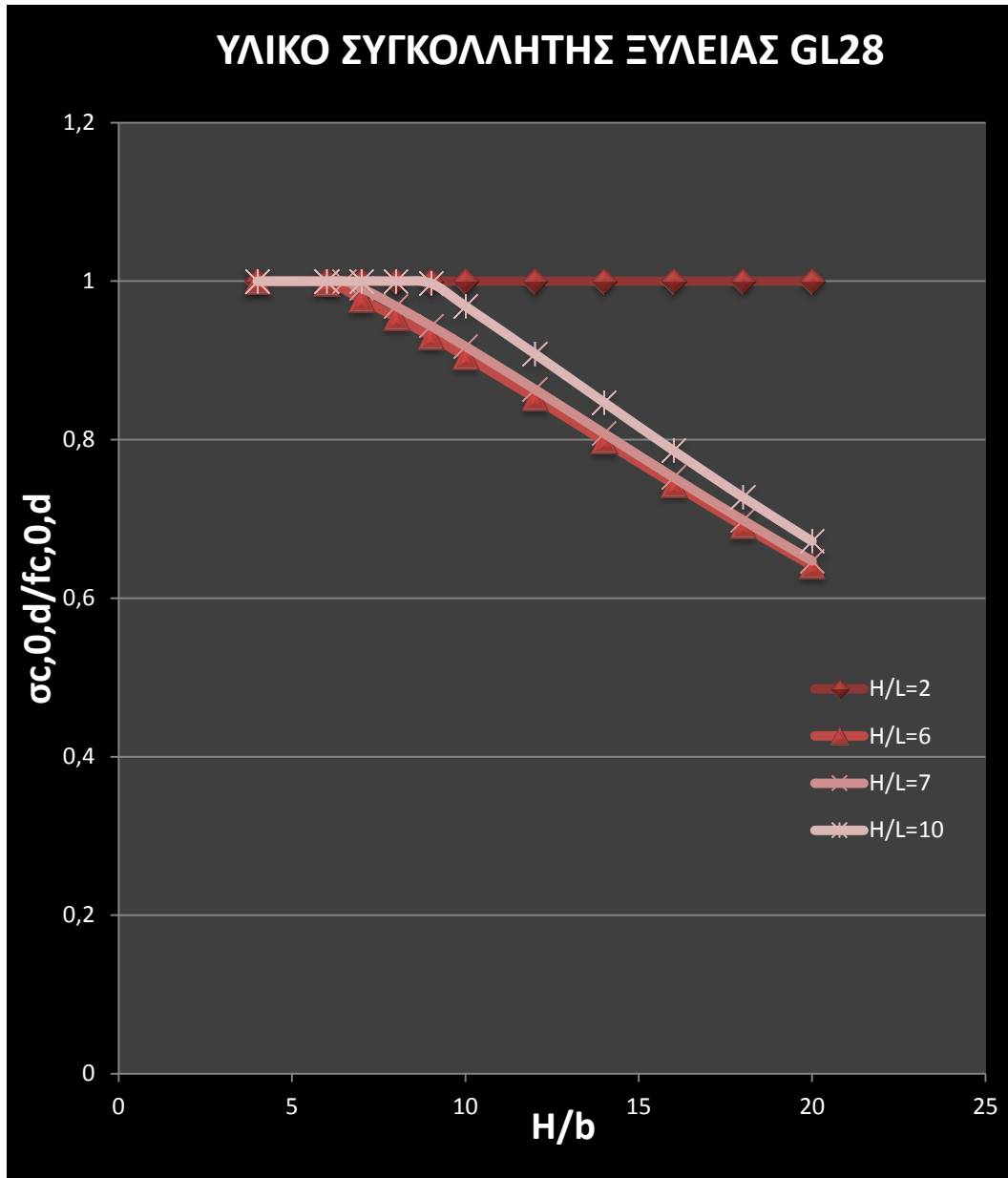
ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΝΕΛΩΝ CLT ΚΑΤΑ EC5 ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΓΙΑ ΥΛΙΚΟ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΗΣ ΞΥΛΕΙΑΣ GL32

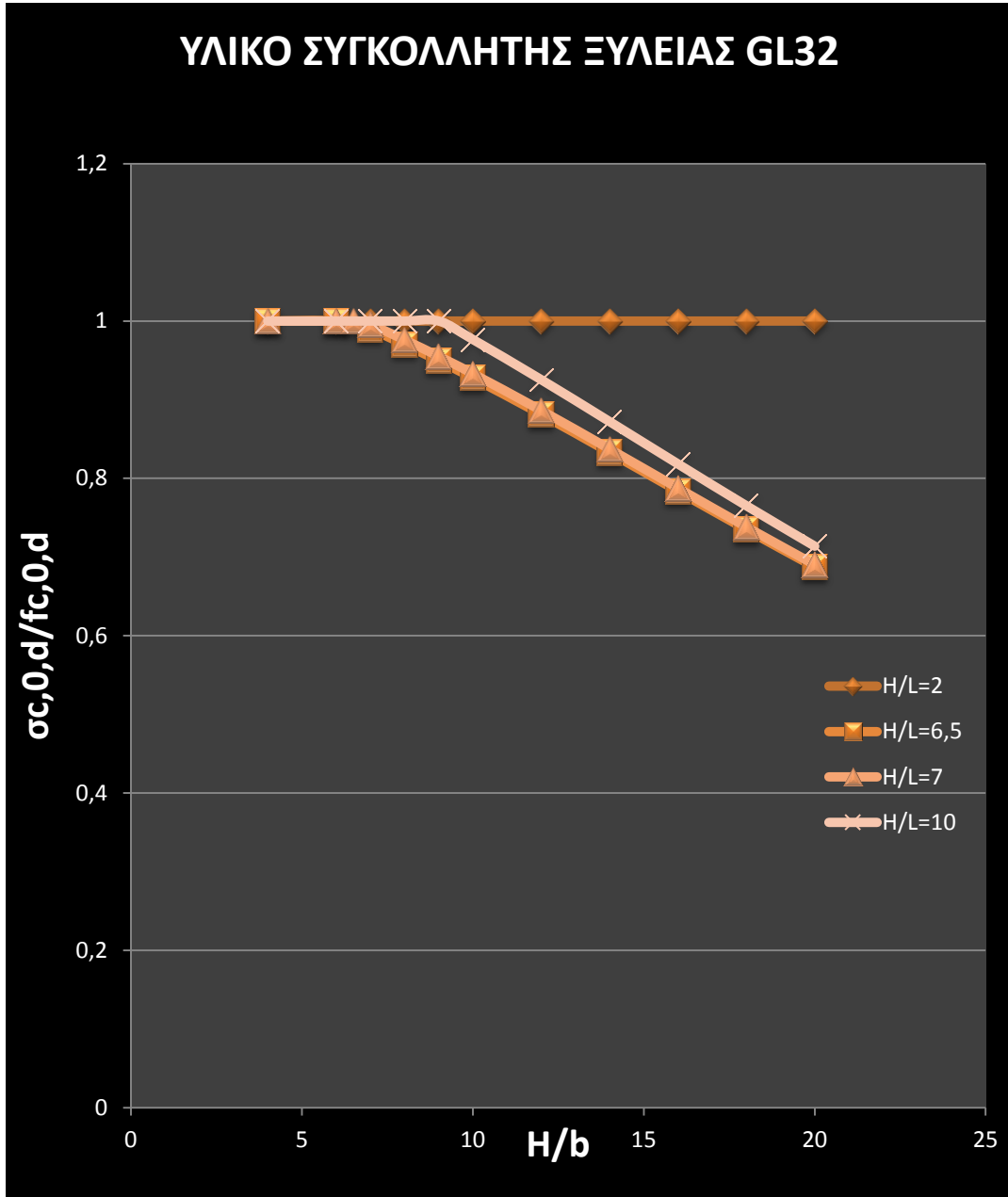
fc,0,k(N/mm <sup>2</sup> )	E0,05(N/mm <sup>2</sup> )	H/L	H/b	λz	λy	λrel,z	λrel,y	kz	ky	kc,z	kc,z teliko	σc,0,d/fc,0d
26.5	13700	2	4	6.928203	13.85641	0.096991	0.193983	0.494553	0.513514	1.00154	1	1
26.5	13700	2	6	6.928203	20.78461	0.096991	0.290974	0.494553	0.541882	0.97387	0.9738703	1
26.5	13700	2	7	6.928203	24.24871	0.096991	0.33947	0.494553	0.559593	0.957357	0.95735694	1
26.5	13700	2	8	6.928203	27.71281	0.096991	0.387966	0.494553	0.579657	0.939315	0.9393146	1
26.5	13700	2	9	6.928203	31.17691	0.096991	0.436461	0.494553	0.602072	0.919945	0.91994507	1
26.5	13700	2	10	6.928203	34.64102	0.096991	0.484957	0.494553	0.62684	0.899452	0.89945154	1
26.5	13700	2	12	6.928203	41.56922	0.096991	0.581949	0.494553	0.68343	0.855887	0.85588697	1
26.5	13700	2	14	6.928203	48.49742	0.096991	0.67894	0.494553	0.749427	0.810126	0.81012602	1
26.5	13700	2	16	6.928203	55.42563	0.096991	0.775932	0.494553	0.824831	0.763487	0.76348673	1
26.5	13700	2	18	6.928203	62.35383	0.096991	0.872923	0.494553	0.909643	0.717055	0.71705538	1
26.5	13700	2	20	6.928203	69.28203	0.096991	0.969914	0.494553	1.003863	0.671677	0.67167661	1
26.5	13700	5.5	4	19.05256	13.85641	0.266726	0.193983	0.533908	0.513514	1.024566	1	1
26.5	13700	5.5	6	19.05256	20.78461	0.266726	0.290974	0.533908	0.541882	0.995628	0.99562847	1
26.5	13700	5.5	7	19.05256	24.24871	0.266726	0.33947	0.533908	0.559593	0.978376	0.97837551	1
26.5	13700	5.5	8	19.05256	27.71281	0.266726	0.387966	0.533908	0.579657	0.95954	0.95954005	1
26.5	13700	5.5	9	19.05256	31.17691	0.266726	0.436461	0.533908	0.602072	0.939336	0.93933637	1
26.5	13700	5.5	10	19.05256	34.64102	0.266726	0.484957	0.533908	0.62684	0.91798	0.9179798	1
26.5	13700	5.5	12	19.05256	41.56922	0.266726	0.581949	0.533908	0.68343	0.872647	0.87264716	1
26.5	13700	5.5	14	19.05256	48.49742	0.266726	0.67894	0.533908	0.749427	0.825126	0.82512622	1
26.5	13700	5.5	16	19.05256	55.42563	0.266726	0.775932	0.533908	0.824831	0.776795	0.77679531	1
26.5	13700	5.5	18	19.05256	62.35383	0.266726	0.872923	0.533908	0.909643	0.728782	0.72878204	1
26.5	13700	5.5	20	19.05256	69.28203	0.266726	0.969914	0.533908	1.003863	0.681955	0.68195535	1
26.5	13700	6.5	4	22.51666	13.85641	0.315222	0.193983	0.550444	0.513514	1.036527	1	1
26.5	13700	6.5	6	22.51666	20.78461	0.315222	0.290974	0.550444	0.541882	1.00692	1	1
26.5	13700	6.5	7	22.51666	24.24871	0.315222	0.33947	0.550444	0.559593	0.989277	0.98927656	0.989276558
26.5	13700	6.5	8	22.51666	27.71281	0.315222	0.387966	0.550444	0.579657	0.970023	0.97002315	0.970023154
26.5	13700	6.5	9	22.51666	31.17691	0.315222	0.436461	0.550444	0.602072	0.94938	0.94938036	0.949380359
26.5	13700	6.5	10	22.51666	34.64102	0.315222	0.484957	0.550444	0.62684	0.92757	0.92756994	0.927569936
26.5	13700	6.5	12	22.51666	41.56922	0.315222	0.581949	0.550444	0.68343	0.881309	0.88130903	0.881309034
26.5	13700	6.5	14	22.51666	48.49742	0.315222	0.67894	0.550444	0.749427	0.832866	0.83286621	0.832866207
26.5	13700	6.5	16	22.51666	55.42563	0.315222	0.775932	0.550444	0.824831	0.783651	0.78365137	0.783651369
26.5	13700	6.5	18	22.51666	62.35383	0.315222	0.872923	0.550444	0.909643	0.734813	0.73481346	0.734813459
26.5	13700	6.5	20	22.51666	69.28203	0.315222	0.969914	0.550444	1.003863	0.687234	0.68723379	0.687233787
26.5	13700	7	4	24.24871	13.85641	0.33947	0.193983	0.559593	0.513514	1.043429	1	1
26.5	13700	7	6	24.24871	20.78461	0.33947	0.290974	0.559593	0.541882	1.013431	1	1
26.5	13700	7	6.5	24.24871	22.51666	0.33947	0.315222	0.559593	0.550444	1.004713	1	1
26.5	13700	7	7	24.24871	24.24871	0.33947	0.33947	0.559593	0.559593	0.995561	0.99556127	0.995561268
26.5	13700	7	8	24.24871	27.71281	0.33947	0.387966	0.559593	0.579657	0.976065	0.97606487	0.97606487
26.5	13700	7	9	24.24871	31.17691	0.33947	0.436461	0.559593	0.602072	0.955167	0.9551669	0.955166901
26.5	13700	7	10	24.24871	34.64102	0.33947	0.484957	0.559593	0.62684	0.933093	0.93309289	0.933092885
26.5	13700	7	12	24.24871	41.56922	0.33947	0.581949	0.559593	0.68343	0.886293	0.88629335	0.886293346
26.5	13700	7	14	24.24871	48.49742	0.33947	0.67894	0.559593	0.749427	0.837316	0.83731625	0.837316251
26.5	13700	7	16	24.24871	55.42563	0.33947	0.775932	0.559593	0.824831	0.78759	0.78758979	0.787589793
26.5	13700	7	18	24.24871	62.35383	0.33947	0.872923	0.559593	0.909643	0.738275	0.7382752	0.738275203
26.5	13700	7	20	24.24871	69.28203	0.33947	0.969914	0.559593	1.003863	0.690261	0.69026082	0.69026082
26.5	13700	10	4	34.64102	13.85641	0.484957	0.193983	0.62684	0.513514	1.098075	1	1
26.5	13700	10	6	34.64102	20.78461	0.484957	0.290974	0.62684	0.541882	1.064903	1	1
26.5	13700	10	7	34.64102	24.24871	0.484957	0.33947	0.62684	0.559593	1.04519	1	1
26.5	13700	10	8	34.64102	27.71281	0.484957	0.387966	0.62684	0.579657	1.023722	1	1
26.5	13700	10	9	34.64102	31.17691	0.484957	0.436461	0.62684	0.602072	1.000758	1	1
26.5	13700	10	10	34.64102	34.64102	0.484957	0.484957	0.62684	0.62684	0.976553	0.97655287	0.976552871
26.5	13700	10	12	34.64102	41.56922	0.484957	0.581949	0.62684	0.68343	0.925412	0.92541178	0.92541178
26.5	13700	10	14	34.64102	48.49742	0.484957	0.67894	0.62684	0.749427	0.872146	0.87214578	0.872145776
26.5	13700	10	16	34.64102	55.42563	0.484957	0.775932	0.62684	0.824831	0.818329	0.81832932	0.818329317
26.5	13700	10	18	34.64102	62.35383	0.484957	0.872923	0.62684	0.909643	0.76522	0.76521991	0.765219911
26.5	13700	10	20	34.64102	69.28203	0.484957	0.969914	0.62684	1.003863	0.713759	0.71375897	0.713758974



Σχήμα 3.1 Διάγραμμα αντοχής GL24



Σχήμα 3.2 Διάγραμμα αντοχής GL28



Σχήμα 3.3 Διάγραμμα αντοχής GL32

## 4 Συνδέσεις Ξύλινων Κατασκευών Τύπου CLT

### 4.1 Γενικά

Η χρήση της διαστρωμένης συγκολλητής ξυλείας (CLT) σε κατασκευές κτιρίων έχει αυξηθεί κατά τα τελευταία χρόνια, η οποία είναι μια καλή μαρτυρία για τα πολλά πλεονεκτήματα που το προϊόν αυτό προσφέρει στον κλάδο των κατασκευών.

Η δομική απόδοση της λειτουργίας του δαπέδου ως ένα διάφραγμα και εκείνης των τοιχωμάτων στην αντίσταση πλευρικών φορτίων εξαρτάται από την αποτελεσματικότητα των συστημάτων στερεώσεως και λεπτομερειών σύνδεσης που χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των επιμέρους πάνελ μεταξύ τους και στη βάση του καθενός ανεξάρτητα. Ένας συνδυασμός μεταλλικών στηριγμάτων και λαμαρινόβιδες συνίστανται από τους κατασκευαστές των CLT και χρησιμοποιούνται συνήθως για τη σύνδεση των πάνελ σε πάνελ ή σε δάπεδα. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλοι τύποι των παραδοσιακών και καινοτόμων συνδετήρων καθώς και συστήματα στερεώσεως που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά στις σταθεροποίηση των CLT.

Αυτό το κεφάλαιο επικεντρώνεται σε μερικά συστήματα στερέωσης που αντικατοπτρίζει τις πρακτικές σημερινή μέρα, κάποια είναι συμβατικά, ενώ άλλοι είναι πρωτοποριακά. Δεδομένης της πρόσφατης εισαγωγής της CLT στην κατασκευαστική αγορά, αναμένεται ότι νέοι τύποι σύνδεσης θα αναπτυχθούν κατά την πάροδο του χρόνου. Παρουσιάζονται ζητήματα που σχετίζονται με το σχεδιασμό σύνδεσης συγκροτημάτων CLT. Παρουσιάζεται επίσης η ευρωπαϊκή προσέγγιση του σχεδιασμού και η δυνατότητα εφαρμογής του Εθνικού Σχεδιασμού Προδιαγραφών (NDS) για διατάξεις σχεδιασμού ξύλινων κατασκευών με παραδοσιακούς συνδετήρες σε CLT, όπως κοχλίες, σφήνες, ήλοι και ξύλινοι πείροι, παρέχοντας συγχρόνως κατευθυντήριες γραμμές σχεδιασμού. Τα διάφορα παραδείγματα σχεδιασμού δίνονται στο τέλος για να καταδείξουν πώς μπορούν να δημιουργηθούν συνδέσεις στο CLT χρησιμοποιώντας τις τρέχουσες διατάξεις σχεδιασμού πρακτικά.

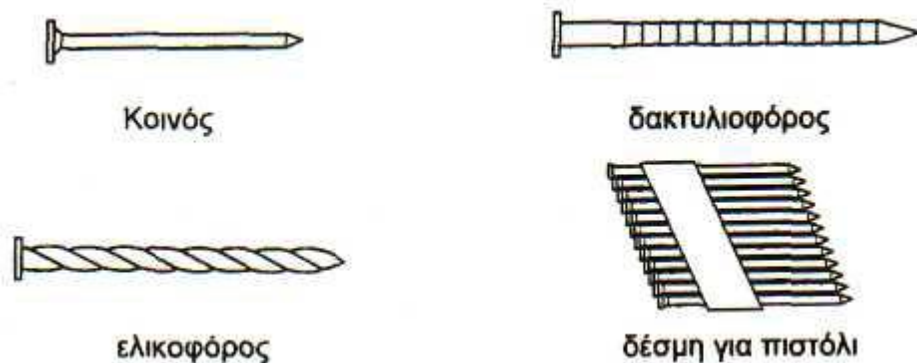


Εικόνα 4.1 Τυπικό κτίριο CLT με ποικίλα εξαρτήματα και συνδέσεις. ([http://www.back-to-nature.gr/2012/11/blog-post\\_6022.html](http://www.back-to-nature.gr/2012/11/blog-post_6022.html))

## 4.2 Τα μέσα συνδέσεως

### 4.2.1 Ήλοι (Nails)

Οι ήλοι δεν χρησιμοποιούνται τόσο συχνά για τη συναρμολόγηση CLT πάνελ, όπως βίδες ξύλου. Ήλοι με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως αυλάκια ή ελικοειδής επιφάνεια χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον σε διάτρητες μεταλλικές πλάκες και στα στηρίγματα που να εγκαθίστανται επί της επιφανείας ή επιπέδου του πάνελ (Εικόνα 4.2). Σύμφωνα με τους περισσότερους κανονισμούς σχεδιασμού ξύλινων κατασκευών δεν επιτρέπονται οι συνδέσεις με ήλους στο τέλος των ξύλινων πάνελς για αποφυγή απόσχισης των ινών. Ως εκ τούτου, οι τύποι επιφάνεια των συνδετήρων όπως ήλοι, δεν θα πρέπει να τοποθετούνται στο χείλος του CLT πάνελ για να είναι ικανοί να αντιστέκονται στις διατμητικές δυνάμεις. Ωστόσο, ένας παράγοντας που εφαρμόζεται για να μειώσει την πλευρική αντίσταση του ήλου που είναι τοποθετημένος στο τέλος του πανέλου στους περισσότερους κανονισμούς σχεδιασμού ξύλινων κατασκευών συμπεριλαμβανομένου του EN5.



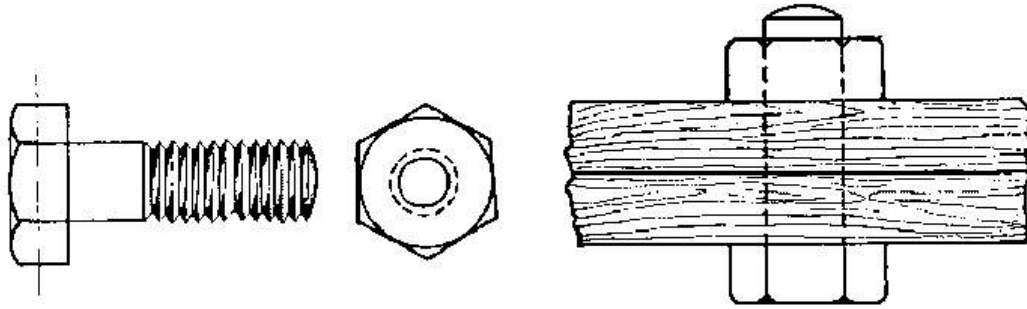
Εικόνα 4.2 διάφοροι τύποι ήλων.

(Κατσαραγάκης, Ελισσαίος Σ., Ξύλινες Κατασκευές., Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2000.)

### 4.2.2 Βλήτρα

Τα βλήτρα (μπουλόνια) που χρησιμοποιούνται στις ξύλινες κατασκευές είναι χαλύβδινοι ράβδοι κυκλικής διατομής με σπείρωμα και στα δυο άκρα ή με εξαγωνική ή τετραγωνική κεφαλή στο ένα άκρο και σπείρωμα στο άλλο άκρο (Εικόνα 4.3). Στο σπείρωμα εφαρμόζεται περικόχλιο για τη σύσφιξη. Κάτω από την κεφαλή και το περικόχλιο πρέπει πάντα να τοποθετείται ροδέλα, ώστε να αποφεύγεται η σύνθλιψη του ξύλου κατά τη σύσφιξη. Τοποθετούνται μέσα σε οπή την οποία

ανοίγουμε εκ των προτέρων με διατομή κατά ένα χιλιοστό μεγαλύτερης από τη διάμετρο του βλήτρου και συσφίγγονται μετά την τοποθέτηση. Η σύσφιξη συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση της συμπεριφοράς της σύνδεσης. Η λεπτομέρεια της μεγαλύτερης διαμέτρου της οπής από το πάχος του βλήτρου είναι πολύ σημαντική διότι στις δονήσεις που δημιουργούνται από οποιοδήποτε λόγο, όπως σεισμοί, υπάρχει χώρος κίνησης του βλήτρου και απορρόφησης της ενέργειας χωρίς να σχίζεται το ξύλο.

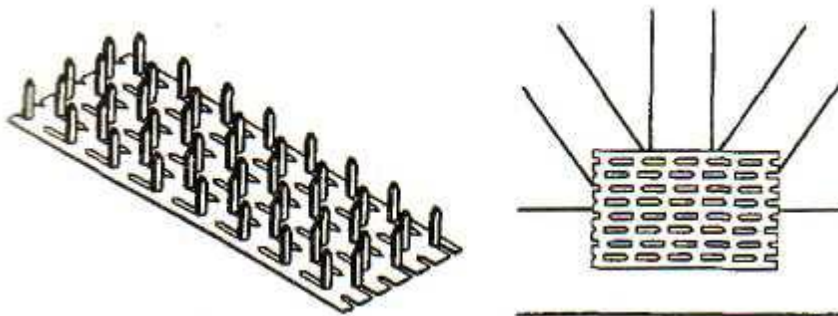


Εικόνα 4.3.Εφαρμογή βλήτρου (μπουλόνι).

(Κατσαραγάκης, Ελισσαίος Σ., Ξύλινες Κατασκευές., Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2000.)

#### 4.2.3 Ηλοφόρες πλάκες

Οι ηλοφόρες πλάκες κατασκευάζονται από γαλβανισμένες ή ανοξείδωτες χαλύβδινες λεπίδες πάχους από 0.9 έως 2.5cm, με ενσωματωμένους ήλους διαφόρων μορφών. Το κάρφωμα τους απαιτεί ειδικά εργαλεία. Το ελάχιστο πάχος των συνδεόμενων ξύλων πρέπει να είναι τουλάχιστον 35cm. Επιτρέπουν τη σύνδεση συνεπίπεδων στοιχείων και χρησιμοποιούνται σε μεγάλη έκταση για τις συνδέσεις ελαφρών δικτυωμάτων (Εικόνα 4.4).



Εικόνα 4.4. Τυπική μορφή και σύνδεση ηλοφόρου πλάκας.

(Κατσαραγάκης, Ελισσαίος Σ., Ξύλινες Κατασκευές., Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2000.)

#### 4.2.4 Βίδες (bolts) και ξύλινοι πείροι (dowels)

Οι βίδες και οι ξύλινοι πείροι είναι πολύ συνηθισμένοι σε βαριές ξύλινες κατασκευές. Αυτοί οι τύποι συνδέσεων μπορούν επίσης να χρησιμοποιούνται για τη συναρμολόγηση των CLT πάνελ, ειδικά για εξασφάλιση πλευρικής φόρτισης. Εάν είναι εγκατεστημένο στη στενή πρόσοψη (στην άκρη), πρέπει να ληφθεί μέριμνα κατά το σχεδιασμό. Αυτό θα μπορούσε τελικά να διακυβεύσει την πλευρική αντίσταση δεδομένου ότι υπάρχει μια δυνατότητα ότι τέτοιοι συνδετήρες οδηγούνται στα διάκενα.

#### 4.2.5 Συνδέσεις που φέρουν συνδετήρες

Οι συνδετήρες που φέρουν τύπου όπως δαχτυλίδια split και πλάκες κοπής χρησιμοποιούνται συνήθως σε συνδέσεις με σύνθετη βαριά ξυλείας και δομικής βαριάς ξυλείας (SCL: structural composite lumber). Αυτό το μοντέλο σύνδεσης δεν χρησιμοποιείται ευρέως για τη συναρμολόγηση της CLT πάνελ. Συνδέσεις τέτοιου τύπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ορισμένες θέσεις, ανάλογα με τη θέση των συνδετήρων σε σχέση με τα στρώματα CLT και τον τύπο της δράσης.

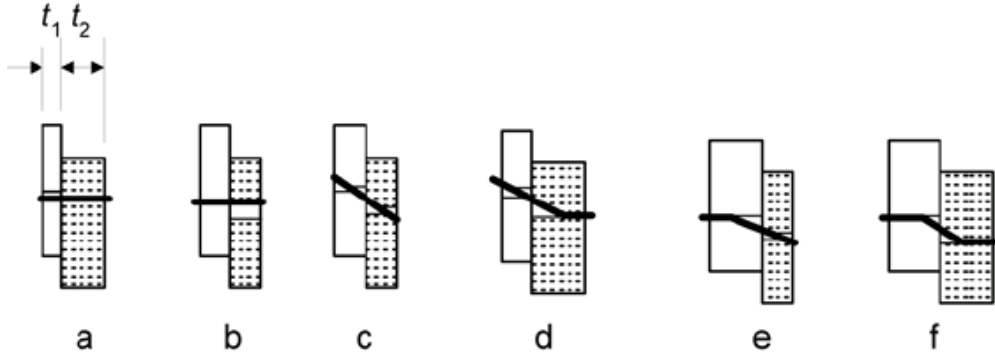
#### 4.2.6 Καινοτόμες συνδέσεις (innovative type of fasteners)

Μια νέα γενιά διασύνδεσης, όπως λαμαρινόβιδες και συγκολλήσεις στην ξύλινη ράβδο, γίνονται όλο και πιο δημοφιλής στη συναρμολόγηση των πιο βαρέων κατασκευών ξυλείας. Αυτό πηγάζει από τις πρόσφατες εξελίξεις στη μηχανική κατεργασία CNC, τα υλικά όπως το ξύλο και την επιθυμία για μια υψηλού επιπέδου προκατασκευής για να μειωθεί ο χρόνος και το κόστος κατασκευής και συναρμολόγησης. Όσον αφορά τα CLT, συγκολλημένες ξύλινες στρώσεις, ειδικότερα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αυτοί οι τύποι συνδέσεων υποβάλλοντάς τα σε ισχυρά διαμήκη και εγκάρσια φορτία μειώνοντας τις πιθανότητες διάσπασης.



### 4.3 Πιθανοί τρόποι αστοχίας

#### 4.3.1 Μονότμητη σύνδεση

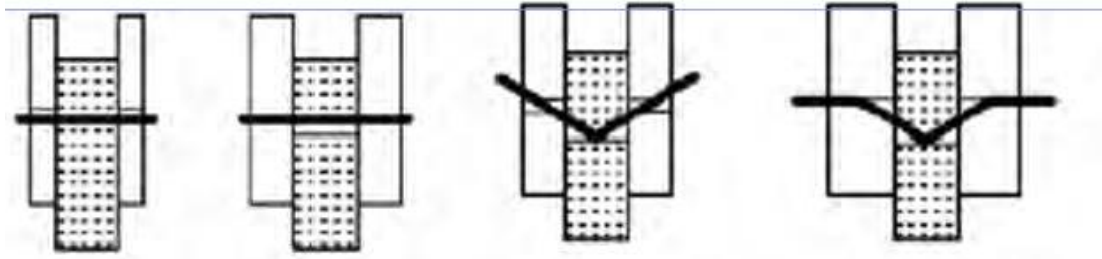


Εικόνα 4.5. Μορφές αστοχιών σε μονότμητη σύνδεση.

Τύποι υπολογισμού μορφών αστοχίας

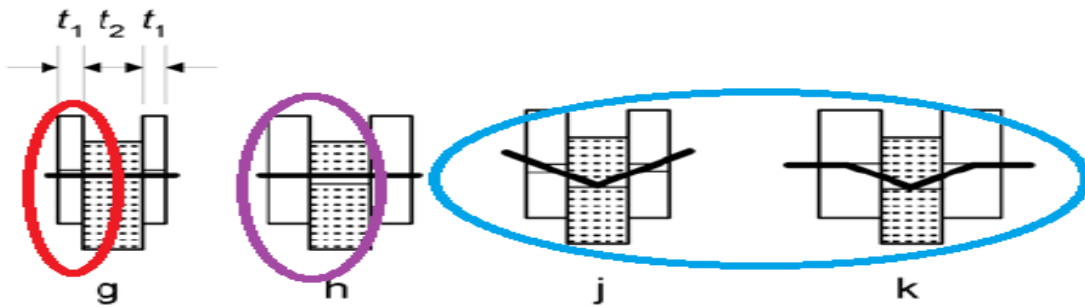
$$F_{v,Rk} = \min \left[ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1+\beta} * \left( \sqrt{\beta + 2 * \beta^2 * \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right) + \beta^3 * \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta * \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 * \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2+\beta} * \left( \sqrt{2 * \beta * (1 + \beta) + \frac{4 * \beta * (2+\beta) * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d * t_1^2}} - \beta \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,05 * \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{2+2*\beta} * \left( \sqrt{2 * \beta^2 * (1 + \beta) + \frac{4 * \beta * (1+2*\beta) * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d * t_2^2}} - \beta \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1,15 * \sqrt{\frac{2 * \beta}{1+\beta}} * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

4.3.2 Δίτημητη συμμετρική σύνδεση

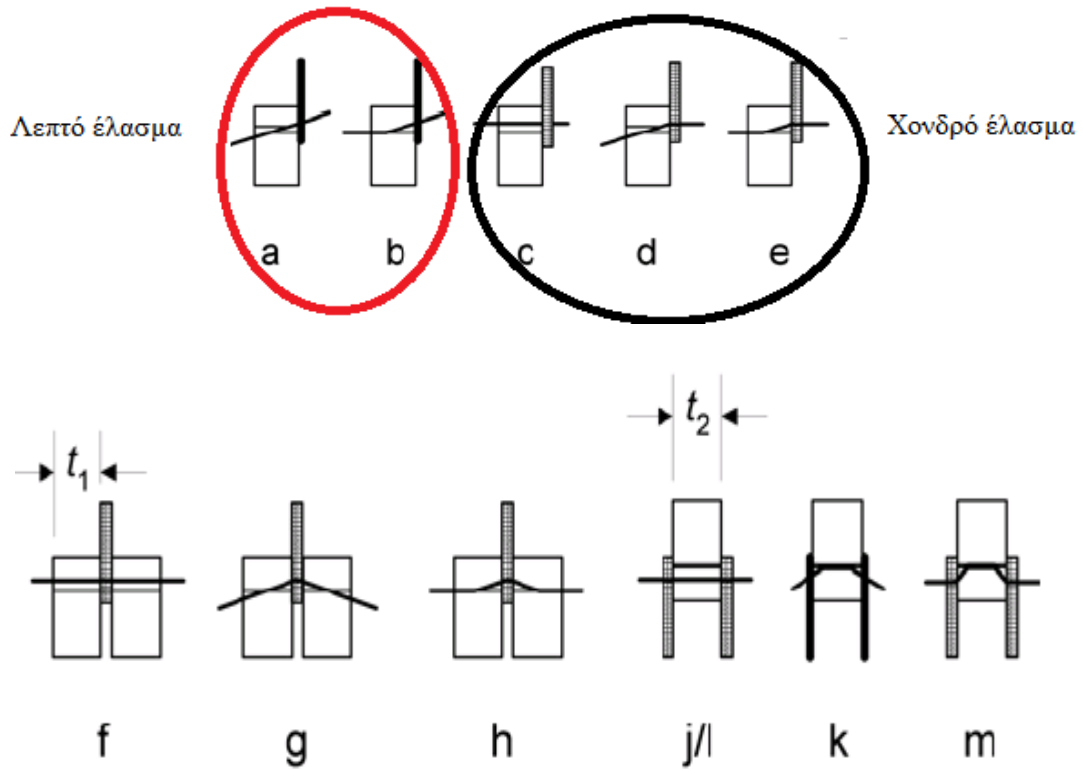


Εικόνα 4.6. Μορφές αστοχιών σε Δίτημητη συμμετρική σύνδεση.

Τύποι υπολογισμού μορφών αστοχίας:

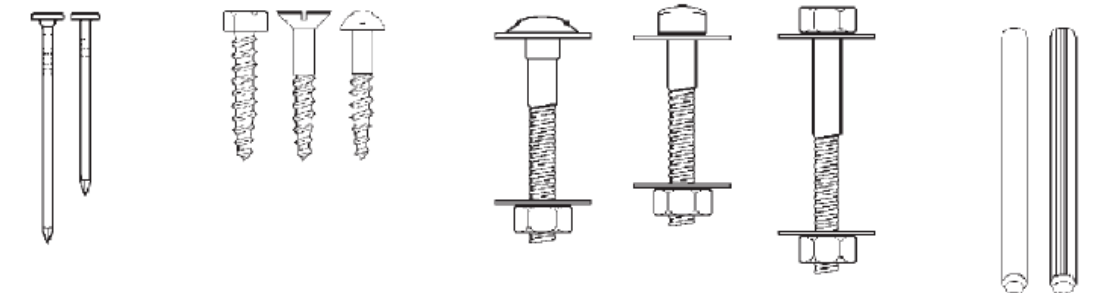


$$F_{v,RK} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \quad (g) \\ 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \quad (h) \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left( \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,RK}}{f_{h,1,k} \cdot t_1^2}} - \beta \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (j) \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,RK} \cdot f_{h,1,d}} + \frac{F_{ax,d}}{4} \quad (k) \end{array} \right.$$



Εικόνα 4.7. Τύποι αστοχίας συνδέσεων ξύλου με χάλυβα.

Ροπή διαρροής συνδέσμων



Εικόνα 4.8. Σύνδεσμοι.

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6}$$

Για την χαρακτηριστική αντοχή άντυνας ξύλου ή ξυλείας συγκολλημένων φύλλων (LVL), ήλων διαμέτρου μέχρι 8 mm:

- Χωρίς προδιάτρηση οπών  $f_{h,k} = 0,082 * \rho_k * d^{-0,3}$  ( $\frac{N}{mm^2}$ )
- Με προδιάτρηση οπών

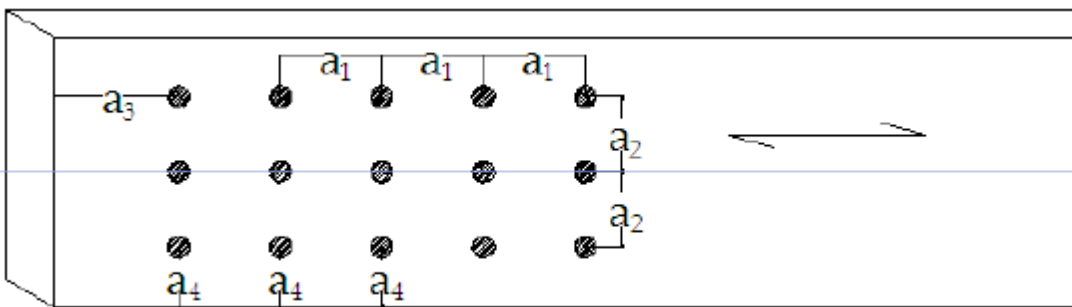
$$f_{h,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k \left( \frac{N}{mm^2} \right)$$

Για την χαρακτηριστική αντοχή άντυγας ξύλου ή ξυλείας συγκολλημένων φύλλων (LVL), κοχλιών και ήλων διαμέτρου μέχρι 8 mm:

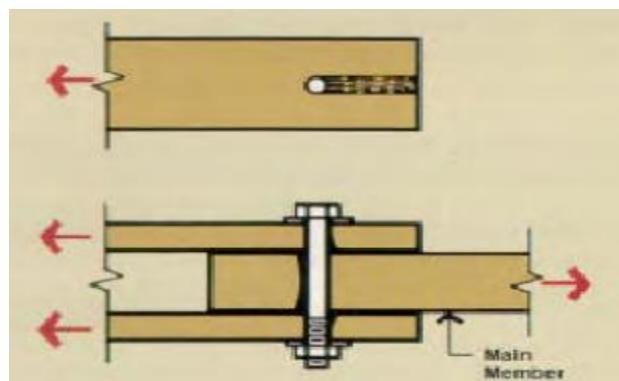
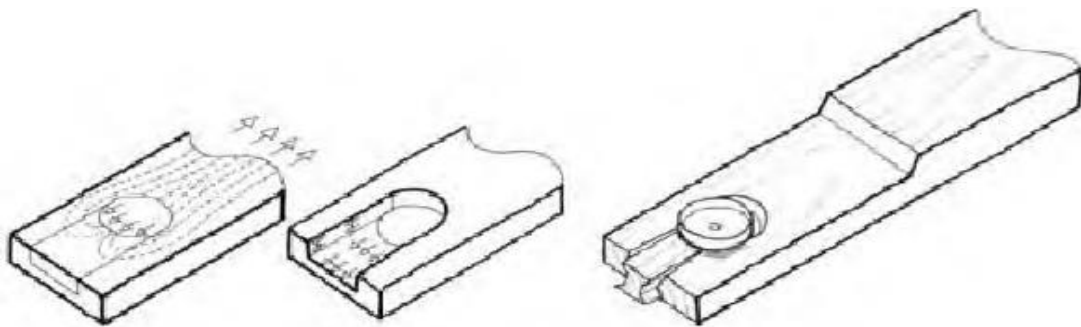
$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k$$

$$f_{h,a,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{\theta 0} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$

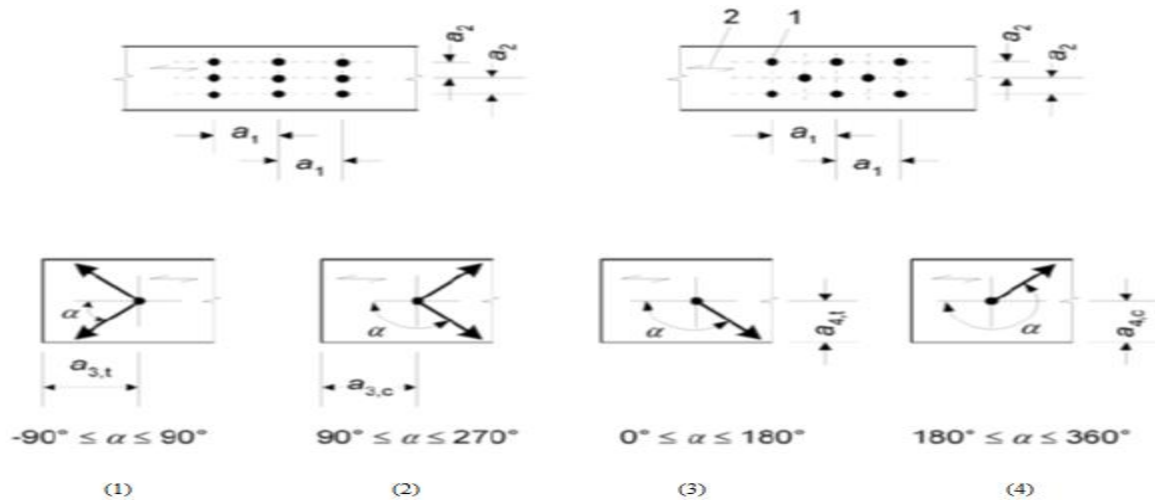
Ελάχιστες αποστάσεις



Φορτιζόμενο άκρο



Εικόνα 4.9. Παράδειγμα σύνδεσης φορτιζόμενου άκρου. ( Timber Data File Seties June 2001 )



Υπόμνημα: (1) Φορτιζόμενο άκρο

(2) Αφόρτιστο άκρο

(3) Φορτιζόμενη πλευρά

(4) Αφόρτιστη πλευρά

1 Σύνδεσμος

2 Διεύθυνση των ινών

Εικόνα 4.10. Αποστάσεις μεταξύ των ήλων και αποστάσεις από τις πλευρές και το άκρο του ξύλου.

**Πίνακας 4.1** Ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ κοχλιών και ελάχιστες αποστάσεις από τις πλευρές και το άκρο του ξύλου. (EC5 8.3.3)

Αποστάσεις μεταξύ και από τις πλευρές και το άκρο του ξύλου (Βλ. Σχήμα 8.7)	Γωνία	Ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ και από τις πλευρές και το άκρο του ξύλου
$a_1$ (παραλλήλως προς τις ίνες) για $\theta \geq 30^\circ$ για $\theta < 30^\circ$	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(10 + 5   \cos \alpha   ) d$ $(15 + 5   \cos \alpha   ) d$
$a_2$ (καθέτως προς τις ίνες)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$15 d$
$a_{3,t}$ (φορτιζόμενο άκρο)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(15 + 5   \cos \alpha   ) d$
$a_{3,c}$ (αφόρτιστο άκρο)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$15 d$
$a_{4,t}$ (φορτιζόμενη πλευρά)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(15 + 5   \sin \alpha   ) d$
$a_{4,c}$ (αφόρτιστη πλευρά)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$10 d$

Δρώντας αριθμός συνδέσμων (π.χ. κοχλίες)

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} * F_{v,Rk}$$

$$n_{ef} = \begin{cases} n \\ n^{0,9 * 4} \sqrt{\frac{a_1}{13 * d}} \end{cases}$$

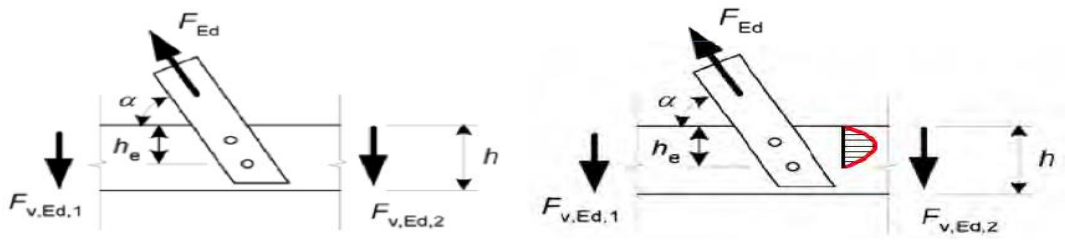


Εικόνα 4.11. Παραδείγματα αστοχιών συνδέσεων. (<http://www.buildnet.gr>)

Εφελκυσμός κάθετα και παράλληλα στις ίνες



Εικόνα 4.12. Παράδειγμα ξύλινης διατομής εφελκόμενης κάθετα και παράλληλα στις ίνες. (Π.Τουλιάτος-  
<http://www.greekarchitects.gr/gr/home>)



Εικόνα 4.13. Συνδέσεις που μεταφέρουν δυνάμεις υπό γωνία-Έλεγχος για τις συγκεντρωμένες τάσεις.

(<http://www.buildnet.gr>)

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rk} = 14 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{(1 - \frac{h_e}{h})}}$$

#### 4.4 Συμπεριφορά και βλάβες συνδέσεων σε σεισμική φόρτιση

**Πίνακας 4.2** Βλάβες συγκεκριμένων συνδέσεων. (Κατσαραγάκης, Ελισσαίος Σ., Ξύλινες Κατασκευές., Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2000.)

Είδος	Πλαστιμότητα	Ερμηνεία της συμπεριφοράς	Αιτίες αστοχιών
<b>ΗΛΟΙ</b>	ΚΑΛΗ	Κάμψη Χαλάρωση Εξόλκευση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μικροί: στράβωμα</li> <li>• Μεγάλοι: τραυματισμός, κακό κάρφωμα</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μικροί</li> </ul> <b>ΚΟΧΛΙΕΣ</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Μεγάλοι</li> </ul>	<p>ΚΑΛΗ</p> <p>ΜΕΤΡΙΑ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κάμψη</li> <li>Χαλάρωση</li> <li>Εξόλκευση</li> <li>○ Άκαμπτα, όχι μετακινήσεις, όχι ανακατανομή.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διάμετρο ήλου και πάχος συνδεομένων ξύλων.</li> <li>○ Ακαμψία, ψαθυρή θραύση στις περιοχές φορτίου καθέτως στις ίνες.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μίκρα <math>\theta \leq 12</math></li> </ul> <b>ΒΛΗΤΡΑ</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Μεγάλα <math>\theta \geq 12</math></li> </ul>	<p>ΚΑΛΗ</p> <p>ΜΕΤΡΙΑ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κάμψη</li> <li>Χαλάρωση</li> <li>Εξόλκευση</li> <li>○ Άκαμπτα, όχι μετακινήσεις, όχι ανακατανομή.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Μεγάλες οπές</li> <li>• Κακή σύσφιξη</li> <li>• Χαλάρωση</li> <li>• Σκισίματα ξύλου λόγω περιβαλλοντικών επιρροών</li> </ul>
<b>ΗΛΟΦΟΡΕΣ ΠΛΑΚΕΣ</b>	ΚΑΛΗ	Κάμψη Χαλάρωση Εξόλκευση	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Κακή τοποθέτηση</li> <li>• Λεπτή πλάκα</li> </ul>



## 5 Κινηματικό μοντέλο για τοίχο CLT

Σε πειραματικές δοκιμές, που πραγματοποιήθηκαν στο Βανκούβερ, εκτελέστηκαν συνολικά 32 απλές και ανακυκλιζόμενες φορτίσεις. Όλοι οι τοίχοι ήταν τριών στρωμάτων CLT πάνελς πάχους 94mm και κατασκευασμένοι από ευρωπαϊκό έλατο σε εργοστάσιο στην Αυστρία. Οι διαστάσεις των πάνελ περιορίστηκαν σε 2,3m λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι χρειάστηκε η μεταφορά τους μέσω κιβωτίων. Οι CLT τοίχοι ελέγχθηκαν με 12 διαφορετικές διαμορφώσεις.

Για τις ανάγκες τις παρούσας διπλωματικής χρησιμοποιήθηκε το πειραματικό μοντέλο διαμορφώσεις I απλής φόρτισης, διαστάσεων 2.3m×2.3m και τα πειραματικά αποτελέσματα, με σκοπό την απλοποίηση του νόμου στήριξης, και τη διερεύνηση της συμπεριφοράς του πανέλου προσομοιάζοντας το στη συνέχεια στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP2000.

### 5.1 Απλοποιημένο μοντέλο στα πλαίσια πειραματικών αναγκών

Οι υφιστάμενες παρατηρήσεις του τοιχώματος CLT αναφέρουν ότι, υπό οριζόντια φόρτιση, η διατμητική παραμόρφωση του είναι ασήμαντη σε σύγκριση με την παραμόρφωση των συνδέσεων του. Με άλλα λόγια, η πλευρική μετατόπιση ενός τοιχώματος CLT προκαλείται κυρίως από πάνελ περιστρεφόμενο ως άκαμπτο σώμα ως προς ένα σταθερό σημείο περιστροφής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.1. Τέτοια περιστροφή του CLT μεταξύ του δαπέδου και της οροφής του τοίχου θα πρέπει να περιορίζεται σε κάποιο βαθμό από το διάφραγμα του πατώματος και της οροφής σε σύγκριση με απομονωμένες δοκιμές τοίχου. Η περιστροφική κίνηση έχει παρατηρηθεί σε πλήρη δομή CLT μέσω δοκιμών πλευρικής φόρτισης.



Εικόνα 5.1.Περιστροφή τοίχου ως στερεό σώμα.

([http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf))

Ένα απλοποιημένο μοντέλο έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια πειραματικών αναγκών, έτσι ώστε να υπολογιστεί η υστερητική συμπεριφορά ενός συστήματος τοίχου τύπου CLT πάνελ. Κάθε μελετητής πρέπει να είναι ενήμερος για την επίδραση ορισμένων υποθέσεων που έχουν ληφθεί υπόψιν κατά τη μοντελοποίηση. Οι κυριότερες υποθέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του μοντέλου είναι:

1. Κάθε τοίχος CLT συμπεριφέρεται ως άκαμπτο σώμα.
2. Κάθε τοίχος CLT, υπό την επίδραση πλευρικής φόρτισης, περιστρέφεται ως προς σταθερό σημείο (κάτω γωνία) αναπτύσσοντας πλευρική μετατόπιση στην κορυφή του τοίχου.
3. Δεν υπάρχει καμία σχετική ολίσθηση μεταξύ τοίχου-δαπέδου.
4. Η βαρυντική δύναμη ενεργεί κάθετα μέσα από το κέντρο βάρους του CLT.
5. Οι συνδέσεις των πάνελ θα παραμορφωθούν κατά τη διάρκεια της περιστροφής του τοίχου και θα αναπτύξουν υστερητική συμπεριφορά για το σύστημα τοίχου τύπου πάνελ.

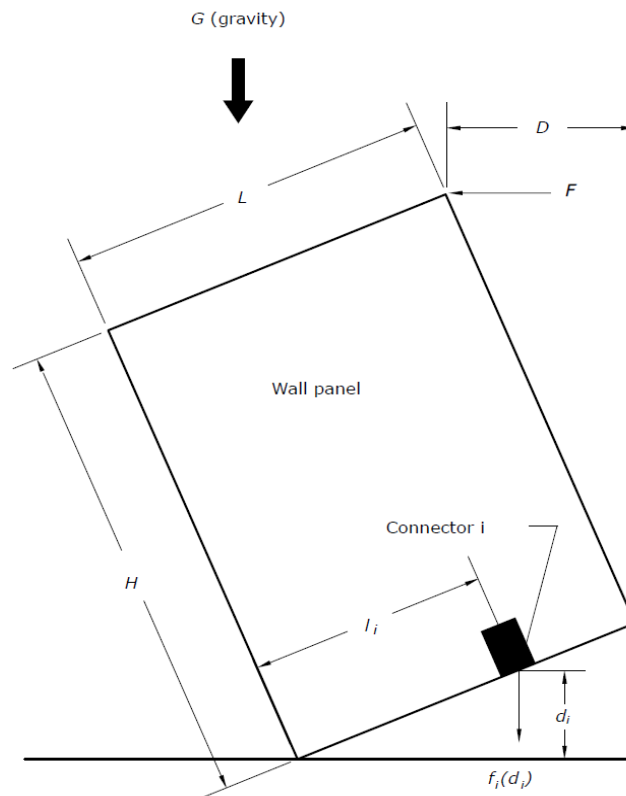
Οι παραπάνω υποθέσεις του κινηματικού μοντέλου παρουσιάζονται στο σχήμα (Σχήμα 5.1.) και βασίζονται στην στατική ισορροπία του σώματος. Η πλευρική δύναμη αντίστασης του τοίχου CLT αντιπροσωπεύεται από την κλιμακωτή άθροιση της αντοχής (δύναμη-μετατόπιση) όλων των συνδέσεων κατά την περιστροφική κίνηση του τοίχου.

Ο συντελεστής κλίμακας για κάθε σύνδεση είναι μία συνάρτηση της θέσης του και της γεωμετρίας του πάνελ. Η δύναμη αντίστασης  $F$  της πλευρικής μετατόπισης  $D$  μπορεί να υπολογιστεί ως εξής :

$$F(D) = \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{H} * f_i(d_i) + \frac{L}{2 * H} * G,$$

$$\text{όπου } d_i = \frac{l_i}{H} * D$$

- $L$ : το μήκος του πάνελ
- $H$ : το ύψος του πάνελ
- $D$ : η πλευρική μετατόπιση στην κορυφή του τοίχου τύπου πάνελ
- $l_i$ : η απόσταση της  $i$  σύνδεσης από το κέντρο περιστροφής του πάνελ
- $d_i$ : η παραμόρφωση-μετατόπιση της  $i$  σύνδεσης
- $F(D)$ : η μη γραμμική δύναμη αντοχής του τοίχου συναρτήσει της μετατόπισης  $D$
- $f_i(d_i)$ : η μη γραμμική δύναμη της  $i$  σύνδεσης συναρτήσει της αντίστοιχης μετατόπισης της  $d_i$ .



Εικόνα 5.2.Κινηματικό μοντέλο απλού ξύλινου πάνελ.

([http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf))

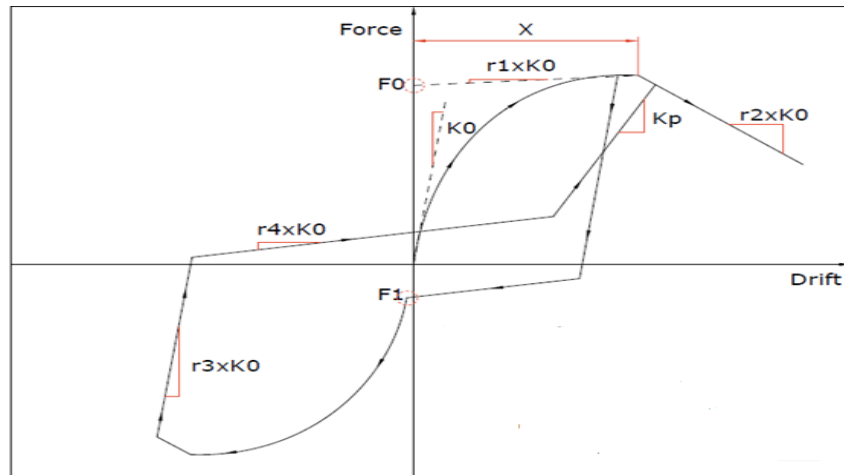
Οι απλοποιημένες υποθέσεις του κινηματικού μοντέλου οδηγούν σε διάφορους περιορισμούς, όπως:

1. Το μοντέλο ισχύει μόνο μέχρι ενός συγκεκριμένου επιπέδου τάσης εξαιτίας της μικρής γωνίας προσέγγισης.
2. Το μήκος του πάνελ πρέπει να είναι αρκετά μικρό έτσι ώστε να ισχύει η υποθετική περιστροφή του ως στερεό σώμα.(πανέλο με μεγάλες αναλογίες μήκους προς ύψος δεν είναι ικανά να περιστραφούν ως προς σταθερό σημείο όπως υποθέσαμε κατά τη μοντελοποίηση)

## 5.2 Αριθμητικό μοντέλο τοίχου κάνοντας χρήση πειραματικών δεδομένων

Το κινηματικό μοντέλο παρέχει απλοποιημένα μέσα υπολογισμού της πλευρικής αντίστασης του τοίχου CLT, ενώ τα συμπεράσματα για την αντίσταση των συνδέσεων μεταξύ τοίχου-πατώματος συνδέονται άμεσα από τη σχέση φόρτισης-μετατόπισης. Τέτοιες καμπύλες φόρτισης-μετατόπισης μπορούν να διαμορφωθούν μέσω δοκιμών συνδέσεων, που θεωρούνται αποδεκτά από πλευράς μοντελοποίησης. Οι συνδέσεις υστέρησης ακολουθούν δέκα παραμέτρους υστερητικού μοντέλου, οι

οποίοι έχουν υιοθετηθεί για διάτμηση ξύλινων πλαισίων και για μοντελοποίηση των συνδέσεών τους. Η συμπεριφορά του μοντέλου και κάθε παραμέτρου ελέγχου φαίνεται στο Σχήμα 5.2.

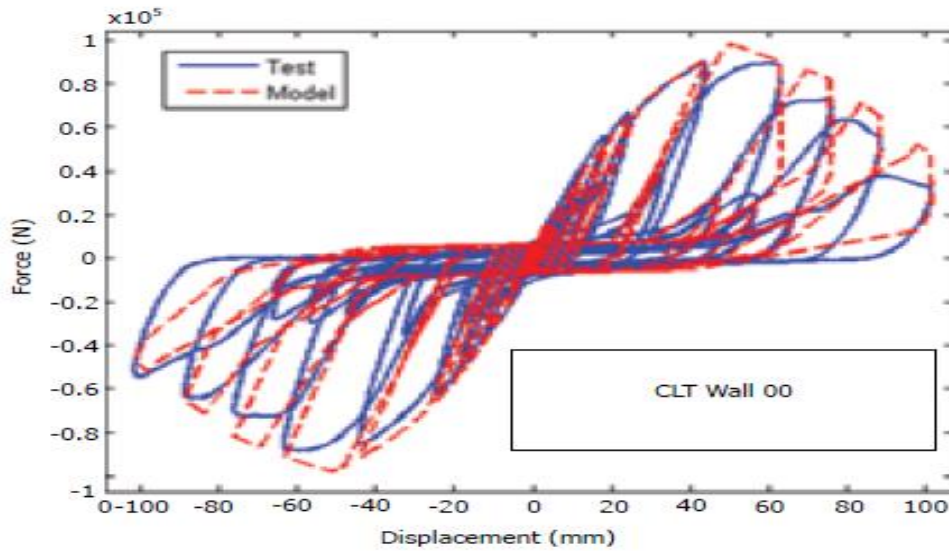


Εικόνα 5.3. Υστερητικό μοντέλο για συνδέσεις CLT.

([http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf))

Η διαδικασία έτσι ώστε να υπολογίσουμε τις παραμέτρους σύνδεσης διεξήχθη ως εξής:

1. Πειραματικές πληροφορίες αριθμητικών μοντέλων για κάθε τοίχο CLT με δοκιμές των παραμέτρων σύνδεσης.
2. Καθορισμός αριθμητικού μοντέλου τοίχου με τις ίδιες μετατοπίσεις που προέκυψαν στις πειραματικές δοκιμές.
3. Σύγκριση του μοντέλου απλής φόρτισης ή του υστερητικού μοντέλου εναλλασσόμενης με τις πειραματικές μετρήσεις.
4. Προσαρμογή των παραμέτρων σύνδεσης για να βελτιωθεί η ακρίβεια του μοντέλου.
5. Επανάληψη των βημάτων 2,3,4 μέχρι το μοντέλο να ταιριάζει αρκετά με το παρατηρούμενο πειραματικό συμπέρασμα.



Εικόνα 5.4. Βρόχος υστερητικής συμπεριφοράς τοίχου με σύνδεση.

([http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf))

Το παραπάνω διάγραμμα απεικονίζει τη σχέση δύναμης-μετατόπισης αριθμητικού μοντέλου συγκριτικά με την αντίστοιχη σχέση πειραματικών μοντέλων.

Παρατηρείται εμφανώς πως η επάρκεια της ακρίβειας του μοντέλου για τον σχεδιασμό και την ανάλυση. Οι παράμετροι σύνδεσης που ελήφθησαν υπόψη κατά τη διαδικασία παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.1.). Αυτές οι παράμετροι σύνδεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη πλευρικών αποκρίσεων για ένα δεδομένο τοίχο CLT βασιζόμενο στις κινηματικές υποθέσεις που διατυπώθηκαν παραπάνω.

**Πίνακας 5.1** Παράμετροι συγκεκριμένου τύπου συνδέσεις.

([http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf))

Τύπος σύνδεσης	Υστερητικοί παράμετροι									
	$K_0$ (KN/m)	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_4$	$F_0$ (KN)	$F_1$ (KN)	$x$ (mm)	$a$	$B$
16D-SN	1400	0.005	-0.20	1	0.01	53	0.178	63.5	0.50	1.10

Ο τύποι συνδέσεων βασισμένος στα αποτελέσματα των πειραμάτων:

- 16D-SN: 16d spiral mails with  $D=3.9\text{mm}$  και  $L=89\text{mm}$

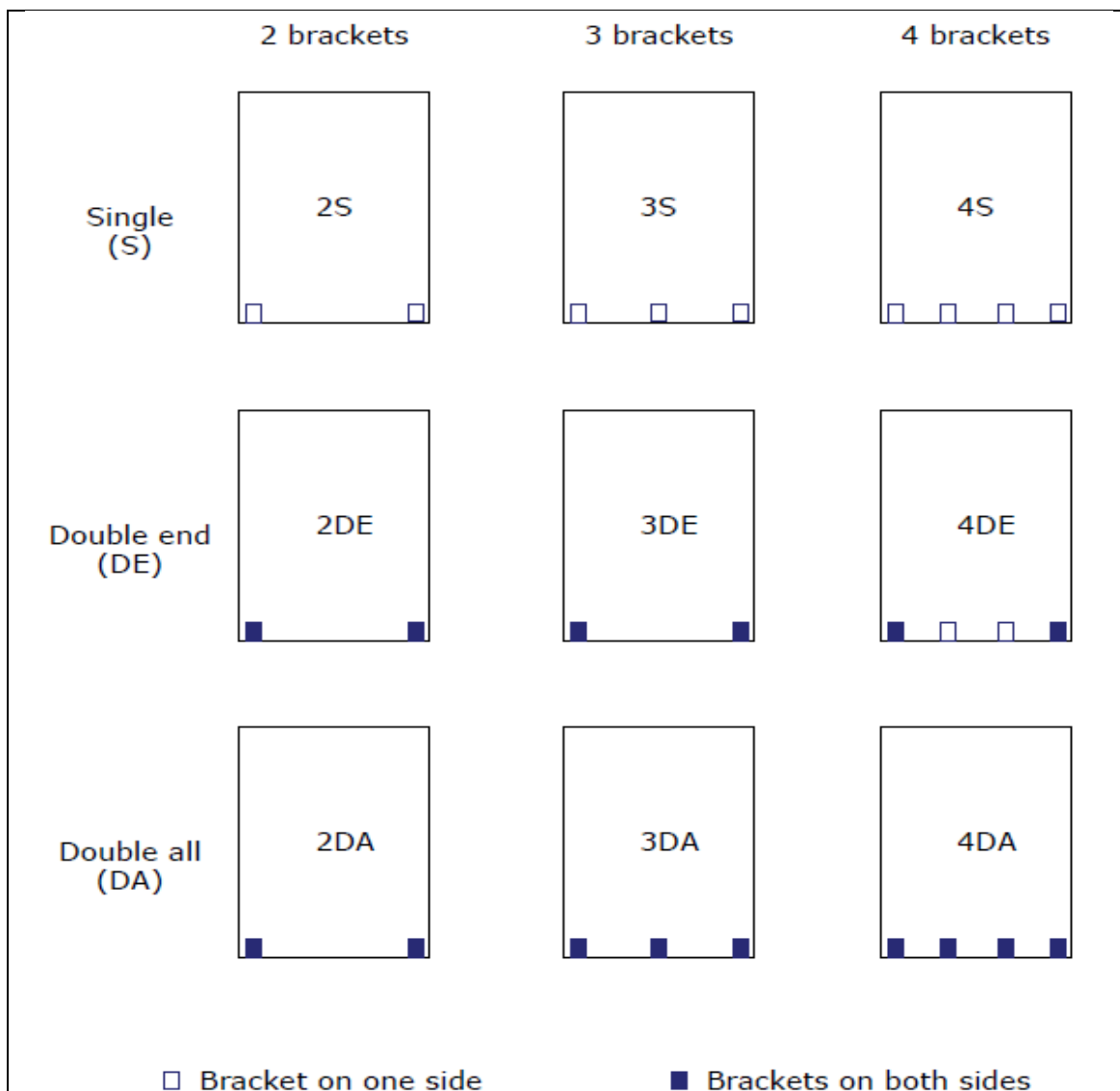
### 5.3 Πειραματικές διαμορφώσεις τοίχου CLT

#### 5.3.1 Τυπικές διαμορφώσεις συνδέσεων τοίχου CLT

Διάφορες τυπικές διαμορφώσεις συνδέσεων τοίχου CLT παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.2.). Κάθε στήριξη έχει εγκατασταθεί είτε με έξι 16D σπειρωτούς ήλους είτε με τέσσερις κοχλίες που είναι ο μέγιστος αριθμός συνδέσεων ανα στήριξη κατά τις διατμητικές δοκιμές τοίχου.

**Πίνακας 5.2** Τυπικές διαμορφώσεις συνδέσεων τοίχου CLT.

([http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf))



Το ύψος όλων των πάνελ σε τυπική διαμόρφωση τοίχου είναι 2.44m. Το μήκος ενός μονού πάνελ μπορεί να ποικίλει από 0.92m- 1.83m. Για μήκος τοίχου ίσο ή μεγαλύτερο των 2.44m τέσσερα πάνελ συνδυάστηκαν μαζί έτσι ώστε να μπορούν να περιστραφούν όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Στον

Πίνακα 5.2. ο δείκτης "S" σημαίνει μονής όψης στηρίγματα, ο δείκτης "DE" σημαίνει διπλής όψης στο τέλος του πάνελ και ο δείκτης "DA" σημαίνει πως όλα τα στηρίγματα του πάνελ είναι διπλής όψης. Πρέπει να σημειωθεί ότι, σε περίπτωση πάνελ τοίχου με μόνο δύο στηρίγματα, οι ιδανικές συνθέσεις συνδέσεων είναι οι "DE" και "DA".

Για κάθε διαμόρφωση ξύλινου τοίχου, οι απαραίτητες παράμετροι (ή καμπύλες) πλευρικής αντίστασης τοίχου, εξαρτώνται από τις απαιτήσεις εφαρμογής του σχεδιασμού, συμπεριλαμβάνοντας:

1. Έσχατη πλευρική δύναμη τοίχου για την ανάπτυξη επιτρεπόμενου επιπέδου φόρτισης για ισοδύναμες στατικές δυνάμεις σχεδιασμού.
2. Καμπύλη δύναμη-μετατόπιση του τοίχου για μη γραμμική ανάλυση push over.
3. Υστερητική απόκριση του τοίχου για πιο προηγμένης χρονικής μη γραμμικής μοντελοποίησης και προσομοίωσης.

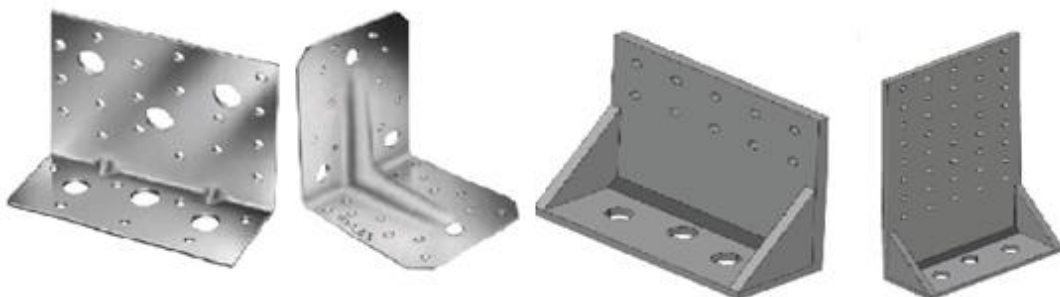
### 5.3.2 Πειραματικές δοκιμές CLT πάνελ

Όλα τα δείγματα τοίχων συναρμολογήθηκαν χρησιμοποιώντας συνδετήρες υλικού και πείρου όπως φαίνεται στις εικόνες Εικόνα 5.5 και Εικόνα 5.6. Τέσσερις διαφορετικοί τύποι γωνιακά (Α,Β,Γ,Δ) χρησιμοποιήθηκαν για τη σύνδεση τοιχωμάτων-δαπέδου (Εικόνα 5.5) .

Γωνιακό στήριγμα Α: Simpson Strong-Tie AE116 (90mm×48mm×116mm)

Γωνιακό στήριγμα Β: Simpson Strong Tie ABR105 (90mm×105mm×105mm)

Γωνιακά στηρίγματα Γ και Δ: φτιάχνονται κατόπιν παραγγελίας (6.4mm) από λεπτές χαλύβδινες πλάκες, για να φιλοξενήσουν ξύλινους πείρους.



(α)Στήριγμα Α

(β)Στήριγμα Β

(γ)Στήριγμα Γ

(δ)Στήριγμα Δ

Εικόνα 5.5.Γωνιακά στηρίγματα για CLT τοίχους που χρησιμοποιήθηκαν στις πειραματικές δοκιμές.

([http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf))



Εικόνα 5.6. Συνδετήρες που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα.

([http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf))


- a) 16d σπειρωτός ήλος D=3.9mm και L=89mm
- b) 10d σπειρωτός ήλος D=3.3mm και L=63mm
- c) Δακτυλιοειδής ήλος D=3.4mm και L=76mm
- d) SFS2 βίδα D=5.0mm και L=90mm
- e) SFS1 βίδα D=4.0mm και L=70mm
- f) Ξύλινοι πείροι L=90mm
- g) Ξύλινοι πείροι L=65mm
- h) WT-T βίδα (6.5mm×130mm)
- i) WT-T βίδα D=38mm και L=80mm

Οι τοίχοι της διαμόρφωσης I, διαστάσεων 2.3m×2.3m, έχουν τέσσερα γωνιακά στηρίγματα τύπου A που απέχουν μεταξύ τους κατά 710mm από κέντρο βάρους. Στους τοίχους τύπου I (00,01,02,03) χρησιμοποιούνται στηρίγματα τύπου A, τα οποία συνδέονται με τον τοίχο με δεκαοκτώ 16d σπειρωτούς ήλους(SN) με D=3.9mm και L=89mm (Πίνακας 5.3.).



**Πίνακας 5.3** Διαμορφώσεις μοντέλων τοίχων CLT για πειραματικές δοκιμές.

([http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf))

	Διαμόρφωση τοίχου	Ονομασία τοίχου	Τύπος σύνδεσης	Κάθετο κατανεμημένο φορτίο (KN/m)	Επιβαλλόμενη φόρτιση
I		00	Στήριγμα A SN 16d, n=18	0	Μονότονη
		01		10	Μονότονη
		02		10	Ανακυκλιζόμενη
		03		20	Ανακυκλιζόμενη

### 5.3.3 Εγκατάσταση πειραματική δοκιμής

Ένα στερεό μοντέλο της εγκατάστασης για την πειραματική δοκιμής με ένα τοίχο έτοιμο για δοκιμή παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.7. Μία χαλύβδινη δοκός με δοκίδες ενίσχυσης αποτελεί το θεμέλιο για το οποίο τα δείγματα θα βιδωθούν στη βάση τους. Μια άλλη άκαμπτη δοκός χάλυβα που ήταν βιδωμένη στην κορυφή του CLT τοίχου χρησιμοποιήθηκε ως μπάρα επιβολής πλευρικού φορτίου. Πλευρικά συστήματα με κυλίνδρους χρησιμοποιήθηκαν επίσης για να εξασφαλίσουν μια σταθερή και συγχρόνως μια κατεύθυνσης μετακίνηση των τοίχων. Κατακόρυφο φορτίο εφαρμόζεται χρησιμοποιώντας υδραυλικό ενεργοποιητή 13.3N που βρίσκεται στη μέση κάθε πλευράς του τοίχου τύπου I μήκους 2.3m ή με χρήση δύο τέτοιων ενεργοποιητών που βρίσκονται σε τρία σημεία σε κάθε πλευρά του τοίχου τύπου II, μήκους 3,45m. Αναγνωρίζεται ότι αυτό θα συμπεριφερθεί ελαφρώς διαφορετικά από το φορτίο βαρύτητας, αλλά επιτρέπει να καθοριστεί η δύναμη επαναφοράς έτσι ώστε να ταιριάζει με ακρίβεια στο υστερητικό μοντέλο για τις αναλύσεις. Ο τοίχος 00, τύπου I, που θα ελεγχθεί η συμπεριφορά του και μέσω του προγράμματος SAP2000, δεν φορτίστηκε κατακόρυφα.



Εικόνα 5.7. Εγκατάσταση πειραματικών δοκιμών τοίχων CLT.

([http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf))

#### 5.4 Αποτελέσματα πειραματικών δοκιμών

Όπως ήταν αναμενόμενο, τα πάνελ τοίχου CLT συμπεριφέρθηκαν σχεδόν σαν στερεά σώματα κατά τη διάρκεια των πειραμάτων. Αν και μετρήθηκαν μικρές παραμορφώσεις διάτμησης στα πάνελ, οι περισσότερες από τις εκτροπές πάνελ συνέβησαν ως αποτέλεσμα της παραμόρφωσης στις αρθρώσεις που συνδέουν τους τοίχους με το κτήριο. Επιλεγμένες μέσης τιμές ιδιότητες των CLT τοίχων, με βάση τις καμπύλες υστερητικών βρόχων που προέκυψαν από τις δοκιμές, δίδονται στον Πίνακα 5.4. . Στον Πίνακα 5.4,  $K_y$  είναι η αρχική ακαμψία, η μετατόπιση  $\Delta y$ ,  $F_{max}$  το μέγιστο φορτίο, η μετατόπιση  $\Delta F_{max}$  που αντιστοιχεί στο μέγιστο φορτίο και  $\Delta u$  η τελική μετατόπιση. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα ευρήματα που παρουσιάζονται εδώ βασίζονται σε ένα μονό τοίχωμα δοκιμής. Ανάλυση των δεδομένων δοκιμής διεξήχθη χρησιμοποιώντας τη διαδικασία που ορίζεται στο Πρότυπο ASTM E 2126 (ASTM International, 2009).

Διαπιστώθηκαν εμφανώς τα ακόλουθα:

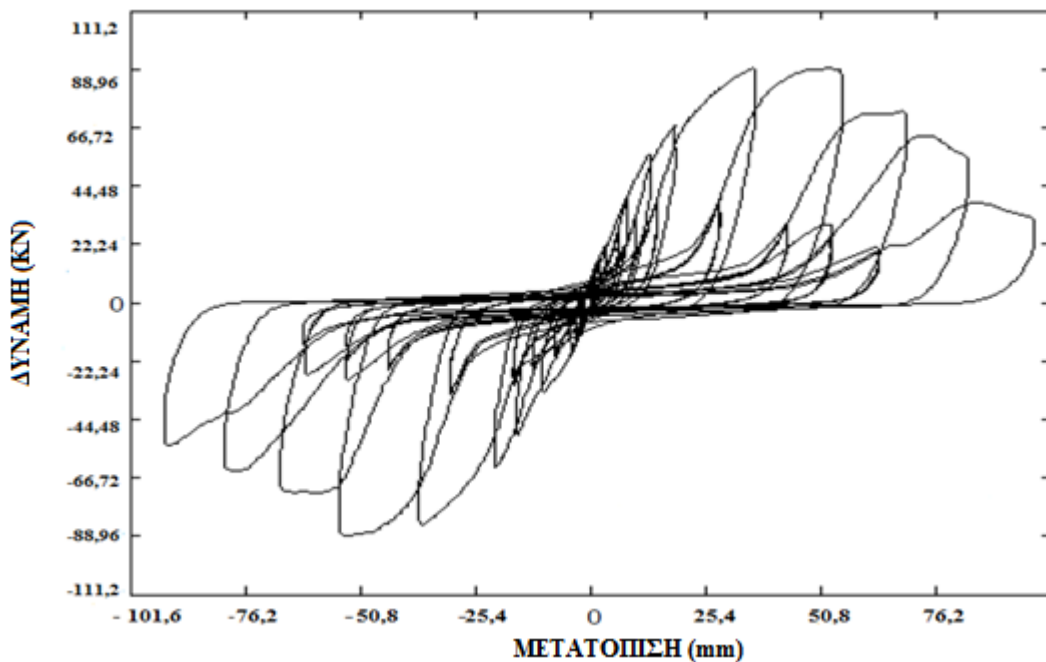
Τοίχος 00 τύπου I χωρίς κατακόρυφο φορτίο είχε μια μέγιστη πλευρική αντίσταση των 88.9KN (Σχήμα 5.3), ενώ Wall 02 με επιβαλλόμενο κάθετο φορτίο 10KN/m είχε μία πλευρική αντίσταση των 90.3KN (Σχήμα 5.4). Όταν το κατακόρυφο φορτίο αυξήθηκε σε 20KN/m -Τοίχος 03 τύπου I, η πλευρική αντίσταση αυξήθηκε σε 98.1KN, μια αύξηση της τάξης του 10% (Σχήμα 5.5). Φαίνεται ότι το αξονικό φορτίο έπρεπε να είναι τουλάχιστον 20KN/m ή υψηλότερο για να έχει οποιαδήποτε σημαντική επίδραση στην πλευρική αντίσταση φορτίου. Η ποσότητα του κατακόρυφου φορτίου, ωστόσο, είχε υψηλότερη επίδραση στην ακαμψία τοιχώματος. Η ακαμψία του τοίχου 03 ήταν 28% υψηλότερη από εκείνη του τοίχου 00. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε ένα σύστημα επίπεδο (κτήριο), το κατακόρυφο φορτίο έχει σχετικά σημαντική επίδραση επί της σεισμικής συμπεριφοράς των

κτηρίων CLT, ειδικά σε υψηλότερα επίπεδα παραμόρφωσης, όταν ουσιαστικά τα CLT πάνελ μετατραπούν σε δομικά στοιχεία ανακυκλιζόμενης φόρτισης. Θα αρκεστούμε στα αποτελέσματα του πειράματος χωρίς κατακόρυφο φορτίο και με απλή φόρτιση για τη συνέχεια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

**Πίνακας 5.4. Αποτελέσματα πειραμάτων.**

([http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf))

Ονομασία τοίχου	$K_y$ (KN/m)	$\Delta_y$ (cm)	$F_{max}$ (KN)	$\Delta_{Fmax}$ (cm)	$\Delta_u$ (cm)
00	1278	2.06	88.96	4.50	6.66



Εικόνα 5.8. Διάγραμμα Δύναμη-Μετατόπιση τοίχου 00.

([http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf))



## 6 Προσομοίωση πάνελ σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP2000

### 6.1 Non linear supports

Σε ορισμένες εκδόσεις του SAP, μπορούν να ορισθούν μη γραμμικές στηρίξεις χρησιμοποιώντας Link/Support Element. Οι συνθήκες μη γραμμικής στήριξης, που μπορούν να μοντελοποιηθούν περιλαμβάνουν gaps (compression only), multi-linear elastic ή plastic springs, viscous dampers και άλλα.

Το Link/Support Element μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους :

- 1) Μπορούμε να προσθέσουμε (draw) μια one-joint element, που σε κάθε περίπτωση λαμβάνει υπόψη το Support Element και συνδέει την άρθρωση κατευθείαν με το έδαφος.
- 2) Το στοιχείο μπορεί να σχεδιασθεί με δύο στηρίξεις, που σε κάθε περίπτωση λαμβάνει υπόψη ένα Link Element. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα Link Element ως στήριξη αν συνδεθεί μια άκρη της κατασκευής και συγκρατηθεί (restrain) η άλλη άκρη.

Οι δύο μέθοδοι έχουν τα ίδια αποτελέσματα, αλλά χρησιμοποιώντας το two-joint Link Element επιτρέπεται να πραγματοποιηθεί Ground displacement load στο συγκρατημένο άκρο (restrained), το οποίο δεν μπορεί να συμβεί με one-joint Support Element.

Πολλαπλά Link/Support Elements μπορούν να σθνδεθούν σε μία στήριξη, σε περίπτωση που δρουν παράλληλα. Κάθε Link/Support Element έχει δικό του τοπικό σύστημα συντεταγμένων, το οποίο είναι ανεξάρτητο από το τοπικό σύστημα συντεταγμένων της στήριξης.

Restraints και springs μπορεί να υπάρχουν στη στήριξη. Φυσικά, κάθε βαθμός ελευθερίας, ο οποίος είναι restrained θα αποτρέψει την παραμόρφωση στο Link/Support Element προς αυτή την κατεύθυνση.

Το Link Element χρησιμοποιείται για σύνδεση δύο στηρίξεων μεταξύ τους. Το Support Element χρησιμοποιείται για σύνδεση της στήριξης με το έδαφος.

Σε περίπτωση που η δυσκαμψία είναι μηδενική  $K=0$  καμία μη γραμμική δύναμη δεν μπορεί να παραχθεί για αυτόν το βαθμό ελευθερίας, εκτός από τη δύναμη του εκκρεμούς στο Isolator 2 property.

Σε περίπτωση που περιορίσουμε τις ελαστικές παραμορφώσεις σε ένα συγκεκριμένο εσωτερικό ελατήριο, είναι αρκετό να χρησιμοποιήσουμε μία τιμή του  $K$  η οποία κυμαίνεται από  $10^2$ - $10^4$  φορές μεγαλύτερη όσο η αντίστοιχη δυσκαμψία των συνδεδεμένων στοιχείων.

## 6.2 Υπολογισμός φέρουσα ικανότητα συνδέσμων σύμφωνα με τον EC5

### Δεδομένα:

- Ήλοι (σπειρωτοί) με ελικοειδείς νευρώσεις:  $d=3.9\text{mm}$ ,  $L=89\text{mm}$
- Αριθμός ήλων σε κάθε στήριξη :  $n=18$
- Διαστάσεις τοίχου CLT :  $2.3\text{m}\times 2.3\text{m}\times 0.094\text{m}$
- Χαρακτηριστική πυκνότητα του ξύλου σε  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  : Για συγκολλητή ξυλεία GL24  $\rho_k=380\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

### **Ήλοι υπό εγκάρσια φόρτιση**

Οι ήλοι που χρησιμοποιήθηκαν τοποθετήθηκαν σε προδιατετριμένες οπές παρά το γεγονός ότι η προδιάτρηση είναι υποχρεωτική για την ήλωση ξύλων πυκνότητας  $500\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  και άνω, που στην περίπτωσή μας Για συγκολλητή ξυλεία GL24  $\rho_k=380\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  ώστε να αποφεύγεται η ρηγμάτωση του ξύλου και να γίνεται δυνατή η ήλωση σκληρών ξύλων.

Για ήλους μέχρι  $8\text{mm}$  η αντοχή άντυνας  $f_{h,k}$  υπολογίζεται από τις παρακάτω σχέσεις, ανεξάρτητα από την κλίση της διαβιβαζόμενης δυνάμεως ως προς τις ίνες του ξύλου

$$\text{Με προδιάτρηση: } f_{h,k}=0.082\times(1-0.01\times d)\times\rho_k=0.082\times(1-0.01\times 3.9)\times 380=30\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### **Σύνδεση ξύλου με χαλύβδινη λεπίδα**

Πάχος λεπίδας  $t=3\text{mm} > 0.5\times d=0.5\times 3.9\text{mm}=1.95\text{mm}$

Χαρακτηριστική ροπή διαρροής για στρογγυλούς ήλους :

$$M_{y,d}=180\times d^{2.6}=180\times 3.9^{2.6}=6195\text{Nmm}$$

Υπολογιστική φέρουσα ικανότητα ανά τμήση και ανά σύνδεσμο:

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 1.1 \times f_{h,1,d} \times t_1 \times d \times \left( \sqrt{2 + \frac{4 \times M_{y,d}}{f_{h,1,d} \times d \times t_1^2}} - 1 \right) \\ 1.5 \times \sqrt{2 \times M_{y,d} \times f_{h,1,d} \times d} \end{array} \right.$$

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 1.1 \times 30 \times 94 \times 3.9 \times \left( \sqrt{2 + \frac{4 \times 6195}{30 \times 94 \times 3.9^2}} - 1 \right) \\ 1.5 \times \sqrt{2 \times 6195 \times 30 \times 3.9} \end{array} \right.$$

$$R_d = \min \left\{ \begin{array}{l} 5113 \\ 2205 \end{array} \right. = 2205 \text{ N}$$

Συνολικά έχουμε 18 ήλους σε κάθε σύνδεση:  $18 \times 2205 = 39690 \text{ N} = 40 \text{ KN}$

### 6.3 Προσομοίωση στο SAP2000 του πειραματικού μοντέλου

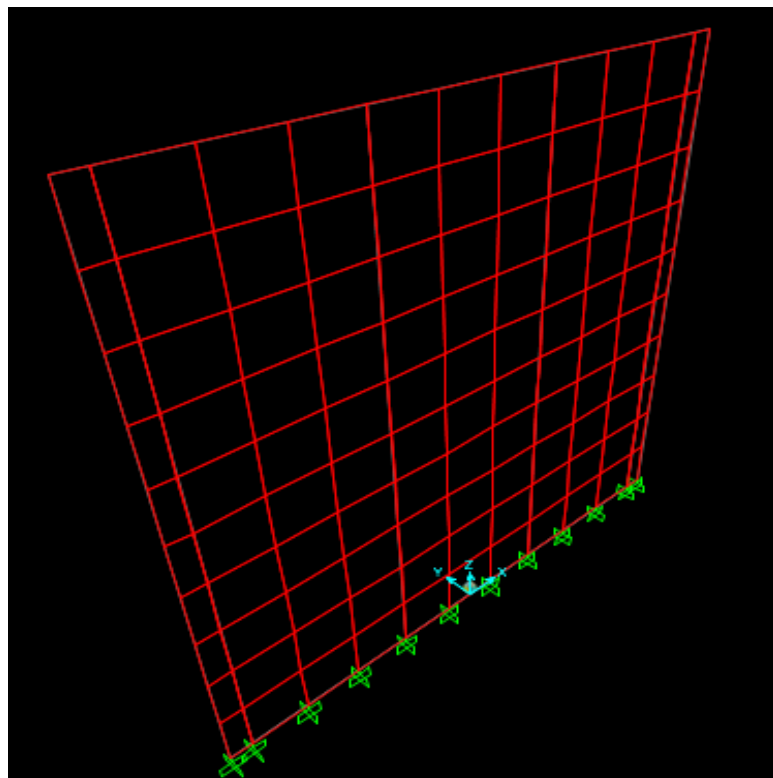
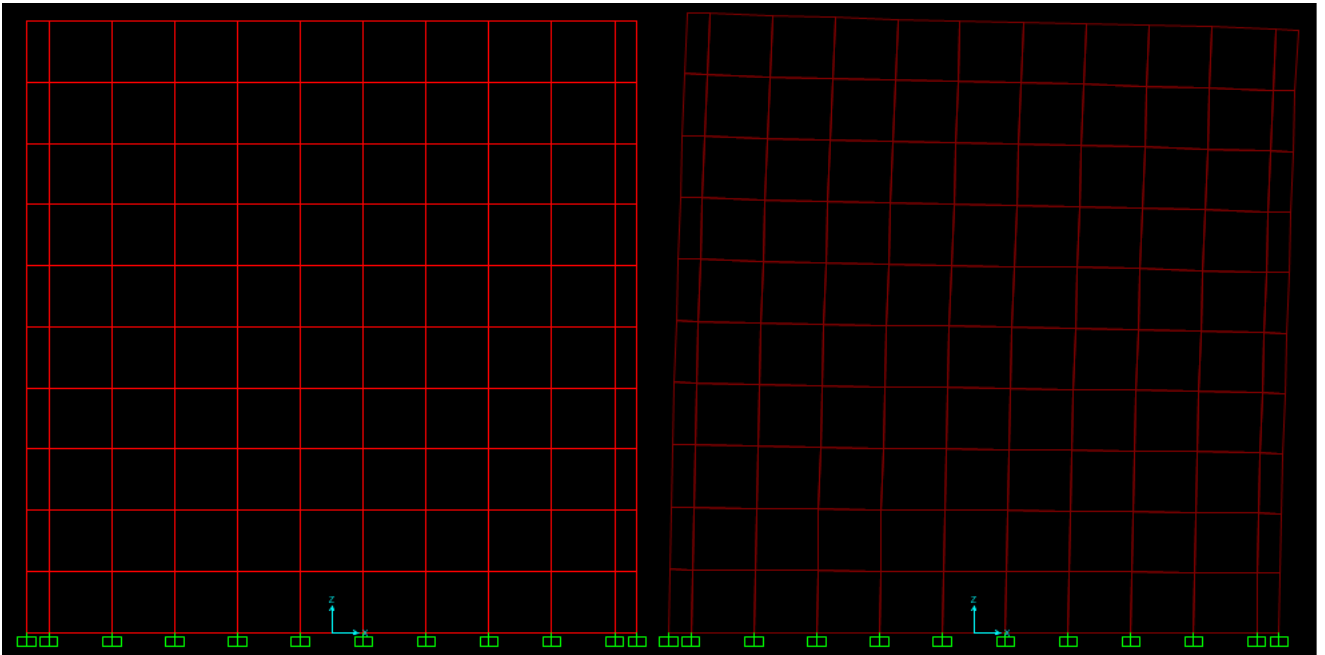
#### Δεδομένα

- Γλικό τοίχου: Συγκολλητή ξυλεία CLT GL24 τριών στρώσεων.
- Χαρακτηριστική πυκνότητα του ξύλου σε  $\frac{kg}{m^3}$ : Για συγκολλητή ξυλεία GL24  $\rho_k = 380 \frac{kg}{m^3}$
- Διαστάσεις τοίχου CLT :  $2.3m \times 2.3m \times 0.094m$

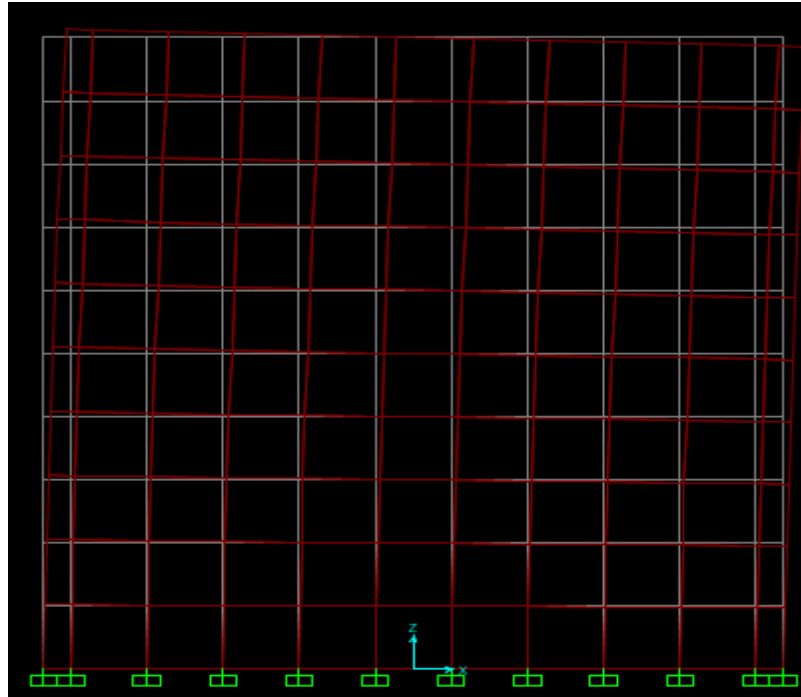


Σχήμα 6.1. Πανέλο CLT  $2.3m \times 2.3m \times 0.094m$ .

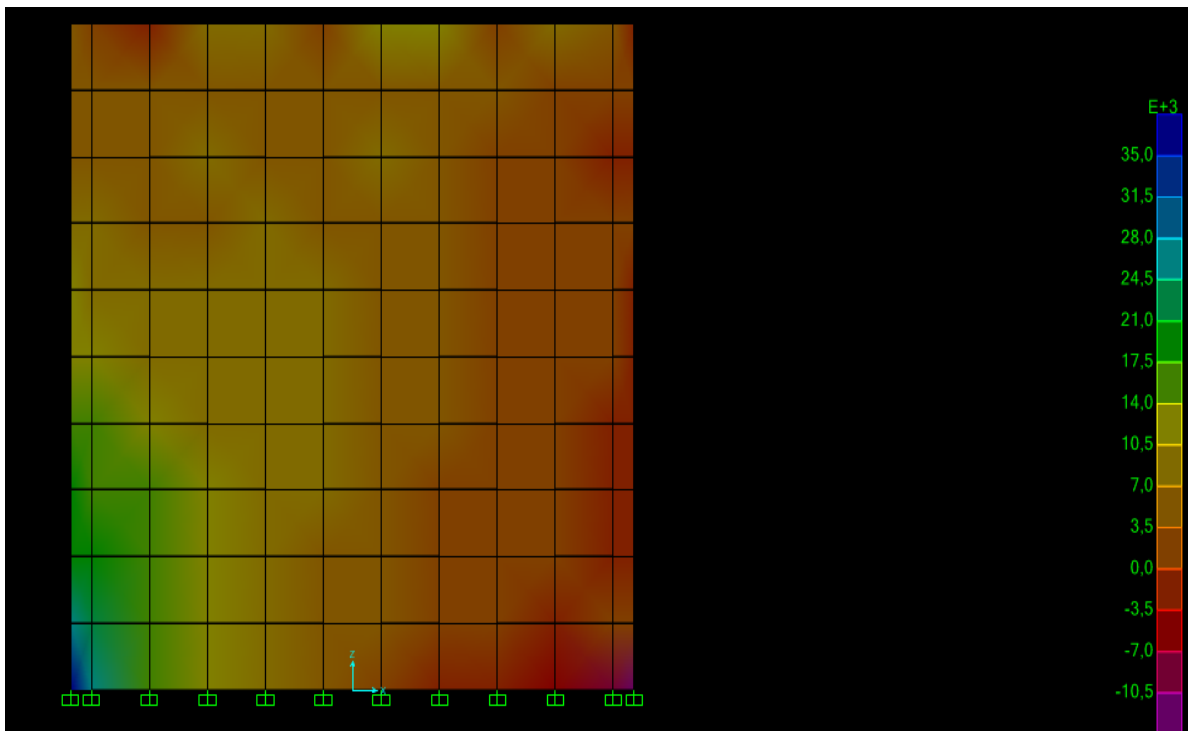
6.3.1 Προσομοίωση στο SAP2000 τοίχου CLT από πειραματικές δοκιμές πακτωμένου στη βάση του



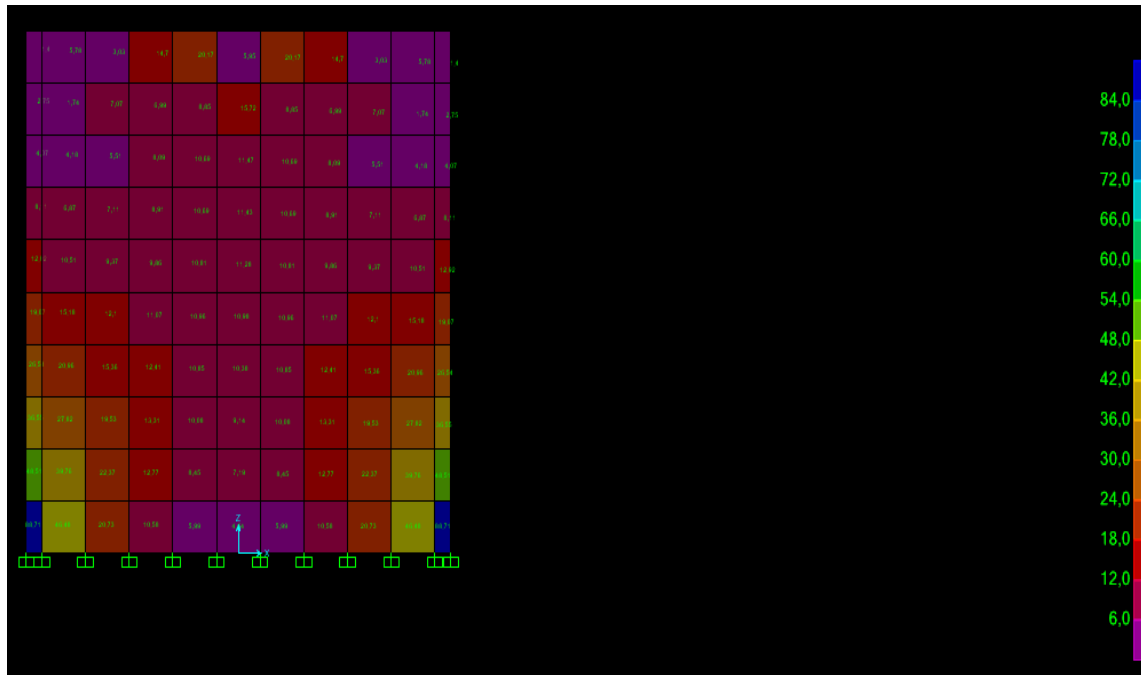




Σχήμα 6.2. Προσομοίωση τοίχου στο λογισμικό του SAP.



Σχήμα 6.3. Διάγραμμα  $S_{max}$  υπό οριζοντιο φορτίο.



Σχήμα 6.4.Relative virtual work/volume (Px/Px)

Διευκολύνει ιδιαίτερα στους υπολογισμούς να θεωρούμε τον τοίχο πακτωμένο θεωρώντας πως συμπεριφέρεται γραμμικά και ισχύουν οι διατάξεις του EC5.

Από την επίλυση του πακτωμένου πανέλου CLT στο SAP για επιβολή εγκάρσιας δύναμης 100kN προέκυψε μέγιστη μετακίνηση 7mm, οπότε προκύπτει η ακαμψία του πανέλου ως

$$K = \frac{F}{\delta} = \frac{100}{0.007} = 14000 \frac{KN}{m}. \text{ Η μέγιστη ακαμψία του πανέλου στη πειραματική δοκιμή } K_0 = 4400 \frac{KN}{m}.$$

$T_0$ : ιδιοπερίοδος ελαστικό πανέλου

$T'$ : ιδιοπερίοδος ανελαστικού πανέλου

$$T = 2 \times \pi \sqrt{\frac{m}{K}}$$

$$K = \frac{12 \times E \times I}{L^3}$$

$$\text{Άρα: } K = 10 \times K_0 \Rightarrow EI = 3 \times (EI)_0 \Rightarrow \frac{T_0}{T} = \sqrt{\frac{\frac{m \times L^3}{12 \times (EI)_0}}{\frac{m \times L^3}{12 \times E \times I}}} = \sqrt{\frac{E \times I}{(E \times I)_0}} = \sqrt{\frac{10 \times E \times I}{E \times I}} = \sqrt{3} \Rightarrow$$

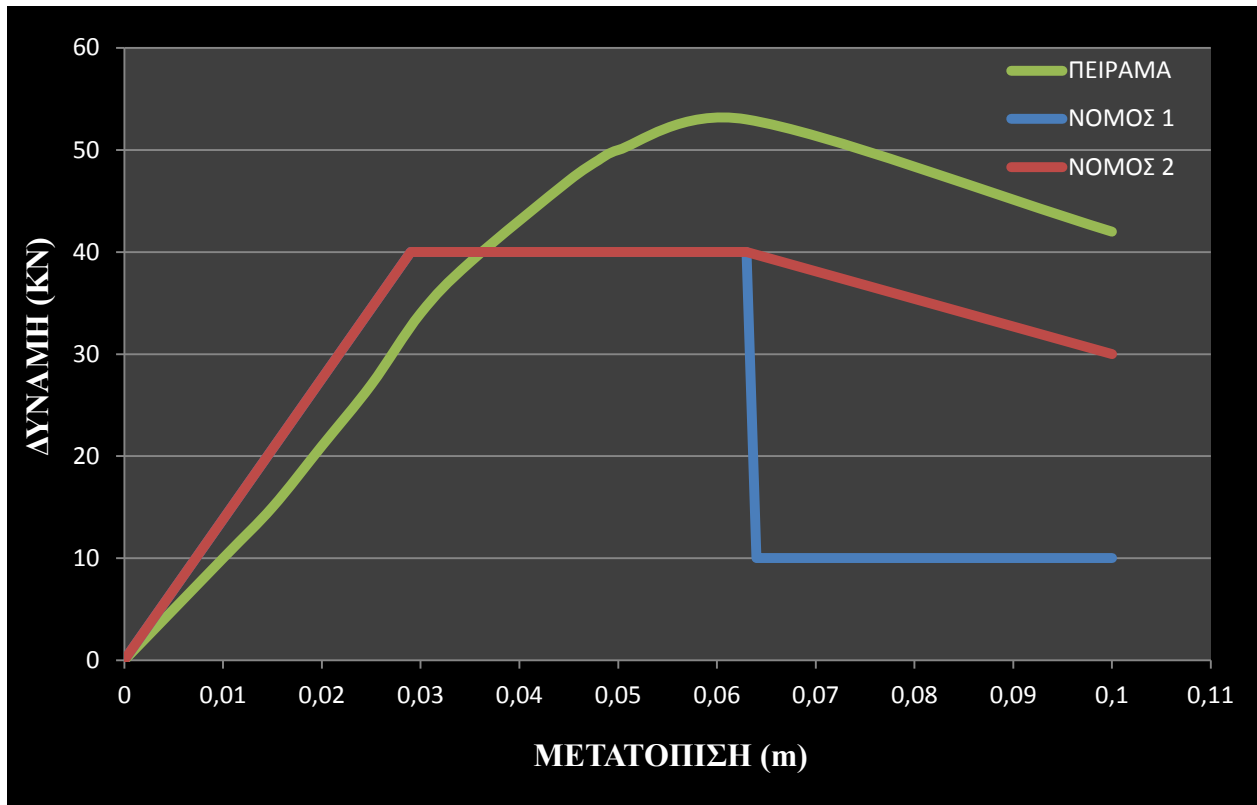
$$T_0 = T \times \sqrt{3} = 1.7 \times T$$

Διαπιστώνουμε πως αν θεωρηθεί ο τοίχος πακτωμένος στη βάση του η ακαμψία του υπολογίζεται 3 φορές πιο μεγάλη. Μπορούμε να λύσουμε το πανέλο σαν να συμπεριφέρεται γραμμικά όμως να λάβουμε στους υπολογισμούς μας το  $\frac{1}{3}$  της ροπής αδράνειας, το  $\frac{1}{3} \times EI$ . Η αστοχία του πανέλου προκαλείται από τη διαρροή των συνδέσμων στη βάση του οπότε πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τη μείωση του EI. Η μείωση αυτή είναι απαραίτητη λόγω της παραμορφωσιμότητας των μεταλλικών συνδέσμων, που αγνοούμε στο πακτωμένο πανέλο. Με αυτόν τον τρόπο η ιδιοπερίοδος θα αυξηθεί κατά 1.7, αφού είναι αντιστρόφος ανάλογη της  $\sqrt{EI}$  και θα προκύψει πιο ρεαλιστική τιμή της σεισμικής δύναμης. Σε αντίθετη περίπτωση θα φορτίσουμε με μεγαλύτερη δύναμη που δεν αντέχουν οι σύνδεσμοι.

### 6.3.2 Μη γραμμική ανάλυση

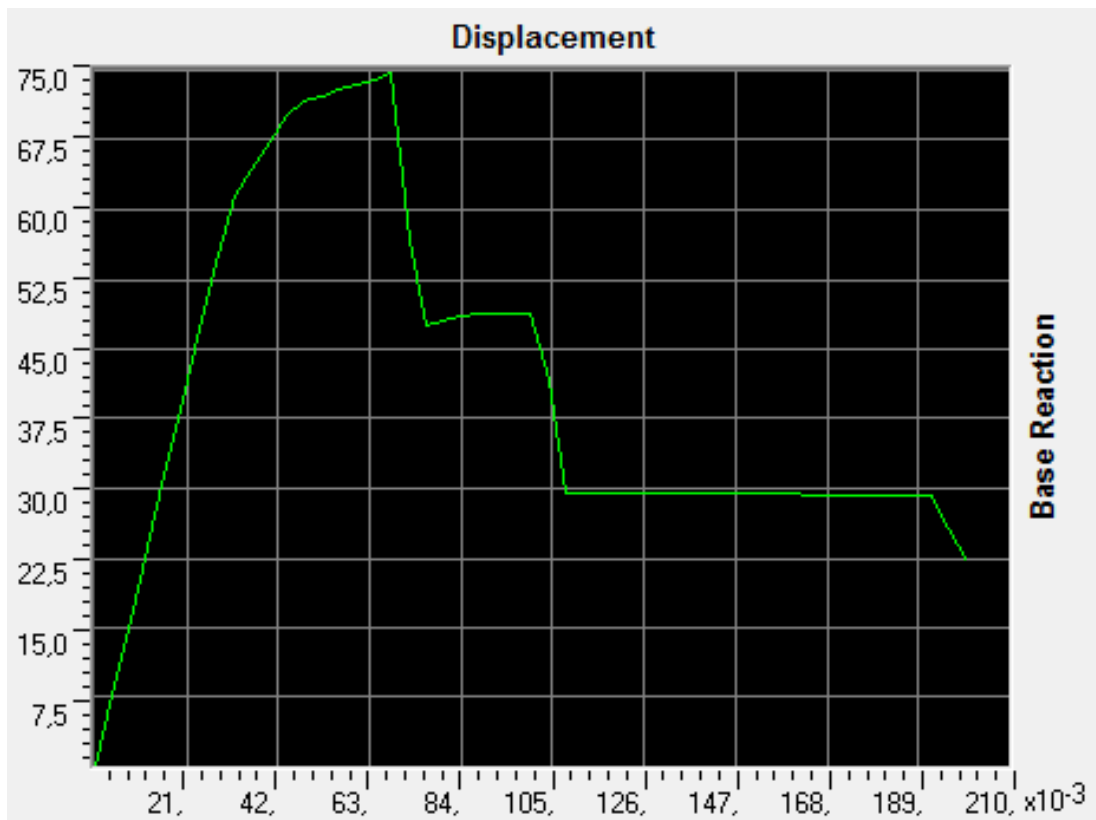
#### 6.3.2.1 Σύγκριση τριών νόμων ελατηρίου

- Νόμος 1: Είναι γνωστό ελαστικοπλαστικό μοντέλο και αποτελείται από τρεις κλάδους (πλησιάζει τη συμπεριφορά των συμβατικών υλικών):
  - a. Γραμμικά-ελαστικά από την έναρξη της φόρτισης μέχρι την φέρουσα ικανότητα της στήριξης σύμφωνα κατά τον EC5 8.2.3 (σημείο διαρροής).
  - b. Πλαστικά χωρίς γραμμική κράτνυση, από το σημείο διαρροής μέχρι το σημείο αστοχίας.
  - c. Μειώνεται η δύναμη αντοχής ακαριαία στο 20% της μέγιστης κατά αναλογία με τον Κ.Α.Ν.Ε.Π.Ε.
- Νόμος 2 : Αποτελείται από τρεις κλάδους:
  - a. Γραμμικά-ελαστικά από την έναρξη της φόρτισης μέχρι την φέρουσα ικανότητα της στήριξης σύμφωνα κατά τον EC5 8.2.3 (σημείο διαρροής).
  - b. Πλαστικά χωρίς γραμμική κράτνυση, από το σημείο διαρροής μέχρι το σημείο αστοχίας.
  - c. Μείωση της δύναμης αντοχής της στήριξης με ίδια κλίση όπως στο αριθμητικό μοντέλο της υπάρχουσας πειραματικής δοκιμής.
- Νόμος 3: Νόμος που έχει προκύψει από το αριθμητικό μοντέλο υπάρχουσας πειραματικής δοκιμής.

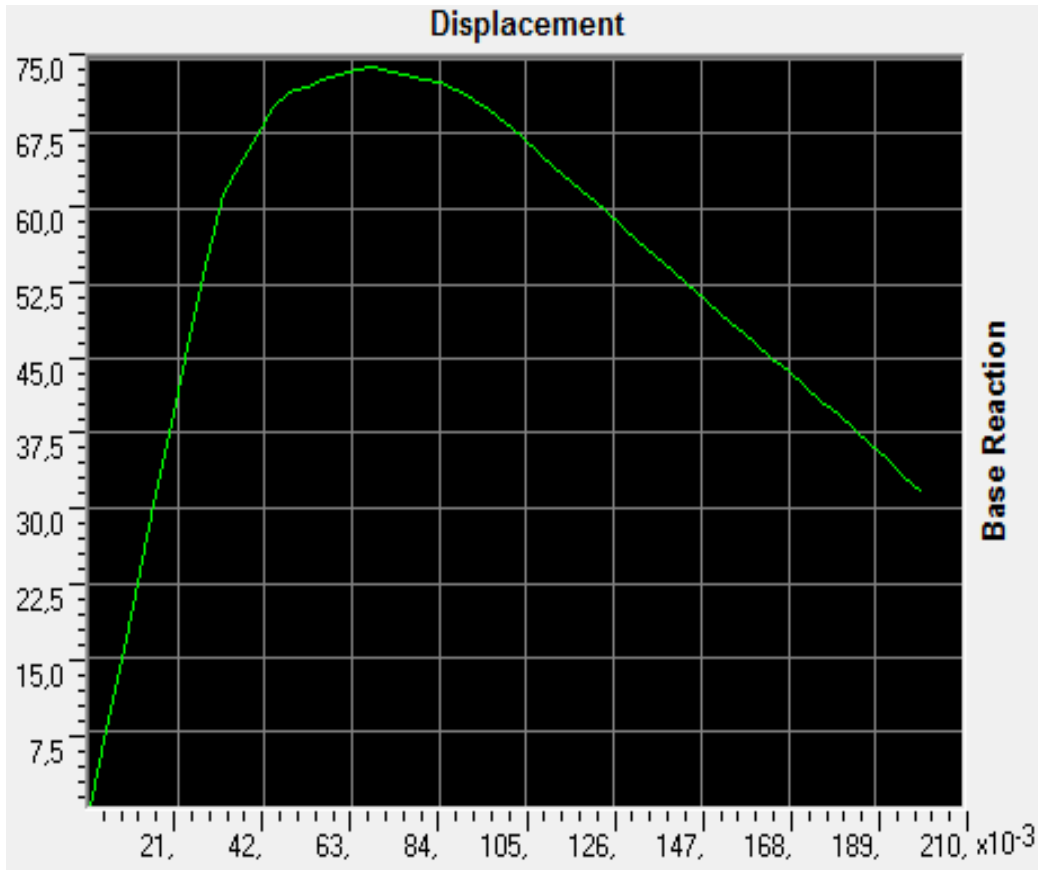


Διάγραμμα 6.2. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ κάθε στήριξης ανά νόμο.

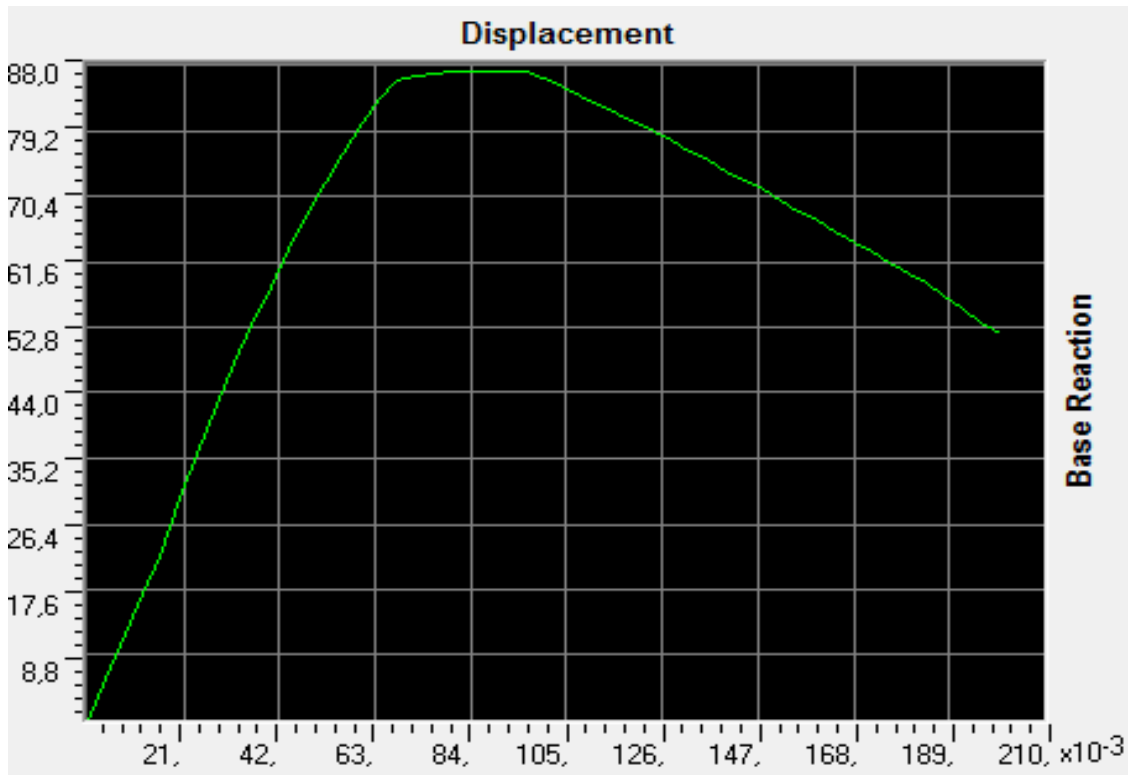
**Αποτελέσματα**



Διάγραμμα 6.2. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου σύμφωνα με τον νόμο 1.

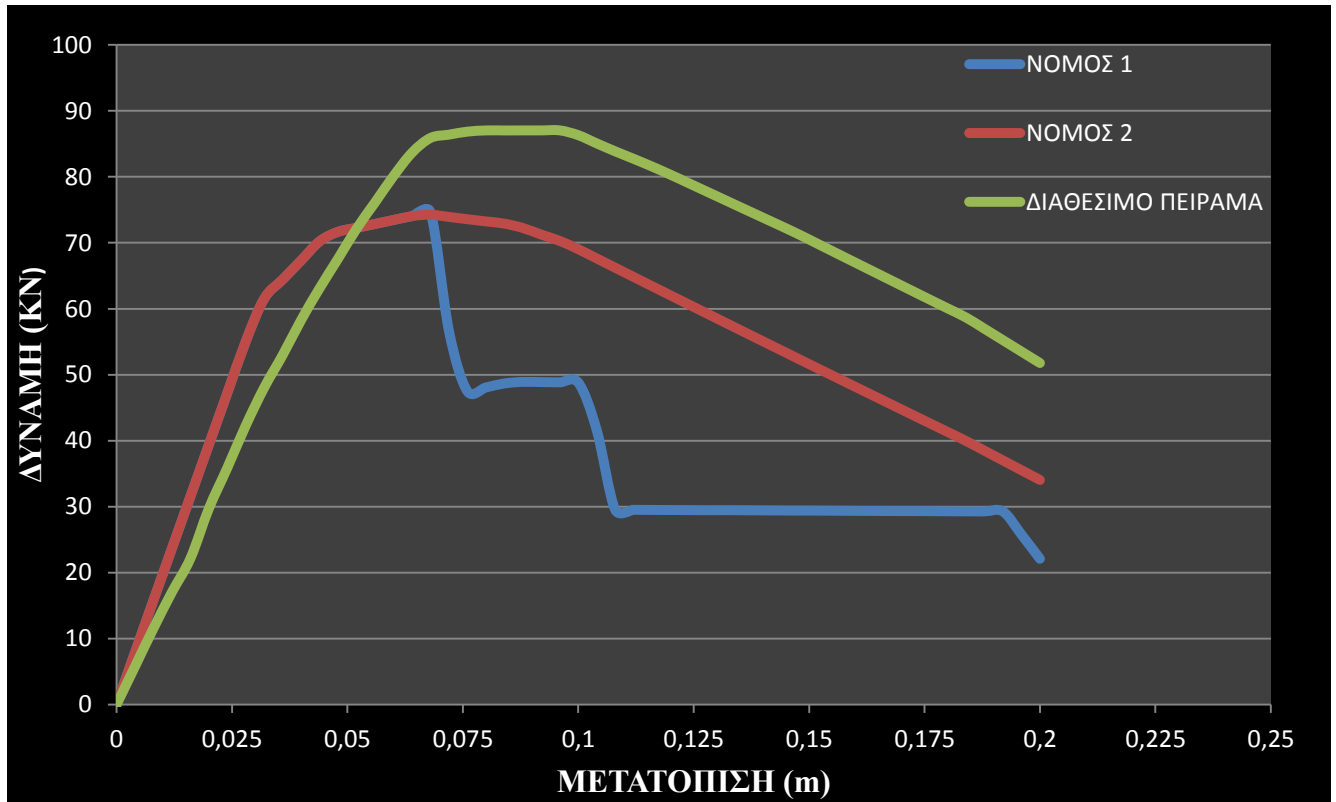


Διάγραμμα 6.3. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πανέλου σύμφωνα με τον νόμο 2.



Διάγραμμα 6.4. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πανέλου σύμφωνα με το διαθέσιμο πείραμα.

Συνοπτικά τα τρία διαγράμματα



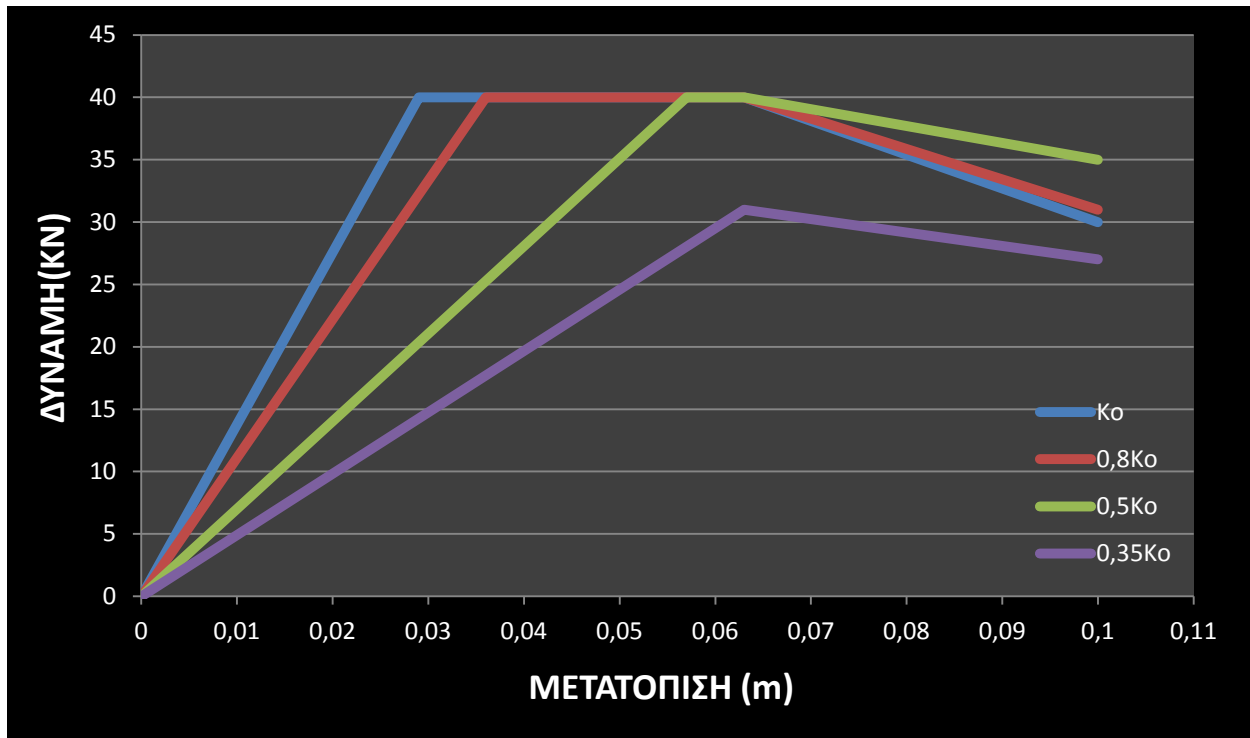
Διάγραμμα 6.5. Διαγράμματα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου.

Παρατηρούμε πως ο νόμος 1 που υπακούει στα συμβατικά υλικά το διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ απέχει αρκετά από το αντίστοιχο διάγραμμα της πειραματικής δοκιμής. Σε αντίθεση με το νόμο ελατηρίου 2 ο οποίος, όπως παρατηρούμε, προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική συμπεριφορά του τοίχου CLT. Συμπεραίνουμε εύλογα πως οι τοίχοι συγκολλητής ξυλείας δεν συμβαδίζουν με τη συμπεριφορά των τοίχων από σκυρόδεμα και από χάλυβα αντίστοιχα, ενώ υπακούουν ικανοποιητικά στο νόμο ελατηρίου 2.

6.3.2.2 Προσομοίωση πάνελου CLT με διαφορετικά αρχικά μέτρα ακαμψίας -τεσσάρων στηρίξεων που συμπεριφέρονται σύμφωνα με το νόμο 2.

**Διαγράμματα νόμου ελατηρίου 2 για διάφορες τιμές της αρχικής ακαμψίας.**

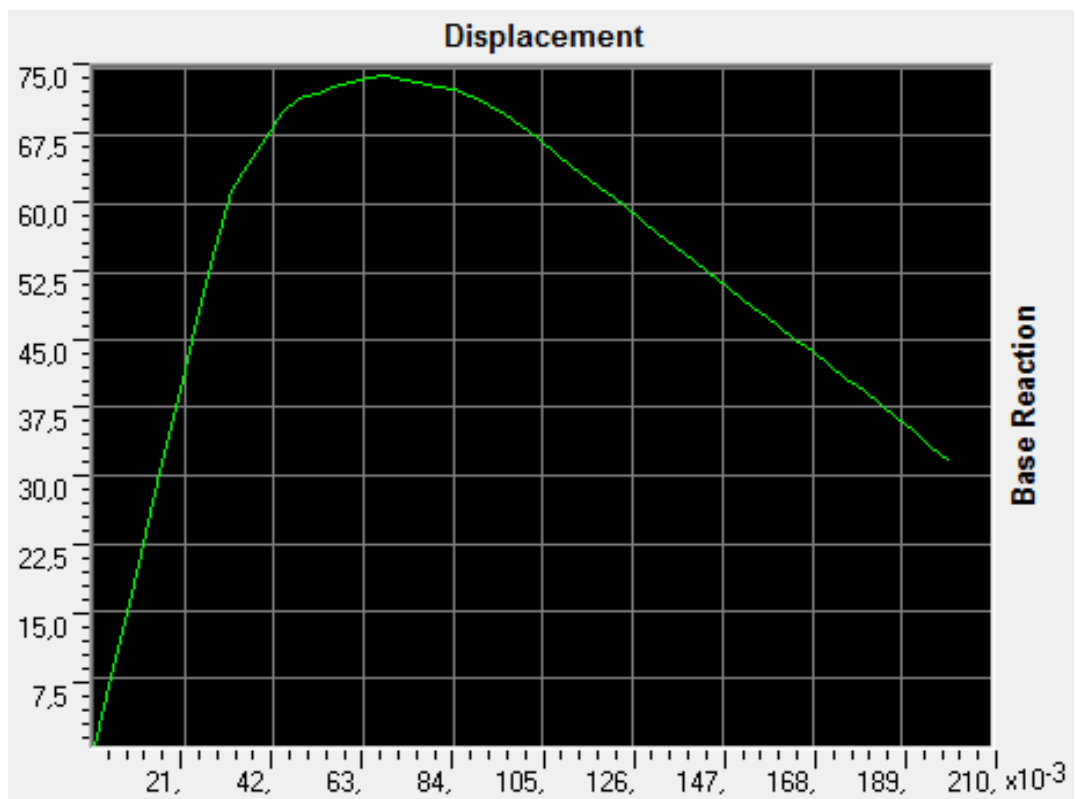
Αφού καταλήξαμε πως ο απλοποιημένος νόμος ελατηρίου 2 πλησιάζει την συμπεριφορά του νόμου ελατηρίου σύμφωνα με το αριθμητικό μοντέλο του πειράματος, ελέγχουμε τη συμπεριφορά του ίδιου τοίχου CLT μειώνοντας σταδιακά την ακαμψία των στηρίξεων. Διακρίνουμε τέσσερις περιπτώσεις:



Διάγραμμα 6.6. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ κάθε στήριξης κατά αρχικό μέτρο ακαμψίας.

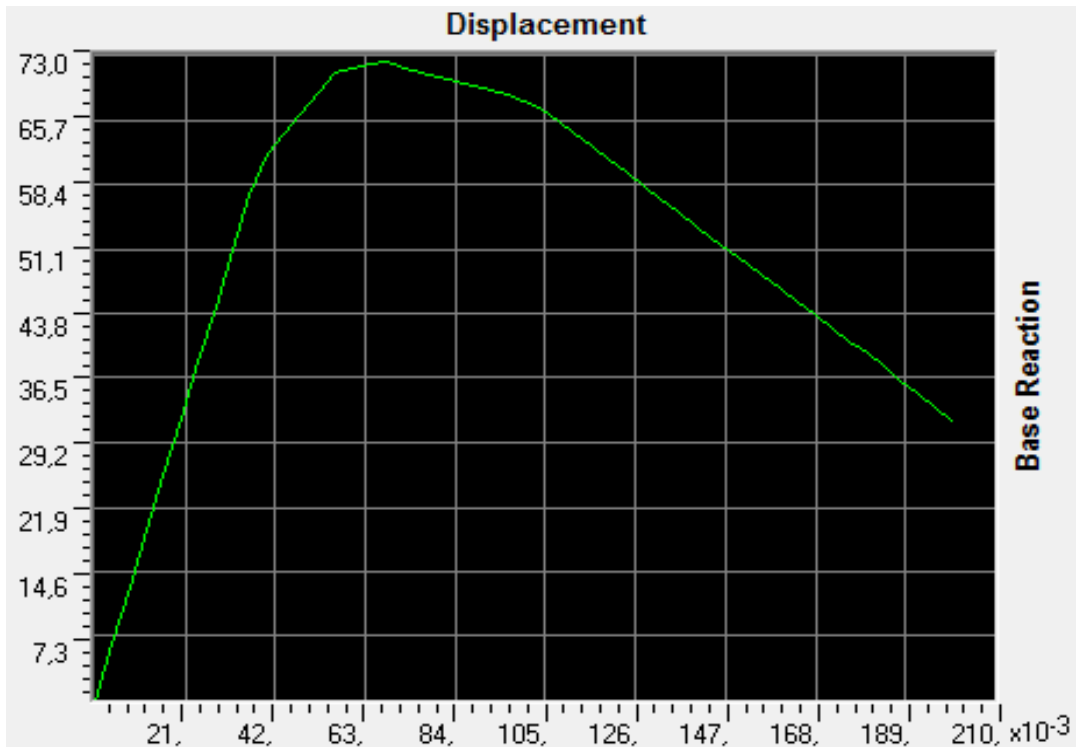
### Αποτελέσματα

- Προσομοίωση νόμου ελατηρίου με αρχικό  $K_0$



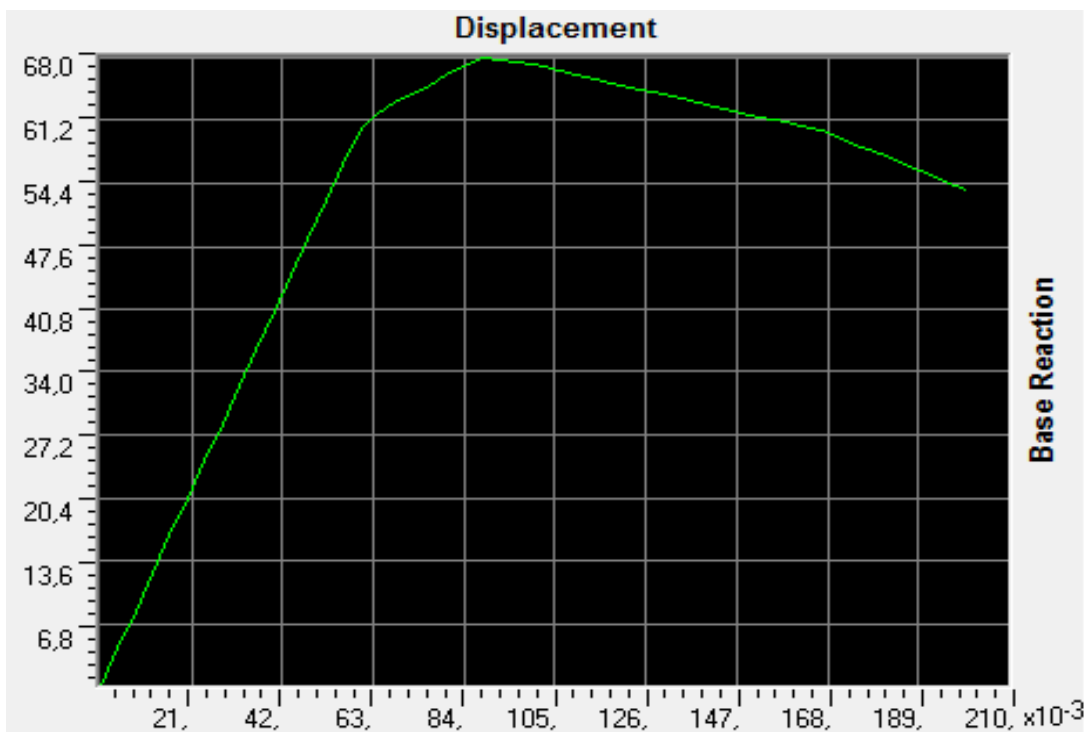
Διάγραμμα 6.7. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου αρχικής ακαμψίας στήριξης  $K_0$ .

- Προσομοίωση νόμου ελατηρίου με αρχικό  $0.85K_0$ .



Διάγραμμα 6.8. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου αρχικής ακαμψίας στήριξης  $0.85K_0$ .

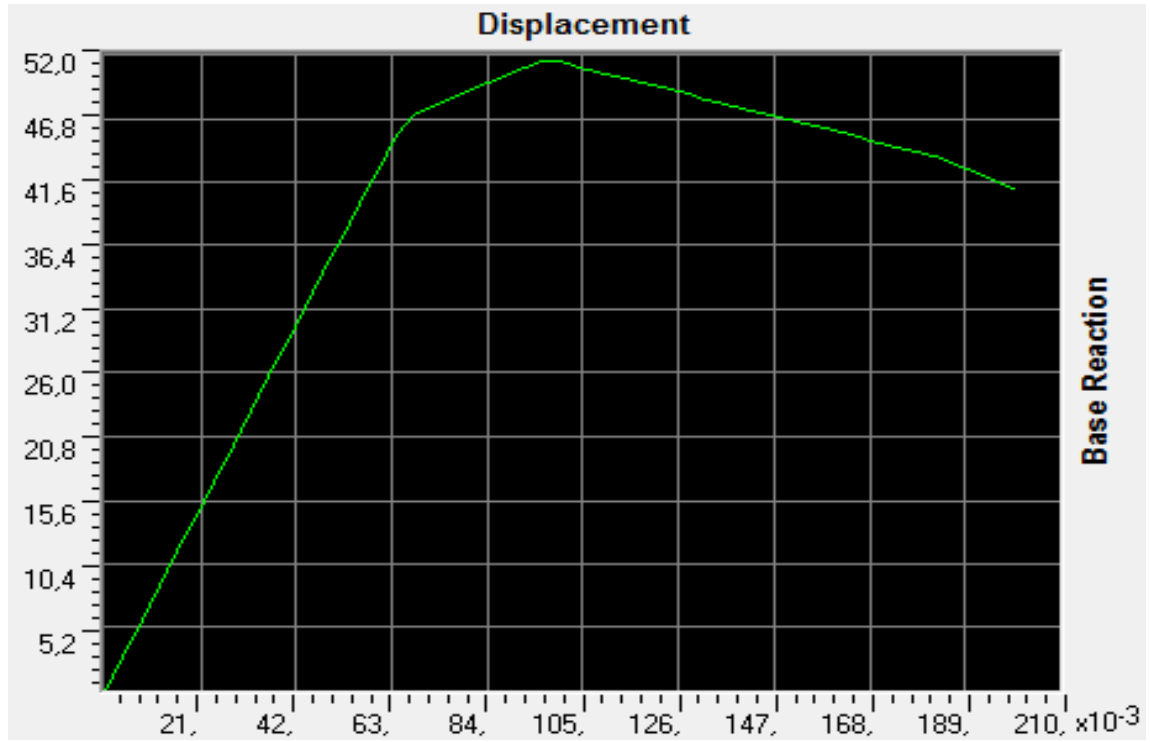
- Προσομοίωση νόμου ελατηρίου με αρχικό  $0.5K_0$ .



Διάγραμμα 6.9. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου αρχικής ακαμψίας στήριξης  $0.5K_0$ .

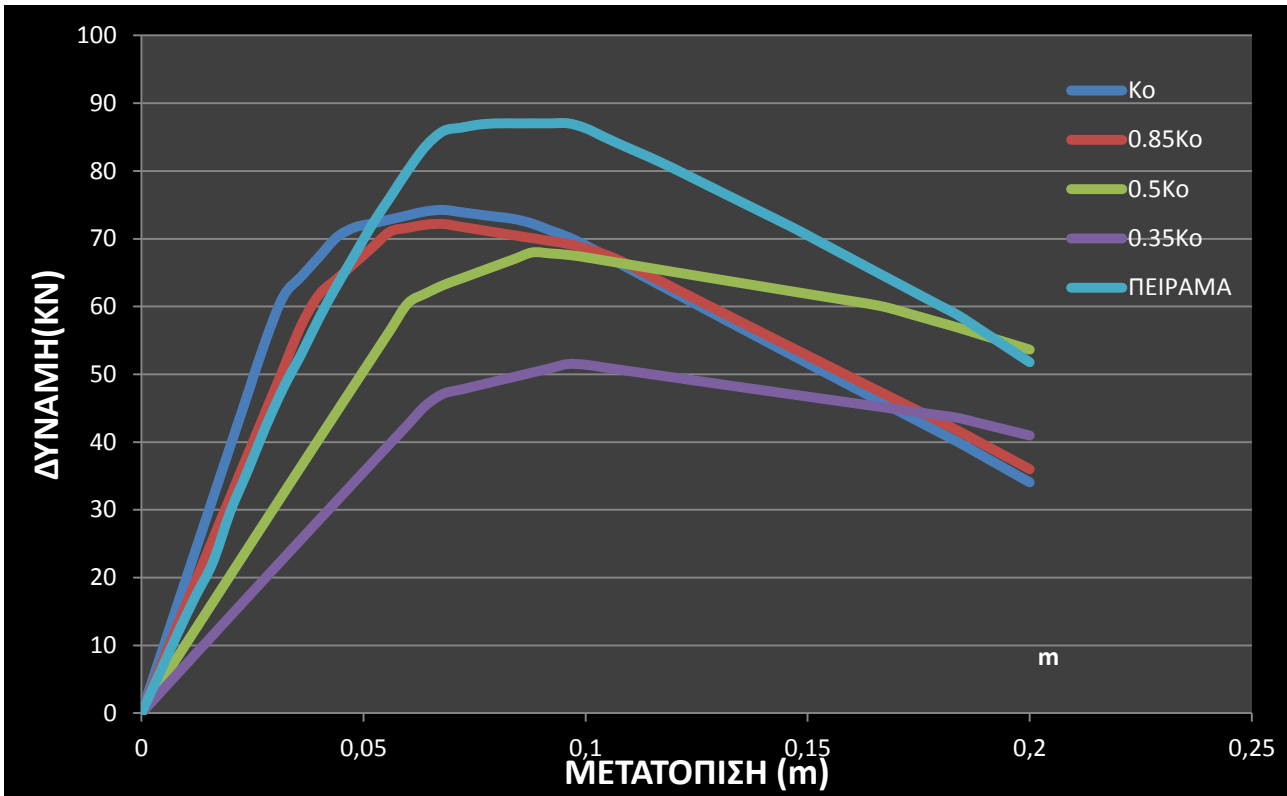


- Προσομοίωση νόμου ελατηρίου με αρχικό  $0.35K_0$ .



Διάγραμμα 6.10. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου αρχικής ακαμψίας στήριξης  $0.35K_0$ .

Συνοπτικά τα πέντε διαγράμματα

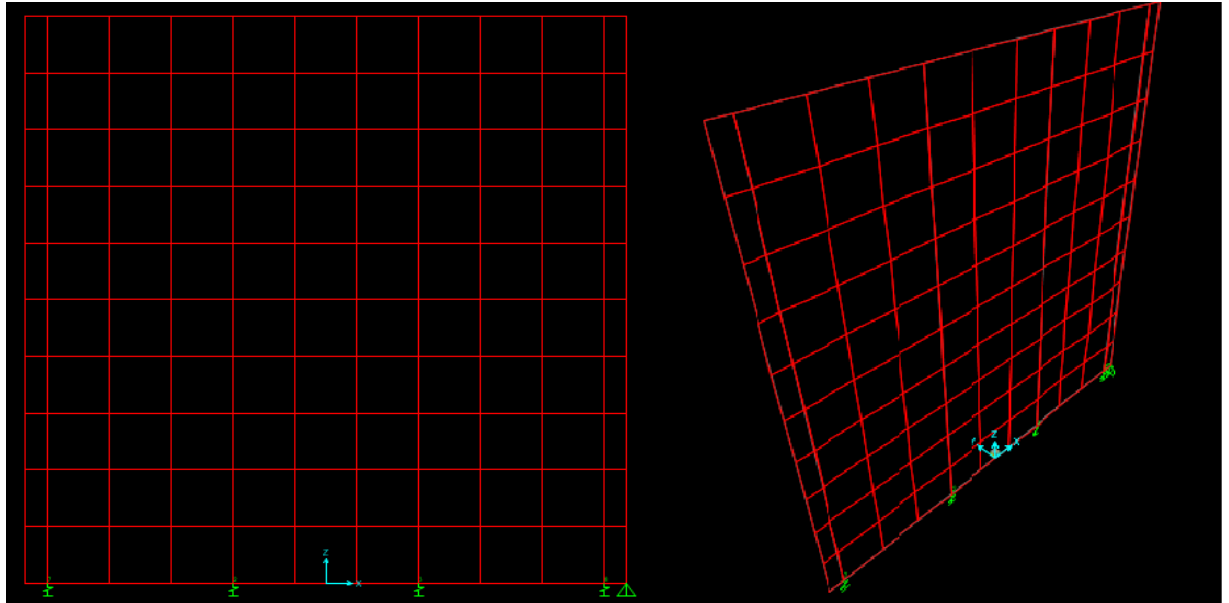


Διάγραμμα 6.11. Διαγράμματα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πανέλου κατά αρχικό μέτρο ακαμψίας.

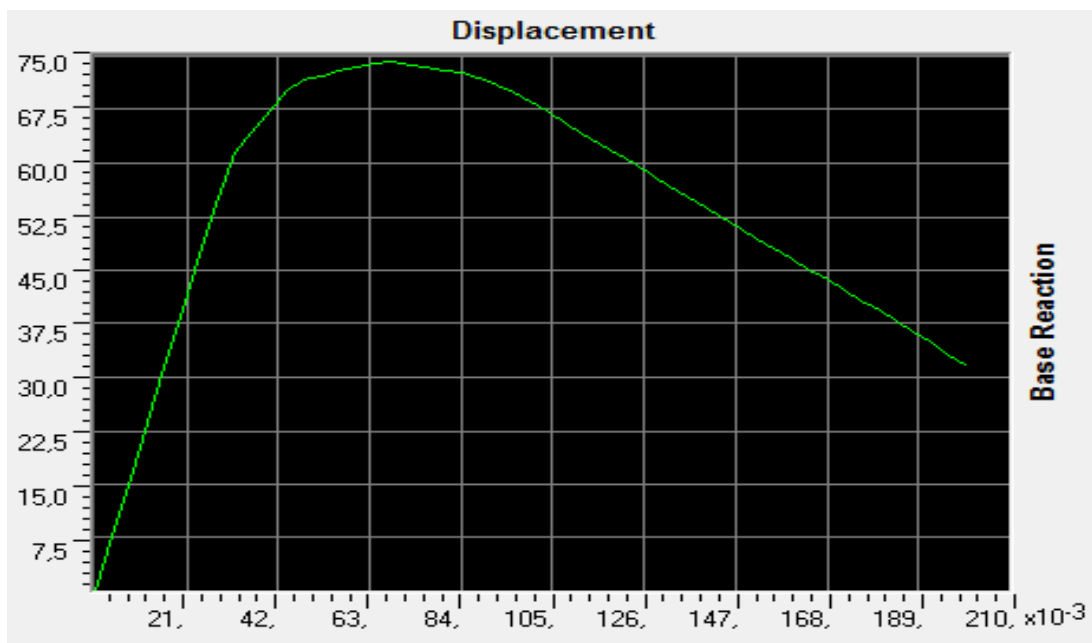
Παρατηρούμε, πως χρησιμοποιώντας τον απλοποιητικό νόμο ελατηρίου 2, τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ σε σύγκριση με τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι η θεώρηση  $0.85 \times K_0$  πλησιάζει τη συμπεριφορά του πανέλου κατά το πείραμα περισσότερο από τις υπόλοιπες δοκιμές.

6.3.2.3 Προσομοίωση πανέλου CLT με διαφορετικό αριθμό στηρίξεων που συμπεριφέρονται σύμφωνα με το νόμο 2

- Διαμόρφωση τοίχου CLT δοκιμές 2.3m×2.3m τεσσάρων ισοκατανεμημένων στηρίξεων.



Σχήμα 6.5. Προσομοίωση τοίχου τεσσάρων συμμετρικών ισοκατανεμημένων στηρίξεων στο λογισμικό του SAP2000.

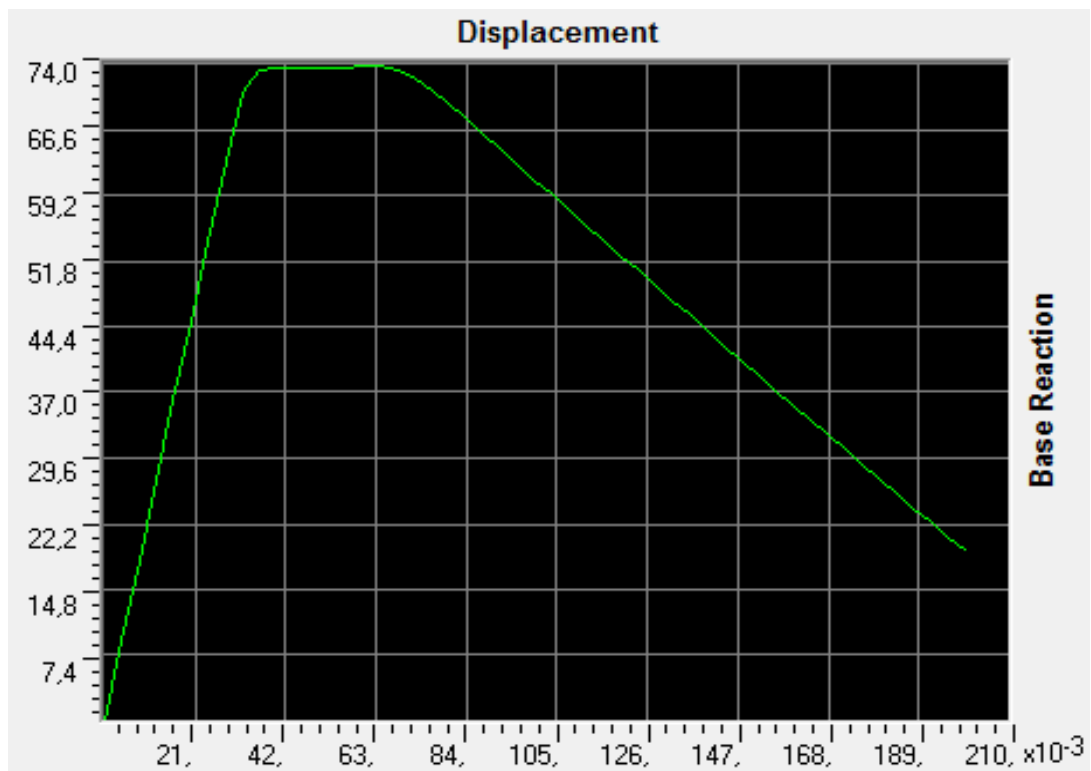


Διάγραμμα.6.12. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου τεσσάρων συμμετρικών ισοκατανεμημένων στηρίξεων.

- Τοποθέτηση τεσσάρων συμμετρικών ανισοκατανεμημένων στηρίξεων.

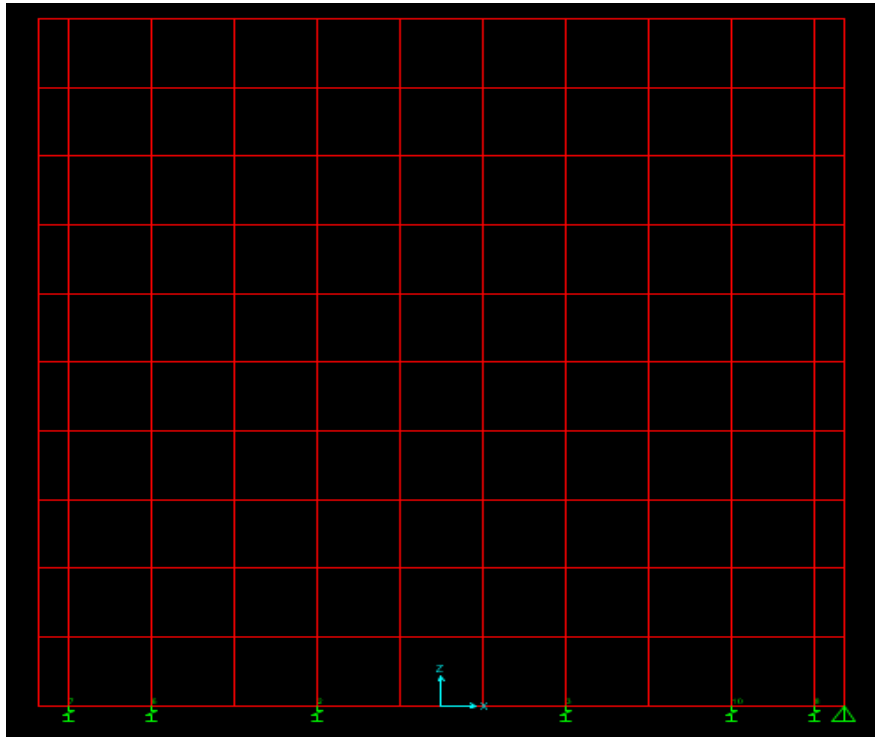


Σχήμα 6.6. Προσομοίωση τοίχου τεσσάρων συμμετρικών ανισοκατανεμημένων στηρίξεων στο λογισμικό του SAP2000.

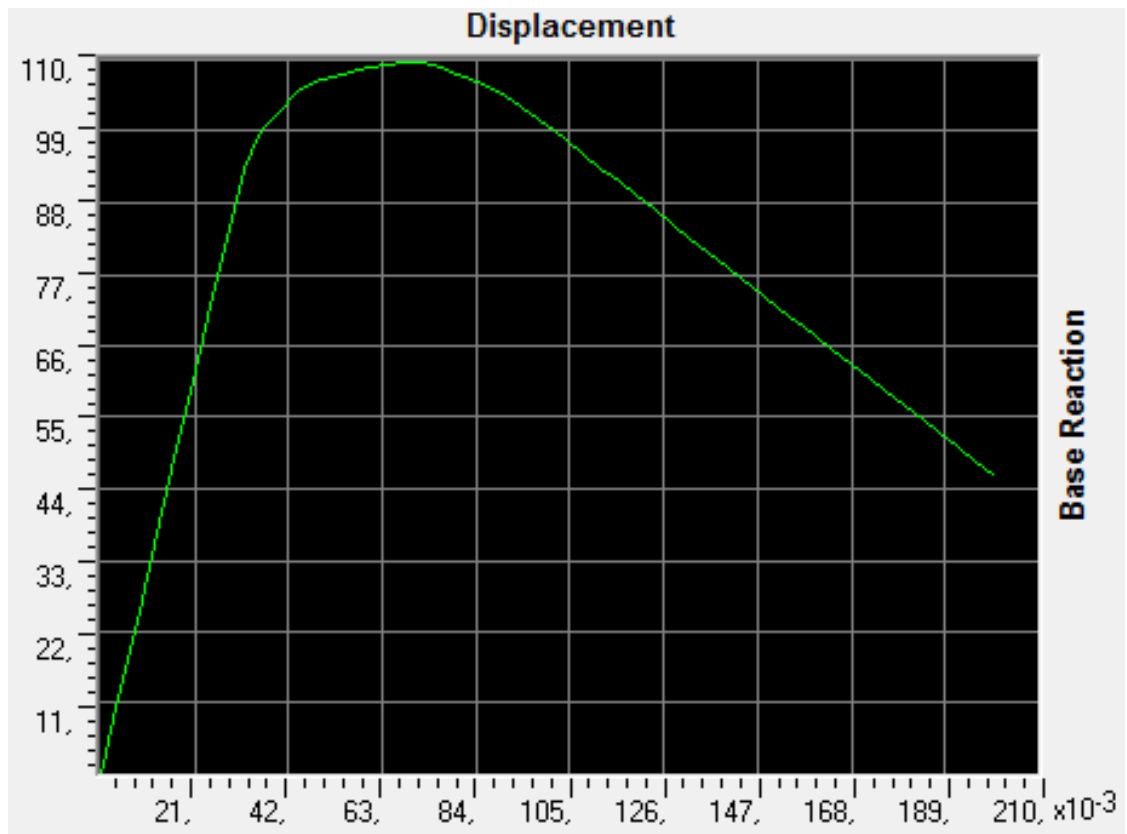


Διάγραμμα.6.13. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου τεσσάρων συμμετρικών ανισοκατανεμημένων στηρίξεων.

- Τοποθέτηση έξι συμμετρικών στηρίξεων.

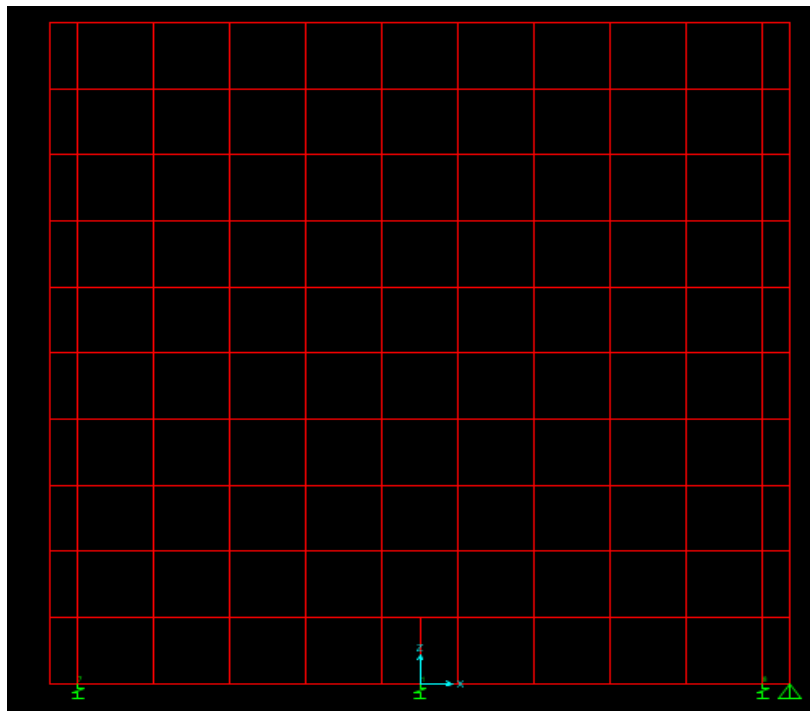


Σχήμα 6.7. Προσομοίωση τοίχου 6 συμμετρικών στηρίξεων στο λογισμικό του SAP2000.

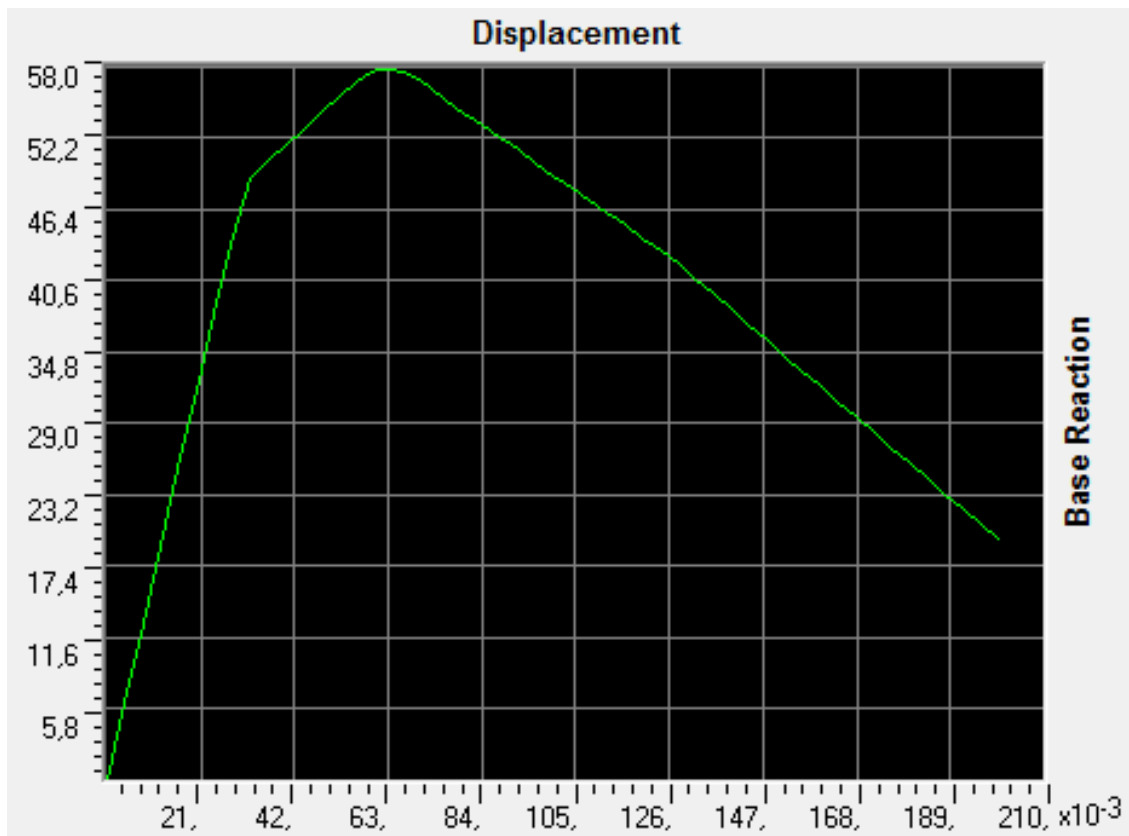


Διάγραμμα.6.14. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου έξι συμμετρικών στηρίξεων.

- Τοποθέτηση τριών συμμετρικών στηρίξεων

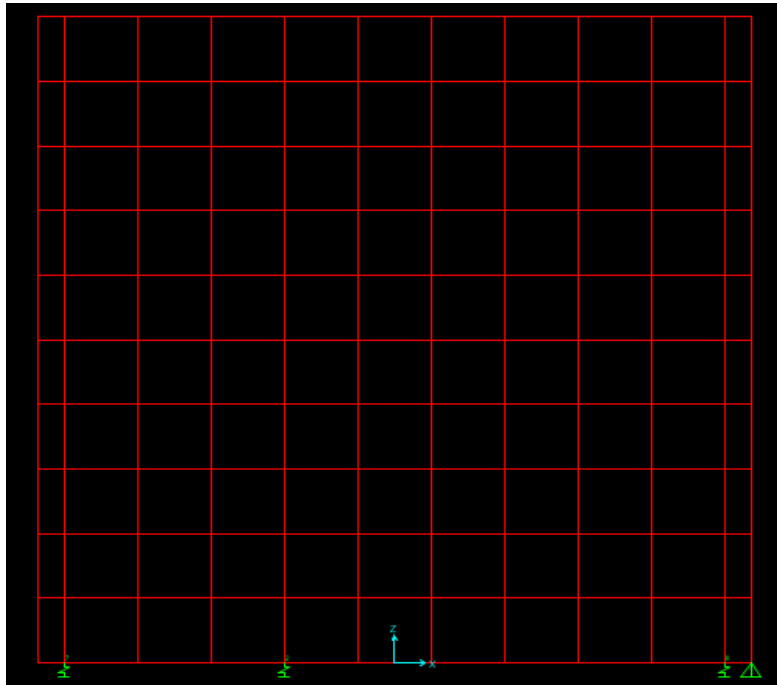


Σχήμα 6.8. Προσομοίωση τοίχου τριών συμμετρικών στηρίξεων στο λογισμικό του SAP2000.

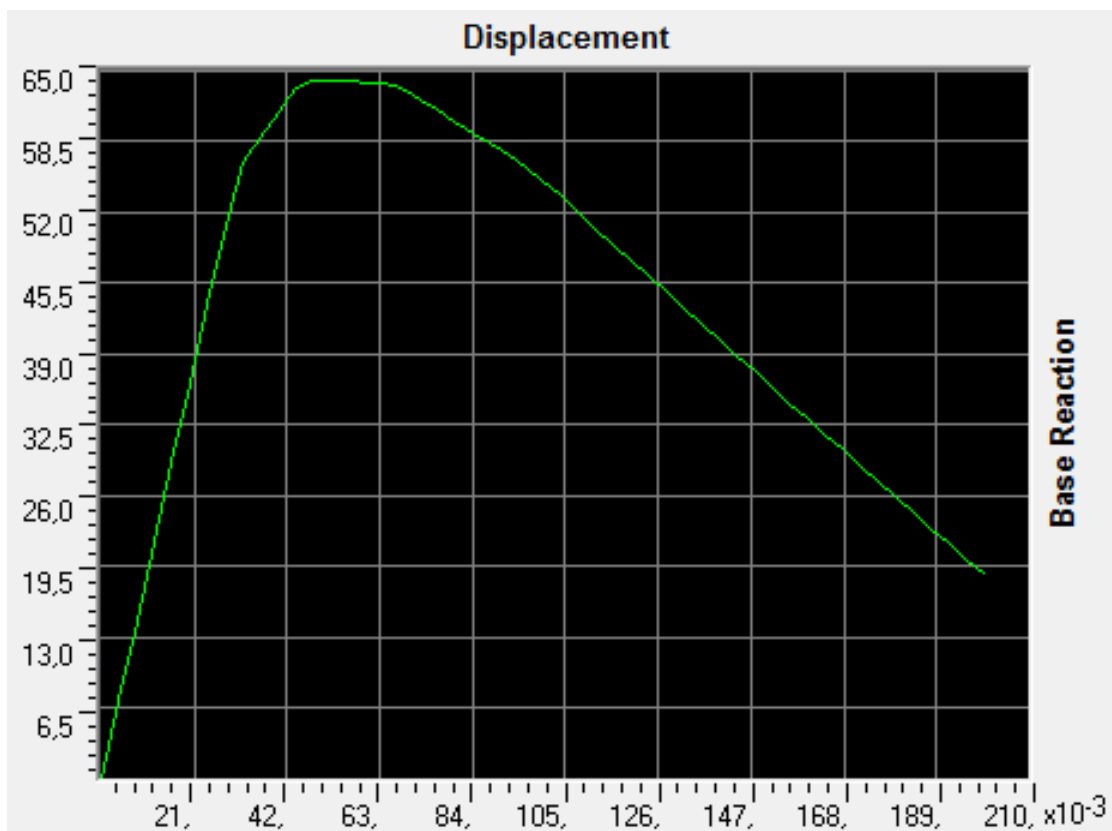


Διάγραμμα.6.15. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου τριών συμμετρικών στηρίξεων.

- Τοποθέτηση τριών μη συμμετρικών αριστερά στηρίξεων.

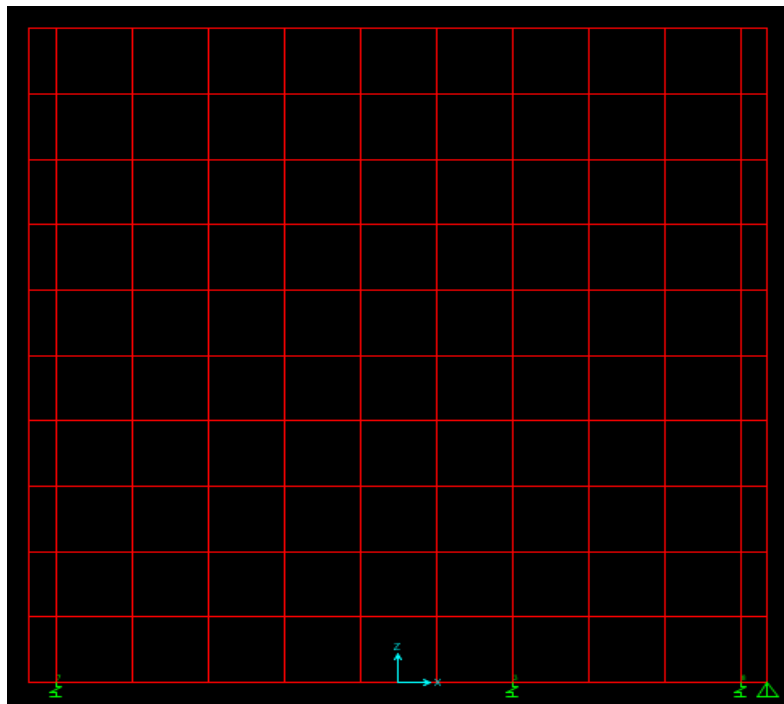


Σχήμα 6.9. Προσομοίωση τοίχου τριών στηρίξεων μη συμμετρικά αριστερα στο λογισμικό του SAP2000.

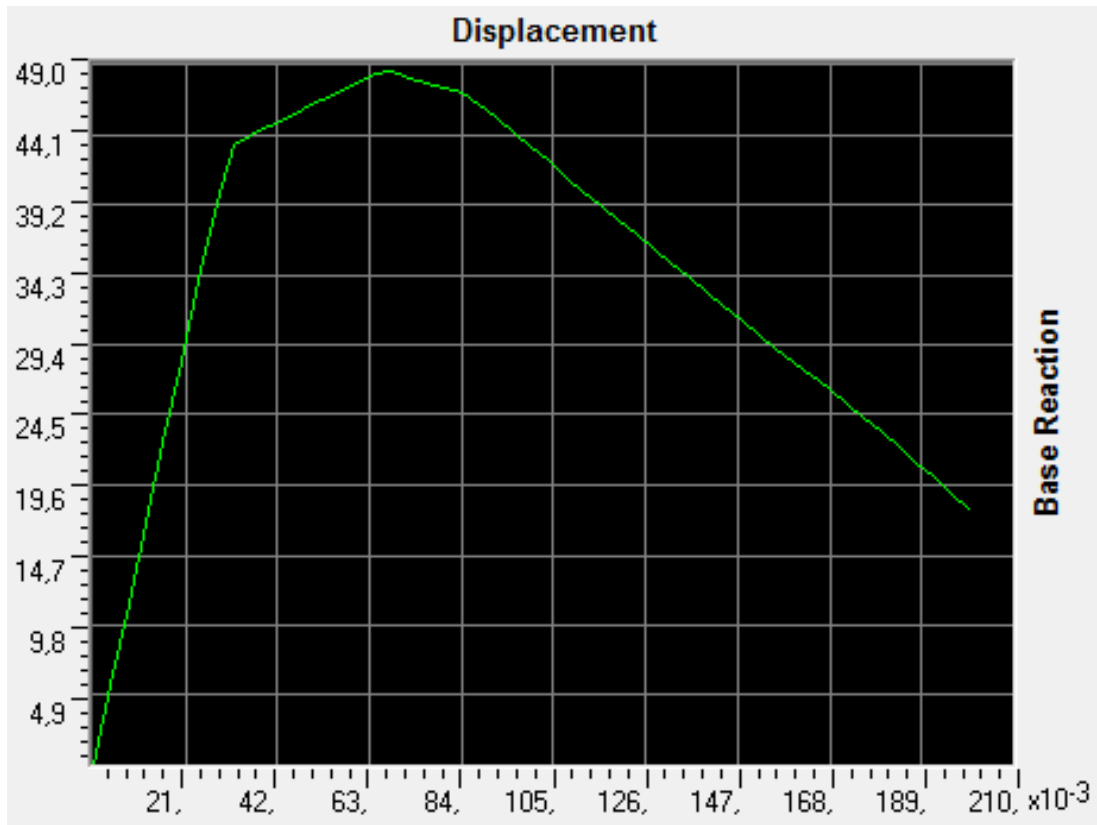


Διάγραμμα.6.16. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου τριών μη συμμετρικών αριστερά στηρίξεων.

- Τοποθέτηση τριών μη συμμετρικών δεξιά στηρίξεων.



Σχήμα 6.10. Προσομοίωση τοίχου τριών στηρίξεων μη συμμετρικά δεξιά στο λογισμικό του SAP2000.



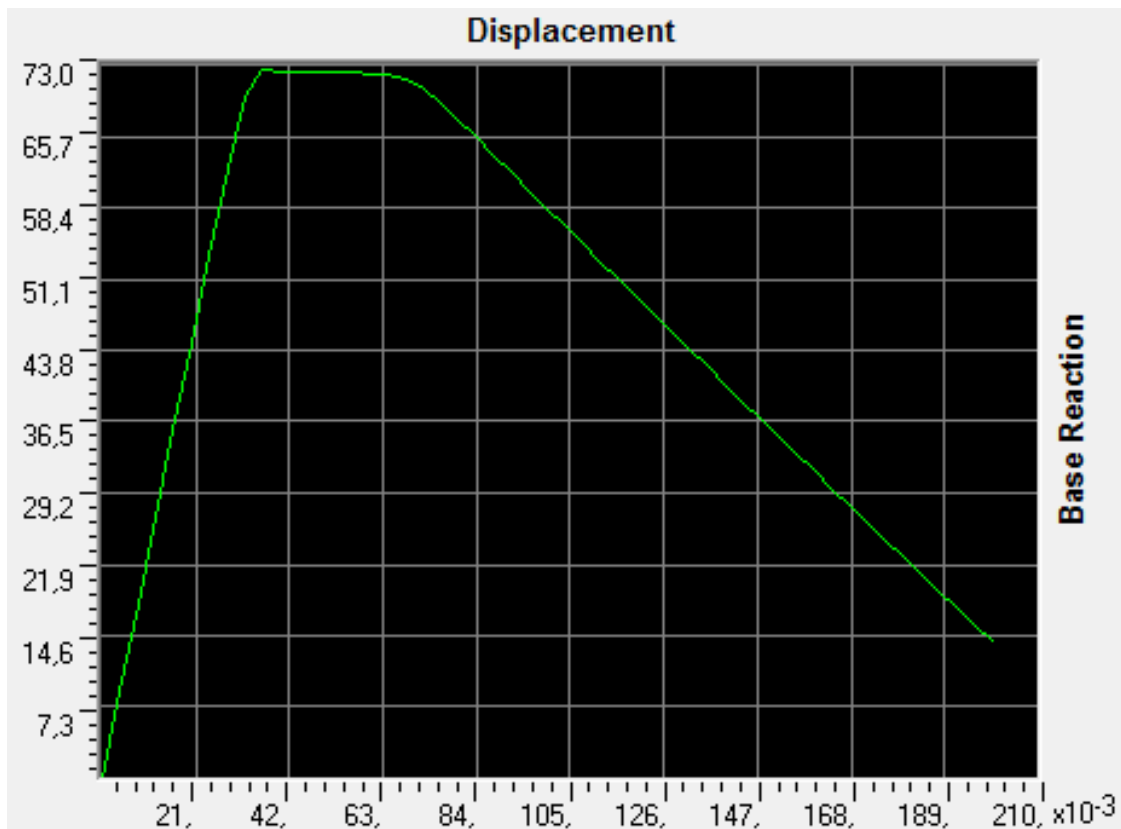
Διάγραμμα.6.17. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου τριών μη συμμετρικών δεξιά στηρίξεων.



- Τοποθέτηση τριών μη συμμετρικών στηρίξεων άκρα αριστερά.

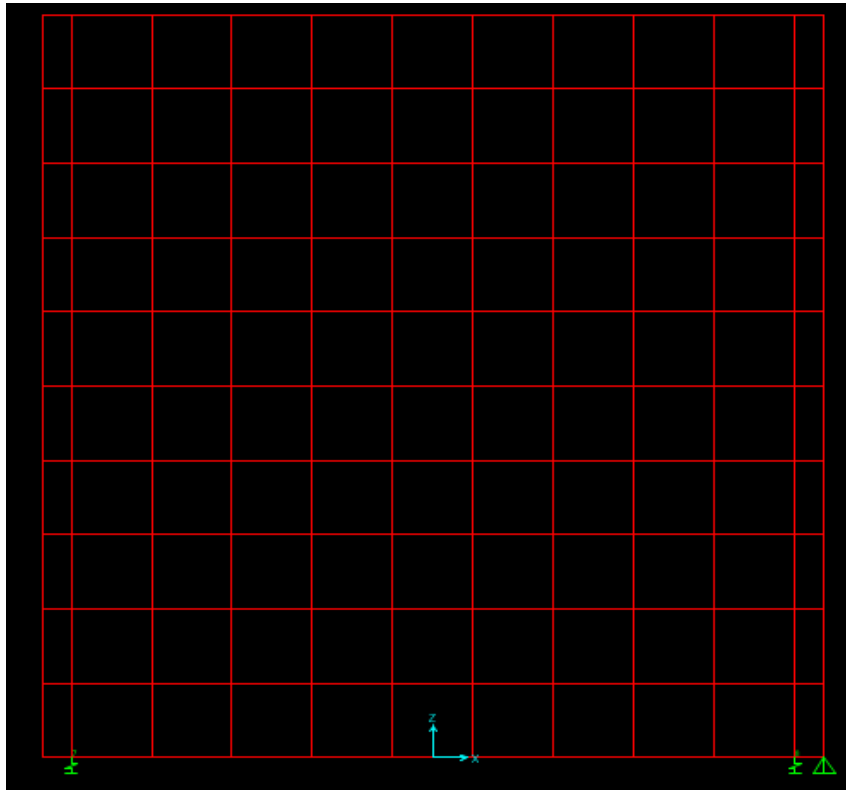


Σχήμα 6.11. Προσομοίωση τοίχου τριών μη συμμετρικών στηρίξεων ακραία αριστερά στο λογισμικό του SAP2000.

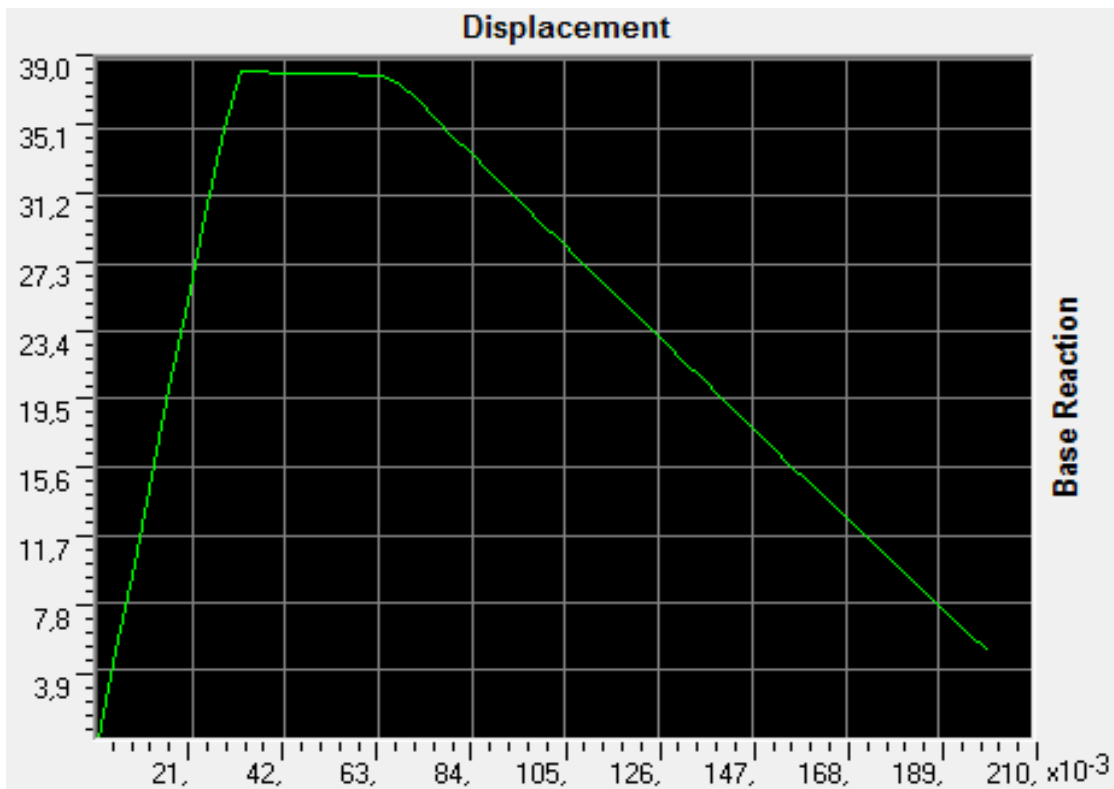


Διάγραμμα.6.18. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πανέλου τριών μη συμμετρικών στηρίξεων άκρα αριστερά.

- Τοποθέτηση δύο στηρίξεων.

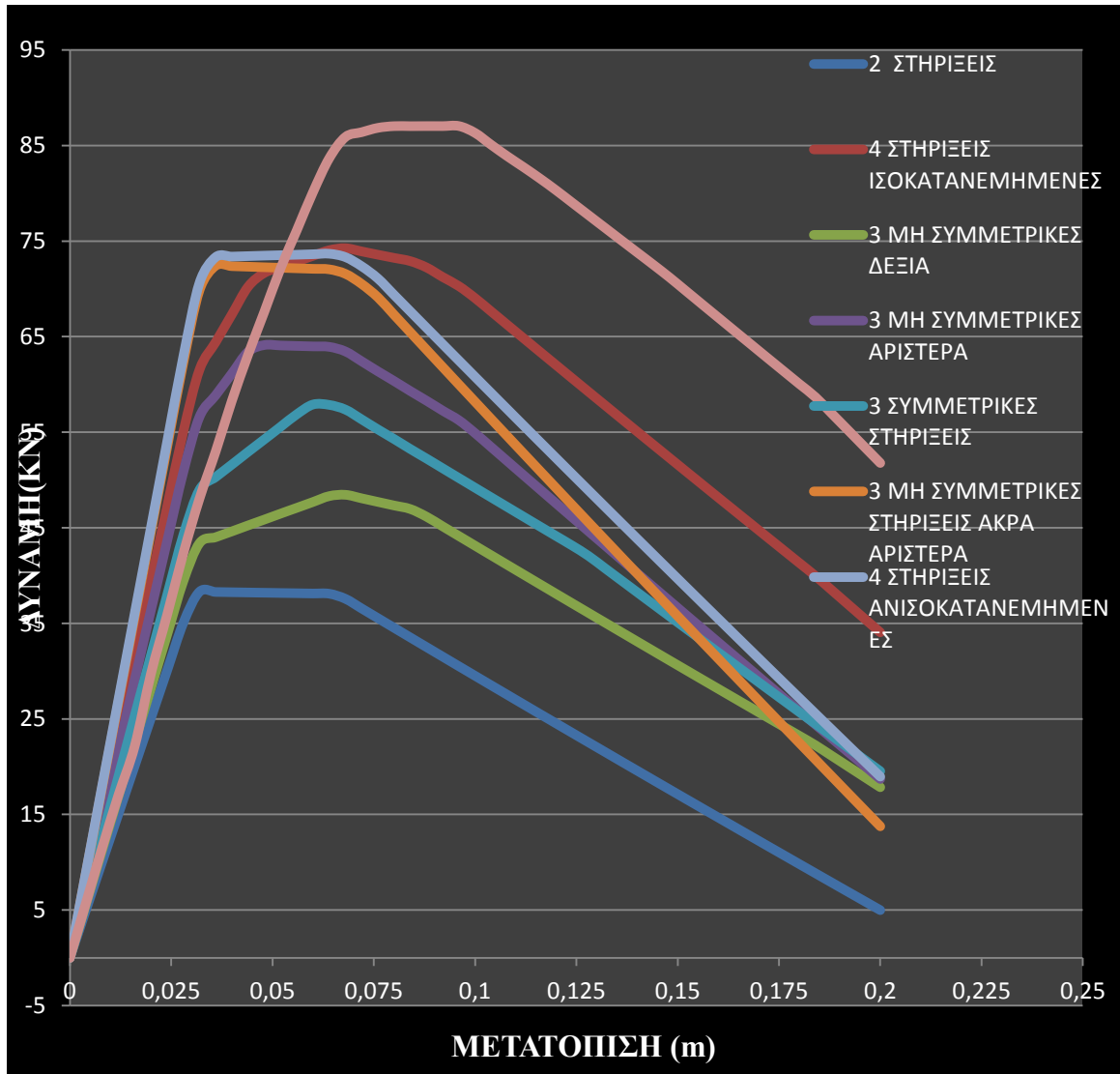


Σχήμα 6.12. Προσομοίωση τοίχου 2 στηρίξεων στο λογισμικό του SAP2000.



Διάγραμμα.6.19. Διάγραμμα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου δύο στηρίξεων.

Συνοπτικά τα διαγράμματα:



Διάγραμμα 6.20. Διαγράμματα ΔΥΝΑΜΗ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ πάνελου κατά διαφορετικές στηρίξεις.



## 7 Συμπεράσματα-Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

### 7.1 Συμπεράσματα

#### Επιρροή υλικού

Όπως φάνηκε από τις αναλύσεις του Κεφαλαίου 3 όπου εξετάστηκε η συμπεριφορά πανέλου CLT τριών διαφορετικών υλικών συγκολλητής ξυλείας GL24, GL28 και GL32 παρατηρήσαμε τα εξής:

1. Τα πάνελα αναλογίας  $\frac{H}{b} < 6$  (χθαμαλά) εξαντλούν την αντοχή του υλικού, δεν επηρεάζονται από το φαινόμενο του λυγισμού, ανεξάρτητα του είδους της συγκολλητής ξυλείας και του λόγου  $\frac{H}{L}$ .
2. Τα πάνελα CLT αναλογίας  $\frac{H}{L} < 5,5$  εξαντλούν την αντοχή του υλικού, δηλαδή δεν απομειώνουν την αντοχή τους λόγω του λυγισμού, ανεξάρτητα του είδους της συγκολλητής ξυλείας και του λόγου  $\frac{H}{b}$ .

#### Σύγκριση πακτωμένου τοίχου CLT με διαθέσιμα πειραματικά αποτελέσματα

Το πάνελο πακτωμένο στη βάση συγκρινόμενο με το πραγματικό (μη-γραμμικό) προέκυψε 3 φορές πιο άκαμπτο. Μπορούμε να λύσουμε το πάνελο σαν να συμπεριφέρεται γραμμικά όμως να λάβουμε στους υπολογισμούς μας το  $\frac{1}{3}$  της ροπής αδράνειας, το  $\frac{1}{3} \times EI$ . Η αστοχία του πανέλου προκαλείται από τη διαρροή των συνδέσμων στη βάση του οπότε πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τη μείωση του EI. Η μείωση αυτή είναι απαραίτητη λόγω της παραμορφωσιμότητας των μεταλλικών συνδέσμων, που αγνοούμε στο πακτωμένο πάνελο. Με αυτόν τον τρόπο η ιδιοπερίοδος θα αυξηθεί κατά 1.7, αφού είναι αντιστρόφως ανάλογη της  $\sqrt{EI}$  και θα προκύψει πιο ρεαλιστική τιμή της σεισμικής δύναμης. Σε αντίθετη περίπτωση θα φορτίσουμε με μεγαλύτερη δύναμη που δεν αντέχουν οι σύνδεσμοι.

#### Απλοποιημένος νόμος ελατηρίου που προσομοιάζει τη συμπεριφορά της στήριξης.

Από τις αναλύσεις προέκυψε διαφοροποίηση της συμπεριφοράς της στήριξης του CLT σε σχέση με το γνωστό ελαστικοπλαστικό μοντέλο.

Διαπιστώσαμε πως ο νόμος 2 που αποτελείται από τρεις κλάδους:

- a) Γραμμικά-ελαστικά από την έναρξη της φόρτισης μέχρι την φέρουσα ικανότητα της στηρίξεις σύμφωνα κατά τον EC5 8.2.3 (σημείο διαρροής).
- b) Πλαστικά χωρίς γραμμική κράτυνση, από το σημείο διαρροής μέχρι το σημείο αστοχίας.
- c) Μείωση της δύναμης αντοχής της στήριξης με ίδια κλίση όπως στο αριθμητικό μοντέλο της υπάρχουσας πειραματικής δοκιμής.

προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική συμπεριφορά του τοίχου CLT. Συμπεραίνουμε εύλογα πως οι τοίχοι συγκολλητής ξυλείας δεν συμβαδίζουν με τη συμπεριφορά των τοίχων από σκυρόδεμα και από χάλυβα, ενώ υπακούουν ικανοποιητικά στο νόμο ελατηρίου 2.

Κατά τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας της στήριξης κατά τον EC5 προέκυψε απόκλιση 13% από την αντοχή της στήριξης του πειραματικού μοντέλου. Οπότε μπορούμε να συμπεράνουμε πως οι αντοχές που υπολογίζονται κατά τον EC5 είναι ιδιαίτερα συντηρητικές, καθώς δεν λαμβάνουμε υπόψη την κράτυνση που υπάρχει στην πραγματικότητα.

#### **Επιρροή αρχικού μέτρου ακαμψίας της στήριξης.**

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων του κεφαλαίου 6, εφαρμόζοντας τον απλοποιημένο νόμο ελατηρίου 2 για τη συμπεριφορά των στηρίξεων παρατηρούμε πως τα αποτελέσματα από το προσομοίωμα του πανέλου πλησιάζουν στα πειραματικά με μειωμένη ακαμψία στηρίξεων  $0.85K_0$ . Δηλαδή Διαπιστώσαμε ότι τα αποτελέσματα της ανάλυσης του πανέλου CLT είναι πιο ρεαλιστικά αν θεωρηθεί το  $0.85K_0$ .

#### **Επιρροή αριθμού και θέσης στήριξης.**

Για την επιρροή αριθμού και θέσης στήριξης, συμπεραίνεται ότι η βέλτιστη τοποθέτηση των στηρίξεων είναι στα άκρα. Παρατηρήσαμε αναμενόμενα πως τοποθετώντας περισσότερες στηρίξεις αυξάνεται η αντοχή του πανέλου όμως ο σκοπός είναι να βρεθεί η επιθυμητή αντοχή με τις ελάχιστες στηρίξεις.

Αξιοσημείωτο ήταν το αποτέλεσμα του πανέλου με τρεις στηρίξεις οι δύο εκ των οποίων τοποθετήθηκαν σε πολύ κοντινή απόσταση, κατά το οποίο η μέγιστη αντοχή του πανέλου σχεδόν ταυτίστηκε με το πανέλο των τεσσάρων στηρίξεων.

Συγκρίνοντας τα μοντέλα με τις τέσσερις ισοκατανεμημένες και ανισοκατανεμημένες στηρίξεις που παρουσίασαν ίσιες αντοχές δεν μπορεί να καταρρίψει το παραπάνω συμπέρασμα καθώς αυτό έχει προκύψει λόγω της μονοτονικής φόρτισης.

### **Αντισεισμικότητα**

Στην αντισεισμικότητα, οι ξύλινες κατασκευές προσφέρουν μεγάλη πλαστιμότητα συνδέσεων και συγχρόνως έχουν χαμηλό ίδιο βάρος. Πιο συγκεκριμένα οι συνδέσεις στις ξύλινες κατασκευές έχουν υψηλή πλαστιμότητα οπότε εκείνες απορροφούν σεισμική ενέργεια και καθιστούν τις ξύλινες κατασκευές ενδεδειγμένες για σεισμογενείς περιοχές.

## **7.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**

1. Προτείνεται να εξετασθεί το ίδιο πάνελ συγκολλητής ξυλείας CLT στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP2000 με ανακυκλιζόμενη φόρτιση και να συγκριθούν τα αποτελέσματα του με τα αντίστοιχα της πειραματικής δοκιμής.
2. Προτείνεται στα πλαίσια της ανάλυσης με ανακυκλιζόμενη φόρτιση να επαληθευτεί το συμπέρασμά μας πως η βέλτιστη τοποθέτηση στηρίξεων είναι στα άκρα από τα πάνελα με τέσσερις ισοκατανεμημένες και ανισοκατανεμημένες στηρίξεις.
3. Προτείνεται να διερευνηθεί η επιρροή της τροχιάς της θλιπτικής δύναμης μέσα στο πάνελο, δηλαδή ο τοπικός λυγισμός στη θλιβόμενη ζώνη.
4. Προτείνεται να γίνει η απαραίτητη έρευνα για το διαχωρισμό των διάφορων συμπαγή ξύλινων πινέλων στον EC5
5. Προτείνεται η μελέτη μηχανισμών απορρόφησης ενέργεια όπως:
  - η ανελαστική παραμόρφωση των συνδέσμων
  - το ανασήκωμα και η επαναφορά του τοίχου (εξόλκευση συνδέσμων)





## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Κατσαραγάκης, Ελισσαίος Σ., Ξύλινες Κατασκευές., Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2000.
2. Eurocode 5. 2004. Design of timber structures-Part 1-1: General-common rules and rules for buildings, E.N. 1995-1-1:2004. Brussels: European Committee for Standardization, 2004.
3. PrEN 636-3: Αντικολλητή ξυλεία- Προδιαγραφές Μέρος3: Απαιτήσεις για αντικολλητή ξυλεία για χρήση σε εξωτερικές συνθήκες.
4. EN 1990:2002: Ευρωκώδικας- Βάσεις σχεδιασμού.
5. EN1991-1-1:2002: Ευρωκώδικας 1:Δράσεις στις κατασκευές-Μέρος 1-2. Γενικές δράσεις- Πυκνότητες,ιδία βάρη και επιβαλλόμενα φορτία.
6. EN 1990: 2002: Ευρωκώδικας – Βάσεις σχεδιασμού.
7. EN14080: Ξύλινες κατασκευές – Συγκολλητή ξυλεία – Απαιτήσεις.
8. EN 14279: Ξυλεία συγκολλημένων φύλλων (LVL) - Προδιαγραφές, ορισμοί, ταξινόμηση και απαιτήσεις.
9. EN 14374: Ξύλινες κατασκευές – Δομική ξυλεία συγκολλημένων φύλλων (LVL) – Απαιτήσεις.
10. EN 1194: “Timber Structures-Glued laminated timber. Strength classes and determination of characteristic values.”
11. Ξύλινες κατασκευές - <https://mycourses.ntua.gr> .
12. ΤΕΕ-Εκπαιδευτικά σεμινάρια ευρωκωδίκων-[http://library.tee.gr/digital/m2464/m2464\\_ec5.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2464/m2464_ec5.pdf)

13. Κωνστάντιου Ζαχαρούλα, Προστασία Ξύλινων Κατασκευών, Διπλώματική εργασία 2012, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Σύνθεσης Τεχνολογικής Αιχμής.
14. Αντωνία Πασπουτάκη, Τεχνολογία ξύλινης κατοικίας με έμφαση στην αντισεισμική προστασία, Πτυχιακή εργασία 2008, Τ.Ε.Ι Λάρισας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου.
15. Μωραϊτη Αναστασίου και Παπαδοπούλου Παύλου, Ιδιαιτερότητες και απαιτούμενες προσαρμογες τεχνολογίας κατασκευής ξύλινων σπιτιών στην Ελλάδα, Πτυχιακή εργασία 2011, Τ.Ε.Ι Λάρισας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου.
16. Handbook CLT-  
[http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web\\_informational/dpds021903.pdf](http://www.seattle.gov/dpd/cs/groups/pan/@pan/documents/web_informational/dpds021903.pdf)
17. <http://www.xilokatoikia.gr>
18. <http://www.elkefficienthouses.gr>
19. <http://www.g-e-maris.gr>
20. <http://www.easyhomeprokat.gr>
21. <http://www.allwood.gr>
22. *Canada Mortgage and Housing Corporation, Canadian Wood-Frame House Construction, 1997.*
23. <http://outsiderjapan.pbworks.com>.
24. [http://www.mqn.gr/phpBB/download/tmp/1402402342\\_243\\_a6ce1168a7c3228210d4f8c84b4fb4e1\\_127911141/%CE%A3%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CF%86%CE%B5%CF%81%CF%8C%CE%BD%CF%84%CF](http://www.mqn.gr/phpBB/download/tmp/1402402342_243_a6ce1168a7c3228210d4f8c84b4fb4e1_127911141/%CE%A3%CE%B7%CE%BC%CE%B5%CE%B9%CF%8E%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82%20%CF%86%CE%B5%CF%81%CF%8C%CE%BD%CF%84%CF)

[%89%CE%BD%20%CE%BE%CF%8D%CE%BB%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%20%CF%84%CE%BF%CE%AF%CF%87%CF%89%CE%BD.pdf](#)

25. <http://jasonw11030714northumbria.wordpress.com>
26. <http://www.e-architect.co.uk>
27. <http://inspectapedia.com>
28. Π.Τουλίάτος- <http://www.greekarchitects.gr/gr/home>
29. <http://www.buildnet.gr>
30. Timber Data File Series June 2001
31. [http://www.back-to-nature.gr/2012/11/blog-post\\_6022.html](http://www.back-to-nature.gr/2012/11/blog-post_6022.html)
32. Γεωλογικό Ινστιτούτο Αθηνών