

2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΥΛΙΝΩΝ ΦΕΡΟΝΤΩΝ ΤΟΙΧΩΝ

ΜΑΘΗΜΑ: ΕΥΛΙΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ Ε.Μ.Π.



ΚΥΡΙΑΚΟΥ ΑΝΤΡΕΑΣ
01107731
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012



Κυριάκου Σ.Α (2012).
Δομοστατικός Σχεδιασμός Ξύλινων Φερόντων Τοίχων
Διπλωματική Εργασία
Τομέας Δομοστατικής, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Kyriakou S.A (2012).
Structural Design of timber bearing walls
Diploma Thesis
Department of Structural Engineering, National Technical University of Athens, Greece

Ευχαριστίες

Φτάνοντας στο τέλος αυτής της προσπάθειας, θα ήθελα να ευχαριστήσω πρωτίστως τους γονείς μου Σωτήρη και Ερατώ για την αγάπη, την συνεχή υποστήριξη και υπομονή τους σε αυτά τα χρόνια των σπουδών μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, Λέκτορα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Εμμανουήλ Βουγιούκα, για τη σημαντική βοήθεια που μου έχει προσφέρει κατά τη διάρκεια της συγγραφής της διπλωματικής μου εργασίας καθώς και τον Υποψ. Διδάκτορα Κωνσταντίνο Χριστίδη για την βοήθεια του στις επιλύσεις με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP2000.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω του συμφοιτητές και τους φίλους μου που σε αυτά τα πέντε χρόνια ήταν πάντα δίπλα μου πρόθυμοι να βοηθήσουν και να με στηρίζουν.

Κυριάκου Αντρέας
Αθήνα
Οκτώβριος 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή

Κεφάλαιο 1. Ξύλινες κατασκευές	1
1.1. Μηχανικές ιδιότητες του ξύλου	1
1.1.1. Εφελκυστική αντοχή παραλλήλως στις ίνες	1
1.1.2. Εφελκυστική αντοχή καθέτως στις ίνες	1
1.1.3. Θλιπτική αντοχή παραλλήλως προς τις ίνες	1
1.1.4. Θλιπτική αντοχή καθέτως προς τις ίνες	2
1.1.5. Αντοχή σε κάμψη	2
1.1.6. Διατμητική αντοχή	2
1.1.7. Μέτρο ελαστικότητας	2
1.1.8. Αντοχή σε κρουστικά φορτία	3
1.1.9. Αντοχή υπό επαναλαμβανόμενη και ανακυκλιζόμενη ένταση	3
1.1.10. Κόπωση	4
1.1.11. Φαινόμενο κλίμακας	4
1.1.12. Ευκαμψία	4
1.1.13. Σκληρότητα	5
1.1.14. Πυκνότητα και μηχανικές ιδιότητες του ξύλου	5
1.2. Το ξύλο στη δόμηση	6
1.2.1. Φυσική ξυλεία	6
1.2.1.1. Στρογγυλή ξυλεία	6
1.2.1.2. Πελεκητή ξυλεία	6
1.2.1.3. Πριστή ξυλεία	6
1.2.2. Συγκολλητή ξυλεία	8
1.2.3. Αντικολλητή ξυλεία	10
1.2.4. Συγκολλητά φύλλα	11
1.2.4.1. Φύλλα συγκολλημένων στρώσεων	11
1.2.4.2. Ξύλο παραλλήλων στρώσεων	12
1.2.5. Πηχόπλακες	12
1.2.6. Μοριόπλακες	12
1.3. Κατασκευές από ξύλο	14
1.3.1. Κορμόσπιτα με οριζόντια τοποθέτηση κορμών.	15
1.3.2. Κατοικίες με ξύλινους κατακόρυφους στύλους ως φέροντα στοιχεία.	15
1.3.3. Σπίτια από ελαφρύ ξύλινο σκελετό.	15
1.3.4. Κατοικίες με σκελετό τύπου «Truss framed system»	16
1.3.5. Κατοικίες από ενισχυμένο ξύλινο σκελετό και «πάνελ»	17
1.3.6. Σπίτια με αντικολλητές ξυλόπλακες από στοιχεία φυσικής ξυλείας (cross laminated solid wood panels)	17
Κεφάλαιο 2. Φέροντα ξύλινα τοιχώματα	19
2.1. Στατικό σύστημα τοίχου	19
2.2. Υλικά τοίχου	20

2.2.1. Αντικολλητή ξυλεία	20
2.2.1.1. Πυκνότητα διαστάσεις	20
2.2.1.2. Χρήση στις κατασκευές	21
2.2.1.3. Προδιαγραφές και μηχανικά χαρακτηριστικά	21
2.2.1.4. Φυσικές ιδιότητες	23
2.2.1.4.1. Υγρασία	23
2.2.1.4.2. Βιολογική προσβολή	23
2.2.1.4.3. Διαπερατότητα υδρατμών (μ)	23
2.2.1.4.4. Θερμική αγωγιμότητα (λ)	23
2.2.1.4.5. Συμπεριφορά στη φωτιά	23
2.2.2. Ξυλεία προσανατολισμένων ξυλοτεμαχιδίων (OSB)	24
2.2.2.1. Πυκνότητα διαστάσεις	24
2.2.2.2. Χρήση στις κατασκευές	24
2.2.2.3. Προδιαγραφές και μηχανικά χαρακτηριστικά	25
2.2.2.4. Φυσικές ιδιότητες	27
2.2.2.4.1. Υγρασία	27
2.2.2.4.2. Βιολογική προσβολή	28
2.2.2.4.3. Διαπερατότητα υδρατμών (μ)	28
2.2.2.4.4. Θερμική αγωγιμότητα (λ)	28
2.2.2.4.5. Συμπεριφορά στη φωτιά	29
2.3. Φορτία τοίχου	29
2.3.1. Κατακόρυφα και εκτός επιπέδου φορτία	29
2.3.1.1. Περίπτωση απλής διατομής	29
2.3.1.2. Περίπτωση σύνθετης διατομής	30
2.3.1.3. Έλεγχος στρωτήρων	30
2.3.1.4. Έλεγχος πάνελ	30
2.3.2. Εντός επιπέδου φορτία	30
2.3.2.1. Απλοποιητική ανάλυση διαφραγμάτων τοίχων - Μέθοδος Α	31
2.3.2.2. Απλοποιητική ανάλυση διαφραγμάτων τοίχων - Μέθοδος Β	35
2.3.2.2.1. Κατασκευή τοίχων και τοιχοπετασμάτων ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις για απλοποιητική ανάλυση	35
2.3.2.2.2. Διαδικασία σχεδιασμού	36
Κεφάλαιο 3. Σεισμική συμπεριφορά	41
3.1. Πλαστιμότητα	41
3.2. Πλαστιμότητα των ξύλινων κατασκευών	42
3.3. Σεισμική συμπεριφορά των κτιρίων με ξύλινο σκελετό	43
3.4. Πηγές της σεισμικής συμπεριφοράς των ξύλινων κατασκευών	44
3.5. Σχεδιασμός της κατασκευής με αντισεισμική συμπεριφορά	44
3.6. Συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς q – Ευρωκώδικας 8	45
3.7. Διαφραγματική λειτουργία κατασκευής	47
3.8. Συμπεριφορά πάνελ σε σεισμό – οριζόντια φορτία	49
3.8.1. Επίδραση επιφανειακού υλικού	50

3.8.2. Επίδραση των συνδέσεων του πάνελ	54
3.8.3. Επίδραση των «ατελειών» του πάνελ	55
Κεφάλαιο 4. Προσομοίωση πάνελ σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων	57
4.1. Το λογισμικό SAP2000	57
4.2. Προσομοίωση στοιχείου πάνελ στο SAP2000	59
4.3. Αντικατάσταση επιφανειακού στοιχείου πάνελ με ισοδύναμη Διαγώνιο	60
Κεφάλαιο 5. Αναλύσεις	61
5.1. Χαρακτηριστικά πάνελ και υλικών κατασκευής	61
5.2. Μέθοδος αναλύσεων	62
5.3. Επιρροή επιφανειακού υλικού	64
5.4. Επιρροή χαρακτηριστικών επιφανειακού υλικού	65
5.5. Επιρροή αριθμού συνεχόμενων πάνελ	68
5.6. Επιρροή λόγου h/b	71
5.7. Εφαρμογή αναλύσεων σε σύνθετο παράδειγμα	79
Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα – Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	87
Παράρτημα Α. Εξισώσεις αντικατάστασης επιφανειακού στοιχείου με ισοδύναμες διαγωνίους	89
Παράρτημα Β. CD	95
Διπλωματική εργασία σε μορφή pdf	
Αναλύσεις με τη χρήση SAP	
Επίλυση σπιτιού με τη χρήση επιφανειακών στοιχείων	
Επίλυση σπιτιού με τη χρήση διαγωνίων	
Βιβλιογραφία	97

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Δομοστατικός Σχεδιασμός Ξύλινων Φερόντων Τοίχων

Κυριάκου Αντρέας

Επιβλέπων Καθηγητής: Εμμανουήλ Βουγιούκας, Λέκτορας Ε.Μ.Π

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την αντικατάσταση των επιφανειακών στοιχείων πάνελ με ισοδύναμες διαγωνίους σε μια ξύλινη κατασκευή. Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να ερευνηθεί πως επηρεάζεται αυτή η αντικατάσταση από το είδος του επιφανειακού υλικού, τον αριθμό των πάνελ σε ένα ξύλινο τοίχο, τον λόγο h/b του πάνελ και η εξαγωγή εξισώσεων από τις οποίες θα προκύπτει το πλάτος της ισοδύναμης διαγωνίου μέσω του πάχους του επιφανειακού στοιχείου.

Στα αρχικά κεφάλαια της διπλωματικής εργασίας γίνεται μια αναφορά στο ξύλο σαν υλικό αναφέροντας τις διάφορες ιδιότητες του και στη χρήση του στις διάφορες κατασκευές.

Ακολούθως γίνεται μια πιο λεπτομερής ανάλυση όσο αφορά τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των ξύλινων πάνελ και στον τρόπο παραλαβής των διαφόρων φορτίσεων.

Στη συνέχεια γίνεται η προσομοίωση των ξύλινων πάνελ με τη χρήση του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων SAP2000, οι αναλύσεις αντικατάστασης επιφανειακών στοιχείων με ισοδύναμες διαγωνίους με τη χρήση διαφορετικών παραμέτρων και η εξαγωγή των εξισώσεων αντικατάστασης.

Η διπλωματική εργασία ολοκληρώνεται με την εφαρμογή των εξισώσεων που προέκυψαν σε ένα πιο σύνθετο παράδειγμα όπου και γίνεται σύγκριση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής των εξισώσεων.

Για πολλούς αιώνες και για πολλές περιοχές, το ξύλο υπήρξε το πιο διαδεδομένο οικοδομικό υλικό. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά που του έδωσαν αυτή τη θέση το κρατούν ως τα σήμερα ανταγωνιστικό ως προς τα άλλα δομικά υλικά. Με τη πρόοδο της τεχνολογίας έχουν δημιουργηθεί νέες και αξιόπιστες μορφές βιομηχανικού ξύλου, βοηθώντας το έτσι να αντιμετωπίσει προκλήσεις, όπως η διασπορά στην ποιότητα του φυσικού ξύλου και η γενικότερη άνοδος των τιμών της ξυλείας, η οποία καθιστά επιτακτική την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων του υλικού.

Το ξύλο σαν δομικό υλικό προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα στην κατασκευή τα οποία οφείλονται στις διάφορες ιδιότητές του όπως:

- Μικρό ειδικό βάρος, άρα μικρά νεκρά φορτία.
- Μεγάλες αντοχές, ικανοποιητικό μέτρο ελαστικότητας
- Υλικό εύκολο στην κατεργασία
- Αυξημένες δυνατότητες μερικής ή και ολικής προκατασκευής
- Ευκολία στη διαμόρφωση σύνθετων μορφών
- Ευνοϊκή συμπεριφορά έναντι σεισμικών δυνάμεων
- Υλικό φιλικό και «ζεστό»

Παρόλα τα πλεονεκτήματά του όμως, το ξύλο δεν μπορεί να χαρακτηριστεί σαν το τέλειο δομικό υλικό αφού η ευαισθησία του σε συνθήκες περιβάλλοντος και η τρωτότητα του σε περιπτώσεις πυρκαγιάς το καθιστούν ακατάλληλο για ορισμένες εφαρμογές.

Ακόμη, η δομική ξυλεία παρουσιάζει κάποια ελαττώματα, 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. Τα κυριότερα ελαττώματα του ξύλου είναι:

- Απόσταση και κλίση των «νερών» του ξύλου
- Ανώμαλη ανάπτυξη
- Ρόζοι
- Θύλακες ρητίνης
- Σκισίματα, ρηγματώσεις
- Άκρες
- Κυάνωση
- Σήψη
- Στοές εντόμων
- Παραμορφώσεις

Κεφάλαιο 1. Ξύλινες κατασκευές

1.1. Μηχανικές ιδιότητες του ξύλου

Οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του ξύλου καθορίζονται τόσο από το είδος του δέντρου όσο και από τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο αναπτύχθηκε το δέντρο. Η μεγάλη ποικιλία ειδών δέντρων και συνθηκών αναπτύξεώς τους, οδηγεί σε μεγάλο εύρος διακυμάνσεως των ιδιοτήτων της παραγόμενης ξυλείας.

Επίσης, το ξύλο είναι ανισότροπο υλικό, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε όλες τις φάσεις της κατεργασίας και της χρήσης του, από την κοπή και την αποθήκευση ως τον σχεδιασμό και την κατασκευή.

Αυτό οφείλεται στο ότι τα σωληνωτά κύτταρα του κορμού μπορούν να προσομοιωθούν με ένα δεμάτι καλαμάκια. Το καθένα από τα καλαμάκια λειτουργεί σαν κοίλη δοκός και παρουσιάζει σημαντικά αυξημένη ακαμψία, σε σχέση με μια συμπαγή ίνα ίσης διατομής. Το προσομοίωμα αυτό δίνει ποιοτικές ερμηνείες για τη διαμόρφωση των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου.

1.1.1. Εφελκυστική αντοχή παραλλήλως στις ίνες

Τα σωληνωτά κύτταρα του ξύλου εμφανίζουν εξαιρετική αντοχή σε εφελκυσμό (200-300MPa). Η αντίστοιχη αντοχή του ξύλου είναι αισθητά μικρότερη (50-160MPa), γεγονός που οφείλεται στις «ατέλειες» που παρεμβάλλονται στην διάταξη των «αλυσίδων» των ινών, όπως: κάμψεις των ινών, εστίες με ουσίες μικρής αντοχής, ή εμφάνιση ασυνεχειών, μεγάλης μεν αντοχής που διακόπτουν όμως τη συνέχεια της δομής του ξύλου, με αποτέλεσμα την αντίστοιχη μείωση της συνολικής αντοχής του στοιχείου.

1.1.2. Εφελκυστική αντοχή καθέτως στις ίνες

Η εφελκυστική αντοχή του ξύλου καθέτως προς τις ίνες εξαρτάται από την αντοχή της συγκολλητής ύλης των σωληνωτών κυττάρων και είναι πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη αντοχή στην κάθετη της διεύθυνση. Η παρουσία σχισμών, που ενδέχεται να οφείλονται στη συστολή του ξύλου κατά την ξήρανση, στην κατεργασία κατά την κατασκευή ή στην ένταση του φορέα, μπορεί να μηδενίσει αυτή την ήδη μικρή αντοχή γι'αυτό και στις ξύλινες κατασκευές αποφεύγονται διατάξεις μελών οι οποίες θα φορτίζονταν με εφελκυστικές δυνάμεις καθέτως προς τις ίνες τους.

1.1.3. Θλιπτική αντοχή παραλλήλως προς τις ίνες

Η παραμόρφωση και η αστοχία του ξύλου υπό θλίψη παραλλήλως προς τις ίνες αναπτύσσεται με την παραμόρφωση ή και θραύση της λιγνίνης(κολλώδης ουσία η οποία βρίσκεται ενδιάμεσα των πρωτευνόντων στρωμάτων των τοιχωμάτων των κυττάρων του ξύλου), τη διατμητική ολίσθηση και αποκόλληση και τέλος, τον λυγισμό των κυτταρικών ινών. Όταν αρχίζει η αστοχία υπό αξονική θλίψη, μπορούν, με προσεκτική εξέταση να παρατηρηθούν στην πλαϊνή επιφάνεια του ξύλου ρυτίδες, που κλίνουν υπό γωνία 45° ως προς τον άξονα και προέρχονται από το «γονάτισμα» των ινών που αστοχούν.

Οι αντοχές της φυσικής ξυλείας σε αξονική θλίψη κυμαίνονται, ανάλογα με το είδος, μεταξύ 30 και 100 MPa.

1.1.4. Θλιπτική αντοχή καθέτως προς τις ίνες

Η θλίψη καθέτως προς τις ίνες προκαλεί παραμόρφωση της διατομής των σωληνίσκων των κυττάρων και, γενικώς, συρρίκνωση των κοιλιοτήτων και των διακένων των κυττάρων. Οι παραμορφώσεις αυτές δεν αναπτύσσονται ομοιόμορφα στη φορτιζόμενη μάζα του ξύλου, αλλά ξεκινούν από τις άμεσα φορτιζόμενες στιβάδες και διαδίδονται με την εξέλιξη της φορτίσεως.

Οι αντοχές της φυσικής ξυλείας σε εγκάρσια θλίψη κυμαίνονται, ανάλογα με το είδος, μεταξύ 1 και 20 MPa. Αν η φόρτιση είναι τοπική, προφανώς θα σημειωθούν θραύσεις ινών στην περίμετρο της φορτιζόμενης επιφάνειας, καθώς αυξάνουν συνεχώς οι παραμορφώσεις.

1.1.5. Αντοχή σε κάμψη

Η αντοχή του ξύλου σε κάμψη καθορίζεται βασικώς από την αντοχή των εφελκυσόμενων ινών του, καθώς εμφανίζεται μια «πλαστικοποίηση» της θλιβόμενης ζώνης της καμπτόμενης διατομής, με αύξηση του πάχους των ινών οι οποίες φτάνουν τη μέγιστη τάση του. Με την πλαστικοποίηση και τις τοπικές αστοχίες των θλιβομένων ινών, η μέγιστη τάση στη θλιβόμενη ζώνη μένει σταθερή, ενώ μεγαλώνουν οι εφελκυστικές τάσεις, έναντι των οποίων το ξύλο εμφανίζει και τη μεγαλύτερη αντοχή.

Η αντοχή σε κάμψη είναι μεγαλύτερη από την εφελκυστική του αντοχή παραλλήλως προς τις ίνες και η διαφορά αυτή αποτυπώνεται στους κανονισμούς, όπου στα Ευρωπαϊκά Πρότυπα (EN 338, πιν.2.7) ο λόγος των επιτρεπόμενων τάσεων σε κάμψη και εφελκυσμό είναι περίπου 1,7 για όλα τα είδη δέντρων και τις κατηγορίες αντοχών.

1.1.6. Διατμητική αντοχή

Ο μηχανισμός αναπτύξεως της διατμητικής αντοχής διαφέρει ανάλογα με το επίπεδο στο οποίο εμφανίζεται η διατμητική ένταση. Στα επίπεδα που είναι παράλληλα προς τις ίνες η διατμητική ένταση προκαλεί παράλληλη ή λοξή ολίσθηση των ινών, ενώ στα κάθετα προς τις ίνες επίπεδα προκαλεί κατά μήκος περιστροφή των ινών.

Κατά την ολίσθηση τους, οι ίνες αυτές τείνουν να συμπλησιάσουν, με αποτέλεσμα να αναπτύσσεται μεταξύ τους κάθετη τάση και να μεγαλώνει η διατμητική αντοχή της συγκολλητικής ύλης (λιγνίνη) που τις συνδέει.

Αντιθέτως, κατά την περιστροφή των ινών η λιγνίνη βρίσκεται υπό περίπου καθαρή διάτμηση, δηλαδή σε όρους κυρίων τάσεων, υπό συνδυασμό ίσων σε μέγεθος τάσεων εφελκυσμού και θλίψης, με αποτέλεσμα να εμφανίζει σαφώς μειωμένη, έναντι της προηγούμενης, αντοχή.

1.1.7. Μέτρο ελαστικότητας

Γενικώς, υφίσταται άμεση συσχέτιση μέτρου ελαστικότητας και αντοχών, η οποία αναγνωρίζεται στους κανονισμούς.

Το μέσο μέτρο ελαστικότητας της διαβαθμισμένης δομικής ξυλείας στην αξονική διεύθυνση κυμαίνεται μεταξύ των 7 GPa και των 11 GPa. Στις άλλες δύο διευθύνσεις, την ακτινική και την εφαπτομενική, τα μέτρα ελαστικότητας είναι περίπου ίσα μεταξύ τους, με τιμές που κυμαίνονται, κατ'αντιστοιχία προς τις προηγούμενες μεταξύ των 0,23 GPa και των 1,33 GPa.

Μετρήσεις του μέτρου ελαστικότητας

- Για το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη χρησιμοποιείται η διάταξη του σχήματος, σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN408 και το Πρότυπο ISO 8375. Το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη E_m (MPa) προκύπτει από τη σχέση:

$$E_m = \frac{a * l_1^2 * \Delta F}{16 * l * \Delta \delta}$$

Όπου a : η απόσταση κάθε φορτίου από την αντίστοιχη στήριξη του δοκιμίου
 l_1 : το μήκος της βάσης μετρήσεως (mm)
 ΔF : το φορτίο στο όριο ελαστικότητας (N)
 l : η ροπή αδρανείας του δοκιμίου (mm⁴)
 $\Delta \delta$: το βέλος της βάσης μετρήσεως υπό το φορτίο ΔF (mm)

- Σύμφωνα με την ίδια προδιαγραφή, για το μέτρο ελαστικότητας σε εφελκυσμό ή θλίψη χρησιμοποιείται πρισματικό δοκίμιο υπό αξονική φόρτιση όπως στο σχήμα. Το μέτρο ελαστικότητας σε N/mm², προκύπτει από τη σχέση:

$$E_{t,0} = \frac{l_M * \Delta F}{A * \Delta \delta}$$

Όπου l_M : η βάση μετρήσεως (mm)
 ΔF : το φορτίο στο όριο ελαστικότητας (N)
 A : η διατομή του δοκιμίου (mm²)
 $\Delta \delta$: η παραμόρφωση υπό το φορτίο ΔF (mm)

1.1.8. Αντοχή σε κρουστικά φορτία

Το ξύλο εμφανίζει γενικώς υψηλή αντοχή σε κρουστικά φορτία, κυμαινόμενη σε μεγάλο εύρος, ανάλογα με το είδος του ξύλου. Η αντοχή του ξύλου υπό κρουστικά φορτία έχει μεγάλη σημασία για ορισμένες περιοχές των ξύλινων κατασκευών, πχ τις περιοχές των συνδέσεων και των αγκυρώσεων, όπου το ξύλο και οι συνδέσμοι υφίστανται κρουστική καταπόνηση κατά τη διάρκεια ενός σεισμού. Υπό το κρουστικό φορτίο δεν προλαβαίνουν να αναπτυχθούν οι συμπληρωματικοί μηχανισμοί αντοχής της συνδέσεως (τριβές, διαδοχική πλαστικοποίηση του ξύλου στις περιοχές των οπών των συνδέσεων), με συνέπεια τη μείωση της φέρουσας ικανότητας των συνδέσεων και την άμεση κρουστική φόρτιση του ξύλου.

1.1.9. 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 $q > 1$.

1.1.10. 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.

1.1.11. 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, απ'όσα σε μια δοκό μικρότερου ύψους, δηλαδή είναι πιθανότερο να βρεθούν και να αστοχήσουν καλαμάκια χαμηλότερης αντοχής.

1.1.12 Ευκαμψία

Είναι η ιδιότητα που χαρακτηρίζει την ευκολία με την οποία το ξύλο φορτιζόμενο πέρα από το όριο ελαστικότητας παραμορφώνεται μονίμως χωρίς θραύσεις. Ως δείκτης της ευκαμψίας δ , μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο λόγος του βέλους u του καμπτόμενου στοιχείου προς το μόνιμο βέλος u_{pl} το οποίο υφίσταται το στοιχείο, δηλαδή:

$$\delta = u / u_{pl}$$

Οι τιμές του δ κυμαίνονται από 15 έως 50 περίπου, ανάλογα με το είδος και την κατάσταση του ξύλου και προφανώς μικρότερες τιμές του δ σημαίνουν μεγαλύτερη ευκαμψία.

Η ευκαμψία μεγαλώνει με την υγρασία και τη θερμοκρασία. Με άτμιση (επίδραση υδρατμών σε υψηλή θερμοκρασία) το ξύλο γίνεται ιδιαίτερος εύκαμπτο. Μετά τη ψύξη διατηρεί τη μορφή που απέκτησε, καθώς άλλες ίνες του έχουν αποκτήσει με μεγάλη πλαστική εφελκυστική παραμόρφωση και άλλες μεγάλη πλαστική θλιπτική παραμόρφωση.

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές ευκαμψίας για μερικά είδη ξύλου.

Πίνακας 1.1. Η ευκαμψία του ξύλου. [1]

δ	Ευκαμψία	Είδος ξύλου
40-50	Μικρή	Ξύλα με ελαττώματα, αποξηραμένα, φθαρμένα από τη χρήση ή τον χρόνο
30-40	Μέση	Κωνοφόρα, οξιά
15-30	Μεγάλη	Δρύς, φράξος

1.1.13. Σκληρότητα

Είναι η ιδιότητα που χαρακτηρίζει την αντίσταση που προβάλλει το ξύλο στη διεύθυνση. Η σκληρότητα είναι περίπου διπλάσια στη διεύθυνση των ινών, σε σχέση με την εγκάρσια διεύθυνση. Γενικώς, αυξάνεται με την πυκνότητα.

Η σκληρότητα έχει σημασία για την κατεργασιμότητα του ξύλου, για τη δυνατότητα πραγματοποίησεως ορισμένων συνδέσεων (ήλωση χωρίς προδιάτρηση, ηλοφόρες πλάκες) καθώς και για μερικές χρήσεις, στις οποίες το υλικό πρόκειται να δεχτεί επιφανειακή τριβή και χάραξη.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατάταξη μερικών ειδών ξύλου βάσει ενός ποιοτικού χαρακτηρισμού της σκληρότητάς τους.

Πίνακας 1.2. Η σκληρότητα μερικών ξύλων. [1]

Σκληρότητα	Είδος ξύλου
Μικρή	Λεύκη, καστανιά, πεύκη
Μέση	Πεύκη, ελάτη, καρυδιά
Μεγάλη	Δρυς, οξιά, φράξος

1.1.14. Πυκνότητα και μηχανικές ιδιότητες του ξύλου

Η φαινόμενη πυκνότητα είναι η σπουδαιότερη φυσική ιδιότητα του ξύλου, καθώς συσχετίζεται άμεσα με τις μηχανικές του ιδιότητες. Η πυκνότητα της δομικής ξυλείας κυμαίνεται μεταξύ 300 και 550 kg/m³. Η πυκνότητα του τοιχώματος των κυττάρων του ξύλου είναι της τάξεως των 1500 kg/m³, άρα το ποσοστό των πόρων του ξύλου κυμαίνεται, αντιστοίχως μεταξύ 80-65%.

Η πυκνότητα εξαρτάται από το ποσοστό υγρασίας, αφ' ενός επειδή το περιεχόμενο στο ξύλο νερό προστίθεται στη μάζα του ξύλου και αφ' ετέρου λόγω των ογκομετρικών μεταβολών τις οποίες συνεπάγονται οι μεταβολές του ποσοστού υγρασίας.

1.2. Το ξύλο στη δόμηση

Μορφές της δομικής ξυλείας και των προϊόντων ξύλου

Στο εμπόριο το ξύλο φέρεται στη φυσική του μορφή και, ακόμη, με την μορφή διαφόρων βιομηχανοποιημένων προϊόντων, με τα οποία, αναλόγως του είδους τους, επιτυγχάνεται η παραγωγή ξυλείας με ειδικές μορφές (συγκολλητή ξυλεία) και βελτιωμένα βιομηχανικά χαρακτηριστικά (συγκολλητή ξυλεία, αντικολλητή ξυλεία) ή αξιοποιούνται άχρηστα μέρη του φυσικού ξύλου και προϊόντα της κατεργασίας του (πηλόπλακες, μοριοσανίδες, ινοσανίδες).

1.2.1. Φυσική ξυλεία

Μετά την αποφλοιώση οι κορμοί υφίστανται λιγότερη ή περισσότερη επεξεργασία και παράγονται τα παρακάτω είδη:

1.2.1.1. Στρογγυλή ξυλεία

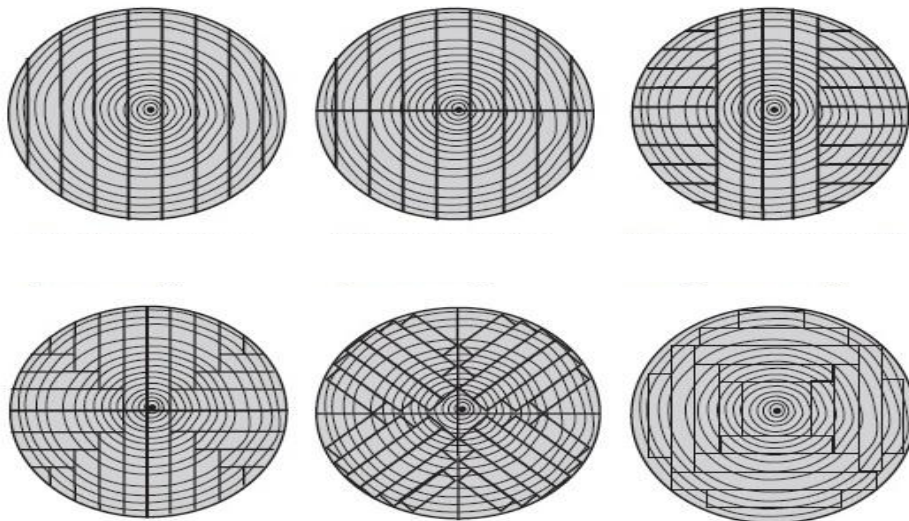
Προέρχεται από κορμούς, σχετικά μικρής διατομής, οι οποίοι έχουν υποστεί μόνο αποφλοιώση έχει μεγαλύτερες αντοχές από την πριστή ξυλεία του ίδιου δέντρου, επειδή οι ίνες του ξύλου διατηρούν την ακεραιότητά τους, χωρίς τα τραύματα που προκαλεί η κοπή. Παρόλ' αυτά, οι συνδέσεις στοιχείων από στρογγυλή ξυλεία μεταξύ τους ή με στοιχεία ορθογωνικής διατομής παρουσιάζουν κάποια δυσκολία, καθώς η επιφάνεια επαφής εκφυλίζεται σε γραμμή ή σημείο.

1.2.1.2. Πελεκητή ξυλεία

Οι κορμοί ορθογωνίζονται πρόχειρα με τσεκούρι. Χρησιμοποιείται σε απλές αγροτικές κατασκευές, στοιχειώδη ζευκτά, κτλ.

1.2.1.3. Πριστή ξυλεία

Αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της δομικής ξυλείας. Προκύπτει από το πριόνισμα του κορμού με ειδικά πριόνια. Η κοπή γίνεται κάθετα ή εφαπτομενικά προς τους αυξητικούς δακτυλίους. Όπως είναι προφανές, αφού ένα σημαντικό μέρος των κριτηρίων που καθορίζουν την ποιότητα του ξύλου αφορά στη διάταξη των ινών, η κατάταξη ενός ξύλου θα εξαρτηθεί και από την κοπή.



Εικόνα 1.1. Η κοπή των κορμών. [9]

Διαβάθμιση του φυσικού ξύλου στον Ευρωκώδικα 5

Για την εφαρμογή του Ευρωκώδικα 5 ακολουθείται η ταξινόμηση η οποία καθορίζεται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN 338 και παρουσιάζεται στους πίνακες που ακολουθούν. Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, η δομική ξυλεία ταξινομείται σε δύο είδη: κωνοφόρα και λεύκη (C) και φυλλοβόλα (D). Κάθε κατηγορία αντοχής σημαίνεται με το χαρακτηριστικό γράμμα του είδους ακολουθούμενο από τη χαρακτηριστική αντοχή σε κάμψη, f_{mk} , σε MPa.

Ο προηγούμενος διαχωρισμός των ειδών γίνεται επειδή το ξύλο των φυλλοβόλων έχει διαφορετική δομή από το ξύλο των κωνοφόρων, με συνέπεια τα φυλλοβόλα να έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα από τα κωνοφόρα, χωρίς όμως να έχουν αναλόγως μεγαλύτερες αντοχές.

Πίνακας 1.3. Κωνοφόρα και λεύκη, Κατηγορίες αντοχών (EN 338). [31]

	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	C40
MPa									
$f_{m,k}$	14	16	18	22	24	27	30	35	40
$f_{t,0,k}$	8	10	11	13	14	16	18	21	24
$f_{t,90,k}$	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
$f_{c,0,k}$	16	17	18	20	21	22	23	25	26
$f_{c,90,k}$	4.3	4.6	4.8	5.1	5.3	5.6	5.7	6.0	6.3
$f_{v,k}$	1.7	1.8	2.0	2.4	2.5	2.8	3.0	3.4	3.8
GPa									
$E_{0,mean}$	7	8	9	10	11	12	12	13	14
$E_{0,05}$	4.7	5.4	6	6.7	7.4	8.0	8.0	8.7	9.4
$E_{90,mean}$	0.23	0.27	0.30	0.33	0.37	0.40	0.40	0.43	0.47
G_{mean}	0.44	0.50	0.56	0.63	0.69	0.75	0.75	0.81	0.88
Kg/m ³									
ρ_k	290	310	320	340	350	370	380	400	420

Πίνακας 1.4. Φυλλοβόλα, Κατηγορίες αντοχών (EN 338). [31]

	D30	D33	D40	D50	D60	D70
MPa						
$f_{m,k}$	30	33	40	50	60	70
$f_{t,0,k}$	18	21	24	30	36	42
$f_{t,90,k}$	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.9
$f_{c,0,k}$	23	25	26	29	32	34
$f_{c,90,k}$	8.0	8.4	8.8	9.7	10.5	13.5
$f_{v,k}$	3.0	3.4	3.8	4.6	5.3	6.0
GPa						
$E_{0,mean}$	10	10	11	14	17	20
$E_{0,05}$	8.0	8.7	9.4	11.8	14.3	16.8
$E_{90,mean}$	0.64	0.69	0.75	0.93	1.13	1.33
G_{mean}	0.60	0.65	0.70	0.88	1.06	1.25
Kg/m ³						
ρ_k	530	560	590	650	700	900

1.2.2. Συγκολλητή ξυλεία

Παραγωγή και ιδιότητες

Τέσσερις, τουλάχιστον, σανίδες πάχους 20-50mm και μήκους από 1,5 μέχρι 5 m, περίπου, συγκολλούνται υπό αυστηρώς ελεγχόμενες εργοστασιακές συνθήκες για να δώσουν ευθύγραμμους ή καμπύλους φορείς

Η συγκολλητή ξυλεία παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι του φυσικού ξύλου, λόγω της δυνατότητας δημιουργίας φορέων μεγάλων διαστάσεων, με διάφορες μορφές και βελτιωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της συγκολλητής ξυλείας είναι:

- Η μορφολογική ελευθερία αφού υπάρχει ευκολία στη διαμόρφωση δομικών στοιχείων, τα οποία ικανοποιούν τις μορφολογικές επιδιώξεις του μηχανικού και, επίσης, φορέων με άξονα και διατομή που προσαρμόζονται προς τις απαιτήσεις της εντάσεως ώστε να είναι πλεονεκτική η χρησιμοποίησή τους για τη δημιουργία φορέων μεγάλων ανοιγμάτων, άνω των 100m.
- Στοιχεία μεγάλων διαστάσεων αφού μπορούν να παραχθούν στοιχεία μεγάλης διατομής, τα οποία δεν είναι δυνατόν να προκύψουν από κορμούς δέντρων. Οι διατομές σχηματίζονται με τη χρήση λεπτότερων διατομών και έτσι εξασφαλίζεται καλύτερη αξιοποίηση και καλύτερη οικονομία του υλικού.
- Καλύτερη αξιοποίηση του ξύλου αφού τα ελαττώματα μιας σανίδας περιορίζονται στην έκτασή της και έτσι έχουν μικρότερη επιρροή στην αντοχή

- της δοκού, ενώ η διανομή των ελαττωμάτων του ξύλου γίνεται πιο ομοιόμορφη απ'ότι ήταν στις σανίδες.
- Ακρίβεια και σταθερότητα διαστάσεων λόγω του ότι η βιομηχανική διαδικασία που περιλαμβάνει την ξήρανση των σανίδων, οδηγεί στην παραγωγή στοιχείων με ακριβείς διαστάσεις. Η ξήρανση των σανίδων γίνεται προς ποσοστό υγρασίας της τάξεως του 12%, δηλαδή στο ποσοστό ισορροπίας του ξύλου στις συνήθεις χρήσεις, κι έτσι τα τοποθετημένα δομικά στοιχεία παρουσιάζουν μεγάλη σταθερότητα διαστάσεων.
 - Αυξημένη πυρασφάλεια εξ αιτίας της μεγάλης τους διατομής η οποία τους προσδίδει αυξημένη αντοχή στην πυρκαγιά.

Η βελτίωση της μηχανικής συμπεριφοράς ενός δομικού στοιχείου συγκολλητής ξυλείας έναντι της αντίστοιχης συμπεριφοράς των σανίδων από τις οποίες συντίθεται ερμηνεύεται ως εξής: Πέραν του ότι η επιρροή των διαφόρων ατελειών περιορίζεται στην γειτονιά της μεμονωμένης σανίδας και μειώνεται στο σύνολο του δομικού στοιχείου, οι στρώσεις της συγκολλήσεως, παρά το ελάχιστο πάχος τους, δημιουργούν ζώνες κάποιας, μικρής έστω αλλά υπαρκτής, ανακοπής της διαδόσεως μιας αστοχίας, ιδίως σε ό,τι αφορά τις διατμητικές, κυρίως, αλλά και τις παράλληλες προς τις ίνες τάσεις.

Διαβάθμιση της συγκολλητής ξυλείας στον Ευρωκώδικα 5

Στο σχέδιο προτύπου EN 1194 καθορίζονται πέντε κατηγορίες αντοχών για τη συγκολλητή ξυλεία. Σημειώνονται με την ένδειξη GL ακολουθούμενο από τη χαρακτηριστική αντοχή σε κάμψη, f_{mk} , σε MPa.

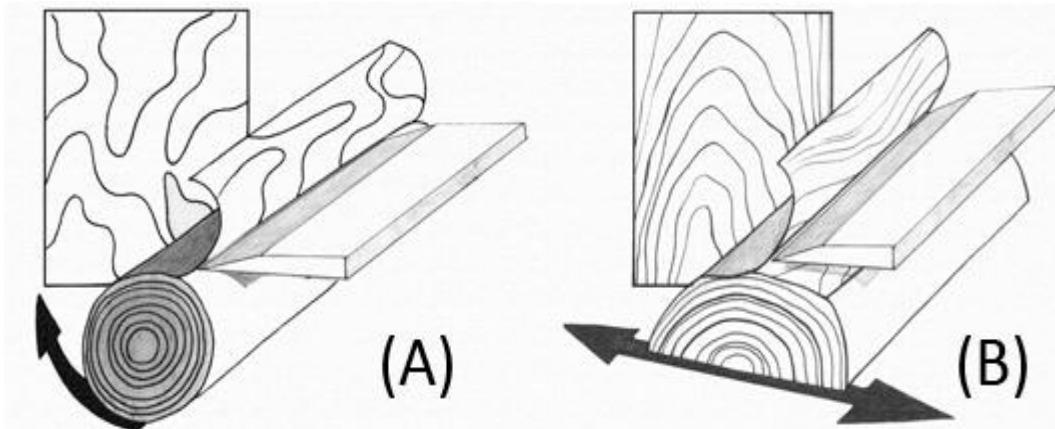
Πίνακας 1.5.Κατηγορίες αντοχών συγκολλητής ξυλείας. [32]

	GL20	GL24	GL28	GL32	GL36
MPa					
$f_{m,g,k}$	20	24	28	32	36
$f_{t,0,g,k}$	15	28	21	24	27
$f_{t,90,g,k}$	0.35	0.35	0.45	0.45	0.45
$f_{c,0,g,k}$	21	24	27	29	31
$f_{c,90,g,k}$	5.0	5.5	6.0	6.0	6.3
$f_{v,g,k}$	2.8	2.8	3.0	3.5	3.5
GPa					
$E_{0,mean,g}$	10	11	12	13.5	14.5
$E_{0,05,g}$	8.0	8.0	9.6	10.8	11.6
Kg/m ³					
ρ_k	360	380	410	440	480

1.2.3. Αντικολλητή ξυλεία

Παραγωγή και ιδιότητες

Διαλεγμένοι κορμοί μήκους περίπου 2,5m αποφλοιώνονται και υφίστανται κατεργασία με ατμό. Λεπτά φύλλα ξύλου, πάχους 1 μέχρι 4mm, προκύπτουν με κοπή του κορμού είτε σαν ξετύλιγμα είτε σαν φέτες. Τα φύλλα αυτά ξηραίνονται και ελέγχονται. Ακολούθως συγκολλούνται μεταξύ τους από υψηλή θερμοκρασία και πίεση, πάντοτε σε μονό αριθμό, μεγαλύτερο του τρία, με τα νερά τους κάθετα μεταξύ τους από φύλλο σε φύλλο. Η κόλλα που θα χρησιμοποιηθεί καθορίζεται από τις απαιτήσεις ανθεκτικότητας του φύλλου.



Εικόνα 1.2. Η παραγωγή των στρώσεων της αντικολλητής ξυλείας. [10]

Το σύνθετο φύλλο που προκύπτει έχει υψηλές αντοχές και μέτρα ελαστικότητας, είναι δε ανθεκτικό στην υγρασία, καθώς, αφ' ενός το ποσοστό ισορροπίας του είναι χαμηλότερο από εκείνο της αντίστοιχης φυσικής ξυλείας, αφ' ετέρου δε οι παραμορφώσεις είναι μειωμένες καθώς παρεμποδίζονται από της σταυρωτή διάταξη των στρώσεων του φύλλου.

Μια σύντομη καταγραφή των πλεονεκτημάτων της αντικολλητής ξυλείας είναι η εξής:


- Πρακτικώς απαραμόρφωτη επίπεδη επιφάνεια.
- Δεν σκίζεται, εύκολη στερέωση με απλό κάρφωμα, μειωμένες ελάχιστες αποστάσεις ήλων.
- Κάμπτεται για να σχηματίσει καμπύλες επιφάνειες.
- Είναι ανθεκτική στην κρούση.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως τελική επικάλυψη.

Διαβάθμιση της αντικολλητής ξυλείας στον Ευρωκώδικα 5


Η ταξινόμηση της αντικολλητής ξυλείας γίνεται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας και σύμφωνα με την εμφάνιση των όψεων του προϊόντος. Χαρακτηριστικές τιμές αντοχών και πυκνοτήτων και μέσες τιμές του μέτρου ελαστικότητας, για αντικολλητή ξυλεία διαφόρων προελεύσεων δίνονται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN TC 112.406.

Πίνακας 1.6. Χαρακτηριστικές αντοχές και μέτρα ελαστικότητας της αντικολλητής ξυλείας. [3]


Section properties			Characteristic strength (N/mm ²)									Mean modulus of rigidity (N/mm ²)			Mean modulus of elasticity (N/mm ²)			
			Bending		Compression		Tension		Panel shear	Planar (rdling) shear		Panel shear	Planar shear		Bending		Tension and compression	
Nominal thickness (mm)	Number ofplies	Mean thickness (mm)	$f_{m,0,k}$	$f_{m,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	f_{vk}	$f_{0,k}$	$f_{90,k}$	$G_{v,mean}$	$G_{r0,mean}$	$G_{r90,mean}$	$E_{m,0,mean}$	$E_{m,90,mean}$	$E_{t,c,0,mean}$	$E_{t,c,90,mean}$
6.5	5	6.4	50.8	29.0	24.5	22.8	19.1	32.8	7.0	3.20	1.14	600	169	41	12690	4763	8859	7656
9	7	9.2	43.9	32.1	22.5	23.7	17.5	34.2	7.0	2.68	1.51	593	206	52	10983	6105	8141	7989
12	9	12.0	40.0	33.2	21.5	24.3	16.7	35.0	7.0	2.78	1.42	589	207	57	10012	6781	7758	8167
15	11	14.8	37.5	33.8	20.8	24.6	16.2	35.5	7.0	2.62	1.53	586	207	59	9386	7184	7520	8277
18	13	17.6	35.8	34.1	20.4	24.8	15.8	35.8	7.0	2.67	1.90	584	206	61	8950	7452	7396	8352
21	15	20.4	34.5	34.3	20.0	25.0	15.6	36.0	7.0	2.59	1.55	583	206	62	8628	7642	7240	8407
24	17	23.2	32.9	34.4	19.8	25.1	15.4	36.2	7.0	2.62	1.53	582	206	63	8381	7783	7151	8448
27	19	26.0	31.2	34.5	19.6	25.2	15.3	36.3	7.0	2.57	1.56	581	205	63	8185	7893	7081	8481
30	21	28.8	29.9	34.6	19.5	25.3	15.1	36.5	7.0	2.59	1.54	581	205	64	8026	7981	7024	8507




Bending parallel to grain: $f_{m,0,k}$ and $E_{m,0,mean}$
Planar shear: $f_{0,k}$ and $G_{v,mean}$




Bending perpendicular to grain: $f_{m,90,k}$ and $E_{m,90,mean}$
Planar shear: $f_{90,k}$ and $G_{r,90,mean}$



Tension or compression parallel to grain: $f_{t,0,k}$, $f_{t,90,k}$ and $E_{t,c,0,mean}$, $E_{t,c,90,mean}$



Tension or compression perpendicular to grain: f_{vk} , $f_{0,k}$ and $E_{m,0,mean}$, $E_{m,90,mean}$



Panel shear: f_{vk} and $G_{v,mean}$

1.2.4. Συγκολλητά φύλλα

Τα συγκολλητά φύλλα παράγονται βασικώς όπως η αντικολλητή ξυλεία, με διάφορους τρόπους κοπής και διατάξεως των στρώσεων. Παράγονται ορθογωνικές διατομές και πλάκες σημαντικών διαστάσεων.

1.2.4.1. Φύλλα συγκολλημένων στρώσεων

Τα φύλλα συγκολλημένων στρώσεων παράγονται όπως τα φύλλα αντικολλητής ξυλείας, με τη διαφορά ότι οι περισσότερες στρώσεις τοποθετούνται με τις ίνες τους παράλληλες, διατίθενται δε σε φύλλα, το μέγιστο πάχος των οποίων μπορεί να υπερβεί τα 75mm.

Τα φύλλα των στρώσεων, συνήθως πάχους 3-4mm, κόβονται σε πλάτη περίπου 2mm και ενώνονται κατά μήκος με πριονωτές συνδέσεις, εκτός από τη μεσαία στρώση, στην οποία οι συνδέσεις, εκτός από τη μεσαία στρώση, στην οποία οι συνδέσεις είναι κατά κεφαλή. Οι ενώσεις των στρώσεων μετατοπίζονται καθ' ύψος του φύλλου. Μετά την ξήρανση τους, οι στρώσεις τοποθετούνται με τις ίνες τους παράλληλες και συγκολλούνται με κόλλα. Το συγκολλημένο φύλλο συμπίεζεται υπό θερμοκρασία περίπου 150° C και παράγονται φύλλα με μήκος που μπορεί να υπερβεί τα 20m.

Τα φύλλα συγκολλημένων στρώσεων χρησιμοποιούνται με τη μορφή δοκών, πλακών, ράβδων δικτυωμάτων καθώς και στις επισκευές ξύλινων κατασκευών. Με τον υψηλό λόγο αντοχή βάρος που διαθέτουν, μπορούν να ανταγωνιστούν τον χάλυβα στην κατασκευή φορέων μεγάλων ανοιγμάτων. Επίσης, σημαντική είναι η χρήση τους για την κατασκευή τοιχωμάτων ακαμψίας. Το τοίχωμα που προκύπτει διαθέτει μεγάλη διατμητική αντοχή και υψηλή ικανότητα αναλώσεως ενέργειας υπό σεισμικά φορτία.



Εικόνα 1.3. Κομμάτι φύλλου συγκολλητής στρώσης. [10]

1.2.4.2. Ξύλο παραλλήλων στρώσεων

Το ξύλο παραλλήλων στρώσεων παράγεται όπως τα φύλλα συγκολλημένων στρώσεων, αλλά έχει τη μορφή δοκού και όχι φύλλου. Οι στρώσεις έχουν πάχος 2-3mm και μήκος μέχρι 2,4m, συγκολλούνται και συμπιέζονται ενώ θερμαίνονται με μικροκύματα. Παράγεται ένας ορθογωνικός κορμός, διατομής ύψους μέχρι 480mm, πλάτους μέχρι 250mm και μήκους μέχρι 20m, ο οποίος μπορεί να κοπεί σε μικρότερα κομμάτια.

1.2.5. Πηχόπλακες

Μια στρώση από επαπτόμενες ξύλινες πηχίες, με πάχος ως 20mm, καλύπτεται και από τις δύο όψεις με λεπτά αντικολλητά φύλλα.

Μια πηχόπλακα έχει δευτερεύοντες μηχανικές ιδιότητες από ένα ισόπαχο φύλλο αντικολλητής ξυλείας, αλλά καλύτερες από ένα φύλλο μοριοσανίδας.

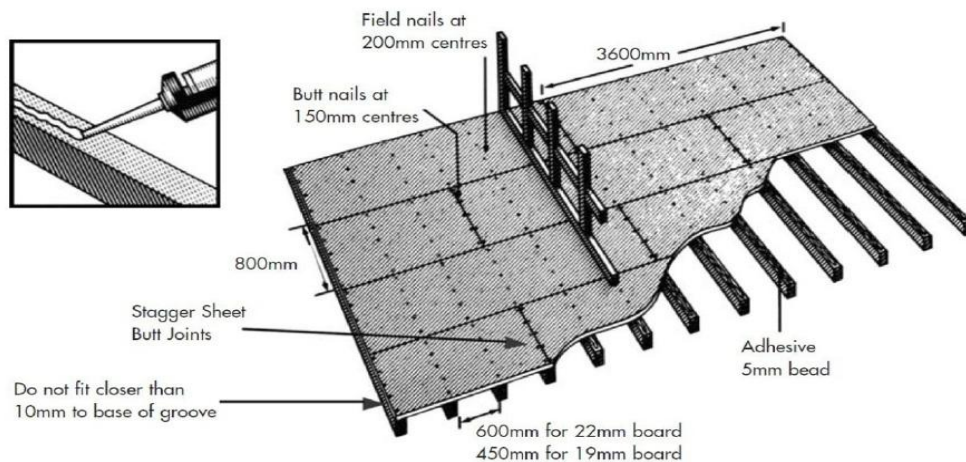
Χρησιμοποιούνται για επικαλύψεις, επενδύσεις, διαχωριστικά κτλ.

1.2.6. Μοριόπλακες

Με τη γενική ονομασία «μοριοπλάκες» καλύπτονται διάφορα προϊόντα, η πρώτη ύλη των οποίων είναι τεμαχίδια ξύλου, περισσεύματα και απορρίμματα από την κατεργασία του ξύλου. Αυτά αναμειγνύονται με μια συγκολλητική ύλη (ρητίνη, γύψο ή νερό) και ο πολτός που προκύπτει διοχετεύεται σε φόρμες, υπό ορισμένη πίεση και θερμοκρασία. Προκύπτουν πλάκες πάχους από 6mm έως μερικά cm, με διαφορετικές μορφές επιφάνειας.

Ανάλογα με το μέγεθος και τη διάταξη των τεμαχιδίων του ξύλου, προκύπτουν διάφορα προϊόντα, με αντίστοιχες ονομασίες: μοριοσανίδες (particle board), ινοσανίδες (fiber board), πλάκες προσανατολισμένων ινών (oriented strand board, OSB), ενώ συχνά είναι γνωστά με την εμπορική ονομασία ενός από αυτά.

Οι μηχανικές ιδιότητες των μοριοσανίδων εξαρτώνται και από το πάχος τους, ώστε η διαβάθμισή τους σε κατηγορίες αντοχών γίνεται και ανάλογα με το πάχος τους, ενώ για τις ινοσανίδες η αντίστοιχη εξάρτηση είναι μικρότερη. Επίσης, οι θερμικές και ακουστικές ιδιότητες καθώς και η συμπεριφορά σε πυρκαγιά είναι της ίδιας τάξεως με εκείνες του φυσικού ξύλου της ίδιας πυκνότητας.



Εικόνα 1.4. Διάταξη μοριοπλακών σε κατασκευή πατώματος. [10]

Διαβάθμιση μοριοπλακών στον Ευρωκώδικα 5

Χαρακτηριστικές τιμές αντοχών και δυσπαραμορφωσιμότητας για μερικά είδη μοριοπλακών δίνονται στο Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN113,406 και παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 1.7. Χαρακτηριστικές τιμές αντοχών και δυσπαραμορφωσιμότητας μοριοπλακών. [1]

Μηχανικές ιδιότητες	Είδος μοριόπλακας			
	Μοριοσανίδες P4	Μοριοσανίδες P7 βαρέως τύπου	Ινοσανίδες MBH.LA2	Ινοσανίδες HB.HLA2 βαρέως τύπου
mm				
Πάχος	13-20	13-20	>10	>5,5
Kg/m ³				
ρ _k	600	600	600	800
MPa				
f _{m,k}	12,5	16,7	15	32
f _{t,k}	7,9	10,6	8	23
f _{c,k}	11,1	14,7	8	24
f _{v,k}	6,1	8,1	4,5	16
f _{v,r}	1,6	2,2	0,25	2,5
GPa				
E _{m,m}	2,9	4,23	3,9	4,6
E _t	1,7	2,485	2,9	4,6
E _c	1,7	2,485	2,9	4,6
G _v	8,3	1,195	1,2	1,9

1.3. Κατασκευές από ξύλο

Στην Ευρώπη, στην Β.Αμερική αλλά και στην Ελλάδα, η δόμηση με ξύλο και σύνθετα υλικά του, παρουσιάζει σημαντική αύξηση τα τελευταία χρόνια. Αυτό διότι, το ξύλο σαν δομικό υλικό προσφέρει αισθητική ομορφιά και αντισεισμική, θερμομονωτική συμπεριφορά, όπως επίσης και ευκολία στην κατεργασία εφαρμογής του. Εξ αιτίας αυτών των πλεονεκτημάτων του ξύλου, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές κατασκευής σπιτιών που έχουν σαν πρώτη ύλη το ξύλο και τα προϊόντα του.

1.3.1. Κορμόσπιτα με οριζόντια τοποθέτηση κορμών.

Οι κατοικίες που κατασκευάζονται από κορμούς δένδρων έχουν ως πρώτη ύλη κατάλληλα εξεργασμένους κορμούς με διάμετρο 12 έως 25cm. Η ξυλεία που χρησιμοποιείται είναι κυρίως πεύκη, ερυθρελάτη, ελάτη, λάρικα.

Η εξωτερική τοιχοποιία των κορμόσπιτων αποτελείται από κορμίδια τα οποία επεξεργάζονται από ειδικά 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.

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 διαφόρων ειδών προϊόντα όπως: μοριοσανίδες, ινοσανίδες, ξυλεπένδυση, τσιμεντοσανίδες, γυψοσανίδες.

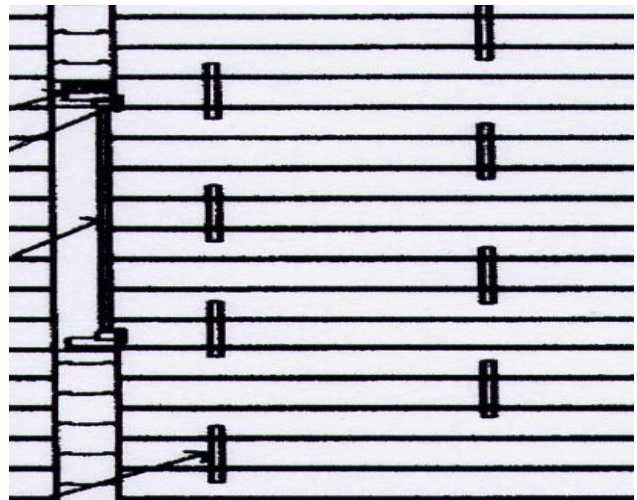
Ο σκελετός της στέγης κατασκευάζεται από κορμούς ή από δοκούς πριστής ή επικολλητής ξυλείας.

Για το δέσιμο των κορμιδίων σε κάθε τοίχο περιμετρικά και σε αποστάσεις 2-3m, οι κορμοί φέρουν κατακόρυφες οπές μέσα από τις οποίες περνάμε ανοξειδωτες μεταλλικές ράβδους (ντίζες) οι οποίες στα δύο άκρα τους φέρουν σπείρωμα, όπου βιδώνονται παξιμάδια και σφίγγονται οι κορμοί. Εναλλακτική σύνδεση των κορμιδίων ανά 2 γίνεται με ξύλινες καβίλιες.



Εικόνα 1.5. Σύνδεση με μεταλλικές ράβδους. [11]

Εικόνα 1.6. Σύνδεση με καβίλιες. [11]



1.3.2. 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.

Η διάμετρος των στύλων εξαρτάται από το ύψος της κατοικίας, ενώ η απόσταση μεταξύ των κατακόρυφων στύλων είναι 1.80m έως 3.00m. Το βάθος της θεμελίωσης ποικίλει από 1 έως 2.40m, ανάλογα με το ύψος και το βάρος της κατασκευής.

Επάνω στους στύλους αυτούς στηρίζεται ολόκληρη η κατασκευή του σπιτιού, (εσωτερικοί - εξωτερικοί τοίχοι, στέγη κλπ.) δηλαδή το κτίριο κρέμεται σε σκελετό από ξύλινες κολόνες.

Η σύνδεση μεταξύ των δοκών και των στύλων γίνεται με διαμπερείς οπές στις οποίες τοποθετούνται βλήτρα (μπουλόνια) σε κατάλληλες υποδοχές. Τα ξύλινα πλαίσια, η στέγη και οι τοίχοι συνδέονται με τον ξύλινο σκελετό με ανοξειδωτες ξυλόβιδες και μεταλλικές πλάκες συνδέσεων.

Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι: το χαμηλό κόστος, η αντοχή στις ακραίες καιρικές συνθήκες και η αντοχή σε σεισμούς. Πέραν αυτού η εν λόγω κατασκευή προσφέρει μεγάλες δυνατότητες αρχιτεκτονικού σχεδιασμού και ευνοεί τις κατασκευές σε πετρώδη εδάφη, λόφους, πλάγιες, παραθαλάσσια μέρη.

1.3.3 Σπίτια από ελαφρύ ξύλινο σκελετό.

Η τεχνολογία του ελαφρού ξύλινου σκελετού είναι ευρέως διαδεδομένη και δοκιμασμένη επί πολλές δεκαετίες. Η θεμελίωση γίνεται συνήθως με την κατασκευή μιας πλάκας από οπλισμένο σκυρόδεμα.

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.

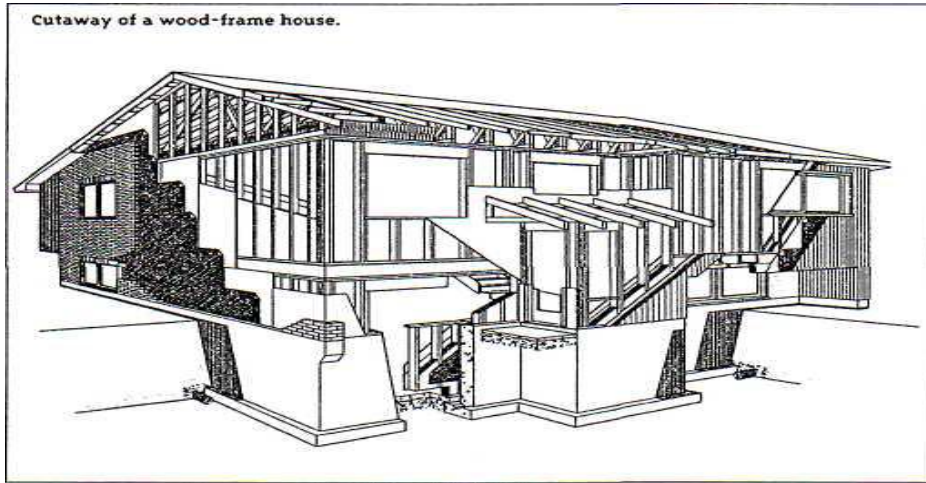
Τα πλαίσια του σκελετού στερεώνονται στο κάτω μέρος τους κατά τη διάρκεια του στησίματος του σκελετού, επάνω σε ξύλινους οι οποίοι πακτώνονται στη βάση από μπετό περιμετρικά με αγκυρόβιδες υψηλής αντοχής οι οποίες τοποθετούνται ανά 1m μεταξύ τους.

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, ψευδοτσούγκας, 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,

ξύλοβιδες, ηλοφόρες μεταλλικές πλάκες και λάμες συνδέσεων τα οποία πρέπει να είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές για να έχουν μεγάλη αντοχή.



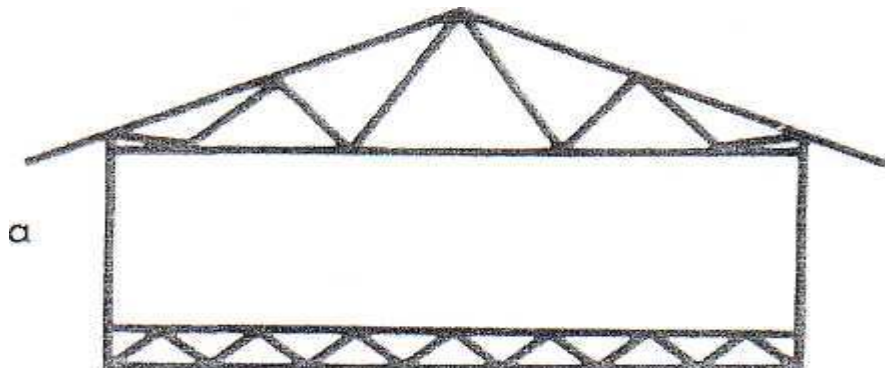
Εικόνα 1.7.
Κατοικία από
ελαφρύ ξύλινο
σκελετό. [11]

1.3.4. Κατοικίες με σκελετό τύπου «Truss framed system»

Στον τύπο αυτόν ο σκελετός της κατοικίας αποτελείται από ολόσωμα πλαίσια το καθένα από τα οποία περιλαμβάνει μια δικτυωτή δοκό σκελετού του πατώματος, δύο κοινούς ορθοστάτες εξωτερικών τοίχων και ένα ζευκτό στέγης. Δηλαδή, όλη η εγκάρσια τομή του φέροντος σκελετού του πατώματος, των εξωτερικών τοίχων και της στέγης, είναι δεμένα σε μια κατασκευαστική μονάδα.

Η τεχνολογία αυτή παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Εξασφαλίζεται κατασκευαστική συνοχή από τα θεμέλια έως την οροφή και αντιμετωπίζονται προβλήματα συνδέσεων.
- Επιτυγχάνεται χαμηλό κόστος και ταχύτητα κατασκευής και εγκατάστασης.
- Χρησιμοποιείται έως και 30% μειωμένη ποσότητα ξυλείας σε σχέση με άλλες προκατασκευές.
- Αποφεύγονται οι κολόνες, οι δοκοί και οι φέροντες εσωτερικοί τοίχοι.



Εικόνα 1.8. Ολόσωμο πλαίσιο σκελετού. [11]

1.3.5. Κατοικίες από ενισχυμένο ξύλινο σκελετό και «πάνελς»

Ο τύπος αυτός προϋποθέτει την προκατασκευή και την εγκατάσταση ενισχυμένου ξύλινου σκελετού τοίχων και στέγης.

Στην εξωτερική πλευρά του σκελετού και στα πατώματα στερεώνονται ενισχυμένα προκατασκευασμένα πανελς τύπου σάντουιτς, τα οποία αποτελούνται από δυο επιφάνειες ξυλοπλακών με πυρήνα από διογκωμένη πολυστυρόλη ή πολυουρεθάνη. Η μια ξυλόπλακα είναι εσωτερικής χρήσεως και η άλλη εξωτερικής. Τα πανελς αυτά, είναι γνωστά ως «stress skin panels», 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.

1.3.6. Σπίτια με αντικολλητές ξυλοπλάκες από στοιχεία φυσικής ξυλείας (cross laminated solid wood panels)

Στην τεχνολογία αυτή κυριαρχεί ως δομικό στοιχείο ένα σχετικά νέο προϊόν ξύλου γνωστό διεθνώς ως cross laminated solid wood panel, που θα ονομάζαμε: πολύστρωμη αντικολλητή ξυλόπλακα από συμπαγές φυσικό ξύλο. Πρόκειται για επιφάνεια ξυλοπλάκας με πολλές στρώσεις μασίφ ξύλου, οι οποίες επικολλώνται η μία επί της άλλης σε αντικολλητή διάταξη. 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.

Λόγω της αντικολλητής διάταξης των στρώσεων το προϊόν αυτό έχει υψηλή μηχανική αντοχή και διαστασιακή σταθερότητα. Τα ολόσωμα προκατασκευασμένα ξύλινα στοιχεία είναι φέροντα στοιχεία, έχουν υψηλή θερμομόνωση και ηχοαπορροφητική συμπεριφορά. Η ολόσωμη σύνθεση της δομικής ξυλοπλάκας είναι ένα σοβαρό πλεονέκτημα για το σχεδιασμό της κατοικίας, τη γρήγορη προκατασκευή και μικρό χρόνο στησίματος της κατοικίας. Τα δεδομένα αυτά καθιστούν το προϊόν των ολόσωμων ξύλινων στοιχείων δόμησης υψηλής τεχνολογίας και καινοτόμο.

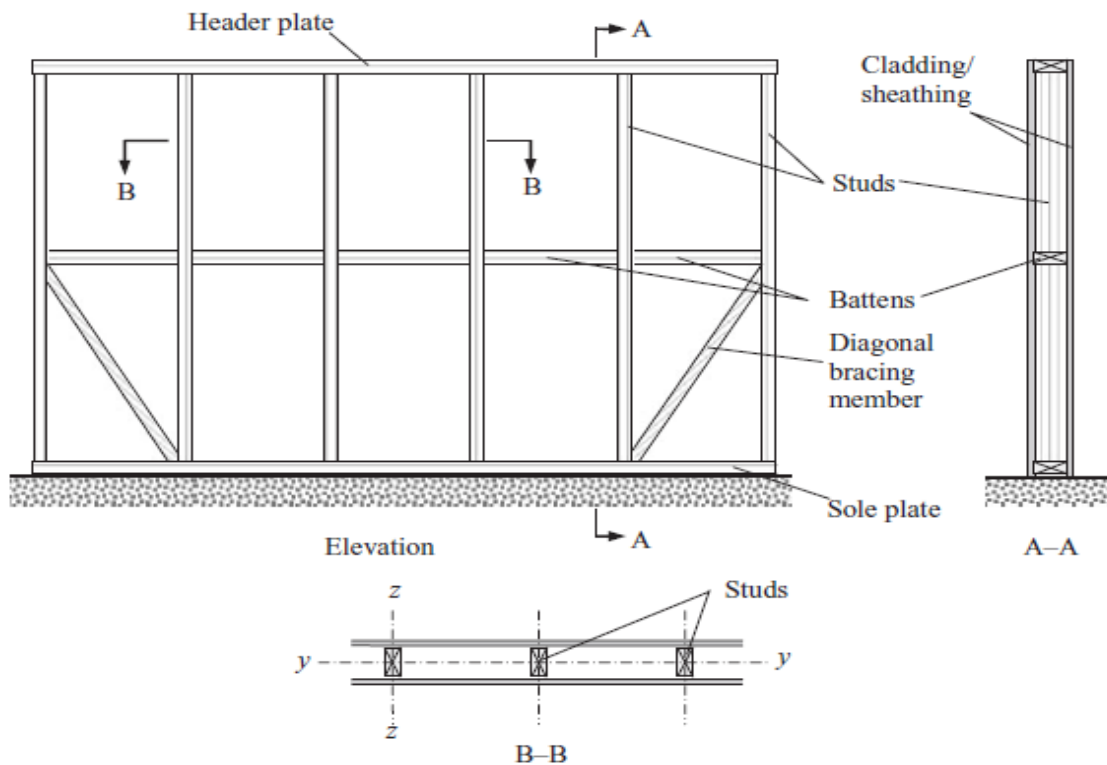
Κεφάλαιο 2. Φέροντα ξύλινα τοιχώματα

Στις ξύλινες κατασκευές ο ρόλος των ξύλινων τοίχων είναι να αποτελέσουν στήριξη στο υπερκείμενο ξύλινο πάτωμα ή ξύλινη στέγη αλλά και να αναλάβουν τις οριζόντιες δράσεις προερχόμενες από φορτία ανέμου και σεισμικά φορτία.

2.1 Στατικό σύστημα τοίχου

Τα στατικό σύστημα ενός τυπικού τοίχου αποτελείται από:

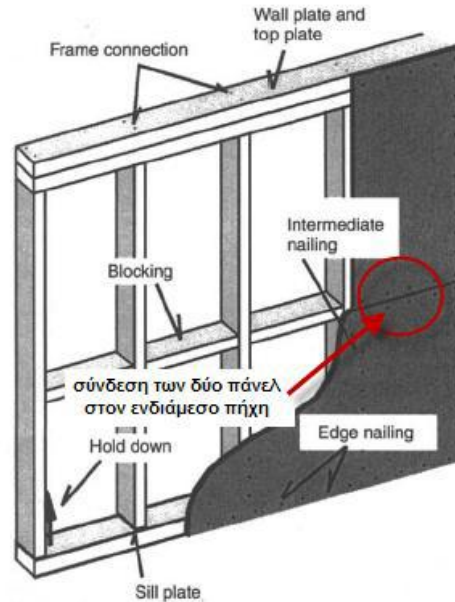
- μία σειρά κατακόρυφων στοιχείων-ορθοστάτων (studs), οι οποίοι είναι τοποθετημένοι με τέτοιο τρόπο ώστε ο ισχυρός άξονας $y-y$ να είναι παράλληλος με την όψη του τοίχου.
- στρωτήρες στον πόδα (sole plate) και στην κεφαλή (header plate).
- ξύλινα πάνελ στην μία ή και στις δύο πλευρές του τοίχου (cladding/sheathing).



Εικόνα 2.1. Τυπική διάταξη τοίχου. [12]

Επίσης, ο ξύλινος τοίχος μπορεί να αποτελείται και από:

- διαγώνια στοιχεία (θλιπτήρες-ελκυστήρες)(diagonal bracing system).
- οριζόντιους πήχεις (battens) σε περίπτωση που έχουμε δύο ξύλινα πάνελς καθ' ύψος



Εικόνα 2.2. Οριζόντιοι πήχεις. [12]

2.2 Υλικά τοίχου

Για την κατασκευή των ορθοστατών και των στρωτήρων στη κεφαλή και στον πόδα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε φυσική ξυλεία (πριστή) είτε συγκολλητή. (αναφορά στα δυο αυτά είδη ξυλείας γίνεται στο 3.1.3 και 3.2)

Για την κατασκευή των πάνελ χρησιμοποιούνται αρκετά είδη ξυλείας όπως αντικολλητή ξυλεία (plywood), μοριόπλακες (particle boards), ξυλεία προσανατολισμένων ξυλοτεμαχιδίων (OSB), μοριόπλακες συγκολλημένες με τσιμέντο (CB-PB), ινόπλακες (fibreboards), καθώς και ξυλεία επικολλημένων ξυλόφυλλων (LVL), με πιο συνηθισμένα την αντικολλητή και τη ξυλεία προσανατολισμένων ξυλοτεμαχιδίων.

2.2.1 Αντικολλητή ξυλεία

2.2.1.1 Πυκνότητα διαστάσεις

Η πυκνότητα της αντικολλητής ξυλείας εξαρτάται από το είδος της ξυλείας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των ξυλόφυλλων και γι' αυτό έχει μεγάλο εύρος τιμών.

Συνήθως η αντικολλητή ξυλεία που χρησιμοποιείται στη δόμηση έχει πυκνότητα που κυμαίνεται μεταξύ 400kg/m³ και 700kg/m³. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποια είδη αντικολλητής ξυλείας με πυκνότητα που ξεπερνά τα 1000kg/m³.

Η αντικολλητή ξυλεία είναι διαθέσιμη σε πάχη μεταξύ 1.5mm έως 40mm, όμως τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα πάχη είναι από 8mm έως 25mm.

Οι συνηθέστερες διαστάσεις που συναντούνται στο εμπόριο είναι οι εξής:

- 2440 x 1220mm, 2400 x 1200mm
- 2440 x 610mm
- 2500 x 1220mm, 2500 x 1250mm
- 3050 x 1525mm
- 3050 x 1220mm

2.2.1.2 Χρήση στις κατασκευές

Οι μεταβολές των διαστάσεων της αντικολλητής ξυλείας από την υγρασία ή άλλους παράγοντες είναι αμελητέες και γι' αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται στις ξύλινες κατασκευές για την δημιουργία διαφραγμάτων σε οριζόντια (πατώματα, δώματα, στέγες) και κατακόρυφα φέροντα στοιχεία (τοίχοι), ώστε να εξασφαλίζεται η διαφραγματική λειτουργία και η δυσκαμψία της κατασκευής σε πλάγιες καταπονήσεις (άνεμος, σεισμός).

Επίσης, η αντικολλητή ξυλεία συνδυάζεται με στοιχεία από πριστή ξυλεία για την δημιουργία κιβωτοειδών δοκών, δοκών μορφής διπλού ταυ καθώς και πανέλλων με πλευρές υπό ένταση (stress skin panels) (Τουλιάτος, 1999, 200).

2.2.1.3. Προδιαγραφές και μηχανικά χαρακτηριστικά

Η παραγόμενη δομική αντικολλητή ξυλεία στην Ελλάδα πρέπει να ακολουθεί τις οδηγίες του προτύπου EN 636: Προδιαγραφές Αντικολλητής ξυλείας. Η εισαγόμενη αντικολλητή ξυλεία, πρέπει επίσης να έχει την ειδική σήμανση η οποία επιβεβαιώνει ότι ακολουθείται το ίδιο πρότυπο.

Στο EN 636 γίνεται η κατηγοριοποίηση της αντικολλητής ξυλείας ανάλογα με το περιβάλλον λειτουργίας της σε τρεις κατηγορίες και αυτές είναι:

- Κατηγορία (1): για χρήση σε ξηρές συνθήκες.
- Κατηγορία (2): για χρήση σε συνθήκες με υγρασία (υγρές συνθήκες).
- Κατηγορία (3): για εξωτερική χρήση.

Οι χαρακτηριστικές τιμές αντοχών της αντικολλητής ξυλείας για το σχεδιασμό ξύλινων κατασκευών με τον Ευρωκώδικα 5, δίνονται στο prEN 12369-2 ή αντλούνται από τα EN 789, EN 1058, EN 1072, ENV 1156, ENV 14272.

Επίσης αν έχει καταστεί γνωστό από τον αγοραστή ότι οι πλάκες προορίζονται για ειδική χρήση στην κατασκευή δαπέδων, τοίχων ή στεγών, πρέπει να εξεταστεί το αντίστοιχο πρότυπο απόδοσης EN 12871, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε επιπλέον απαιτήσεις. (ΕΛΟΤ EN 636, 2004)

Σύμφωνα με το EN 12369-2 οι ξυλόπλακες από αντικολλητή ξυλεία κατηγοριοποιούνται με βάση την αντοχή σε κάμψη και το μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη όπως ακολουθεί:

Πίνακας 2.1.
Μέσες τιμές του μέτρου Ελαστικότητας για πλάκες αντικολλητής ξυλείας που συμμορφώνεται με το EN 636 (ΕΛΟΤ EN 12369-2:2005). [16]

Κατηγορία	Μέση τιμή μέτρου Ελαστικότητας $E_{m,mean}$ σε N/mm^2
E50	500
E10	1000
E15	1500
E20	2000
E25	2500
E30	3000
E40	4000
E50	5000
E60	6000
E70	7000
E80	8000
E90	9000
E100	10000
E120	12000
E140	14000

Πίνακας 2.2.
Χαρακτηριστικές τιμές αντοχών σε κάμψη για φέρουσες πλάκες αντικολλητής ξυλείας που συμμορφώνεται σύμφωνα με EN 636 (ΕΛΟΤ EN 12369-2:2005). [16]

Κατηγορία	Αντοχή σε κάμψη $f_{m,k}$ σε N/mm^2
F3	3
F5	5
F10	10
F15	15
F20	20
F25	25
F30	30
F40	40
F50	50
F60	60
F70	70
F80	80

Ανάλογα με την κατηγορία λειτουργίας που ανήκει η ξύλινη κατασκευή και την διάρκεια φόρτισης, οι παραπάνω τιμές αντοχών τροποποιούνται μέσω των τροποποιητικών συντελεστών K_{mod} , K_{def} (ΕΛΟΤ EN 12369-2: 2005). [16]

Το EN 12369-2 παρέχει τιμές για την αντοχή σε διάτμηση και το μέτρο διάτμησης ξυλόφυλλων με χαρακτηριστική πυκνότητα μεγαλύτερη από 350 Kg/m^3 για όλες τις κατηγορίες αντοχής αντικολλητής ξυλείας.

Πίνακας 2.3. Αντοχή σε διάτμηση και μέτρο διάτμησης ξυλόφυλλων με χαρακτηριστική πυκνότητα μεγαλύτερη από 350 Kg/m^3 για όλες τις κατηγορίες αντοχής αντικολλητής ξυλείας σύμφωνα με το πρότυπο (ΕΛΟΤ EN 12369-2: 2005). [16]

Διάτμηση παράλληλα ως προς τις ίνες των εσωτερικών ξυλόφυλλων σε N/mm^2		Διάτμηση κάθετα ως προς τις ίνες των εσωτερικών ξυλόφυλλων σε N/mm^2	
$f_{v,k}$	$G_{v,mean}$	$f_{r,k}$	$G_{r,mean}$
3	300	0,5	20

2.2.1.4 Φυσικές ιδιότητες

2.2.1.4.1 Υγρασία

Όπως όλες οι ξυλόπλακες, η αντικολλητή ξυλεία είναι υγροσκοπική και οι διαστάσεις της μπορεί να αλλάζουν με την αλλαγή της υγρασίας του περιβάλλοντος. Όμως η διόγκωση/ρίκνωση του ξύλου γίνεται κυρίως κάθετα στη διεύθυνση των ινών. Η δομή της αντικολλητής ξυλείας, η τοποθέτηση δηλαδή των στρώσεων εναλλάξ, με τις ίνες κάθετες μεταξύ τους έχει ως αποτέλεσμα η μεταβολή των διαστάσεων λόγω υγρασίας να είναι αρκετά μικρή, 0,15mm διόγκωση/ρίκνωση ανά μέτρο μήκους για κάθε 1% μεταβολής του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας του ξύλου. Η αντίστοιχη μεταβολή του πάχους της ξυλόπλακας είναι μεταξύ 0,3% και 0,4% του μήκους της για κάθε 1% μεταβολής του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας¹³.

Ο ακόλουθος πίνακας δίνει προσεγγιστικές τιμές του ποσοστού περιεχόμενης υγρασίας του ξύλου για διάφορες τιμές της υγρασίας του περιβάλλοντος.

Πίνακας 2.4. Ποσοστά περιεχόμενης υγρασίας (TRADA). [19]

Σχετική υγρασία περιβάλλοντος στους 20°C	Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας ξύλου σε ισορροπία με το περιβάλλον
30%	7%
65%	12%
85%	18%

Με την μεταβολή του ποσοστού της περιεχόμενης υγρασίας, θα παρουσιαστούν αλλαγές στις αντοχές και τις ιδιότητες δυσκαμψίας της αντικολλητής ξυλείας, και αυτό το λαμβάνει υπόψη ο EN 1995-1-1 με την χρήση κατάλληλων συντελεστών (K_{mod} , K_{def}).

2.2.1.4.2 Βιολογική προσβολή

Η ανθεκτικότητα της αντικολλητής ξυλείας σε βιολογική προσβολή (σήψη, ξυλοφάγα έντομα) εξαρτάται από:

- Την ανθεκτικότητα των επιμέρους ξυλόφυλλων που την συνθέτουν (είδος ξυλείας, πάχος ξυλόφυλλων).
- Την ποιότητα της συγκόλλησης τους.
- Τη σύνθεση τους (lay-up) : Τον τρόπο δηλαδή διάταξης των ινών των διαφόρων στρώσεων, τον αριθμό των ξυλόφυλλων, και το πάχος τους.

2.2.1.4.3 Διαπερατότητα υδρατμών (μ)

Η υγρασία με τη μορφή υδρατμών διακινείται δια μέσου των μελών μιας κατασκευής. Όταν γίνεται υγροποίηση των υδρατμών μειώνεται η θερμομονωτική ικανότητα των δομικών μελών, με αποτέλεσμα όχι μόνο να φθαρούν αλλά να αυξηθεί και το κόστος θέρμανσης του κτιρίου.

Η διαπερατότητα σε υδρατμούς διαφέρει ανάλογα με το είδος της χρησιμοποιούμενης ξυλείας, την πυκνότητα και τη δομή της. Ένα συνηθισμένο εύρος τιμών του συντελεστή αντίστασης υδρατμών¹⁵ (μ) είναι από 50 έως 110 με την προϋπόθεση ότι ο έλεγχος θα έχει γίνει σύμφωνα με το EN 12572 με χρήση της μεθόδου «Wet Cup». Αυτό αντιστοιχεί σε τιμές από 150 έως και 250 με την χρήση της μεθόδου «dry cup».

Τιμές του συντελεστή αντίστασης υδρατμών (μ) για διάφορες πυκνότητες αντικολλητής ξυλείας δίνονται στον πίνακα 9 του EN 13986.

2.2.1.4.4 Θερμική αγωγιμότητα (λ)

Η θερμική αγωγιμότητα της αντικολλητής ξυλείας εξαρτάται κυρίως από την πυκνότητα της. Συνήθως οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0,09 W/mK και 0,24 W/mK.

Αναλυτικές τιμές θερμικής αγωγιμότητας για διάφορες πυκνότητες αντικολλητής ξυλείας δίνονται στον πίνακα 11 του EN 13986.

2.2.1.4.5 Συμπεριφορά στη φωτιά

Οι περισσότερες ξυλόπλακες συμπεριλαμβανομένης της αντικολλητής ξυλείας κατατάσσονται στην κατηγορία (D), ελέγχονται μέσω των δοκιμών που προδιαγράφονται στο πρότυπο EN 13823 και κατηγοριοποιούνται ως προς την συμπεριφορά τους σε πυρκαγιά με βάση το πρότυπο EN 13501-1.

Ένας γρήγορος τρόπος κατηγοριοποίησης ξυλοπλακών στη δόμηση έναντι πυρκαγιάς μπορεί να γίνει μέσω του πίνακα 8 του EN 13986. Στις περιπτώσεις που το προϊόν δεν καλύπτει τις συγκεκριμένες απαιτήσεις, ελέγχεται και κατηγοριοποιείται σύμφωνα με το EN 13501-1.

2.2.2 Ξυλεία προσανατολισμένων ξυλοτεμαχιδίων (OSB)

2.2.2.1 Πυκνότητα διαστάσεις

Η πυκνότητα της πλάκας διαφέρει ανάλογα με το προϊόν, το οποίο εξαρτάται με τη σειρά του από το είδος της ξυλείας που χρησιμοποιήθηκε και τη διαδικασία παραγωγής. Οι τυπικές τιμές της πυκνότητας κυμαίνονται μεταξύ 600 - 680 kg/m³. Αυτό σημαίνει ότι μια πλάκα με διαστάσεις 2400 x 1200 x 12 mm θα ζυγίζει περίπου 20 kg. Οι συνηθέστερες διαθέσιμες διαστάσεις της είναι οι εξής:

- 2400mm x 1200mm
- 2440mm x 1220mm
- 3660mm x 1220mm

Σε πάχη των 6mm, 8mm, 9mm, 11mm, 15mm, 18mm, 22mm, 25mm και 38mm.

Επιπλέον και άλλες διαστάσεις είναι διαθέσιμες η μπορεί να παραχθούν κατά παραγγελία.

2.2.2.2 Χρήση στις κατασκευές

Το OSB χρησιμοποιείται για την:

- κατασκευή πατωμάτων.
- κατασκευή στεγών.
- κατασκευή τοίχων.

Επίσης χρησιμοποιείται σε μεγάλες ποσότητες στις βιομηχανικές συσκευασίες, στις παλέτες και στις σκαλωσιές .

Διάφορες ποιότητες ξυλοπλακών από OSB είναι διαθέσιμες στην αγορά για διάφορες φορτίσεις και περιβαλλοντικές συνθήκες. Οδηγίες για την χρήση του OSB ως φέρων στοιχείο στις κατασκευές δίνονται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία DD CEN/TS 12872.

2.2.2.3. Προδιαγραφές και μηχανικά χαρακτηριστικά

Η παράγωγή των ξυλοπλακών από OSB που θα χρησιμοποιηθούν σε δομικές εφαρμογές στην Ευρωπαϊκή Ένωση πρέπει να γίνεται σύμφωνα με το πρότυπο EN 300 : «Πλάκες προσανατολισμένων ξυλοτεμαχιδίων (OSB) - Ορισμοί, κατηγοριοποίηση και προδιαγραφές»), το οποίο ορίζει τις προδιαγραφές για τις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

- OSB/1- Πλάκες γενικής χρήσης, και πλάκες για εσωτερική χρήση για ξηρές συνθήκες.
- OSB/2 - Φέρουσες πλάκες για χρήση σε ξηρές συνθήκες.
- OSB/3 - Φέρουσες πλάκες για χρήση σε υγρές συνθήκες.
- OSB/4 - Φέρουσες πλάκες υψηλής αντοχής για χρήση σε υγρές συνθήκες.

Οι κατάλληλες ξυλόπλακες από OSB για δομική χρήση είναι οι φέρουσες πλάκες που ανήκουν στην κατηγορία OSB/2 έως και την κατηγορία OSB/4. Η επιλογή της κατάλληλης φέρουσας πλάκας για μια κατασκευή εξαρτάται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες χρήσης και την αναμενόμενη φόρτιση που θα δεχθεί. (EN 12369-1, 2001)

Οι χαρακτηριστικές τιμές αντοχών των ξυλοπλακών από OSB με βάση τον Ευρωκώδικα 5 δίδονται στο EN 12369-1 ή αντλούνται μέσω δοκιμών σύμφωνα με τα EN 789, EN 1058.

Οι χαρακτηριστικές τιμές αντοχών ανά κατηγορία φέρουσας πλάκας από OSB σύμφωνα με το EN 12369-1 είναι οι ακόλουθες:

OSB/2: Φέρουσες πλάκες για χρήση σε ξηρές συνθήκες.

Πίνακας 2.5. Χαρακτηριστικές τιμές αντοχών για (OSB/2) σύμφωνα με το πρότυπο EN 300. [13]

Πάχος (mm)	Χαρακτηριστικές τιμές πυκνότητας (kg/m ³) και αντοχής (N/mm ²)									
	Πυκνότητα	Κάμψη		Εφελκυσμός		Θλίψη		Διάτμηση κάθετα στα ξύλοφυλλα	Διάτμηση παράλληλα στα ξύλοφυλλα	
		ρ	f _m		f _t		f _c			
			0	90	0	90	0			90
>6 έως 10	550	18,0	9,0	9,9	7,2	15,9	12,9	6,8	1,0	
>10 έως 18	550	16,4	8,2	9,4	7,0	15,4	12,7	6,8	1,0	
>18 έως 25	550	14,8	7,4	9,0	6,8	14,8	12,4	6,8	1,0	

Πίνακας 2.6. Ιδιότητες δυσκαμψίας για (OSB/2) σύμφωνα με το πρότυπο EN 300. [13]

Πάχος (mm)	Χαρακτηριστικές τιμές πυκνότητας (kg/m ³) και αντοχής (N/mm ²)							
	Κάμψη		Εφελκυσμός		Θλίψη		Διάτμηση κάθετα στα ξύλοφυλλα	Διάτμηση παράλληλα στα ξύλοφυλλα
	E _m		E _t		E _c			
t _{nom}	0	90	0	90	0	90	G _v	G _r
>6 έως 10	4930	1980	3800	3000	3800	3000	1080	50
>10 έως 18	4930	1980	3800	3000	3800	3000	1080	50
>18 έως 25	4930	1980	3800	3000	3800	3000	1080	50

OSB/3: Φέρουσες πλάκες για χρήση σε ξηρές συνθήκες.

Πίνακας 2.7. Χαρακτηριστικές τιμές αντοχών για (OSB/3) σύμφωνα με το πρότυπο EN 300. [13]

Πάχος (mm)	Χαρακτηριστικές τιμές πυκνότητας (kg/m ³) και αντοχής (N/mm ²)								
	Πυκνότητα	Κάμψη		Εφελκυσμός		Θλίψη		Διάτμηση κάθετα στα ξύλοφυλλα	Διάτμηση παράλληλα στα ξύλοφυλλα
		ρ	f _m		f _t		f _c		
t _{nom}		0	90	0	90	0	90	f _v	f _r
>6 έως 10	550	18,0	9,0	9,9	7,2	15,9	12,9	6,8	1,0
>10 έως 18	550	16,4	8,2	9,4	7,0	15,4	12,7	6,8	1,0
>18 έως 25	550	14,8	7,4	9,0	6,8	14,8	12,4	6,8	1,0

Πίνακας 2.8. Ιδιότητες δυσκαμψίας για (OSB/3) σύμφωνα με το πρότυπο EN 300. [13]

Πάχος (mm)	Χαρακτηριστικές τιμές πυκνότητας (kg/m ³) και αντοχής (N/mm ²)							
	Κάμψη		Εφελκυσμός		Θλίψη		Διάτμηση κάθετα στα ξύλοφυλλα	Διάτμηση παράλληλα στα ξύλοφυλλα
	E _m		E _t		E _c			
t _{nom}	0	90	0	90	0	90	G _v	G _r
>6 έως 10	4930	1980	3800	3000	3800	3000	1080	50
>10 έως 18	4930	1980	3800	3000	3800	3000	1080	50
>18 έως 25	4930	1980	3800	3000	3800	3000	1080	50

OSB/4: Φέρουσες πλάκες για χρήση σε ξηρές συνθήκες.

Πίνακας 2.9. Χαρακτηριστικές τιμές αντοχών για (OSB/4) σύμφωνα με το πρότυπο EN 300. [13]

Πάχος (mm)	Χαρακτηριστικές τιμές πυκνότητας (kg/m ³) και αντοχής (N/mm ²)								
	Πυκνότητα	Κάμψη		Εφελκυσμός		Θλίψη		Διάτμηση κάθετα στα ξυλόφυλλα	Διάτμηση παράλληλα στα ξυλόφυλλα
		ρ	f_m		f_t		f_c		
t_{nom}		0	90	0	90	0	90	f_v	f_r
>6 έως 10	550	24.5	13.0	11.9	8.5	18.1	14.3	6.9	1.1
>10 έως 18	550	23.0	12.2	11.4	8.2	17.6	14.0	6.9	1.1
>18 έως 25	550	21.0	11.4	10.9	8.0	17.0	13.7	6.9	1.1

Πίνακας 2.10. Ιδιότητες δυσκαμψίας για (OSB/4) σύμφωνα με το πρότυπο EN 300. [13]

Πάχος (mm)	Χαρακτηριστικές τιμές πυκνότητας (kg/m ³) και αντοχής (N/mm ²)								
	Κάμψη		Εφελκυσμός		Θλίψη		Διάτμηση κάθετα στα ξυλόφυλλα	Διάτμηση παράλληλα στα ξυλόφυλλα	
	E_m		E_t		E_c				
t_{nom}	0	90	0	90	0	90	G_v	G_r	
>6 έως 10	6780	2680	4300	3200	4300	3200	1090	60	
>10 έως 18	6780	2680	4300	3200	4300	3200	1090	60	
>18 έως 25	6780	2680	4300	3200	4300	3200	1090	60	

2.2.2.4 Φυσικές ιδιότητες

2.2.2.4.1 Υγρασία

Όπως και οι άλλες τεχνητές ξυλόπλακες, το OSB είναι υγροσκοπικό και οι διαστάσεις του αλλάζουν με τις αυξομειώσεις της υγρασίας. Μεταβολή 1% του ποσοστού της περιεχόμενης υγρασίας της ξυλόπλακας μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει το μήκος της, το πλάτος της και το πάχος της όπως δείχνει ο ακόλουθος πίνακας.

Πίνακας 2.11. Αλλαγές στις διαστάσεις για 1% μεταβολή του ποσοστού της περιεχόμενης υγρασίας για τις διάφορες κατηγορίες OSB σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία (DDCEN/TS 12872). [13]

Είδος πλάκας	Προδιαγραφές	Αλλαγές των διαστάσεων για 1% μεταβολή του ποσοστού της περιεχόμενης υγρασίας (ΠΠΥ) του OSB		
		Μήκος %	Πλάτος %	Πάχος %
Πλάκα προσανατολισμένων ξυλοτεμαχιδίων, OSB, σύμφωνα με EN 300	OSB/2	0,03	0,04	0,7
	OSB/3	0,02	0,03	0,5
	OSB/4	0,02	0,03	0,5

Πίνακας 2.12. Αναμενόμενα ποσοστά περιεχόμενης υγρασίας του OSB για τις συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. [13]

Σχετική υγρασία περιβάλλοντος στους 20°C	Ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας ξύλου σε ισορροπία με το περιβάλλον
30%	5%
65%	10%
85%	15%

2.2.2.4.2 Βιολογική προσβολή

Το OSB υπό κανονικές συνθήκες δεν προσβάλλεται από τα ξυλοφάγα έντομα που συναντώνται συνήθως σε εύκρατο κλίμα. Οι ξυλόπλακες που παράγονται από λεύκα και ερυθρελάτη είναι ευπαθείς σε σήψη υπό παρατεταμένη έκθεση σε υγρές συνθήκες.

2.2.2.4.3 Διαπερατότητα υδρατμών (μ)

Η τιμή του συντελεστή αντίστασης υδρατμών (μ) για το OSB διαφέρει ανάλογα με την μέθοδο προσδιορισμού του (EN ISO 12572), όπως μπορεί να διαπιστωθεί από τον παρακάτω πίνακα το οποίο αποτελεί απόσπασμα των EN 12524 και EN 13986.

Πίνακας 2.13. Συντελεστής υδρατμών (μ) για το OSB (EN 12524, EN 13986). [17]

Είδος πλάκας	Μέση πυκνότητα	Συντελεστής αντίστασης υδρατμών	
	Kg/m ³	Wet cup μ	Dry cap μ
Πλάκα προσανατολισμένων ξυλοτεμαχιδίων, OSB	650	30	50

2.2.2.4.4 Θερμική αγωγιμότητα (λ)

Η θερμική αγωγιμότητα (λ) του OSB σύμφωνα με το πρότυπο EN 12664 είναι 0,13 W/m.K για μέση πυκνότητα 650 kg/m³. Ορίζεται στο EN 13986.

2.2.2.4.5 Συμπεριφορά στη φωτιά

Οι περισσότερες ξυλόπλακες συμπεριλαμβανόμενου και του OSB ανήκουν στην κατηγορία (D). Ελέγχονται μέσω της δοκιμής του πρότυπου EN και κατηγοριοποιούνται βάσει του EN 13501-1.

2.3. Τα φορτία που αναλαμβάνει ο τοίχος είναι:

- κατακόρυφα φορτία, παράλληλα στους ορθοστάτες, από τα υπερκείμενα πατώματα και την ξύλινη στέγη (ίδια βάρη, κινητά, άνεμος, χιόνι).
- φορτία κάθετα στην επιφάνεια των πάνελς, εκτός επιπέδου του τοίχου, προερχόμενα (κυρίως) από δράση ανέμου.
- διατμητικά φορτία εντός επιπέδου του τοίχου, προερχόμενα από δράση ανέμου ή/και σεισμού.

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.

2.3.1. Κατακόρυφα και εκτός επιπέδου φορτία

2.3.1.1 Περίπτωση απλής διατομής

Στην περίπτωση αυτή οι ορθοστάτες και τα πάνελ είναι σχεδιασμένα να δρουν ανεξάρτητα μεταξύ τους, δηλαδή όχι ως μία σύνθετη διατομή. Η ανάληψη των κατακόρυφων φορτίων γίνεται απευθείας από τους ορθοστάτες, κυρίως ως θλιπτική αξονική δύναμη, ενώ τα εκτός επιπέδου φορτία μεταβιβάζονται από τα πάνελ στους ορθοστάτες, προκαλώντας τους ροπή περί τον ισχυρό άξονα y-y. 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 των ορθοστατών ισχύει:

- ως ενεργό μήκος για λυγισμό περι τον y-y λαμβάνεται όλο το μήκος του ορθοστάτη.
- Όταν υπάρχει παρουσία οριζόντιων στοιχείων (battens) ως ενεργό μήκος λυγισμού περί τον άξονα z-z λαμβάνεται το μήκος μεταξύ αυτών και του στρωτήρα (κεφαλής ή βάσης). Σε διαφορετική περίπτωση λαμβάνεται όλο το μήκος του ορθοστάτη. Αν θεωρηθεί ότι το πάνελ μπορεί να εξασφαλίσει επαρκή πλευρική δέσμευση στον ορθοστάτη ο λυγισμός περι τον z-z μπορεί να αμεληθεί. Αν υπάρχει διαμόρφωση πάνελ μόνο στην μία πλευρά του ορθοστάτη δεν θεωρείται ότι εξασφαλίζεται πλήρης δέσμευση και πρέπει να γίνει έλεγχος λυγισμού, έστω και με ένα απομειωμένο ενεργό μήκος. Επί το δυσμενέστερο μπορεί να ληφθεί ως ενεργό μήκος όλο το μήκος του ορθοστάτη. Γενικά, από την στιγμή που έχει θεωρηθεί ότι ο ορθοστάτης δρα ανεξάρτητα από τα πάνελ, συνιστάται να γίνεται έλεγχος σε λυγισμό λαμβάνοντας όλο το μήκος του ορθοστάτη.

Τέλος, η διαδικασία επίλυσης του τοίχου περιλαμβάνει τον έλεγχο των στρωτήρων σε αξονική δύναμη κάθετη στις ίνες, λόγω των αντιδράσεων των ορθοστατών αλλά και τον έλεγχο του πάνελ.

2.3.1.2 Περίπτωση σύνθετης διατομής

Στην περίπτωση αυτή οι ορθοστάτες και τα πάνελ είναι σχεδιασμένα (και ελέγχονται) να δρουν ως μια σύνθετη διατομή. Η σύνδεση γίνεται μέσω μεταλλικών συνδέσμων (κυρίως ήλων). Αυτό διαφοροποιεί την συμπεριφορά της διατομής σε σχέση με τις σύνθετες συγκολλητές διατομές, αφού υπάρχει περίπτωση ολίσθησης μεταξύ του κορμού και των πελμάτων κάτι το οποίο καλύπτεται από τις διατάξεις του Παραρτήματος Β του EC5.

Η σύνθετη διατομή καταπονείται από ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο, δρώντας ως δοκός, και από αξονικά φορτία, λειτουργώντας ως υποστύλωμα. Κατά αυτό τον τρόπο γίνεται έλεγχος και ως προς την σύνθετη διατομή αλλά και ως προς το σύνθετο μέλος (λυγισμός). Ο έλεγχος δοκών με μεταλλικούς συνδέσμους καλύπτεται από το Παράρτημα Β του EC5 και ο έλεγχος υποστυλωμάτων με μεταλλικούς συνδέσμους από το Παράρτημα C του EC5.

Για τον έλεγχο ευστάθειας των σύνθετων διατομών ισχύει:

- ως ενεργό μήκος για λυγισμό περι τον y-y λαμβάνεται όλο το μήκος της σύνθετης διατομής ορθοστάτη-πάνελ.
- επειδή το πάνελ είναι καρφωμένο στον ορθοστάτη και αποκλείεται να «λυγίσει» στην διαμήκη έννοια ο έλεγχος αυτός παραλείπεται.

Τέλος, η διαδικασία επίλυσης του τοίχου περιλαμβάνει τον έλεγχο των στρωτήρων σε αξονική δύναμη κάθετη στις ίνες, λόγω των αντιδράσεων των ορθοστατών, ενώ ο έλεγχος του πάνελ περιλαμβάνεται στον έλεγχο της σύνθετης διατομής.

2.3.1.3 Έλεγχος στρωτήρων

Ο έλεγχος γίνεται με την υπόθεση ότι τα ζευκτά της στέγης στηρίζονται απευθείας στους ορθοστάτες και δεν αναπτύσσεται ένταση στον στρωτήρα. Σε αντίθετη περίπτωση γίνεται έλεγχος του στρωτήρα ως δοκός.

2.3.1.4 Έλεγχος πάνελ

Γίνεται έλεγχος μιας λωρίδας 1m η οποία στηρίζεται στους ορθοστάτες. Η «δοκός» αυτή μπορεί να είναι ενός ή δύο ανοιγμάτων ανάλογα με το μέγεθος του πάνελ (αν εκτείνεται δηλαδή σε τρεις ορθοστάτες). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην διεύθυνση κάμψης της «δοκού» συναρτήσει της διεύθυνσης τοποθέτησης των ινών.

2.3.2 Εντός επιπέδου φορτία

Για τα εντός επιπέδου φορτία το σύστημα ορθοστατών-διαγωνίων-πάνελ θεωρείται ότι ενεργεί ως κατακόρυφο διάφραγμα και αντιστοίχως ο έλεγχος του γίνεται σύμφωνα με τις διατάξεις που αναφέρονται στο Κεφάλαιο 9 του EC5.

Γενικά

1. Τα διαφράγματα τοίχων πρέπει να υπολογίζονται ώστε να αναλαμβάνουν τις οριζόντιες και κατακόρυφες δράσεις που δρουν επ' αυτών.
2. Ο τοίχος πρέπει να στηρίζεται με τρόπο που να αποκλείει την ανατροπή και την ολίσθηση του.
3. Διαφράγματα τοίχων που προορίζονται να προβάλλουν αντίσταση έναντι τέμνουσας (racking), πρέπει να ακαμπτοποιούνται στο επίπεδο τους μέσω της τοποθέτησης επιφανειακών στοιχείων (π.χ. ξυλοπλακών), διαγωνίων γραμμικών στοιχείων ή άκαμπτων συνδέσεων.
4. Η αντίσταση ενός τοίχου έναντι τέμνουσας (racking), πρέπει να καθορίζεται είτε από δοκιμές σύμφωνα με το EN 594 ή βάσει υπολογισμών, με την εφαρμογή κατάλληλων αναλυτικών μεθόδων ή προσομοιωμάτων.
5. Στον σχεδιασμό διαφραγματικών τοίχων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα υλικά κατασκευής των τοίχων και η γεωμετρία τους.
6. Η απόκριση των διαφραγματικών τοίχων στις δράσεις πρέπει να αξιολογείται ώστε να εξασφαλίζεται ότι η κατασκευή παραμένει εντός των κατάλληλων ορίων λειτουργικότητας.

Για την ανάλυση ακολουθείται η Μέθοδος Α (παρ. 9.2.4.2), ή εναλλακτικά η Μέθοδος Β (παρ. 9.2.4.3) όπως προτείνεται στο Ελληνικό Εθνικό Προσάρτημα. Ακολουθούν οι βασικές απαιτήσεις που ορίζονται:

2.3.2.1 Απλοποιητική ανάλυση διαφραγμάτων τοίχων – Μέθοδος Α

1. Η απλοποιητική μέθοδος που δίδεται σε αυτήν την υποπαράγραφο θα πρέπει να χρησιμοποιείται μόνο για διαφράγματα τοίχων αγκυρωμένα στις άκρες τους, δηλαδή με την προϋπόθεση ότι τα ακραία κατακόρυφα στοιχεία του διαφραγματικού τοίχου συνδέονται απευθείας με την κατασκευή στην οποία εδράζονται.
2. Η φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού $F_{v,Rd}$ (αντίσταση σχεδιασμού έναντι τέμνουσας (racking)) υπό μια δύναμη $F_{v,Ed}$, που εφαρμόζεται στην στέψη ενός εν προβόλου τοίχου, ο οποίος εξασφαλίζεται έναντι ανασηκώσεως (μέσω κατακόρυφων δράσεων ή μέσω αγκυρώσεων), θα πρέπει να προσδιορίζεται με την εφαρμογή της παρακάτω απλοποιητικής μεθόδου. Η μέθοδος εφαρμόζεται για τοίχους που συντίθενται από ένα ή περισσότερα τοιχοπετάσματα, κάθε ένα από τα οποία αποτελείται από ένα επιφανειακό στοιχείο στερεωμένο στη μία πλευρά ξυλίνου σκελετού, με τις εξής προϋποθέσεις:
 - οι αποστάσεις μεταξύ των συνδέσμων στην περίμετρο κάθε επιφανειακού στοιχείου είναι σταθερές.
 - το πλάτος κάθε επιφανειακού στοιχείου είναι τουλάχιστον $h/4$.
3. Η τιμή σχεδιασμού φέρουσας ικανότητας τοίχου έναντι τέμνουσας (racking), ο οποίος συντίθεται από περισσότερα τοιχοπετάσματα θα πρέπει να υπολογίζεται από την σχέση:

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd}$$

όπου $F_{i,v,Rd}$ είναι η τιμή σχεδιασμού φέρουσας ικανότητας τοιχοπετάσματος έναντι τέμνουσας, σύμφωνα με τα άρθρα 9.2.4.2(3) και 9.2.4.2(5) του Ελληνικού Εθνικού Προσαρτήματος.

4. Η τιμή σχεδιασμού $F_{i,v,Rd}$ φέρουσας ικανότητας του κάθε τοιχοπετάσματος έναντι τέμνουσας, υπό μια δύναμη $F_{i,v,Ed}$, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.3., θα πρέπει να υπολογίζεται από την σχέση:

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} b_i c_i}{s}$$

όπου: $F_{f,Rd}$ είναι η εγκάρσια (διατμητική) φέρουσα ικανότητα ενός συνδέσμου·

b_i είναι το πλάτος του τοιχοπετάσματος·

s είναι οι αποστάσεις μεταξύ των συνδέσμων.

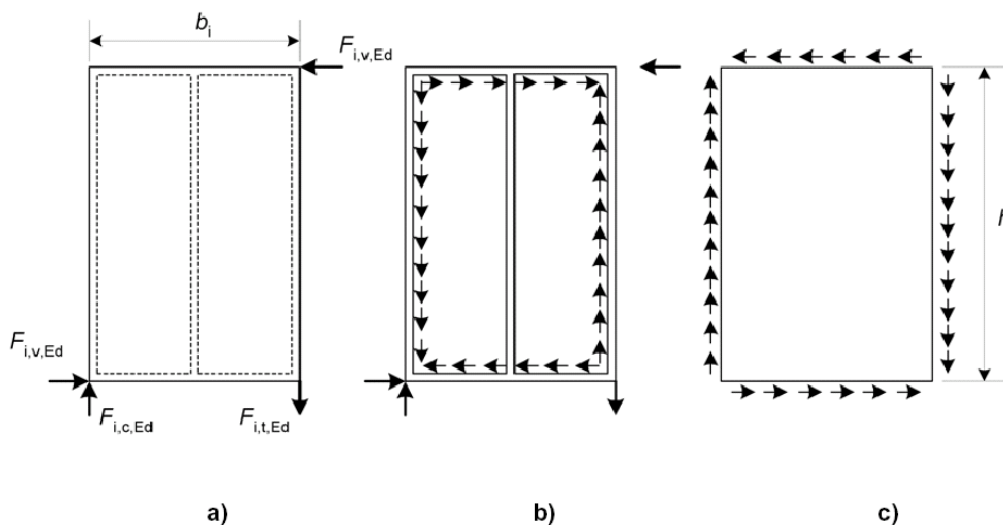
και:

$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{για } b_i \geq b_0 \\ \frac{b_i}{b_0} & \text{για } b_i < b_0 \end{cases}$$

όπου: $b_0 = h/2$

h είναι το ύψος του τοίχου.

5. Η εγκάρσια φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού συνδέσμων τοποθετημένων κατά μήκος της περιμέτρου ενός επιφανειακού στοιχείου, θα πρέπει να λαμβάνεται ίση προς το 1,2 των αντιστοιχών τιμών που δίδονται στο Κεφάλαιο 8 του Ελληνικού Εθνικού Προσαρτήματος. Για τον καθορισμό των αποστάσεων μεταξύ των συνδέσμων σύμφωνα με τις απαιτήσεις του Κεφαλαίου 8, η περίμετρος του επιφανειακού στοιχείου θα πρέπει να θεωρείται αφόρτιστη.



Εικόνα 2.3. Δυνάμεις που δρουν: α) Στο τοιχοπέτασμα, β) Στον σκελετό, γ) Στο επιφανειακό στοιχείο. [2]

6. Τοιχοπετάσματα τα οποία περιέχουν ανοίγματα θυρών ή παραθύρων θα πρέπει να θεωρούνται ότι δεν συνεισφέρουν στην φέρουσα ικανότητα έναντι τέμνουσας (racking).

7. Για τοιχοπετάσματα με επιφανειακά στοιχεία και στις δύο παρειές τους εφαρμόζονται οι ακόλουθοι κανόνες:

- Εφόσον χρησιμοποιούνται και στις δύο παρειές επιφανειακά στοιχεία και σύνδεσμοι του ίδιου τύπου και διαστάσεων, η ολική φέρουσα ικανότητα έναντι τέμνουσας του τοιχοπετάσματος (racking), θα πρέπει να λαμβάνεται ως το άθροισμα φερουσών ικανοτήτων έναντι τέμνουσας κάθε παρειάς.
- Εφόσον σε κάθε παρειά χρησιμοποιούνται διαφορετικού τύπου επιφανειακά στοιχεία και σύνδεσμοι με παρόμοια μέτρα ολισθήσεως, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το 75% της φέρουσας ικανότητας έναντι τέμνουσας της ασθενέστερης παρειάς εκτός αν αποδεικνύεται ότι ισχύει κάποια άλλη τιμή. Στις άλλες περιπτώσεις δεν θα πρέπει να λαμβάνεται περισσότερο του 50%.

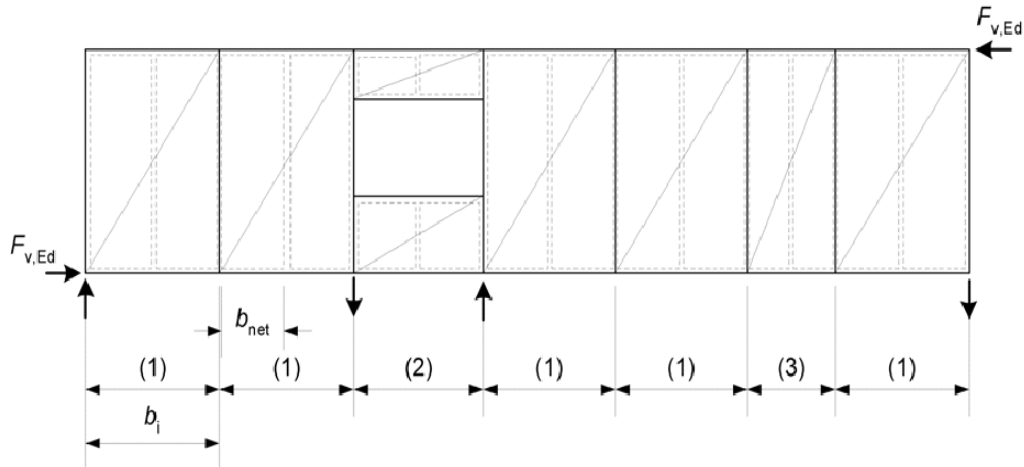
8. Οι εξωτερικές δυνάμεις $F_{i,c,Ed}$ και $F_{i,t,Ed}$, όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.3., θα πρέπει να υπολογίζονται από την σχέση:

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} h}{b_i}$$

όπου, h είναι το ύψος του τοίχου.

9. Οι δυνάμεις αυτές μπορούν να μεταφερθούν, είτε στα επιφανειακά στοιχεία του παρακείμενου τοιχοπετάσματος, είτε στην υπερκείμενη ή υποκείμενη κατασκευή. Στην περίπτωση που στην υποκείμενη κατασκευή μεταφέρονται εφελκυστικές δυνάμεις, το τοιχοπέτασμα θα πρέπει να αγκυρώνεται με άκαμπτους συνδέσμους. Ο λυγισμός των ορθοστατών του τοίχου θα πρέπει να ελέγχεται σύμφωνα με την παρ 6.3.2,EC5. Εάν τα άκρα των κατακόρυφων μελών εδράζονται επί οριζοντίων στρωτήρων, οι αντίστοιχες θλιπτικές τάσεις καθέτως προς τις ίνες θα πρέπει να ελέγχονται σύμφωνα με την παρ 6.1.5,EC5.

10. Οι εξωτερικές δυνάμεις που προκύπτουν σε τοιχοπετάσματα με ανοίγματα θυρών ή παραθύρων, καθώς και σε τοιχοπετάσματα μικρότερου πλάτους ομοίως μπορούν να μεταφέρονται στην υπερκείμενη ή υποκείμενη κατασκευή.



Εικόνα 2.4. Παράδειγμα συστήματος τοιχοπετασμάτων που περιλαμβάνει τοιχοπέτασμα με άνοιγμα παραθύρου και τοιχοπέτασμα μικρότερου πλάτους. [2]
 (1) Τοιχοπέτασμα, (2) Τοιχοπέτασμα με παράθυρο, (3) Τοιχοπέτασμα (μικρότερου πλάτους)

11. Ο διατμητικός λυγισμός του επιφανειακού στοιχείου τοιχοπετάσματος μπορεί να αγνοείται εφόσον $\frac{b_{net}}{t} \leq 100$

όπου: b_{net} είναι η καθαρή απόσταση μεταξύ των ορθοστατών·

t είναι το πάχος του επιφανειακού στοιχείου.

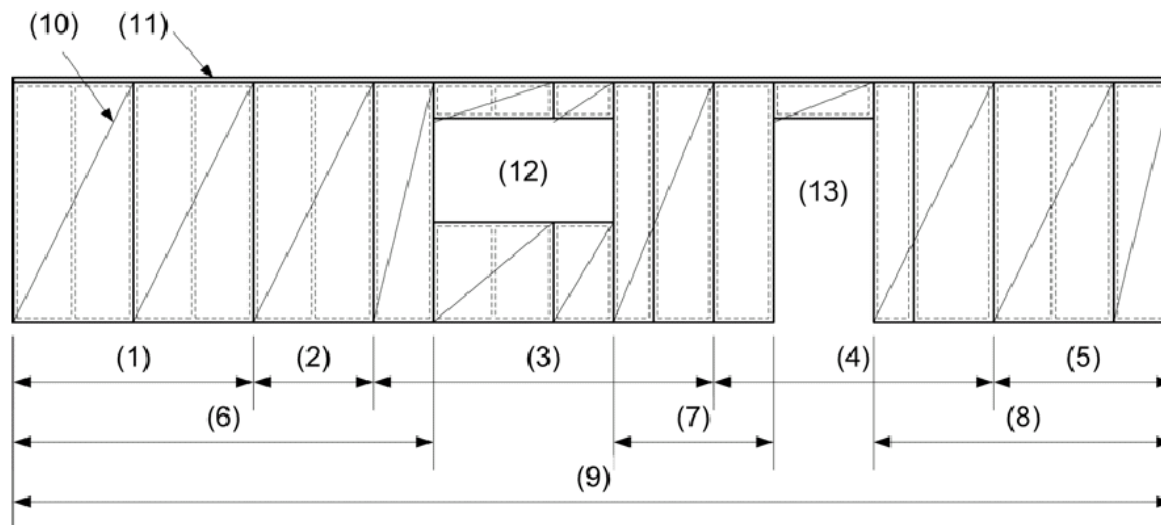
12. Για να θεωρηθεί ότι ένας κεντρικός ορθοστάτης μπορεί να αποτελέσει στήριξη του επιφανειακού στοιχείου, οι αποστάσεις μεταξύ των συνδέσμων σε αυτόν τον ορθοστάτη δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν το διπλάσιο των αντιστοίχων αποστάσεων των συνδέσμων στην περίμετρο του επιφανειακού στοιχείου.

13 Θα πρέπει να ελέγχονται οι θλιπτικές τάσεις καθέτως προς τις ίνες στις επιφάνειες επαφής των ορθοστατών και των οριζοντίων ξύλινων μελών.

2.3.2.2 Απλοποιητική ανάλυση διαφραγμάτων τοίχων – Μέθοδος Β

2.3.2.2.1 Κατασκευή τοίχων και τοιχοπετασμάτων ώστε να πληρούνται οι απαιτήσεις για απλοποιητική ανάλυση

1. Ένα τοίχωμα συντίθεται από έναν ή περισσότερους τοίχους, οι οποίοι συντίθενται από ένα ή περισσότερα τοιχοπετάσματα. Τα τοιχοπετάσματα κατασκευάζονται από επιφανειακά στοιχεία από ξύλο (ξύλοπλακες), στερεωμένες σε ξύλινο σκελετό.



Εικόνα 2.5. Παράδειγμα τοιχώματος που συντίθεται από τοιχοπετάσματα. [2]

Υπόμνημα:

- | | |
|--|---------------------------|
| (1) Τοιχοπέτασμα 1 | (2) Τοιχοπέτασμα 2 |
| (3) Τοιχοπέτασμα 3 | (4) Τοιχοπέτασμα 4 |
| (5) Τοιχοπέτασμα 5 | (6) Τοίχος 1 |
| (7) Τοίχος 2 | (8) Τοίχος 3 |
| (9) Τοίχωμα | (10) Επιφανειακό στοιχείο |
| (11) Οριζόντιο ξύλινο στοιχείο στην στέψη του τοίχου | (12) Παράθυρο |
| | (13) Θύρα |

2. Για να μπορεί ένα τοιχοπέτασμα να συμβάλλει στην εντός επιπέδου αντίσταση ενός τοίχου έναντι τέμνουσας (racking) θα πρέπει το πλάτος του να είναι τουλάχιστον ίσο προς το τέταρτο του ύψους του. Η σύνδεση των επιφανειακών στοιχείων με τον ξύλινο σκελετό θα πρέπει να γίνεται με ήλους ή βίδες. Οι σύνδεσμοι αυτοί, θα πρέπει να είναι τοποθετημένοι ανά ίσες αποστάσεις κατά μήκος της περιμέτρου του επιφανειακού στοιχείου. Οι αποστάσεις μεταξύ συνδέσμων τοποθετημένων εσωτερικά της περιμέτρου δεν θα πρέπει να υπερβαίνουν το διπλάσιο των αντίστοιχων περιμετρικών αποστάσεων.

3. Τα τμήματα των τοιχοπετασμάτων εκατέρωθεν ενός ανοίγματος θα πρέπει να θεωρούνται ξεχωριστά τοιχοπετάσματα.

4. Στην περίπτωση συνδυασμού τοιχοπετασμάτων ώστε να μορφώσουν έναν τοίχο:
- στη στέψη των επί μέρους τοιχοπετασμάτων θα πρέπει να υπάρχει ένα συνεχές στοιχείο που να διήκει κατά μήκος των κατακόρυφων αρμών και να τα συνδέει μεταξύ τους ·
 - η απαιτούμενη αντοχή της κατακόρυφη συνδέσεως δύο τοιχοπετασμάτων θα πρέπει να αποτιμάται και να έχει αντοχή σχεδιασμού τουλάχιστον ίση προς 2,5 kN/m·
 - τα τοιχοπετάσματα που συνδέονται για να μορφώσουν έναν τοίχο θα πρέπει να μπορούν να αναλάβουν τις δυνάμεις ανατροπής και ολισθήσεως είτε μέσω αγκυρώσεως στις κατασκευές στις οποίες εδράζονται, ή με την εφαρμογή μονίμων κατακόρυφων δράσεων επί του τοίχου, ή με συνδυασμό των δύο αυτών μέσων.

2.3.2.2.2 Διαδικασία σχεδιασμού

1. Η τιμή σχεδιασμού $F_{v,Rd}$, της εντός επιπέδου αντίστασης τοίχου έναντι τέμνουσας, υπό μια δύναμη $F_{v,Ed}$, που εφαρμόζεται στην στέψη ενός εν προβόλω τοίχου ο οποίος εξασφαλίζεται έναντι ανασηκώσεως και ολισθήσεως μέσω κατακόρυφων δράσεων ή/και αγκυρώσεων, θα πρέπει να καθορίζεται με εφαρμογή της παρακάτω απλοποιητικής μεθόδου. Η μέθοδος εφαρμόζεται για τοίχους που κατασκευάζονται σύμφωνα με τα οριζόμενα στην 5.3.2.2.1.

2. Η τιμή σχεδιασμού $F_{v,Rd}$ αντίστασης τοιχώματος έναντι τέμνουσας (racking), το οποίο συντίθεται από περισσότερους τοίχους θα πρέπει να υπολογίζεται από την σχέση:

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd}$$

όπου: $F_{i,v,Rd}$ είναι η τιμή σχεδιασμού αντίστασης τοίχου i έναντι τέμνουσας, σύμφωνα με το (3), παρακάτω.

3. Η τιμή σχεδιασμού $F_{i,v,Rd}$ αντίστασης τοίχου i έναντι τέμνουσας, θα πρέπει να υπολογίζεται από την σχέση:

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} b_i}{s_0} k_d k_{i,q} k_s k_n$$

- όπου: $F_{f,Rd}$ είναι η εγκάρσια φέρουσα ικανότητα ενός συνδέσμου·
 b_i είναι το μήκος του τοίχου, σε m·
 s_0 είναι η βασική απόσταση μεταξύ των συνδέσμων, βλ. παρακάτω (4)·
 k_d είναι ο συντελεστής διαστάσεων τοιχοπετάσματος, βλ. παρακάτω (4)·
 $k_{i,q}$ είναι ο συντελεστής ομοιομόρφως κατανεμημένου φορτίου του τοίχου i , βλ. παρακάτω (4)·
 k_s είναι ο συντελεστής αποστάσεων μεταξύ συνδέσμων, βλ. παρακάτω (4)·
 k_n είναι ο συντελεστής υλικού επιφανειακού στοιχείου, βλ. παρακάτω (4).

4. Οι τιμές των, s_0 , k_d , $k_{i,q}$, k_s and k_n θα πρέπει να υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$s_0 = \frac{9700 d}{\rho_k}$$

όπου: d είναι η διάμετρος του συνδέσμου, σε mm·

ρ_k είναι η χαρακτηριστική πυκνότητα των στοιχείων του ξύλινου σκελετού·

$$k_d = \begin{cases} \frac{b_i}{h} & \text{για } \frac{b_i}{h} \leq 1,0 & \text{(a)} \\ \left(\frac{b_i}{h}\right)^{0,4} & \text{για } \frac{b_i}{h} > 1,0 \text{ και } b_i \leq 4,8 \text{ m} & \text{(b)} \\ \left(\frac{4,8}{h}\right)^{0,4} & \text{για } \frac{b_i}{h} > 1,0 \text{ και } b_i > 4,8 \text{ m} & \text{(c)} \end{cases}$$

όπου, h , το ύψος του τοίχου, σε m·

$$k_{i,q} = 1 + \left(0,083 q_i - 0,0008 q_i^2\right) \left(\frac{2,4}{b_i}\right)^{0,4}$$

όπου, q_i , το ισοδύναμο ομοιομόρφως κατανομημένο κατακόρυφο φορτίο που δρα επί του τοίχου, σε kN/m, με $q_i \geq 0$, βλ. (5), παρακάτω·

$$k_s = \frac{1}{0,86 \frac{s}{s_0} + 0,57}$$

όπου, s , η απόσταση μεταξύ των συνδέσμων στην περίμετρο των επιφανειακών στοιχείων.

$$k_n = \begin{cases} 1,0 & \text{για επιφανειακά στοιχεία στην μία πλευρά} & \text{(a)} \\ \frac{F_{i,v,Rd,max} + 0,5F_{i,v,Rd,min}}{F_{i,v,Rd,max}} & \text{για επιφανειακά στοιχεία και στις δύο πλευρές} & \text{(b)} \end{cases}$$

όπου:

$F_{i,v,Rd,max}$ είναι η τιμή σχεδιασμού αντίστασης έναντι τέμνουσας (racking) του ισχυρότερου επιφανειακού στοιχείου·

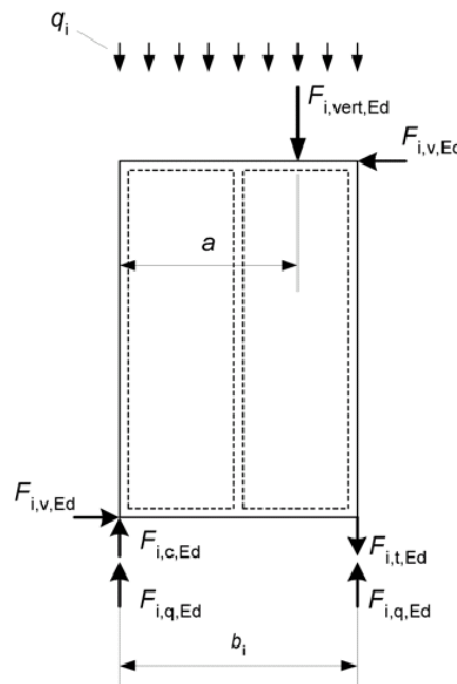
$F_{i,v,Rd,min}$ είναι η τιμή σχεδιασμού αντίστασης έναντι τέμνουσας (racking), του ασθενέστερου επιφανειακού στοιχείου.

5. Το ισοδύναμο κατακόρυφο φορτίο, q_i , το οποίο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του $k_{i,q}$, θα πρέπει να καθορίζεται από τα εντατικά μεγέθη που προκύπτουν μόνο από τις μονίμες δράσεις, την ανεμοπίεση επί του τοιχοπετάσματος και των αντιστοίχων δράσεων

από συγκεντρωμένα φορτία, στα οποία περιλαμβάνονται οι αντιδράσεις των αγκυρώσεων. Τα συγκεντρωμένα κατακόρυφα φορτία που εισάγονται στον υπολογισμό του $k_{i,q}$ θα πρέπει να αντικαθίστανται από ένα ισοδύναμο ομοιομόρφως κατανεμημένο φορτίο, θεωρώντας τον τοίχο ως στερεό σώμα, π.χ. το φορτίο $F_{i,vert,Ed}$, που εφαρμόζεται επί του τοίχου του όπως φαίνεται στο Σχήμα :

$$q_i = \frac{2 a F_{i,vert,Ed}}{b_i^2}$$

όπου: a είναι η οριζόντια απόσταση του φορτίου F από την υπήνεμη γωνία του τοίχου·
b είναι το πλάτος του τοίχου.



Εικόνα 2.6. Καθορισμός του ισοδύναμου κατακόρυφου φορτίου q_i και αντιδράσεις λόγω κατακόρυφων και οριζοντίων δράσεων. [2]

6. Οι εξωτερικές δυνάμεις (αντιδράσεις) $F_{i,c,Ed}$ και $F_{i,t,Ed}$ που προέρχονται από την οριζόντια δράση $F_{i,v,Ed}$ στον τοίχο i θα πρέπει να υπολογίζονται από την σχέση:

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} h}{b_i}$$

όπου h είναι το ύψος του τοίχου.

Αυτές οι εξωτερικές δυνάμεις μπορεί να μεταφέρονται από το τοιχοπέτασμα είτε σε διπλανό του, μέσω της κατακόρυφης συνδέσεώς τους είτε στην υπερκείμενη ή

υποκείμενη κατασκευή. Όταν στην υποκείμενη κατασκευή μεταφέρονται εφελκυστικές δυνάμεις, το τοιχοπέτασμα θα πρέπει να αγκυρώνεται σε αυτήν με άκαμπτους συνδέσμους. Τα θλιβόμενα κατακόρυφα μέλη του τοιχοπετάσματος θα πρέπει να ελέγχονται έναντι λυγισμού, σύμφωνα με το παρ 6.3.2,EC5. Εάν τα άκρα των κατακορύφων μελών εδράζονται επί οριζοντίων στοιχείων του ξύλινου σκελετού, θα πρέπει να ελέγχονται οι αντίστοιχες θλιπτικές τάσεις καθέτως προς τις ίνες, σύμφωνα με το παρ 6.1.5,EC5.

7. Ο λυγισμός των επιφανειακών στοιχείων (ήβωση), υπό την τέμνουσα $F_{v,Ed}$ μπορεί να αγνοείται, με την προϋπόθεση ότι είναι:

$$\frac{b_{net}}{t} \leq 100$$

όπου: b_{net} είναι η καθαρή απόσταση μεταξύ των κατακορύφων μελών του ξύλινου πλαισίου·
 t είναι το πάχος του επιφανειακού στοιχείου επικάλυψης του ξύλινου σκελετού.

Κεφάλαιο 3. Σεισμική συμπεριφορά

3.1. Πλαστιμότητα

Η πλαστιμότητα αναγνωρίζεται ως σημαντική προϋπόθεση στο σχεδιασμό κατασκευών. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό κανονισμό για ξύλινες κατασκευές, (Ευρωκώδικας 5, Μέρος 1-1 [2]), επιτρέπεται μια ανακατανομή των εσωτερικών δυνάμεων μέσω συνδέσεων επαρκούς ολκιμότητας. Δυστυχώς, η επαρκής ολκιμότητα, η οποία απαιτεί ότι δεν υπάρχει πρόωρη εμφάνιση σχισίματος στη ζώνη σύνδεσης, δεν ορίζεται πουθενά.

Στην περίπτωση της ανακατανομής φορτίου, ενεργοποιούνται εναλλακτικές διαδρομές απόσβεσης φορτίου η οποία μπορεί να αυξήσει τη λεγόμενη δομική στιβαρότητα.

Μια ισχυρή κατασκευή συχνά ορίζεται ως μια δομή που έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε πιθανή ζημία που οφείλεται σε έκτακτα γεγονότα, όπως πυρκαγιά, εκρήξεις, επιπτώσεις ή τις συνέπειες των ανθρώπινων λαθών να μην είναι δυσανάλογη σε σχέση με την αιτία.

Τουλάχιστον τέσσερις λόγοι μπορούν να αναφερθούν για την ανάγκη σχεδιασμού πλάστιμων κατασκευών:

1. Για να εξασφαλιστεί ότι η αστοχία θα συμβεί με μεγάλες παραμορφώσεις, έτσι ώστε να προειδοποιούν τους ενοίκους σε περίπτωση απροσδόκητου φορτίου (π.χ. φορτίο χιονιού): στατική πλαστιμότητα.
2. Για να επιτρέπεται η ανακατανομή των τάσεων εντός της διατομής και η ανακατανομή των δυνάμεων μεταξύ των διαφόρων διατομών σε στατικά απροσδιόριστες κατασκευές (πλαστική ανάλυση), έτσι ώστε να αυξηθεί η φέρουσα ικανότητα της κατασκευής σε σχέση με την φέρουσα ικανότητα που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας ελαστική ανάλυση. Πλαστική ανάλυση, ωστόσο, μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο για κατασκευές που εμφανίζουν ένα ελάχιστο ποσό πλαστιμότητας : στατική πλαστιμότητα.
3. Για να καταστεί δυνατή η απορρόφηση της ενέργειας υπό σεισμική φόρτιση. Η απορρόφηση ενέργειας μειώνει την επίδραση του σεισμού σε μια δομή, οδηγώντας σε μια συνολική βελτίωση της συμπεριφοράς. Σε γενικές γραμμές, όσο μεγαλύτερη είναι η πλαστιμότητα, τόσο χαμηλότερη είναι η σεισμική δράση η οποία πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό. Επομένως, οι σεισμικές δράσεις σχετίζονται με την πλαστιμότητα της κατασκευής: δυναμική πλαστιμότητα.
4. Για να αυξηθεί η δομική αντοχή. Η πλάστιμη συμπεριφορά είναι ένας πιθανός τρόπος για να εξασφαλιστεί ότι η κατασκευή μπορεί να δεχθεί μεγάλες μετατοπίσεις και στροφές οι οποίες μπορεί να προκληθούν από την ξαφνική αποτυχία ενός μόνο μέλους της κατασκευής.: στατική πλαστιμότητα.

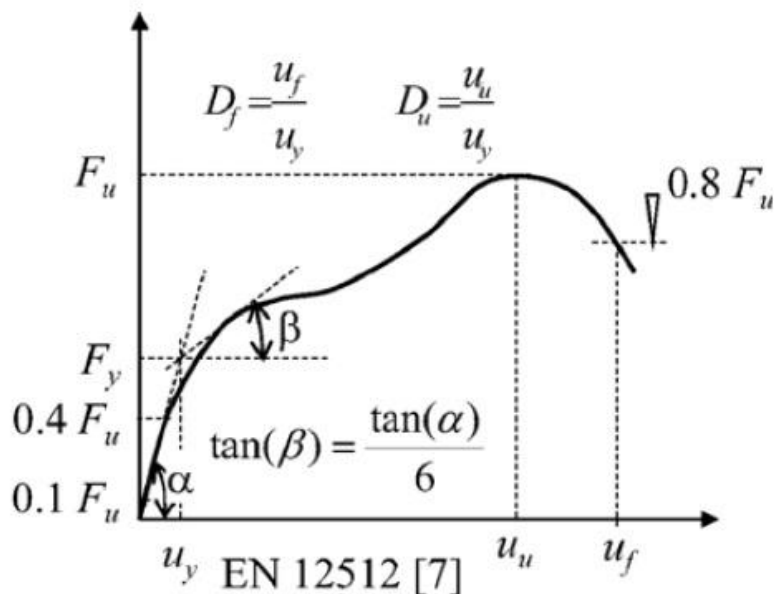
3.2. Πλαστιμότητα των ξύλινων κατασκευών

Η πλαστιμότητα σχετίζεται με την δυνατότητα να πραγματοποιηθούν μεγάλες μετατοπίσεις χωρίς να χαθεί πάρα πολύ δύναμη σε ένα δείγμα υλικού, κόμβου, ή κατασκευής που υπόκειται σε μετατόπιση ελέγχου.

Χωρίς ενίσχυση, αυτό δύσκολα μπορεί να επιτευχθεί στα ξύλινα μέλη σε κάμψη ή διάτμηση. Ωστόσο, μεγάλες μετατοπίσεις είναι πιθανές σε ξυλεία η οποία φορτίζεται παράλληλα και κάθετα προς τις ίνες. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ανακατανομή των τάσεων σε μέλη που υπόκεινται σε κάμψη σχετίζονται με τη πλαστικοποίηση στη θλιβόμενη ζώνη.

Δεδομένου ότι η ξυλεία αστοχεί με ψαθυρό τρόπο σε εφελκυσμό, η πλαστικοποίηση σε κάμψη απαιτεί μια αντοχή εφελκυσμού σημαντικά υψηλότερη από την θλιβόμενη αντοχή. Ωστόσο, για δομική ξυλεία η οποία περιέχει ατέλειες, αυτό ισχύει μόνο στην περίπτωση που οι ατέλειες βρίσκονται κυρίως στην θλιβόμενη ζώνη. Η πλαστικοποίηση της ξυλείας σε θλίψη είναι επίσης δυνατή όταν η δοκός σε κάμψη ενισχύεται στην περιοχή εφελκυσμού και η αντοχή σε κάμψη αυξάνεται (πολύ) πέρα από τη δύναμη της θλιβόμενης ζώνης.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται ο ορισμός της πλαστιμότητας σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό κώδικα EN 12512.

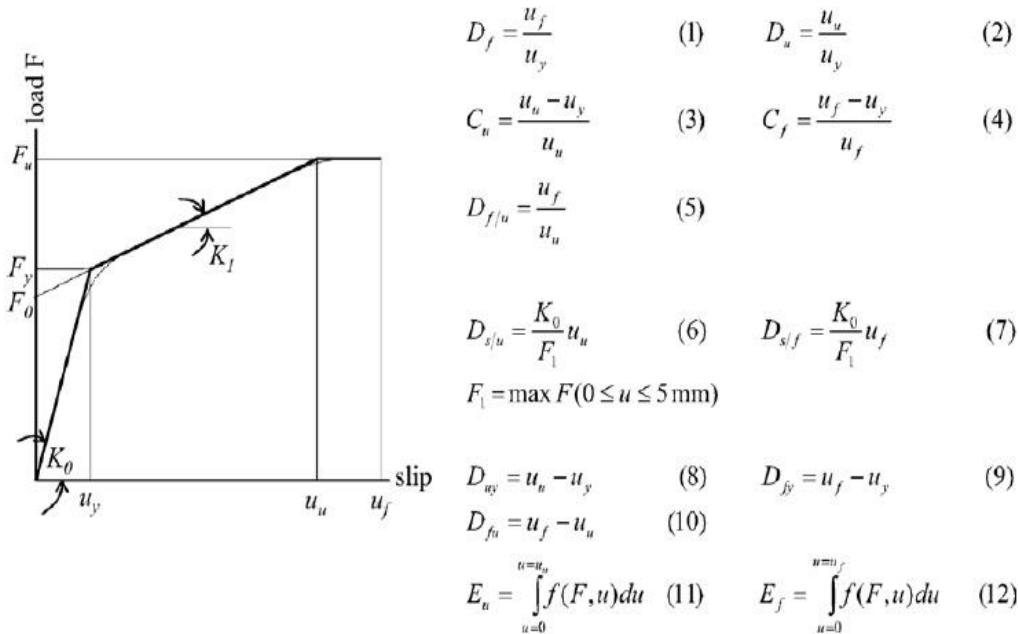


Εικόνα 3.1. Ορισμός της πλαστιμότητας, διαρροής και ανώτατης παραμόρφωσης (EN 12512). [22]

Ένα σημαντικό σημείο συζήτησης είναι ποια παράμετρος μπορεί να αντανακλά καλύτερα την πλαστιμότητα μιας κατασκευής/μέλους/υλικού.

Από την άποψη αυτή, αρκετές προτάσεις έχουν δοθεί στο παρελθόν. Οι Stehn και Björnforf πρότειναν δώδεκα διαφορετικούς ορισμούς της πλαστιμότητας οι οποίοι παρουσιάζονται στην εικόνα 16. Οι ορισμοί της πλαστιμότητας (1) - (7) είναι σχετικοί ορισμοί, ενώ οι ορισμοί (8) - (12) είναι απόλυτοι ορισμοί. Ο ορισμός (2), ενσωματώνεται τόσο στο EN 12512, όσο και στον ελβετικό κανονισμό για ξυλεία κατασκευών SIA 265.

Οι σχετικοί ορισμοί (1) - (4) που φαίνονται στο Σχήμα και οι απόλυτοι ορισμοί (8) και (9) χρειάζονται τη λεγόμενη απόδοση ολίσθησης u_y . Για EN 12512, η διαδικασία απεικονίζεται στην εικόνα 15.



Εικόνα 3.2. Ορισμός της πλαστιμότητας σύμφωνα με τους Stehn και Björnfor. [22]

3.3. Σεισμική συμπεριφορά των κτιρίων με ξύλινο σκελετό

Αντίθετα με ότι συμβαίνει με τον κίνδυνο της φωτιάς και των βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων που απειλούν το ξύλο ως δομικό υλικό, η σεισμική συμπεριφορά του ξύλου δεν εξετάστηκε ως πρόβλημα μέχρι τώρα.

Ο σεισμός είναι ένα απρόβλεπτο φυσικό φαινόμενο με έκλυση τεράστιας ενέργειας και η αντίσταση στο σεισμό είναι το αποτέλεσμα πολλών παραγόντων που συνεπιδρούν οι οποίοι πρέπει να μελετώνται και να ερευνώνται. Οι ξύλινες κατασκευές, για να ανθίστανται με επάρκεια στους σεισμούς και να παρέχουν ασφάλεια, πρέπει να κατασκευάζονται βάσει κανόνων και αρχών όσον αφορά την επιλογή των υλικών, στις διαστάσεις των κατασκευαστικών στοιχείων, στο είδος των συνδέσεων του σκελετού και της θεμελίωσης και στη δυνατότητα και τις προϋποθέσεις συνδυασμένης χρήσης διαφόρων υλικών όπως ξύλο και μπετό, πέτρα, μέταλλο, πλαστικό.

Η καλή σεισμική συμπεριφορά των ξύλινων κατασκευών έχει αποδοθεί κυρίως στην υψηλή ειδική αντοχή του (μηχανική αντοχή/πυκνότητα). Ωστόσο το ξύλο που χρησιμοποιείται στις κατασκευές όταν έχει σφάλματα δομής (ρόζους, στρεψοίνα, ραγάδες κ.α.) επιδεικνύει συμπεριφορά εύθραυστου υλικού κάτω από ορισμένες συνθήκες φόρτισης όπως κάμψη, σχίση, εφελκυσμός κάθετα προς τις ίνες. Άρα ο παράγων ποιότητα ξύλου στον σκελετό κτιρίου είναι καθοριστικός. Βασική και αυστηρή προϋπόθεση που διασφαλίζει την αντοχή της κατασκευής σε σεισμούς είναι η τήρηση των προδιαγραφών ποιότητας της ξυλείας σκελετού.

3.4. Πηγές της σεισμικής συμπεριφοράς των ξύλινων κατασκευών

Κάθε κατασκευή, ανεξάρτητα από το υλικό και τη διαμόρφωση του φορέα της, διαθέτει μια, μεγαλύτερη ή μικρότερη, ικανότητα αναλώσεως ενέργειας. Εκείνο που πρέπει να καθοριστεί με αξιόπιστα κριτήρια και να εξασφαλιστεί με τον σχεδιασμό και την εκτέλεση, είναι η απόδοση των μηχανισμών της κατασκευής μέσω των οποίων γίνεται αυτή η ανάλωση ενέργειας, ώστε να είναι δυνατή η αντίστοιχη εισαγωγή κατάλληλα μειωμένων υπολογιστικών σεισμικών δυνάμεων.

Στις ξύλινες κατασκευές, «ζώνες αναλώσεως ενέργειας» υπό σεισμικές δράσεις είναι οι κόμβοι. Η έκταση και το μέγεθος παραμορφώσεων και μετακινήσεων στην περιοχή του κόμβου, συμπεριλαμβανομένων εκείνων των μέσων συνδέσεως, καθορίζουν την ικανότητα του κόμβου να αναλώνει ενέργεια, μέσω της πλαστικής συμπεριφοράς των στοιχείων του (ξύλο και μέσα συνδέσεως) και με την ανάπτυξη τριβών.

Τα ξύλινα μέλη συμπεριφέρονται γενικώς γραμμικά – ελαστικά, με ελάχιστη ανάλωση ενέργειας από το ξύλο, εκτός από τις περιοχές στις οποίες το ξύλο θλίβεται καθέτως προς τις ίνες του.

Κατασκευές με μηχανικούς συνδέσμους επιδεικνύουν αξιοσημείωτη πλαστιμότητα και ικανότητα αναλώσεως ενέργειας.

Ανάλογα με την παραμορφωτική συμπεριφορά των κόμβων, η οποία καθορίζεται από τον τρόπο συνδέσεως, διακρίνονται:

- Στερεοί κόμβοι: Σύνδεση π.χ. με συγκόλληση. Οι παραμορφώσεις υπό τα φορτία είναι ασήμαντες και δεν λαμβάνονται υπόψη κατά την ανάλυση. Δεν υπάρχει δυνατότητα ανάλωσης ενέργειας.
- Ημιστερεοί κόμβοι: Διαμόρφωση με μηχανικούς συνδέσμους τύπου βλήτρου, δηλαδή συνδέσμους που φορτίζονται καθέτως προς τον άξονά τους και καταπονούνται σε κάμψη και διάτμηση, με τη μεταφορά δυνάμεων μέσω της αντιστάσεως του ξύλου (ήλοι, συνδετήρες, βίδες, βλήτρα). Η διάμετρος του συνδέσμου και το βάθος της εμπήξεως του, για μη διαμπερείς συνδέσμους, είναι οι σημαντικότεροι παράγοντες που καθορίζουν το βαθμό πλαστιμότητας του κόμβου.

3.5. Σχεδιασμός της κατασκευής με αντισεισμική συμπεριφορά

Η σύγχρονη άποψη κατά το σχεδιασμό κτιρίων είναι ότι αυτά πρέπει να αντέχουν τον καλούμενο μέτριο σεισμό (service earthquake = δηλ. σειμούς με ακραία εδαφική επιτάχυνση και μέση περίοδο επιστροφής τα 50 χρόνια) χωρίς σημαντικές παραμορφώσεις και βλάβες των στοιχείων της κατασκευής. Πέραν αυτού τα κτίρια πρέπει να αντέχουν το μέγιστο σεισμό (μεγάλο σεισμό με ατυχήματα και με περίοδο επιστροφής τα 250 χρόνια) με σημαντικές βλάβες στα στοιχεία κατασκευής αλλά χωρίς κατάρρευση. Η κατασκευή πρέπει να έχει την ικανότητα να αναπτύσσει πλαστικές παραμορφώσεις μέσα στα στοιχεία της κατασκευής και να αναλώνει τη σεισμική ενέργεια χωρίς να θραύεται.

Η σεισμική δράση σε ένα ξύλινο σκελετό κτιρίου απορροφάται από τις συνδέσεις του σκελετού λόγω της πλαστικής συμπεριφοράς του ξύλου. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στην ολκιμότητα (ευπλαστότητα) του ξύλου και στην απορρόφηση (ανάλωση)

της ενέργειας που επιτυγχάνονται δια του φαινομένου της υστέρησης στις μηχανικές συνδέσεις ξύλου μετάλλου και δια της τριβής μεταξύ των διαφόρων στοιχείων της.

Έχει αποδειχθεί ότι οι συνδέσεις που αναπτύσσουν πλαστικές παραμορφώσεις και αναλώνουν τη σεισμική ενέργεια εάν σχεδιασθούν κατάλληλα μπορεί να αντέξουν υψηλότερες σεισμικές κινήσεις από ότι οι συνδέσεις που είναι άκαμπτοι. Οι συνδέσεις με κόλλα δεν συνεισφέρουν στην πλαστική συμπεριφορά και στην ανάλωση της ενέργειας.

Τα ξύλινα στοιχεία κατασκευών με σφάλματα δομής στο ξύλο όπως ρόζοι, στρεψοϊνία κ.α., παρουσιάζουν μια γραμμική ελαστική συμπεριφορά σε εναλλασσόμενες φορτίσεις αλλά με τάση θραύσης και μικρή ανάλωση της σεισμικής ενέργειας.

Ο αντισεισμικός σχεδιασμός γίνεται βάσει μιας από τις ακόλουθες δυο θεωρήσεις της συμπεριφοράς τους:

- Συμπεριφορά χωρίς ανάλωση ενέργειας: Η ένταση υπολογίζεται βάσει ελαστικής αναλύσεως, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η μη γραμμική συμπεριφορά των υλικών. Ο συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς λαμβάνει την τιμή $q=1$.
- Συμπεριφορά με ανάλωση ενέργειας: Λαμβάνεται υπόψη η λειτουργία των ζωνών αναλώσεως ενέργειας οι οποίες αναπτύσσονται στους κόμβους με μηχανικούς συνδέσμους. Ο συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς q λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας, οι οποίες διαμορφώνονται ανάλογα με τον τύπο του φορέα.

3.6. Συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς q – Ευρωκώδικας 8

Τα αντισεισμικά κτήρια από ξύλο σχεδιάζονται σύμφωνα με μία από τις ακόλουθες αρχές:

- πλάστιμη συμπεριφορά του φορέα
- περιορισμένη πλάστιμη συμπεριφορά του φορέα

Για πλάστιμη συμπεριφορά του φορέα, λαμβάνεται υπόψη η ικανότητα των μερών του (πλάστιμες ζώνες) να παραλαμβάνουν σεισμικές δράσεις εκτός του ελαστικού τους φάσματος. Όταν χρησιμοποιείται το φάσμα σχεδιασμού που ορίζεται στο φάσμα σχεδιασμού για ελαστική ανάλυση (Ευρωκώδικας 8), ο συντελεστής συμπεριφοράς q μπορεί να λαμβάνεται ως μεγαλύτερος από 1,5.

Φορείς σχεδιασμένοι σύμφωνα με αυτή την αρχή ανήκουν στις κατηγορίες πλαστιμότητας M ή Y . Ένας φορέας ο οποίος ανήκει σε μια δεδομένη κατηγορία πλαστιμότητας πληροί συγκεκριμένες απαιτήσεις σε έναν ή περισσότερους από τους ακόλουθους τομείς: δομικός τύπος, τύπος συνδέσεων και ικανότητα πλαστιμότητας στροφής των συνδέσεων.

Επίσης, οι ζώνες απόδοσης ενέργειας βρίσκονται στις ενώσεις και στις συνδέσεις, ενώ τα ίδια τα μέλη από ξύλο θεωρούνται ότι συμπεριφέρονται ελαστικά. Οι ιδιότητες των πλάστιμων ζωνών θα πρέπει να προσδιορίζονται από δοκιμές είτε σε μεμονωμένες ενώσεις, είτε σε ολόκληρους φορείς ή σε μέρη αυτών σύμφωνα με το prEN 12512.

Στην δεύτερη αρχή, τα εντατικά μεγέθη υπολογίζονται βάσει μιας ελαστικής ανάλυσης του συνόλου, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η μη-γραμμική συμπεριφορά των υλικών. Κατά τη χρήση του φάσματος σχεδιασμού που ορίζεται στο φάσμα σχεδιασμού

για ελαστική ανάλυση (Ευρωκώδικας 8), ο συντελεστής συμπεριφοράς q δεν θα πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερος από 1,5. Η αντοχή των μελών και των συνδέσεων θα πρέπει να υπολογίζεται σύμφωνα με το EN 1995-1:2004 χωρίς πρόσθετες απαιτήσεις. Η αρχή αυτή αποδίδεται με τον όρο κατηγορία πλαστιμότητας X (χαμηλή) και είναι κατάλληλη μόνο για συγκεκριμένους τύπους φορέων.

Ανάλογα με την πλάσιμη συμπεριφορά τους και την ικανότητα απόσβεσης ενέργειας υπό σεισμικές δράσεις, τα κτήρια από ξύλο κατατάσσονται σε μία από τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας X, M ή Y σύμφωνα με τον Πίνακα 3.1, όπου δίδονται επίσης και οι αντίστοιχες ανώτερες οριακές τιμές των συντελεστών συμπεριφοράς.

Πίνακας 3.1. Αρχές σχεδιασμού, στατικοί τύποι φορέων και ανώτερες οριακές τιμές των συντελεστών συμπεριφοράς για τις τρεις κατηγορίες πλαστιμότητας. [23]

Αρχές σχεδιασμού και κατηγορία πλαστιμότητας	q	Παραδείγματα στατικών τύπων φορέων
Περιορισμένη ικανότητα απόσβεσης ενέργειας – ΚΠΧ	1,5	Πρόβολοι, δοκοί, τόξα με δύο ή τρεις αρθρώσεις, δικτυώματα συνδεδεμένα με συνδετήρες.
Μέτρια ικανότητα απόσβεσης ενέργειας - ΚΠΜ	2	Κολλητά πετάσματα με κολλητά διαφράγματα, συνδεδεμένα με ήλους και κοχλίες. Δικτυώματα με ενώσεις βλήτρου και κοχλία. Μεικτοί φορείς αποτελούμενοι από πλαίσια από ξύλο (παραλαμβάνουν τις οριζόντιες δυνάμεις) και μη φέρουσες τοιχοπληρώσεις.
	2,5	Υπερστατικά γραμμικά πλαίσια με ενώσεις βλήτρου και κοχλιώσεις
Υψηλή ικανότητα απόσβεσης ενέργειας – ΚΠΥ	3	Πετάσματα με ηλώσεις με κολλητά διαφράγματα, συνδεδεμένα με ήλους και κοχλίες. Δικτυώματα με ηλώσεις.
	4	Υπερστατικά γραμμικά πλαίσια με ενώσεις βλήτρου και κοχλιώσεις
	5	Πετάσματα με ηλώσεις και διαφράγματα με ηλώσεις συνδεδεμένα με ήλους και κοχλίες.

Παρατηρήσεις

- Εάν το κτήριο δεν είναι κανονικό καθ' ύψος, οι τιμές q οι οποίες παρατίθενται στον Πίνακα 3.1. θα πρέπει να μειώνονται κατά 20%, χωρίς όμως να χρειάζεται να λαμβάνονται μικρότερες από $q = 1,5$.
- Προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι οι δεδομένες τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς μπορούν να χρησιμοποιούνται, οι ζώνες απόδοσης ενέργειας θα είναι σε θέση να παραμορφώνονται πλαστικά για τουλάχιστον τρεις πλήρεις ανακυκλώσεις με λόγο πλαστιμότητας 4 για φορείς της κατηγορίας πλαστιμότητας M και λόγο 6 για φορείς κατηγορίας πλαστιμότητας Y, χωρίς μείωση της αντοχής τους μεγαλύτερη από 20%.

- Οι διατάξεις του πιο πάνω σημείου, μπορούν να θεωρούνται ότι έχουν ικανοποιηθεί στις ζώνες απόδοσης ενέργειας όλων των τύπων φορέων, εάν ικανοποιούνται οι ακόλουθες διατάξεις:

α) σε ενώσεις ξύλου με ξύλο και χάλυβα με ξύλο, της μορφής βλήτρου, κοχλιώσεων και ηλώσεων, το ελάχιστο πάχος των συνδεδεμένων μελών είναι $10 \cdot d$ και η διάμετρος d του στοιχείου πρόσδεσης δεν υπερβαίνει τα 12 mm,

β) σε τοιχώματα και διαφράγματα, το βασικό υλικό καπλαντίσματος είναι ξύλο με ελάχιστο πάχος $4d$, και η διάμετρος d των ήλων δεν υπερβαίνει τα 3,1 mm.

Εάν οι παραπάνω απαιτήσεις δεν ικανοποιούνται, εξασφαλίζεται όμως το ελάχιστο πάχος του μέλους, δηλαδή $8d$ και $3d$ για την περίπτωση α) και την περίπτωση β), αντιστοίχως, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται μειωμένες ανώτερες τιμές για το συντελεστή συμπεριφοράς q , όπως δίδεται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2. Στατικοί τύποι και μειωμένες ανώτερες τιμές των συντελεστών συμπεριφοράς [23]

Στατικοί τύποι	Συντελεστής συμπεριφοράς q
Υπερστατικά γραμμικά πλαίσια με ενώσεις βλήτρου και κοχλιώσεων	2,5
Πετάσματα με ηλώσεις με διαφράγματα με ηλώσεις	4,0

- Για φορείς οι οποίοι έχουν διαφορετικές και ανεξάρτητες ιδιότητες στις δύο οριζόντιες κατευθύνσεις, οι συντελεστές q οι οποίοι θα χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των εντατικών μεγεθών λόγω των σεισμικών δράσεων σε κάθε κύρια κατεύθυνση, θα πρέπει να αντιστοιχούν στις ιδιότητες του δομικού συστήματος σ' αυτήν την κατεύθυνση και μπορεί να διαφέρουν.

3.7. Διαφραγματική λειτουργία κατασκευής

Τα κτίρια μπορούν να σχεδιαστούν για να αντιστέκονται στα οριζόντια φορτία που προκύπτουν από τον άνεμο ή το σεισμό μέσω της εφαρμογής μιας αρχής που ονομάζεται διαφραγματικός σχεδιασμός.

Το διάφραγμα είναι μια επίπεδη δομική μονάδα που ενεργεί σαν ένα λεπτή, μεγάλου ύψους δέσμη. Ο όρος διάφραγμα εφαρμόζεται συνήθως σε στέγες και πατώματα. Ένα τοίχιο, ωστόσο, είναι ένα κατακόρυφο διάφραγμα. Μία δομή διαφράγματος προκύπτει όταν μία σειρά των εν λόγω κάθετων και οριζόντιων διαφραγμάτων είναι σωστά δεμένα μαζί για να σχηματίσουν μια δομική μονάδα. Όταν διαφράγματα και τοιχώματα χρησιμοποιούνται στον πλευρικό σχεδιασμό ενός κτιρίου, το δομικό σύστημα ονομάζεται «box-system». Τα τοιχώματα παρέχουν αντίδραση για τα διαφράγματα οροφής και δαπέδου και μεταδίδουν τις δυνάμεις στη θεμελίωση.

Ο δομικός σχεδιασμός των κτιρίων με τη χρήση διαφραγμάτων είναι μια σχετικά απλή διαδικασία, αν ο μηχανικός έχει στο μυαλό πάνω από όλα την έννοια της δομικής συμπεριφοράς του διαφράγματος. Για την ακρίβεια, με συνήθεις καλές πρακτικές κατασκευής, κάθε στοιχείο μανδύα σε ένα κτίριο προσθέτει σημαντική αντοχή στην κατασκευή. Έτσι, εάν τα τοιχώματα και οι στέγες είναι κατασκευασμένα από πάνελ και είναι επαρκώς δεμένα μαζί, και στο θεμέλιο, πολλές από τις απαιτήσεις της διαφραγματικής κατασκευής πληρούνται. Το γεγονός αυτό εξηγεί την αντοχή των

διαφραγματικών κατασκευών σε τυφώνες και συνθήκες σεισμού. Για πλήρη διαφραγματικό σχεδιασμό, είναι αναγκαίο να αναλυθούν επίσης οι τάσεις των διαφραγμάτων, οι συνδέσεις και οι συνδέσεις με τη θεμελίωση.

Τα διαφράγματα πάνελ έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για την οροφή, τους τοίχους, τα πατώματα και χωρίσματα, τόσο για νέες κατασκευές όσο και για την αποκατάσταση των παλαιών κτιρίων. Ένα διάφραγμα ενεργεί με ένα τρόπο ανάλογο με μία δοκό μεγάλου ύψους, όπου τα πάνελ δρουν ως «ιστός», αντιστέκονται στη διάτμηση, ενώ τα μέλη του πλαισίου αντιστέκονται σε τάσεις κάμψεως.

Ένας τοίχος διάτμησης είναι απλά ένα διάφραγμα στο οποίο το φορτίο εφαρμόζεται στην κορυφή του τοίχου, και μεταδίδεται μέχρι τον πυθμένα του τοιχώματος. Αυτό δημιουργεί προϋποθέσεις για ανατροπή που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Λόγω του μεγάλου βάθους των περισσότερων διαφραγμάτων και τη μικρή αναλογία διάρκεια - βάθος στην κατεύθυνση παράλληλα με την εφαρμογή του φορτίου, και στα μέσα συναρμολόγησης τους, η συμπεριφορά τους διαφέρει ελαφρώς από αυτό της συνήθους δοκού. Οι διατμητικές τάσεις έχουν αποδειχθεί ότι είναι ουσιαστικά ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλον το βάθος του διαφράγματος, αντί να ακολουθούν παραβολική κατανομή όπως γίνεται σε μια δοκό.

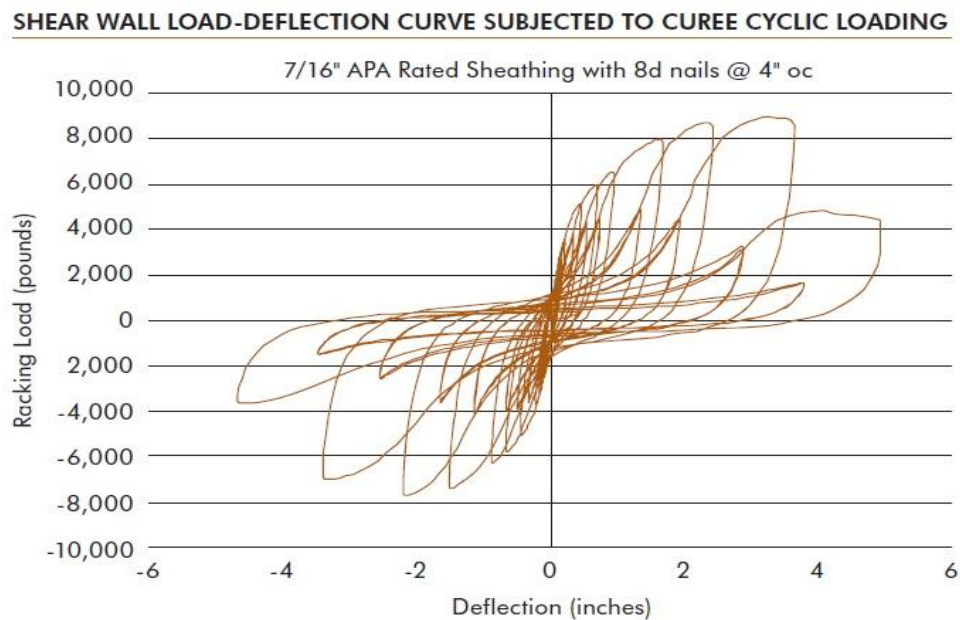
Τα τρία βασικά μέρη ενός διαφράγματος είναι το πάνελ, το πλαίσιο και οι συνδέσεις. Δεδομένου ότι τα μεμονωμένα κομμάτια του πάνελ πρέπει να συνδεθούν για να σχηματίσουν μία μονάδα, ότι τα μέλη του πλαισίου κατά πάσα πιθανότητα δεν είναι ενιαία κομμάτια, ότι τα πάνελ και το πλαίσιο θα πρέπει να συνδεθούν έτσι ώστε να δρουν από κοινού και αφού τα φορτία πρέπει να έχουν μία διαδρομή προς τα άλλα στοιχεία ή στο θεμέλιο, οι συνδέσεις είναι κρίσιμης σημασίας για την καλή δράση του διαφράγματος.



Εικόνα 3.3. Κτίριο κατασκευασμένο με πάνελ. [5]

Πλεονεκτήματα διαφραγματικού σχεδιασμού

Τα δομικά διαφραγματικά πάνελ μπορούν να επωφεληθούν από την ικανότητα του ξύλου να απορροφά τα φορτία πρόσκρουσης. Υποστηρίζουν υψηλή αντοχή στην περιοχή του σχεδιασμού και, αν φτάσουν στην τελική τους ικανότητα, διαρρέουν σταδιακά, ενώ συνεχίζουν να μεταφέρουν φορτίο. Από την άποψη της μηχανικής δυναμικής, μπορούν να απορροφήσουν μεγάλα ποσά ενέργειας πριν από την αστοχία. Αυτή η συμπεριφορά απεικονίζεται στην εικόνα 3.4. όπου φαίνεται η καμπύλη φορτίου - παραμορφώσεως ενός τοιχίου.

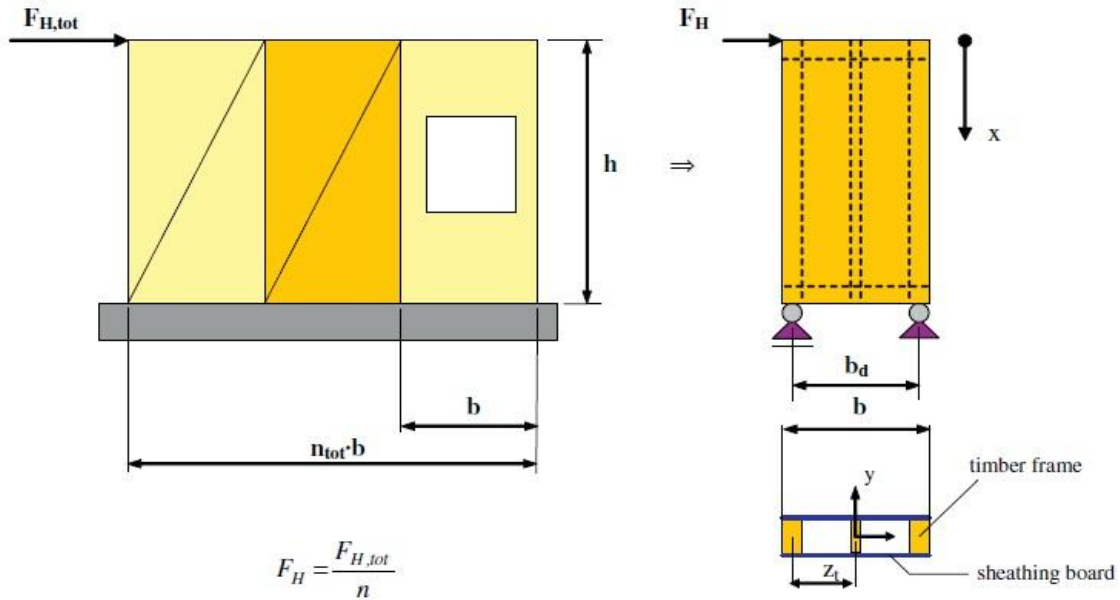


Εικόνα 3.4. Καμπύλη φορτίου παραμόρφωσης σε διατημητικό τοίχο υπό επαναλαμβανόμενη φόρτιση. [5]

Με την εξέταση της αντοχής και της ακαμψίας των τοιχωμάτων ενός κτιρίου, ο μηχανικός μπορεί να απαλλαγεί από τη δαπανηρή και αναποτελεσματική διαγώνια ενίσχυση η οποία μπορεί να απαιτείται.

3.8. Συμπεριφορά πάνελ σε σεισμό – οριζόντια φορτία

Η οριζόντια κατανομή φορτίου σε ξεχωριστούς τοίχους σε ένα επίπεδο του συγκροτήματος του τοιχώματος υπολογίζεται σύμφωνα με τη στατική μελέτη, που παρουσιάζεται στην εικόνα 3.5. Οι μονάδες τοίχου μπορεί να θεωρηθούν ξεχωριστά για σκοπούς σχεδιασμού ως κάθετα δοκάρια με το οριζόντιο φορτίο ($F_H = F_{H, tot} / n$) να ενεργεί στην κορυφή του στοιχείου. Οι δύο στηρίξεις προσεγγίζουν την επιρροή των γειτονικών πάνελ και εξασφαλίζουν μια συνοριακή συνθήκη για το πάνελ.



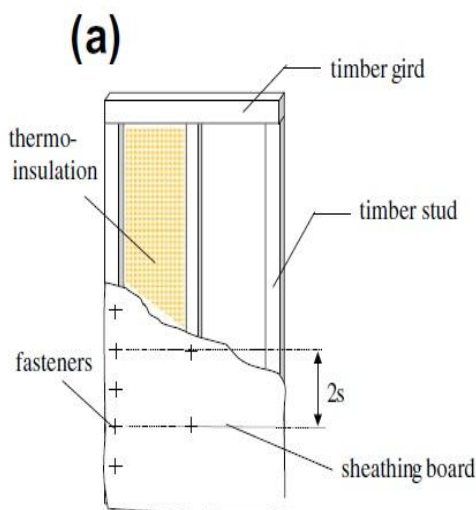
Εικόνα 3.5. Στατικό προσομοίωμα για σύνδεση στοιχείου πάνελ [6]

3.8.1. Επίδραση επιφανειακού υλικού [9]

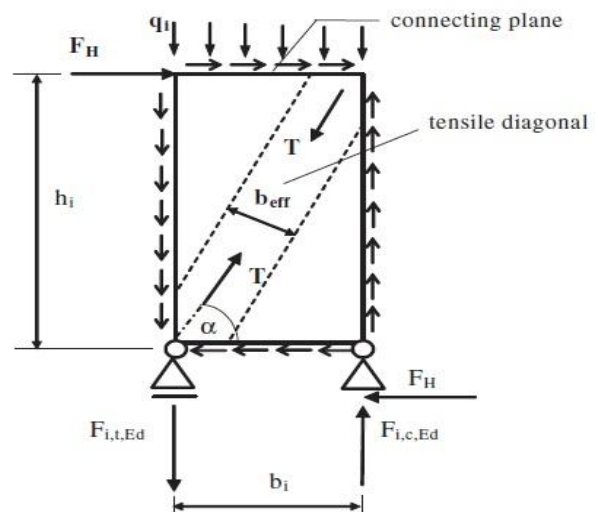
Πειράματα τα οποία έγιναν σε πλαίσια έδειξαν ότι το είδος του επιφανειακού υλικού επηρεάζει τη φέρουσα ικανότητα του.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα των Premon και Dobrila, χρησιμοποιήθηκε ένα τυπικό πλαίσιο πλάτους $b=1250\text{mm}$ και ύψους $h=2500\text{mm}$, ξύλινος σκελετός και φύλλα από OSB τα οποία ήταν συνδεδεμένα με το σκελετό μέσω μηχανικών συνδετήρων όπως στην εικόνα 3.6.

Σαν επιφανειακό στοιχείο χρησιμοποιήθηκε OSB το οποίο λόγω της υψηλής του εφελκυστικής αντοχής δεν μπορεί να θεωρηθεί σαν το αδύνατο στοιχείο του πάνελ.



Εικόνα 3.6. Σύνδεση στοιχείου πάνελ. [7]



Εικόνα 3.7. Κατανομή δυνάμεων σε στοιχείο πάνελ [7]

Όσο αφορά την ανάλυση του επιφανειακού στοιχείου, γίνεται με τις δύο μεθόδους του Ευρωκώδικα, στις οποίες γίνεται αναφορά στο παρόν τεύχος στο 2.3.2.1. και στο 2.3.2.2. (εικόνα 3.7), ενώ τα στοιχεία του πάνελ (ξύλινος σκελετός και επιφανειακό στοιχείο), θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως σύνθετα στοιχεία. Με τη χρήση του επιφανειακού στοιχείου, ένα μέρος του οριζόντιου φορτίου μεταφέρεται μέσω των συνδέσεων σ' αυτό και το πάνελ λειτουργεί σαν μια σύνθετη διατομή. Η κατανομή της οριζόντιας δύναμης εξαρτάται από την αναλογία της δυσκαμψίας. Η καμπτική δυσκαμψία $(EI_y)_{eff}$ του πάνελ η οποία εμπειρικά λαμβάνει υπόψη τη ευκαμψία των συνδετήρων μέσω του συντελεστή γ_y , που λαμβάνεται από τον Ευρωκώδικα 5, μπορεί να γραφεί με τη μορφή:

$$\begin{aligned} (EI_y)_{eff} &= \sum_{i=1}^n E_i * (I_{yi} + \gamma_{yi} * A_i * a_i^2) \\ &= \sum_{i=1}^{n_{timber}} (E_i * I_{yi} + E_i * \gamma_{yi} * A_i * a_i^2)_{timber} + \sum_{j=1}^{n_b} (E_j * I_{yj})_b \end{aligned}$$

όπου n: ο συνολικός αριθμός των στοιχείων στην οριζόντια τομή

a_i : η απόσταση μεταξύ του καθολικού άξονα y και του τοπικού άξονα του i στοιχείου με διατομή A_i .

Η παραπάνω εξίσωση δείχνει ότι η καμπτική δυσκαμψία $(EI_y)_{eff}$ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το συντελεστή δυσκαμψίας των συνδετήρων γ_y . Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 5 μπορεί να οριστεί μέσω των αποστάσεων των συνδετήρων (s) και ο συντελεστής ολίσθησης ανά διαμητική επιφάνεια ανά συνδετήρα (K) με τη μορφή:

$$\gamma_y = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 * A_{t1} * E_t * s}{L_{eff}^2 * K} \right)}$$

Η έκφραση της λεγόμενης «γ-μέθοδος» βασίζεται στην διαφορική εξίσωση για τη μερικός σύνθετη δράση με τις ακόλουθες θεμελιώδεις παραδοχές:

- (α) Η υπόθεση Bernoulli είναι έγκυρη για κάθε επιμέρους συστατικό,
- (β) Η δυσκαμψία ολίσθησης είναι σταθερή κατά μήκος ολόκληρης της περιοχής σύνδεσης του στοιχείου,
- (γ) Η συμπεριφορά του υλικού και όλων των στοιχείων θεωρείται ότι είναι γραμμική-ελαστική.

Οι απλουστευμένες επιλύσεις συνδέονται στενά με το μοντέλο του Mohler, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι μία δοκός απλά υποστηρίζεται και έχει σταθερή δυσκαμψία ολίσθησης. Τέσσερις βασικές παραδοχές έχουν επιπλέον ληφθεί υπόψη μέσω της μοντελοποίησης των διατομών στο σύνθετο μοντέλο δοκού, με βάση τις περιγραφόμενες θεμελιώδεις προϋποθέσεις (α), (β) και (γ) για τη γ-μέθοδο:

(α) Η εφελκυστική περιοχή των σανίδων παραμελείται μετά το σχηματισμό της πρώτης ρωγμής.

(β) Έχει υποτεθεί γραμμική ελαστική συμπεριφορά της θλιβόμενης περιοχής των σανίδων και των ξύλινων πλαισίων.

(γ) Ο συντελεστής ακαμψίας των συνδετήρων στην εφελκυσμένη περιοχή ($\gamma_{y,mod}$), αναμένεται να παραμείνει σταθερός μετά την εμφάνιση της πρώτης ρωγμής.

(δ) Ο συντελεστής ακαμψίας των συνδετήρων στο στη θλιβόμενη περιοχή ($\gamma_{c,mod}$), δεν είναι σταθερός και εξαρτάται από το πλευρικό φορτίο που ασκείται στον συνδετήρα.

Χρησιμοποιώντας την κλασσική θεωρία δοκού η χαρακτηριστική οριζόντια δύναμη που σχηματίζει την πρώτη ρωγμή εφελκυσμού ($F_{cr,k}$) στο επιφανειακό στοιχείο ορίζεται σύμφωνα με τα συνήθη κριτήρια τάσεων και η χαρακτηριστική αντοχή σε εφελκυσμό του στοιχείου ($f_{bt,k}$) στη μορφή:

$$\sigma_{b,max} = \frac{M_y * E_b}{(EI_y)_{eff}} * \frac{b}{2} \Rightarrow M_{y,cr,k} = \frac{2 * f_{bt,k} * (EI_y)_{eff}}{E_b * b}$$

$$F_{cr,k} = \frac{M_{y,cr,k}}{h_d} = \frac{2 * f_{bt,k} * (EI_y)_{eff}}{E_b * b * h_d}$$

Αν δηλώσουμε ως χαρακτηριστική κατάσταση καταστροφής του στοιχείου την περίπτωση αστοχίας, όταν η εφελκυστική αντοχή του ξύλου ($\sigma_{t,max}$) φτάσει τη χαρακτηριστική αντοχή σε εφελκυσμό της ξυλείας ($f_{t,0,k}$), η χαρακτηριστική οριζόντια δύναμη αστοχίας ($F_{u,k}$) υπολογίζεται με την ακόλουθη μορφή:

$$F_{u,k} = \frac{f_{t,0,k} * (EI_y)_{eff}^{II}}{E_t * \left(\gamma_{yt} * z_{tII} + \frac{a}{2} \right) * h}$$

Όπου $(EI_y)_{eff}$ αντιπροσωπεύει τη καμπτική δυσκαμψία της διατομής με μια ρωγμή στο εφελκυστικό τμήμα του επιφανειακού στοιχείου.

Έτσι, η πλευρική δύναμη (F_1) που ασκείται σε ένα συνδετήρα σε απλή διάτμηση μπορεί να υπολογιστεί σε εξάρτηση από το οριζόντιο φορτίο (F_H) με τη μορφή:

$$F_1 = \frac{(ES_y)_{eff}}{(EI_y)_{eff}} * \frac{s}{2} * F_H$$

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω σχέσεις, οι Premov και Dobrila κατέληξαν στα εξής αποτελέσματα:

$$F_{f,Rk} = 644.291 \text{ N}$$

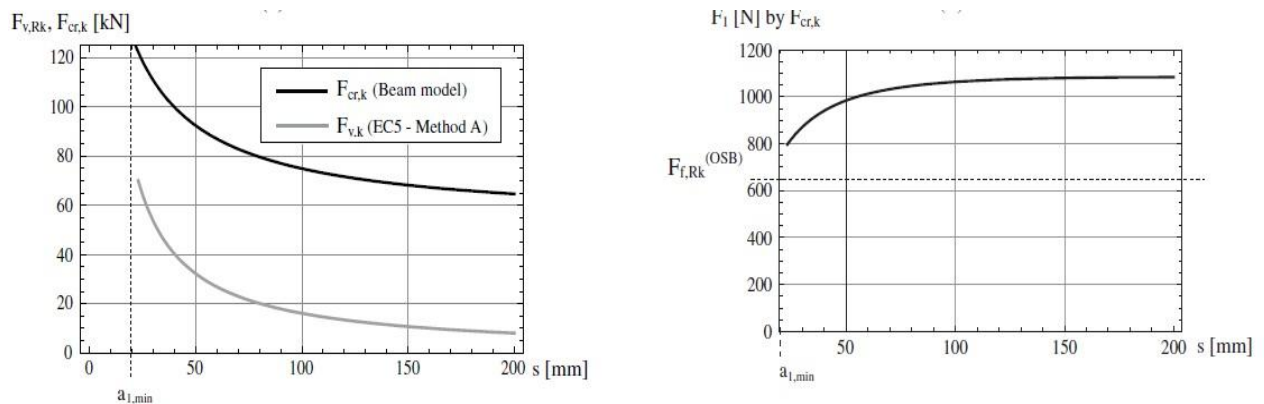
$$p_m = \sqrt{p_b * p_t} = 495,984 \text{ kg/m}^3$$

$$K_{ser} = \frac{p_m^{1.5} * d^{0.8}}{80} = 194.021 \text{ N/mm}$$

$$F_{u,Rk} = \sum F_{f,Rk} * \frac{b_i}{s} * c = 1610.75/s$$

$$F_{cr,k} = \frac{2 * f_{bt}}{E_b * d * h_d} * \left[\frac{(EI_y)_{timber}}{1 + \frac{\pi^2 * A_{t1} * E_t * s}{L_{eff}^2 * K}} + (EI_y)_{OSB} \right]$$

Χρησιμοποιώντας διαφορετικές αποστάσεις s μεταξύ των συνδετήρων έφτιαξαν τα εξής διαγράμματα:



Εικόνα 3.8. Διάγραμμα χαρακτηριστικής αντίστασης πάνελ – απόστασης συνδετήρων (αριστερά) και Διάγραμμα πλευρικής δύναμης σε ένα συνδετήρα – απόστασης συνδετήρων (δεξιά) [9]

Από το αριστερά διάγραμμα μπορούμε να δούμε ότι η τιμή της $F_{v,Rk}$ είναι πολύ μικρότερη από τη δύναμη στην οποία εμφανίζεται η πρώτη ρωγμή στο επιφανειακό στοιχείο ($F_{cr,k}$) για κάθε τιμή της απόστασης των συνδετήρων. Ο λόγος έγκειται στο γεγονός ότι η αντοχή εφελκυσμού του OSB είναι σχετικά υψηλή και έχει τιμή ίση με την αντοχή σε θλίψη. Σύμφωνα με την εξίσωση για την $F_{cr,k}$, οι τιμές που προκύπτουν είναι σε αυτή την περίπτωση εξωπραγματικά υψηλές και δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Συνεπώς για τα πάνελ με επιφανειακά στοιχεία από OSB η διαρροή του συνδετήρα είναι καθοριστική για οποιαδήποτε τιμή του s . Η διαφορά μεταξύ των τιμών $F_{cr,k}$ και $F_{v,Rk}$ εξαρτάται έντονα από την απόσταση των συνδετήρων και είναι μικρότερη για χαμηλότερες τιμές του s .

Από το δεξιά διάγραμμα είναι προφανές ότι με τη χρήση OSB σαν επιφανειακό στοιχείο, η πλευρική δύναμη σε ένα συνδετήρα (F_1) είναι υψηλότερη από τη χαρακτηριστική πλευρική φέρουσα ικανότητα των συνδετήρων $F_{f,Rk}=644.291\text{N}$ για κάθε απόσταση των συνδετήρων. Αυτό αποδεικνύει πρακτικά ότι είπαμε και για το προηγούμενο σχήμα, ότι η διαρροή των συνδετήρων γίνεται πριν την εμφάνιση των εφελκυστικών ρωγμών στο OSB.

Είναι προφανές ότι ο τύπος του επιλεγέντος υλικού επικάλυψης έχει σημαντική επίδραση στην οριζόντια αντοχή και σκληρότητα, καθώς και σχετικά με την όλη

συμπεριφορά των προκατασκευασμένων στοιχείων τοίχου κάτω από ένα οριζόντιο φορτίο. Έχει αποδειχθεί ότι οι αποστάσεις των συνδετήρων έχουν σημαντική επιρροή στην οριζόντια αντίσταση του παρουσιάζει το πάνελ. Κατά συνέπεια, μπορούμε να συμπεράνουμε σύμφωνα με το σχήμα στην εικόνα 3.7. ότι με τη χρήση OSB σαν επιφανειακό στοιχείο, η αστοχία των συνδετήρων είναι καθοριστική και δεν υπάρχει σχεδόν κανένας κίνδυνος για τυχόν ρωγμές να εμφανιστούν. Ως εκ τούτου, μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι οι απλοποιημένες μέθοδοι που αναφέρονται στον Ευρωκώδικα 5 είναι κατάλληλες για οποιαδήποτε απόσταση συνδετήρα που συνήθως χρησιμοποιείται στην παραγωγή με τη χρήση επιφανειακών στοιχείων από ξύλο.

3.8.2. Επίδραση των συνδέσεων του πάνελ [24],[25]

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 5, η εξίσωση (1) καθορίζει τη φέρουσα ικανότητα του τοιχώματος ως το άθροισμα της διατμητικής αντίστασης όλων των μηχανικών συνδετήρων κατά μήκος του πλαισίου.

$$F_{v,d} = \sum F_{f,d} * \left(\frac{b_i}{b_1}\right)^2 * \frac{b_1}{s} \quad (1)$$

όπου $F_{f,d}$: η πλευρική ικανότητα σχεδιασμού ανά συνδετήρα,
 b_1 : το πλάτος του ευρύτερου φύλλου,
 b_i : το πλάτος των άλλων φύλλων (b_2, b_3)
 s : η απόσταση των συνδετήρων.

Μέρος του οριζόντιου φορτίου μεταφέρεται από τις συνδέσεις στο επιφανειακό στοιχείο, το οποίο συμβάλει στην ακαμψία του τοιχώματος συνεπώς θα πρέπει να θεωρείται, μαζί με το ξύλινο σκελετό, ως αναπόσπαστο μέρος, παρά το γεγονός ότι δεν είναι άκαμπτα συνδεδεμένα.

Η κατανομή της οριζόντιας δύναμης εξαρτάται από την αναλογία της ακαμψίας. Η διατμητική δυσκαμψία (GAs)_{eff} και η αντοχή σε κάμψη (EIy)_{eff} της διατομής μπορεί να γραφούν με την ακόλουθη μορφή:

$$(GAs)_{eff} = \gamma(GAs)_{timber} + (GAs)_{board} \quad (2)$$

$$(EIy)_{eff} = \gamma(EIy)_{timber} + (EIy)_{board} \quad (3)$$

Η κατανομή της δύναμης, επίσης, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το συντελεστή ακαμψίας των συνδετήρων (γ). Έτσι, η συνολική αντίσταση του τοιχώματος μπορεί να γραφτεί ως το άθροισμα της αντίστασης του πλαισίου (R_t) και της αντίστασης του επιφανειακού στοιχείου (R_b):

$$R_{tot} = R_t + R_b \quad (4)$$

Σύμφωνα με τις εξισώσεις (2)-(4), η συμπεριφορά των πάνελ εξαρτάται σημαντικά από τις αποστάσεις των συνδέσεων μεταξύ του πλαισίου και του επιφανειακού στοιχείου. Επίσης, βάσει του Ευρωκώδικα 5 μπορεί να οριστεί μέσω των αποστάσεων των συνδετήρων (s) και ο συντελεστής ολίσθησης ανά διατμητική επιφάνεια ανά συνδετήρα (K) με τη μορφή:

$$\gamma_y = \frac{1}{1 + \left(\frac{\pi^2 * A_{t1} * E_t * s}{L_{eff}^2 * K}\right)}$$

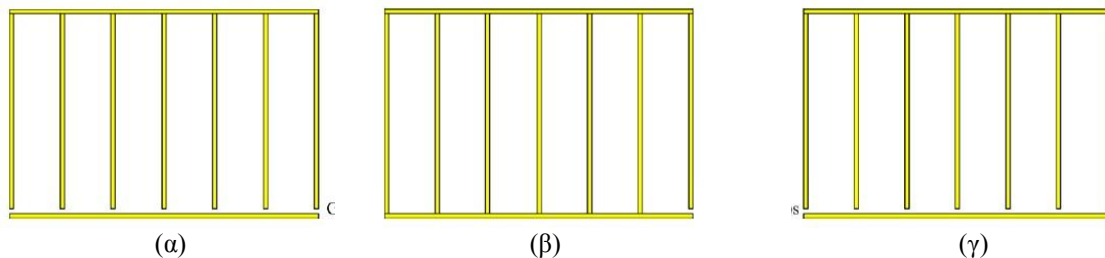
Από πειράματα τα οποία έγιναν χρησιμοποιώντας διαφορετικές αποστάσεις συνδετήρων, οι Premprong και Dobrila [24] κατέληξαν στα συμπεράσματα ότι με μικρότερες αποστάσεις μεταξύ των συνδέσεων μπορούμε να αυξήσουμε μόνο την ελαστική συμπεριφορά του πάνελ. Επίσης, μειώνοντας τις αποστάσεις των συνδέσεων, αυξάνεται ο συντελεστής γ , συνεπώς και η διατμητική δυσκαμψία, με αποτέλεσμα να μεταφέρεται μεγαλύτερο μέρος της δύναμης στο ξύλινο πλαίσιο.

Συνεπώς, αυξάνοντας τον αριθμό των συνδέσεων, άρα μειώνοντας τις αποστάσεις μεταξύ τους, μπορούμε να αυξήσουμε την αντίσταση των στοιχείων πάνελ, όχι όμως και την πλαστιμότητά τους, η οποία εξαρτάται από την παραμορφωσιμότητα των ίδιων των συνδέσεων.

Στη παρούσα φάση, συνιστάται περαιτέρω έρευνα σχετικά με την επιρροή των συνδέσεων στην πλαστιμότητα του πάνελ καθώς και στην παραμορφωσιμότητα των ίδιων των συνδέσεων.

3.8.3. Επίδραση των «ατελειών» του πάνελ [7]

Οι Arne Girhammar και Bo Kallsner, προσπάθησαν με τη χρήση αναλυτικών μεθόδων οι οποίες βασίζονται σε ιδεατές πλήρως πλαστικές ιδιότητες των μηχανικών συνδέσεων των πάνελ να διατυπώσουν την επιρροή που έχουν τυχόν ατέλειες της κατασκευής των πάνελ στην φέρουσα ικανότητά τους. Τα είδη των ατελειών στα οποία έκαναν τις εργαστηριακές τους μετρήσεις ήταν α) πάνελ με κενά σε όλους τους ορθοστάτες, β) πάνελ με κενό μόνο στον τελευταίο ορθοστάτη και γ) πάνελ με κενά σε όλους τους ορθοστάτες εκτός από τον τελευταίο.



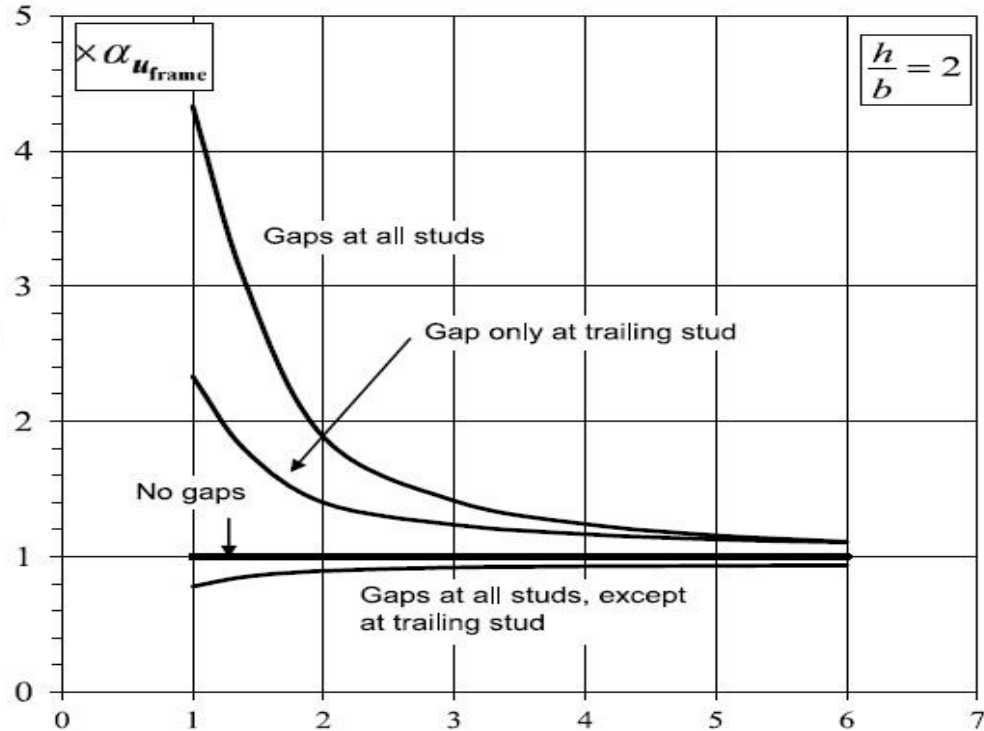
Εικόνα 3.9. α) πάνελ με κενά σε όλους τους ορθοστάτες, β) πάνελ με κενό μόνο στον τελευταίο ορθοστάτη και γ) πάνελ με κενά σε όλους τους ορθοστάτες εκτός από τον τελευταίο. [8]

Δοκιμές έχουν δείξει ότι η ακαμψία των τοιχωμάτων διαφορετικού μήκους (διαφορετικός αριθμός πάνελ) δεν μεταβάλλεται γραμμικά με το μήκος τοιχώματος. Ο λόγος για αυτό πιθανόν να οφείλεται σε κενά ανάμεσα στους ορθοστάτες και στη «δοκού βάσης», στην ανύψωση των ορθοστατών ή και στην πλαστική θλίψη της «δοκού βάσης».

Τα κενά μπορούν να προκύψουν εξαιτίας της κακής κατασκευής, κυρτών δοκών ή και λόγω συρρίκνωση των σιδηροτροχιών.

Η επίδραση των κενών και της ανύψωσης στην ακαμψία του πάνελ αξιολογήθηκαν μέσω της μελέτης της οριζόντιας μετατόπισης της άνω δοκού, u_{frame} , για τοίχους με διαφορετικό αριθμό πάνελ οι οποίοι υποβλήθηκαν σε διαγώνιο φορτίο και συγκρίνοντάς την με τη μετατόπιση ενός πλήρως συνδεδεμένου πάνελ χωρίς κενά ή ανύψωση.

Βάση των πειραμάτων που έγιναν, προέκυψε το διάγραμμα της Εικόνας 3.10.



Εικόνα 3.10. Σχετική ακαμψία πάνελ με ατέλειες σε σχέση με τον αριθμό των πάνελ σε σειρά. [8]

Οι αναλύσεις δείχνουν ότι η επίδραση των κενών είναι σημαντικές στο αρχικό στάδιο της παραμόρφωσης του πάνελ. Ανάλογα με την κατανομή των κενών και τον αριθμό των τμημάτων που περιλαμβάνονται στον τοίχο, η μετατόπιση των τοιχωμάτων αυξήθηκε πολλές φορές σε σχέση με την μετατόπιση ενός πλήρως συνδεδεμένου πάνελ χωρίς κενά. Για πάνελ με ατέλειες, η αύξηση είναι της τάξης του 4πλάσιου και του 2πλάσιου αντίστοιχα, στην περίπτωση των κενών σε όλους τους ορθοστάτες και στη περίπτωση που υπάρχει κενό μόνο στον τελευταίο ορθοστάτη.

Ωστόσο, για ατελή τοιχώματα που αποτελούνται από περισσότερα από περίπου έξι πάνελ και στις δύο περιπτώσεις των κενών, η επίδραση των ατελειών μπορεί να αγνοηθεί με ένα σφάλμα της τάξης του 10%. Στην περίπτωση που υπάρχουν κενά σε όλους τους ορθοστάτες και μετά που θα έχει κλείσει το κενό στον τελευταίο, η ακαμψία του τοιχίου αυξάνει μέχρι να κλείσει το επόμενο κενό. Αυτό συνεπάγεται ότι, μόλις το κενό στον τελευταίο ορθοστάτη κλείσει, οι ατέλειες δεν χρειάζεται να ληφθούν υπόψη κατά την αξιολόγηση των μετατοπίσεων του τοιχώματος.

Κεφάλαιο 4. Προσομοίωση πάνελ σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει προσομοίωση του πάνελ στο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων SAP 2000. Στη συνέχεια, με εφαρμογή πλευρικού φορτίου στο πάνελ θα υπολογιστεί η μετατόπισή του και στη συνέχεια θα γίνει αντικατάσταση του επιφανειακού στοιχείου του πάνελ με ισοδύναμες διαγώνιες ράβδους.

4.1. Το λογισμικό SAP2000

Το πρόγραμμα SAP2000 (Computers and Structures Inc.) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για στατική και δυναμική ανάλυση κατασκευών οποιουδήποτε τύπου, όπως κτίρια, γέφυρες κ.λπ.

- Έχει δυνατότητες στατικής και δυναμικής ανάλυσης, τόσο γραμμικής όσο και μη γραμμικής ανάλυσης, συνδυασμού διαφορετικών ειδών ραβδωτών, πλαισιακών και πεπερασμένων στοιχείων καθώς και ειδικών μη-γραμμικών συνδέσμων και ελατηρίων για εξειδικευμένες αναλύσεις.
- Στα πλαίσια της δυναμικής ανάλυσης, συμπεριλαμβάνονται δυνατότητες φασματικής ανάλυσης και δυναμικής ανάλυσης με επαλληλία των ιδιομορφών ή απευθείας ολοκλήρωση με διάφορες μεθόδους αριθμητικής ολοκλήρωσης.
- Μπορεί να χρησιμοποιήσει πολλούς διαφορετικούς τύπους στοιχείων, όπως πλαισιακά στοιχεία (frame elements) για μοντελοποίηση ράβδων δικτυωμάτων και δοκών, επιφανειακά στοιχεία όπως κελύφη (shell) και επίπεδα (plane) στοιχεία, μη γραμμικά στοιχεία σύζευξης (non-linear links) και τρισδιάστατα στοιχεία (solid elements).
- Στο πρόγραμμα υπάρχουν διαφορετικά είδη δράσεων, όπως φορτία βαρύτητας, θερμοκρασιακών μεταβολών, κατανεμημένα φορτία, επικόμβιες φορτίσεις, κ.λπ.

Γραφικό περιβάλλον διασύνδεσης με το χρήστη

Το πρόγραμμα SAP2000 διευκολύνει την εισαγωγή δεδομένων, τον καθορισμό σχετικών παραμέτρων, την πραγματοποίηση αναλύσεων και την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων. Αναφορά θα γίνει στις ιδιότητες του προγράμματος οι οποίες έχουν χρησιμοποιηθεί στην παρούσα διπλωματική εργασία.

- Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει και να ονομάσει κάποιες ιδιότητες (named properties), όπως υλικών, διατομών κ.λπ. τις οποίες στη συνέχεια μπορεί να αναθέσει σε κάποια αντικείμενα.
- Με τον ορισμό υλικών (Materials) μπορούν να καθοριστούν μηχανικές και θερμοκρασιακές ιδιότητες υλικών, καθώς και η πυκνότητα τους.
- Το υλικό μπορεί να είναι ισοτροπικό, ορθοτροπικό ή ανισοτροπικό.
- Οι μηχανικές ιδιότητες, καθορίζονται βάσει ενός προκαθορισμένου υλικού (Materials), ορίζοντας το μέτρο ελαστικότητας (Modulus of elasticity), το συντελεστή Poisson, το συντελεστή θερμικής διαστολής (Coefficient of thermal expansion), την πυκνότητα μάζας (Mass density) και την πυκνότητα βάρους (Weight density).

- Για κάθε υλικό μπορεί να οριστεί πυκνότητα μάζας (mass density) η οποία χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η μάζα του στοιχείου, βάσει του αντίστοιχου όγκου. Αυτή η μάζα κατανέμεται στους κόμβους του στοιχείου και χρησιμοποιείται για τους τρεις μεταθετούς BE.
- Επίσης, μπορεί να οριστεί για κάθε υλικό πυκνότητα βάρους (weight density) η οποία χρησιμοποιείται για υπολογισμό του ίδιοβαρους του στοιχείου, βάσει του αντίστοιχου όγκου. Το υπολογιζόμενο βάρος διαμοιράζεται στους κόμβους ενός στοιχείου, ενώ ενεργοποιείται χρησιμοποιώντας φορτία ίδιοβαρους (self-weight load) και βαρύτητας (gravity load).

Ορισμός επώνυμων οντοτήτων

- Μια σειρά από επώνυμες οντότητες (named entities), οι οποίες δεν είναι μέρος της γεωμετρίας, μπορούν να οριστούν, μέσω του μενού DEFINE, και να ανατεθούν σε επιλεγόμενα αντικείμενα, όπως:
 - ιδιότητες υλικών στοιχείων (Materials)
 - χαρακτηριστικά διατομών (Frame Sections)
 - συστήματα συντεταγμένων και κανάβου (Coordinate Systems/ Grids)
 - περιορισμοί μετακινήσεων κόμβων (Joint Constraints)
 - ομάδες αντικειμένων (Groups)
 - στοιχεία σχετικά με φορτία, όπως περιπτώσεις φορτίσεων (Load Cases)
 - στοιχεία σχετικά με την ανάλυση και απόκριση (Functions) όπως περιπτώσεις ανάλυσης και συνδυασμού των φορτίσεων (Combinations)
 - στοιχεία σχετικά με την παρουσίαση και γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων (Named Views).

Συνδυασμοί αποτελεσμάτων

- Συνδυασμοί αποτελεσμάτων από μια ή περισσότερες περιπτώσεις ανάλυσης ή άλλους συνδυασμούς μπορούν να οριστούν αθροίζοντας τα επιμέρους αποτελέσματα για το κάθε αντικείμενο στο μοντέλο.
- Για μη γραμμικές αναλύσεις μόνο συνδυασμοί τύπου περιβάλλουσας μπορούν να εφαρμοστούν, αφού γενικά η Αρχή της Επαλληλίας δεν ισχύει για αποτελέσματα μη γραμμικών αναλύσεων.

Παρουσίαση Δεδομένων και Αποτελεσμάτων

- Ο ορισμός και τα δεδομένα ενός μοντέλου στο SAP2000 καθώς και τα αποτελέσματα της ανάλυσης μπορούν να παρουσιαστούν αλλά και να αποθηκευτούν με διάφορους τρόπους.
 - δυσδιάστατα και τρισδιάστατα γραφικά
 - πίνακες τιμών σε μορφή απλού κειμένου, φύλλου εργασίας ή δομής δεδομένων
- Τα δεδομένα και αποτελέσματα ή επιλεγμένα μέρη τους, μπορούν να εξαχθούν σε κάποιο αρχείο κειμένου, υπολογιστικό φύλλο εργασίας ή αρχείο βάσης

- δεδομένων, καθώς και σε κάποιες μορφές αποθήκευσης κοινών σχεδιαστικών προγραμμάτων.
- Τα αποτελέσματα της ανάλυσης, καθώς και το προσομοίωμα της κατασκευής μπορούν να παρουσιαστούν γραφικά, υπό μορφή πινάκων ή σαν γραφικές παραστάσεις, σύμφωνα με τις επιλογές που παρέχονται στο χρήστη από το μενού DISPLAY.
 - Μεταξύ άλλων, μπορούν να παρουσιαστούν γραφικά παραμορφωμένες μορφές της κατασκευής που αναλύθηκε, αντιδράσεις στις στηρίξεις, διαγράμματα εντατικών μεγεθών, ισοτασικές καμπύλες επιφανειακών και χωρικών στοιχείων.
 - Επίσης, μπορούν να κατασκευαστούν γραφικές παραστάσεις συναρτήσεων (function plots) δίνοντας τιμές μιας μεταβλητής συναρτήσεως κάποιας άλλης.
 - Τόσο πληροφορίες δεδομένων όσο και αποτελέσματα μπορούν να παρουσιαστούν για το μοντέλο ή επιλεγμένα στοιχεία του.

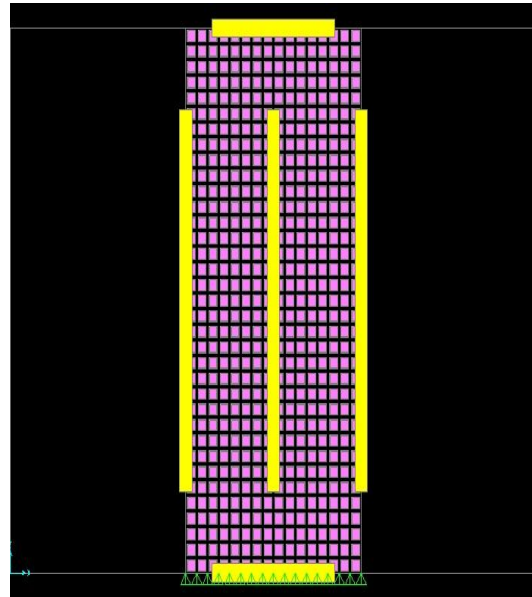
4.2. Προσομοίωση στοιχείου πάνελ στο SAP2000

Για τη προσομοίωση του στοιχείου πάνελ στο SAP2000 μπορεί να χρησιμοποιηθεί ή ένα επίπεδο πλαίσιο (2D Frame) ή η επιλογή τοίχου (Wall). Η επιλογή του προσομοιώματος δεν επηρεάζει στη συνέχεια αφού και με τους δύο τρόπους μπορούμε να φτιάξουμε το πάνελ.

Στη συνέχεια καθορίζουμε τα υλικά του ξύλινου πλαισίου και το υλικό το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως επιφανειακό στοιχείο. Το SAP2000 δεν είναι σχεδιασμένο για αναλύσεις με ξύλινα υλικά, αλλά λόγω του ότι κάνει ελαστικές αναλύσεις και μπορεί να ορίσει ένα υλικό ως ορθότροπο, δεν επηρεάζει την ανάλυση μας, δίνοντας μας σωστά αποτελέσματα.

Ακολούθως με τα σχεδιαστικά υλικά του προγράμματος μπορούμε να σχεδιάσουμε τον ξύλινο σκελετό με τις καθορισμένες διαστάσεις και να προσθέσουμε το επιφανειακό υλικό. Η σύνδεση τους γίνεται «εικονικά» με την εντολή Mesh όπου χωρίζεται το επιφανειακό στοιχείο σε μικρότερα ανάλογα με τον αριθμό των συνδετήρων του πλαισίου.

Τέλος, μπορούν να οριστούν οι συνθήκες στήριξης σαν αρθρώσεις στο κάτω μέρος καθώς και οι όποιες δράσεις ασκούνται στο πάνελ, είτε είναι δυνάμεις, ροπές ή και σεισμικές φορτίσεις.



Εικόνα 4.1. Μορφή πάνελ με τη χρήση του SAP.

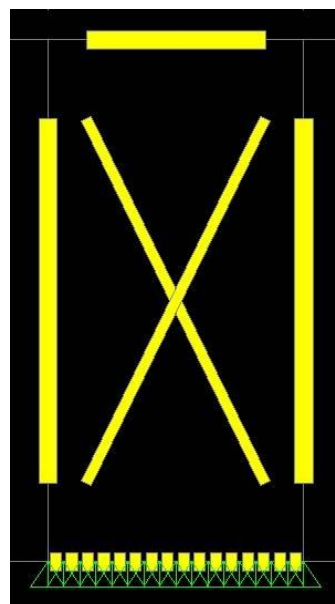
Παραδοχές και διευκρινήσεις

- Για καλύτερη προσομοίωση του πάνελ με τη χρήση του SAP, η κάτω δοκός έχει μοιραστεί σε μικρότερα κομμάτια όπου έχουν τοποθετηθεί αρθρώσεις αφού στην πραγματικότητα η κάτω δοκός δεν είναι ελεύθερη αλλά αρθρωμένη στο έδαφος.
- Επίσης οι συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων του πλαισίου δεν είναι μονολιθικά συνδεδεμένες αλλά επιτρέπονται η στροφή και η μετακίνηση παράλληλα προς την διεύθυνση του πάνελ.
- Τα επιφανειακά στοιχεία έχουν «σπάσει» σε μικρότερα με τη λογική της προσομοίωσης της σύνδεσης τους με τα στοιχεία του πλαισίου. Βάση αυτής της προσομοίωσης, τα στοιχεία του πλαισίου έχουν δεσμευτεί με κάθε ένα από τα κομμάτια του επιφανειακού στοιχείου. Επίσης, με τη χρήση μικρότερων επιφανειακών στοιχείων έχουμε καλύτερα αποτελέσματα στις αναλύσεις.
- Στη προσομοίωση σειράς από πάνελ έχει χρησιμοποιηθεί ενιαία δοκός η οποία κρατάει όλα τα πάνελ, όπως γίνεται και στη πραγματικότητα με τη χρήση κεφαλοδοκού.
- Στις δοκιμές που έγιναν χρησιμοποιήθηκαν επιφανειακά υλικά με πάχος ίσο με αυτό που βρίσκεται στο εμπόριο. Για το λόγο όμως ότι στο πρόγραμμα SAP δεν μπορεί να τοποθετηθεί επιφανειακό υλικό εκατέρωθεν του πλαισίου, χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον οι διπλάσιες τιμές από τις αντίστοιχες του εμπορίου.
- Όταν γίνεται η αντικατάσταση του επιφανειακού στοιχείου με διαγωνίους, αφαιρείται και ο μεσαίος ορθοστάτης κάθε πάνελ.

4.3. Αντικατάσταση επιφανειακού στοιχείου πάνελ με ισοδύναμη διαγώνιο

Η αντικατάσταση του επιφανειακού στοιχείου με ισοδύναμη διαγώνιο γίνεται για το λόγο ότι ενώ το SAP2000 είναι πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων και μπορεί να τρέξει αναλύσεις με επιφανειακά στοιχεία, υπάρχουν προγράμματα τα οποία χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό ξύλινων κατασκευών και δεν μπορούν να κάνουν ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων. Με αυτό τον τρόπο συνεπώς, μπορεί να σχεδιαστεί μια κατασκευή χρησιμοποιώντας διαγωνίους, έχοντας όμως τις ίδιες τιμές παραμορφώσεων με τις κατασκευές που χρησιμοποιούν επιφανειακά στοιχεία.

Τα στοιχεία διαγωνίου που έχουν χρησιμοποιηθεί έχουν τετραγωνική διατομή ώστε να έχουμε μόνο μια παράμετρο στις αναλύσεις μας, ενώ έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με το επιφανειακό στοιχείο το οποίο αντικαταστάθηκε.



Εικόνα 4.2. Μορφή πάνελ με διαγώνια στοιχεία με τη χρήση του SAP.

Κεφάλαιο 5. Αναλύσεις

5.1. Χαρακτηριστικά πάνελ και υλικών κατασκευής

Για την προσομοίωση του πάνελ επιλέγηκε η χρήση του “Wall Panel” με διαστάσεις πάνελ ίσες με $h=2.64\text{m}$ και $b=1.25\text{m}$. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν ενδεικτικά, αφού συνήθως τα πάνελ έχουν πλάτος περίπου 1.2m ενώ το ύψος τους μεταβάλλεται αναλόγως με τη χρήση του κτιρίου το οποίο θα κατασκευαστεί.

Πλαίσιο

Ως υλικό πλαισίου χρησιμοποιήθηκε φυσική ξυλεία C22 τετραγωνικής διατομής 90x90 mm, με τα εξής φυσικά χαρακτηριστικά:

- $E1 = 10 \text{ GPa}$, $E2 = E3 = 0.33 \text{ GPa}$
- $G_{\text{mean}} = 0.63 \text{ GPa}$
- $\nu = 0,25$
- $\rho = 340 \text{ kg/m}^3$

Επιφανειακό στοιχείο

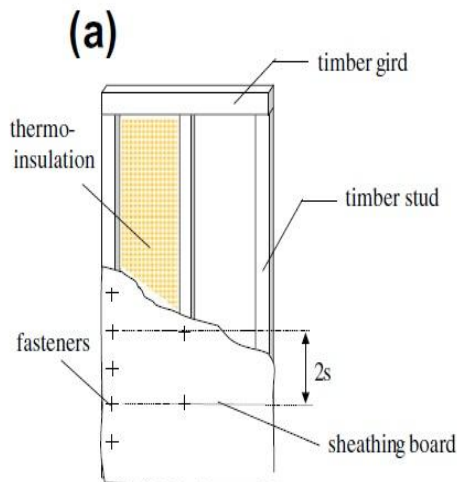
Για την προσομοίωση του επιφανειακού υλικού χρησιμοποιήθηκαν δύο υλικά, αντικολλητή ξυλεία (Plywood) και ξυλεία προσανατολισμένων ξυλοτεμαχιδίων (OSB) με διάφορες τιμές πάχους, αναλόγως με αυτές που συναντάμε στο εμπόριο.

Αντικολλητή ξυλεία (Plywood)

- $E1 = E2 = E3 = 2.5 \text{ GPa}$
- $G_{\text{mean}} = 0.1 \text{ GPa}$
- $\nu = 0,25$
- $\rho = 440 \text{ kg/m}^3$

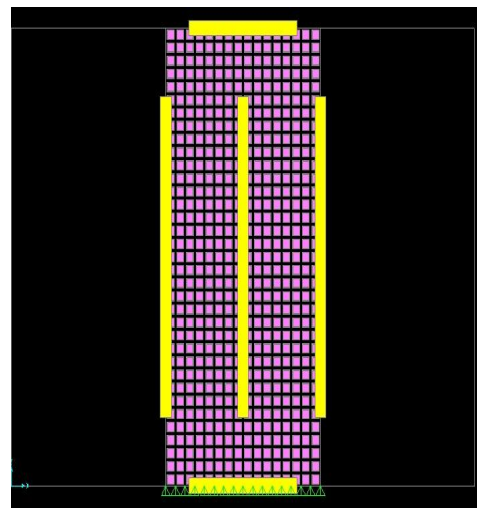
Ξυλεία προσανατολισμένων ξυλοτεμαχιδίων (OSB)

- $E1 = 3.8 \text{ GPa}$, $E2 = E3 = 3 \text{ GPa}$
- $G1 = 1.08 \text{ GPa}$, $G2 = 0.5 \text{ GPa}$
- $\nu = 0,25$
- $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$



Εικόνα 5.1. Πραγματική μορφή πάνελ

Εικόνα 5.2. Μορφή πάνελ με τη χρήση του SAP

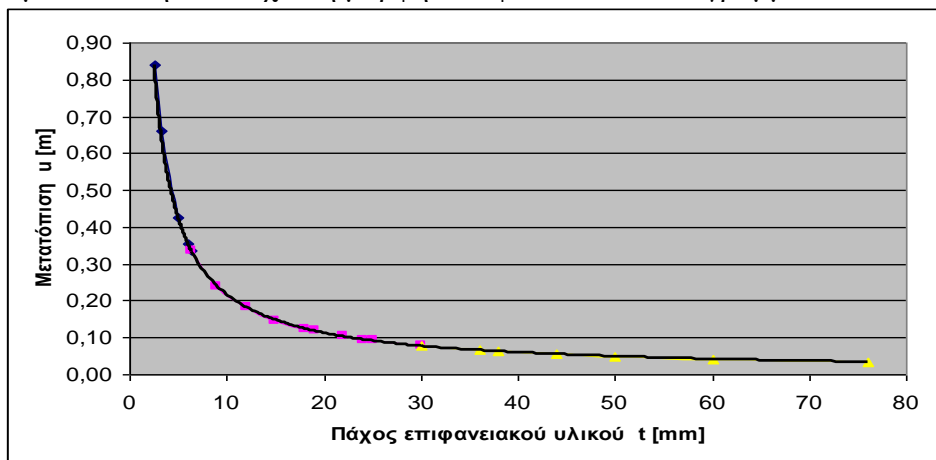


5.2. Μέθοδος αναλύσεων

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αντικατάσταση του επιφανειακού στοιχείου του πάνελ με ισοδύναμες διαγωνίους, έτσι ώστε να έχουμε τα ίδια αποτελέσματα.

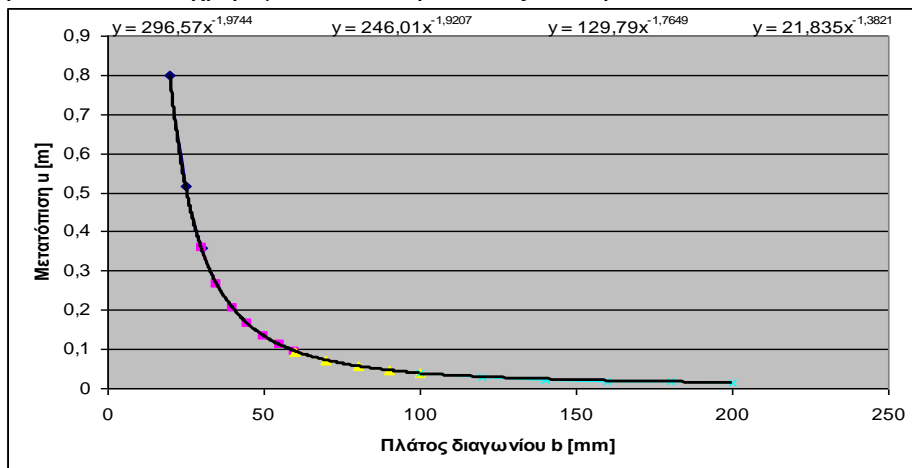
Προσπαθώντας να έχουμε την ίδια δυσκαμψία στα δύο μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν, υπό σταθερή δύναμη μετρήθηκαν οι μετατοπίσεις για διαφορετικές τιμές πάχους του επιφανειακού στοιχείου. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν διάφορες διατομές διαγωνίων με τα ίδια χαρακτηριστικά με τα επιφανειακά στοιχεία έτσι ώστε να πετύχουμε τις ίδιες μετατοπίσεις.

Από τις τιμές των μετατοπίσεων που προέκυψαν για τις διάφορες τιμές πάχους του επιφανειακού υλικού κατασκευάστηκε η γραφική παράσταση «Πάχος επιφανειακού υλικού – μετατόπιση» που έχει τη μορφή που φαίνεται στο διάγραμμα 5.1



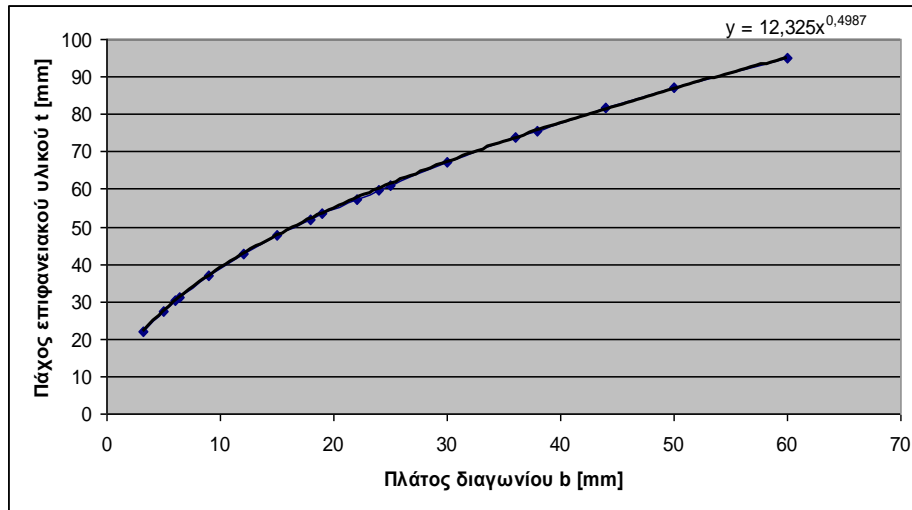
Διάγραμμα 5.1. Πάχος επιφανειακού υλικού t – μετατόπιση u

Στη συνέχεια, με το ίδιο σκεπτικό κατασκευάστηκε η γραφική παράσταση «Πλάτος διαγωνίου – μετατόπιση» και με τη χρήση του προγράμματος Excel οι εξισώσεις με τις οποίες προκύπτει η μετατόπιση. Για μεγαλύτερη ακρίβεια, έχουν οριστεί κάποια όρια στα οποία χρησιμοποιείται η κάθε εξίσωση.



Διάγραμμα 5.2. Πλάτος διαγωνίου b – μετατόπιση u

Χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις του διαγράμματος 5.2. κατασκευάστηκε το διάγραμμα «Πάχος επιφανειακού υλικού – πλάτος διαγωνίου» και η προσεγγιστική εξίσωση από την οποία προκύπτει λογιστικά η τιμή του πλάτους των διαγωνίων.



Διάγραμμα 5.3. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b

Παρατηρούμε όπως είναι αναμενόμενο, να υπάρχει μια αναλογία μεταξύ του πάχους του επιφανειακού υλικού και του πλάτους των διαγωνίων. Αυτό συμβαίνει αφού όσο αυξάνεται το πάχος του επιφανειακού υλικού, οι μετατοπίσεις μειώνονται με αποτέλεσμα να χρειάζεται μια μεγαλύτερη διατομή διαγωνίου για να μας δώσει τις ίδιες τιμές.

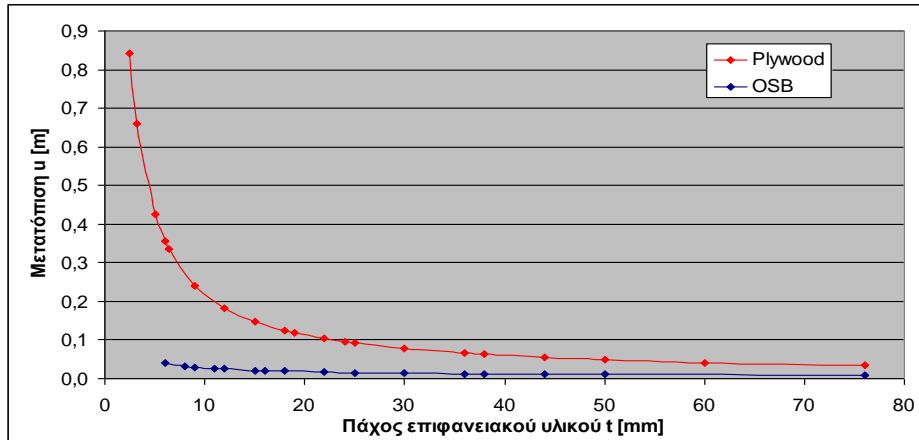
Επίσης, οι αναλύσεις που έγιναν ήταν ελαστικές με αποτέλεσμα να μην υπάρχει κάποια μορφή αστοχίας για οποιοδήποτε μέγεθος της δύναμης, παρά μεγαλύτερες του πραγματικού μετακινήσεις.

5.3. Επιρροή επιφανειακού υλικού

Πρώτα μελετήθηκε η επιρροή που έχει στις μετακινήσεις, και συνεπώς στο πλάτος διαγωνίου που προκύπτει, το είδος του υλικού του επιφανειακού στοιχείου.

Και στις δύο περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε το ίδιο πλαίσιο, με τις ίδιες διαστάσεις και τα ίδια χαρακτηριστικά (φυσική ξυλεία C22).

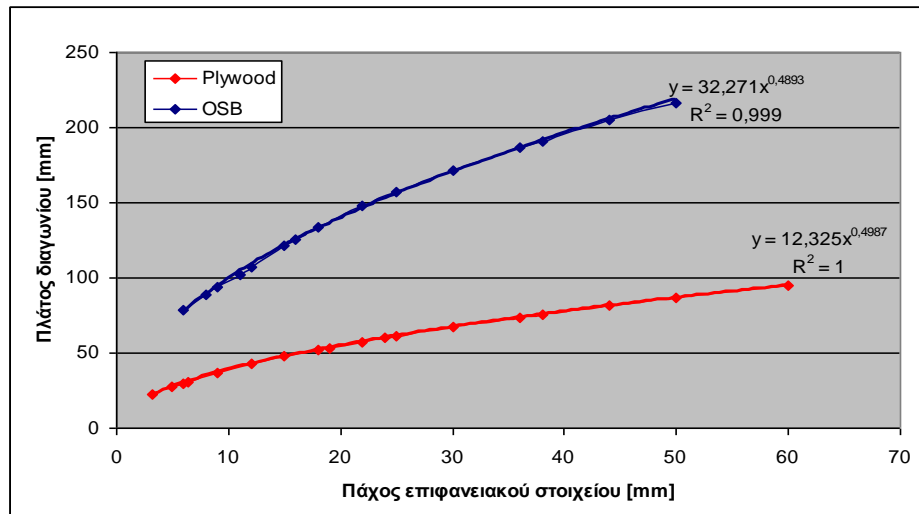
Από το διάγραμμα 5.4. που ακολουθεί, παρατηρούμε την διαφορά στις μετακινήσεις που προκύπτουν από τα δυο υλικά. Όπως εύκολα διακρίνουμε, οι μετακινήσεις που προκύπτουν όταν το επιφανειακό υλικό είναι το OSB, είναι αρκετά μικρότερες από τις αντίστοιχες που προκύπτουν για το Plywood.



Διάγραμμα 5.4. Πάχος επιφανειακού υλικού t – Μετατόπιση u. Σύγκριση μεταξύ Plywood και OSB

Αυτό οφείλεται στη σημαντική διαφορά του μέτρου διατμήσεως των δύο υλικών, όπου το μέτρο διατμήσεως του Plywood είναι ίσο με $G_{mean} = 0.1 \text{ GPa}$ ενώ το αντίστοιχο για το OSB είναι 1.08 GPa .

Επίσης παρατηρούμε την διαφορά στο εύρος τιμών των δύο υλικών. Ενώ για το Plywood η αρχική μετακίνηση ήταν περίπου ίση με 0.85m , η τελική της τιμή για το μέγιστο πάχος υλικού έπεσε στα 0.03m . Αντίστοιχα, για το OSB η αρχική μετακίνηση ήταν περίπου ίση με 0.04m και η τελική ίση με 0.008m .



Διάγραμμα 5.5. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. Σύγκριση μεταξύ Plywood και OSB

Όπως αναμενόταν, αφού οι μετακινήσεις στο OSB ήταν μικρότερες, το πλάτος διαγωνίου με τα ισοδύναμα χαρακτηριστικά του OSB είναι αρκετά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο πλάτος διαγωνίου για το Plywood, όπως φαίνεται στο διάγραμμα 5.5. Το εύρος επίσης των τιμών των διαγωνίων είναι μεγαλύτερο όσο αφορά το OSB έτσι ώστε να επιτευχθούν οι ίδιες τιμές μετατοπίσεων.

5.4. Επιρροή χαρακτηριστικών επιφανειακού στοιχείου

Για τη μελέτη της επιρροής των χαρακτηριστικών του επιφανειακού στοιχείου, χρησιμοποιήθηκαν εκτός από τα υλικά τα οποία αναφέρονται στο 5.1., υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται στο εμπόριο τα οποία έχουν τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές αντοχών.

Αντικολλητή ξυλεία (Plywood)

Plywood max

- $E1 = E2 = E3 = 14 \text{ GPa}$
- $G_{\text{mean}} = 0.1 \text{ GPa}$
- $\nu = 0,25$
- $\rho = 440 \text{ kg/m}^3$

Plywood min

- $E1 = E2 = E3 = 0.5 \text{ GPa}$
- $G_{\text{mean}} = 0.1 \text{ GPa}$
- $\nu = 0,25$
- $\rho = 440 \text{ kg/m}^3$

Ξυλεία προσανατολισμένων ξυλοτεμαχιδίων (OSB)

OSB max

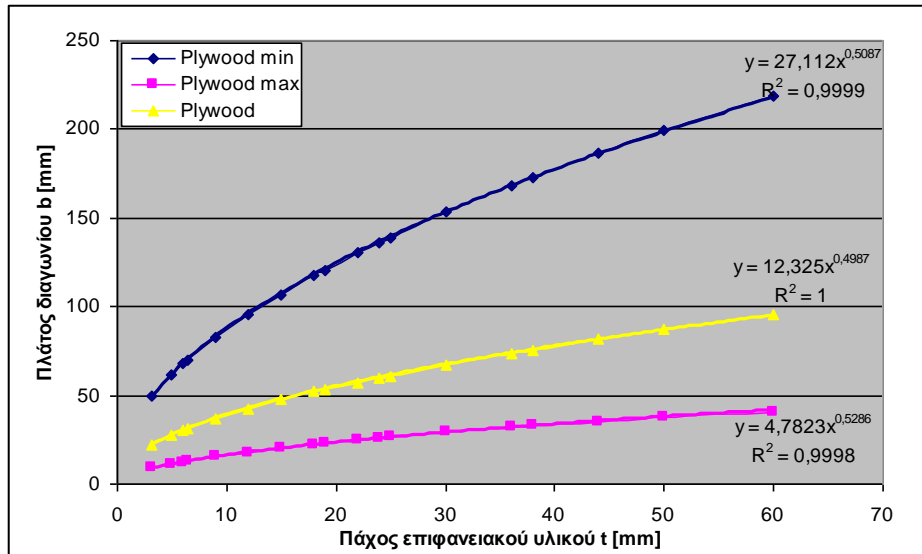
- $E1 = 4.3 \text{ GPa}, E2 = E3 = 3.2 \text{ GPa}$
- $G1 = 1.09 \text{ GPa}, G2 = 0.6 \text{ GPa}$
- $\nu = 0,25$
- $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$

OSB min

Ταυτίζεται με το OSB το οποίο αναφέρεται στο 5.1.

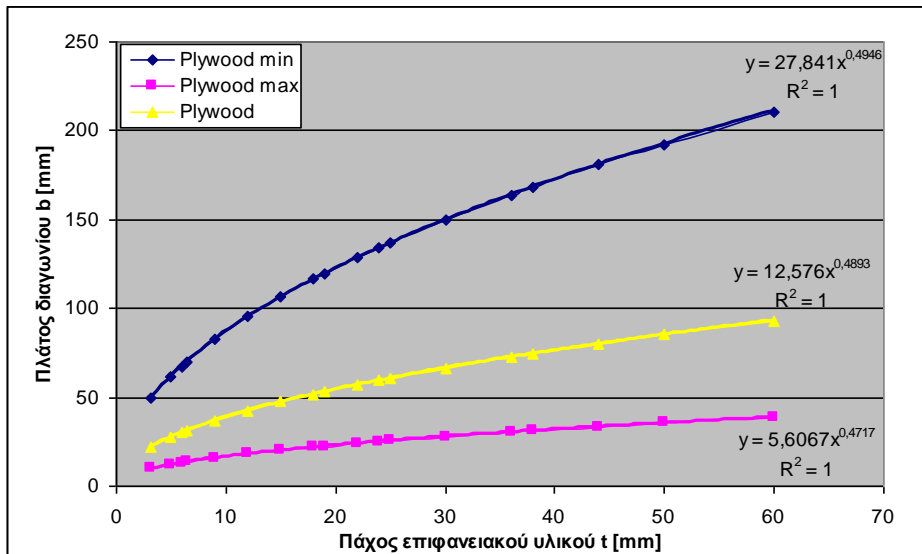
Plywood

1 πάνελ



Διάγραμμα 5.6. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b . Σύγκριση μεταξύ διαφορετικών τιμών αντοχής για Plywood

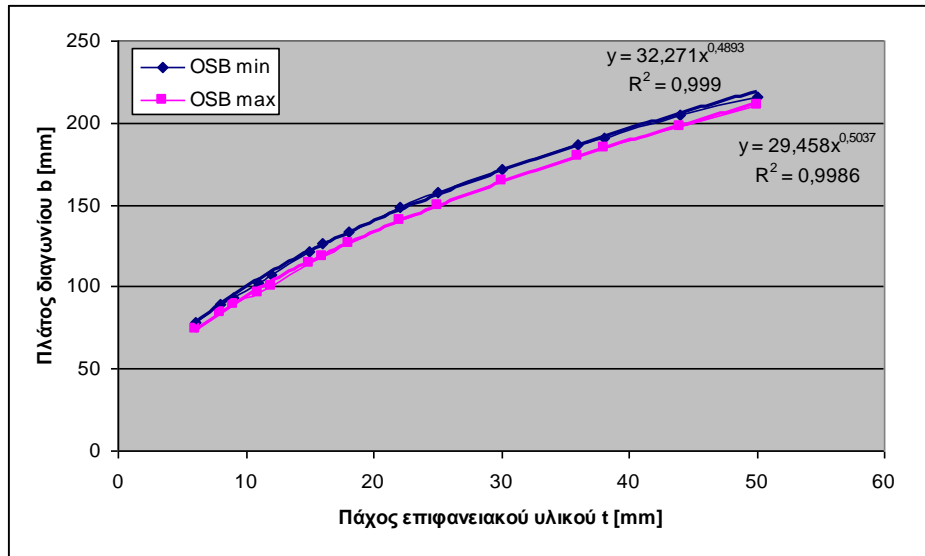
5 πάνελ



Διάγραμμα 5.7. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b . Σύγκριση μεταξύ διαφορετικών τιμών αντοχής για Plywood

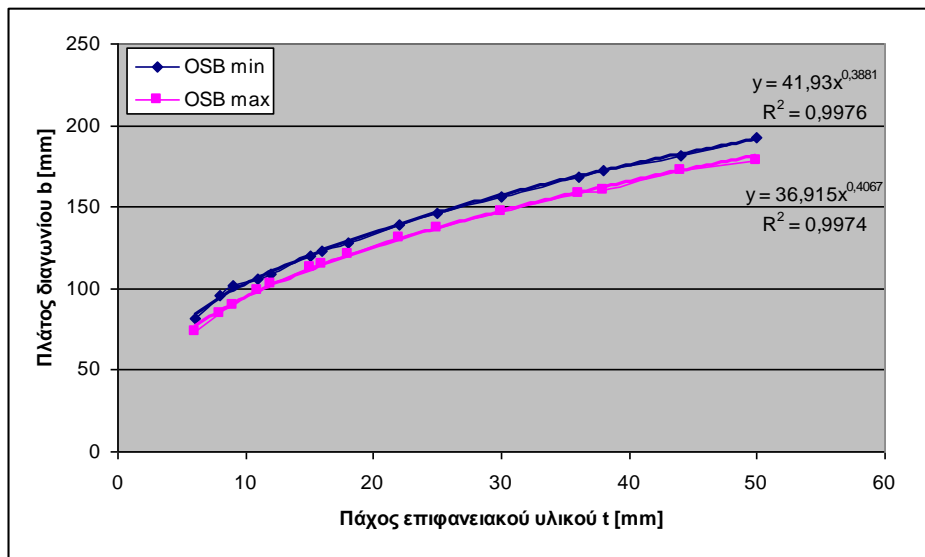
OSB

1 πάνελ



Διάγραμμα 5.8. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. Σύγκριση μεταξύ διαφορετικών τιμών αντοχής για OSB

5 πάνελ



Διάγραμμα 5.9. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. Σύγκριση μεταξύ διαφορετικών τιμών αντοχής για OSB

Παρατηρήσεις

Όπως παρατηρούμε από τα πιο πάνω διαγράμματα το πλάτος της ισοδύναμης διαγωνίου, εξαρτάται από τις χαρακτηριστικές αντοχές του επιφανειακού στοιχείου όπως αναμενόταν.

Για το Plywood, λόγω του μεγάλου εύρους τιμών αντοχής, υπάρχει σημαντική διαφορά στις αντικαταστάσεις, με το πλάτος των ισοδύναμων διαγωνίων να μειώνεται

και να έχει τιμή ίση και με το 1/10 σε κάποιες περιπτώσεις, όσο αυξάνονται οι αντοχές του επιφανειακού υλικού.

Αντίθετα, για το OSB, η διαφορά στις αντικαταστάσεις είναι μικρή λόγω της μικρής διαφοράς στις αντοχές.

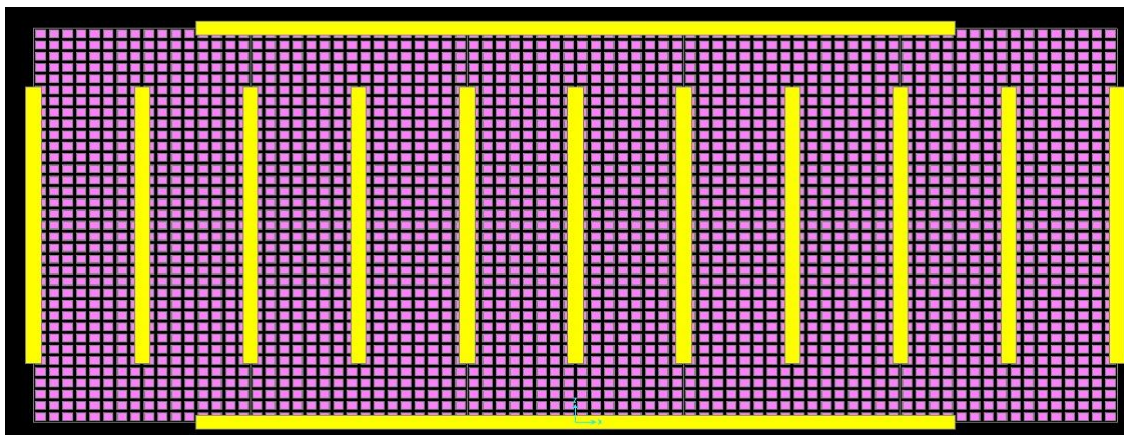
Αυτό ισχύει και για τα δύο υλικά, ανεξάρτητα από τον αριθμό των πάνελ από τα οποία αποτελείται ο τοίχος.

5.5. Επιρροή αριθμού συνεχόμενων πάνελ

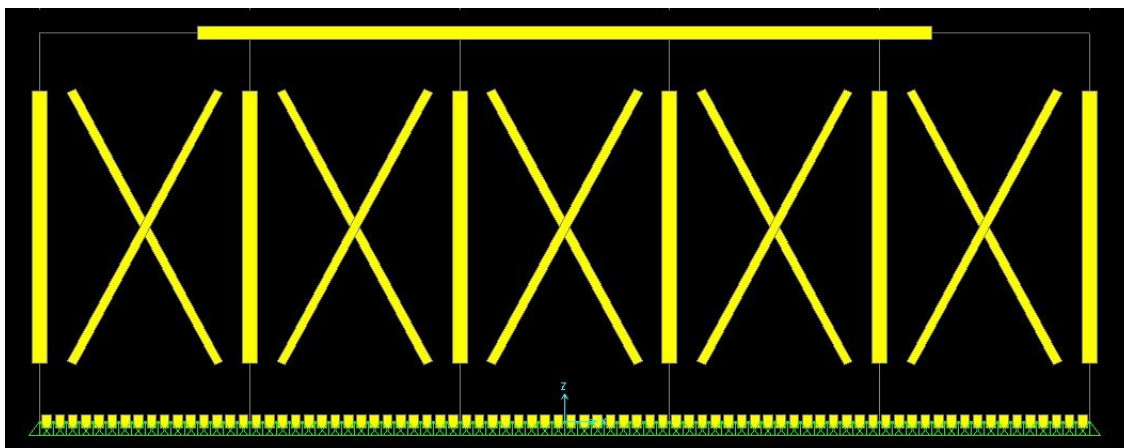
Για να μελετηθεί η επιρροή του αριθμού των πάνελ, πρώτα έγινε δοκιμή με τη χρήση ενός πάνελ και την εφαρμογή πλευρικού φορτίου στον άνω κόμβο. Για κάθε πάχος επιφανειακού υλικού μετρήθηκε η παραμόρφωση του άνω κόμβου και κατασκευάστηκε η γραφική παράσταση «Πάχος επιφανειακού υλικού – μετατόπιση».

Στη συνέχεια, έγινε η αντίστοιχη γραφική παράσταση με τη χρήση όμως ισοδύναμων διαγωνίων αντί για επιφανειακό υλικό.

Από της δύο παραστάσεις προέκυψε η γραφική παράσταση «Πάχος επιφανειακού υλικού – πλάτος διαγωνίου» και η αντίστοιχη εξίσωση. Η διαδικασία αυτή, επαναλήφθηκε με τη χρήση ενός, δύο, τριών, τεσσάρων και πέντε πάνελ στη σειρά με την αναλογία Φοριζόντια/αριθμός πάνελ να μένει σταθερή.

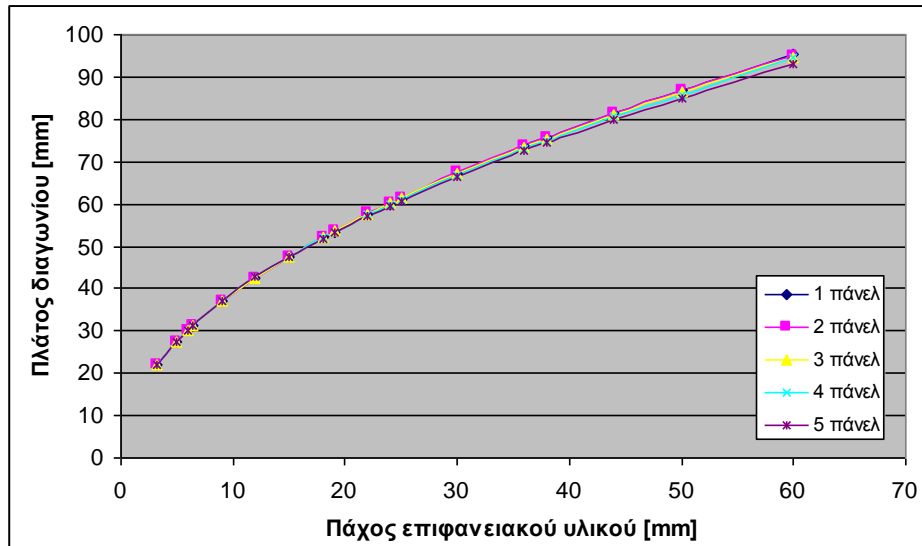


Εικόνα 5.3. Σειρά από 5 πάνελ με επιφανειακά στοιχεία



Εικόνα 5.4. Σειρά από 5 πάνελ με χρήση διαγωνίων

Plywood



Διάγραμμα 5.10. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. Plywood

Όπως φαίνεται στο πιο πάνω διάγραμμα, δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στην αντικατάσταση του επιφανειακού υλικού με ισοδύναμη διαγώνιο όσο αυξάνεται ο αριθμός των πόντων.

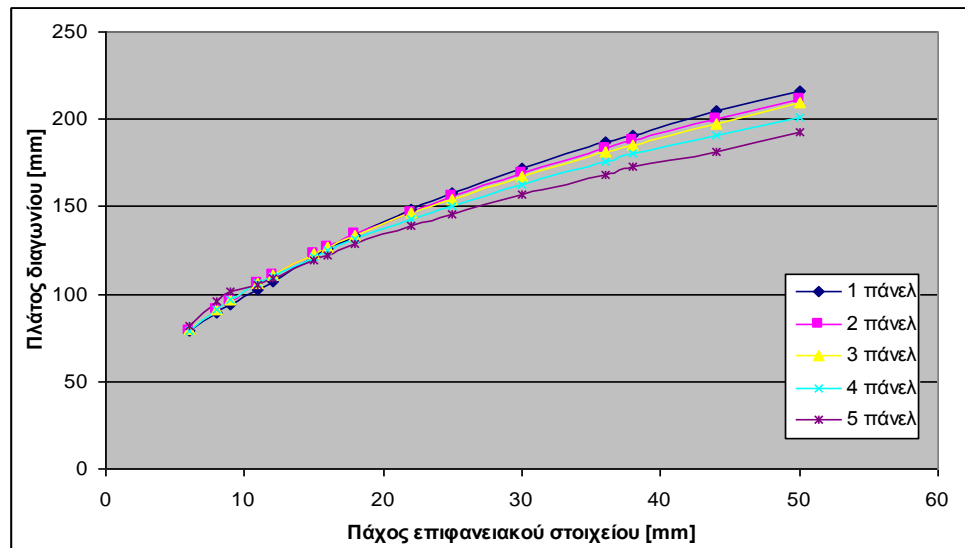
Αυτό οφείλεται στο μικρό μέτρο δυσκαμψίας της αντικολλητής ξυλείας (0,1GPa), ο ρόλος του οποίου αυξάνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των πόντων, επηρεάζοντας τις μετακινήσεις, αφού πλέον μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ο τοίχος που αποτελείται από πολλά πάνελ συμπεριφέρεται σαν δοκός μεγάλου ύψους και ισχύει ο τύπος

$$\delta = PL^3/3EI + PL/GA$$

Επίσης, η πολύ μικρή διαφορά που προκύπτει όσο αυξάνεται ο αριθμός των πόντων φαίνεται και στις εξισώσεις οι οποίες προέκυψαν.

$b = 12.325 * t^{0.4987}$	1 πάνελ
$b = 12.63 * t^{0.4984}$	2 πάνελ
$b = 12.415 * t^{0.4963}$	3 πάνελ
$b = 12.457 * t^{0.4942}$	4 πάνελ
$b = 12.576 * t^{0.4893}$	5 πάνελ

όπου b: το πλάτος διαγωνίου
t: το πάχος του επιφανειακού υλικού

OSB

Διάγραμμα 5.11. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. OSB

Σε αντίθεση με την αντικολλητή ξυλεία, το μέτρο δυσκαμψίας του OSB είναι αρκετά μεγαλύτερο (1,08GPa) μειώνοντας έτσι τις παραμορφώσεις όσο αυξάνεται ο αριθμός των πάνελ, επηρεάζοντας τη σχέση μεταξύ του πάχους του επιφανειακού στοιχείου και του πλάτους των διαγωνίων.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την διαφορά μέχρι και 23 χιλιοστά στο πλάτος διαγωνίου το οποίο αντιστοιχεί σε ίδιο πάχος (44mm) επιφανειακού υλικού.

Οι εξισώσεις οι οποίες προκύπτουν για τη σχέση του πλάτους διαγωνίου και του πάχους του επιφανειακού υλικού είναι οι εξής:

$b = 31.888 * t^{0.4929}$	1 πάνελ
$b = 34.903 * t^{0.4632}$	2 πάνελ
$b = 35.79 * t^{0.4522}$	3 πάνελ
$b = 37.05 * t^{0.4348}$	4 πάνελ
$b = 41.93 * t^{0.3881}$	5 πάνελ

όπου b: το πλάτος διαγωνίου
t: το πάχος του επιφανειακού υλικού

5.6. Επιρροή λόγου h/b

Μία άλλη παράμετρος η οποία επηρεάζει τις μετατοπίσεις και συνεπώς την αντικατάσταση του επιφανειακού υλικού με ισοδύναμες διαγωνίους, είναι ο λόγος ύψους h προς το πλάτος b του πάνελ.

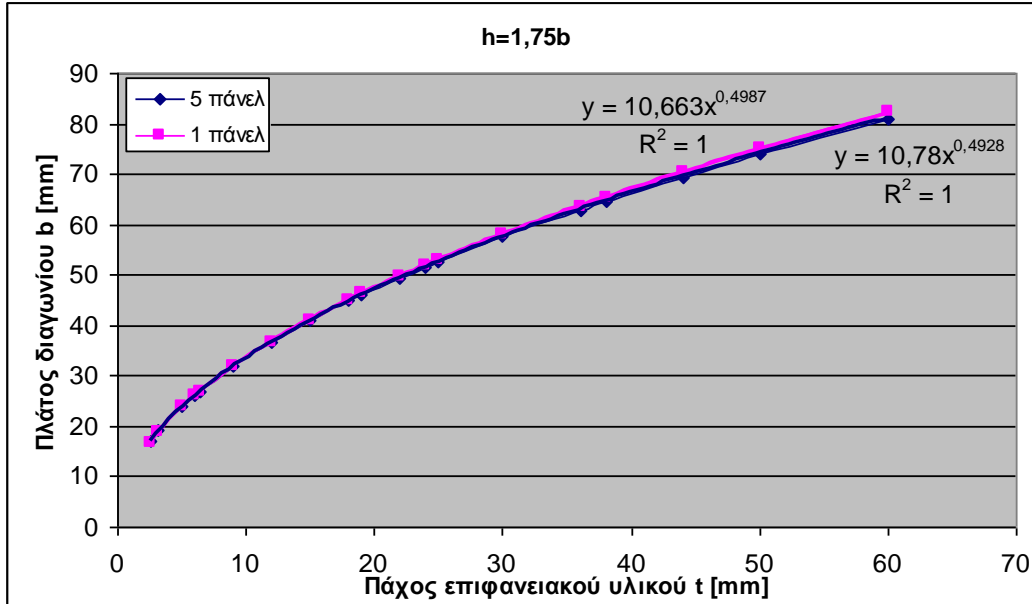
Για τη μελέτη αυτής της επιρροής, κατασκευάστηκαν πάνελ με τα ίδια χαρακτηριστικά υλικών αλλά με διαφορετικό λόγο h/b. Το πλάτος b κρατήθηκε σταθερό και ίσο με 1.2m ενώ το πλάτος h μεταβαλλόταν. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι εξής:

- h=2.1m και h/b=1.75
- h=2.4m και h/b=2
- h=2.65m και h/b=2.1
- h=2.7m και h/b=2.25
- h=3m και h/b=2.5

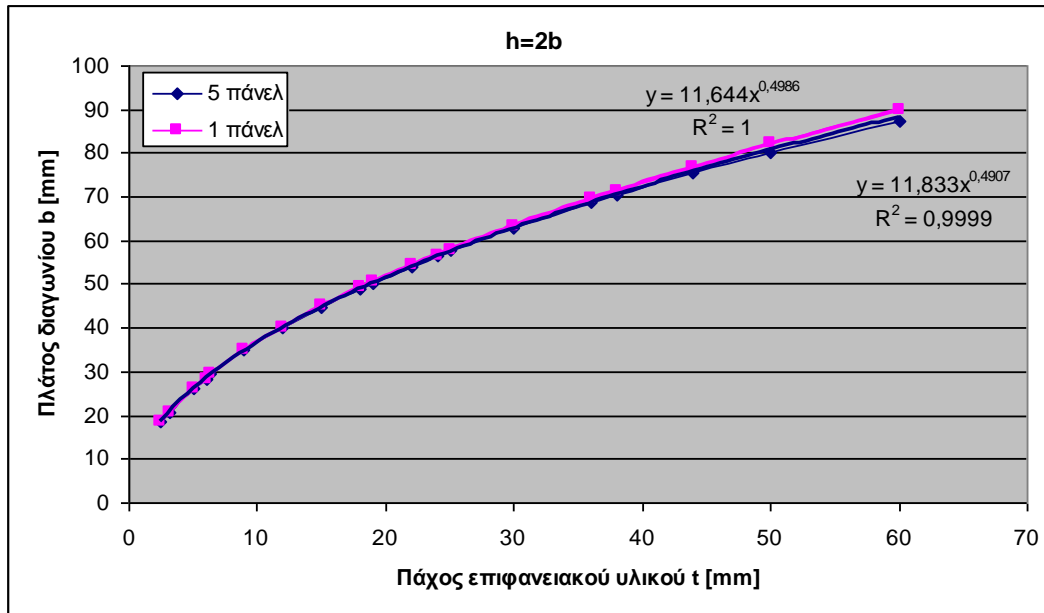
Οι αντικαταστάσεις έγιναν και για τα δύο υλικά, Plywood και OSB, για ένα πάνελ και για μια σειρά από 5 πάνελ.

Οι εξισώσεις αντικατάστασης του επιφανειακού στοιχείου με ισοδύναμη διαγώνια παρατίθενται στο Παράρτημα Α.

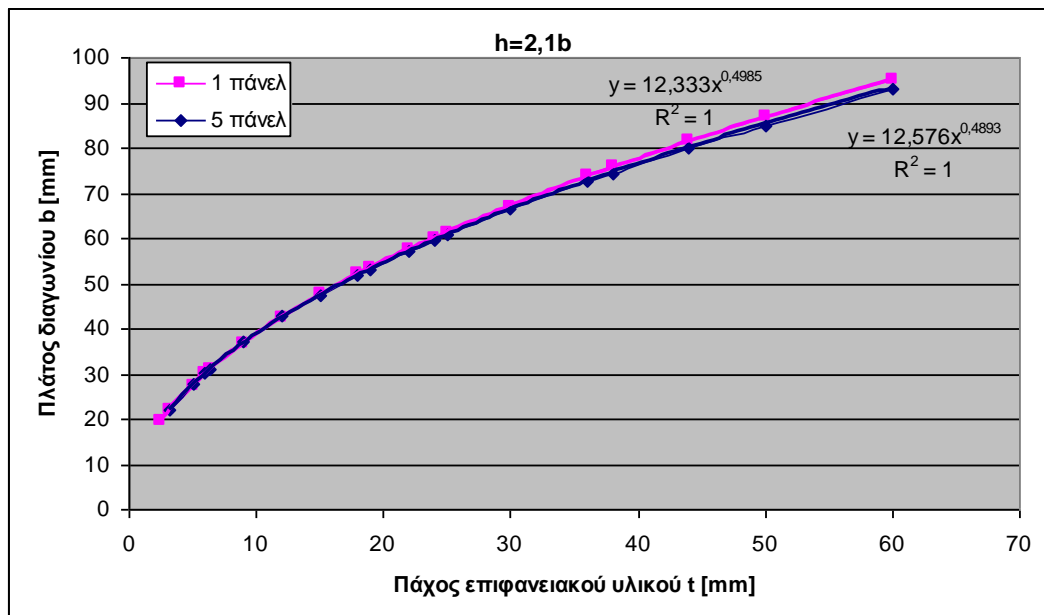
Plywood



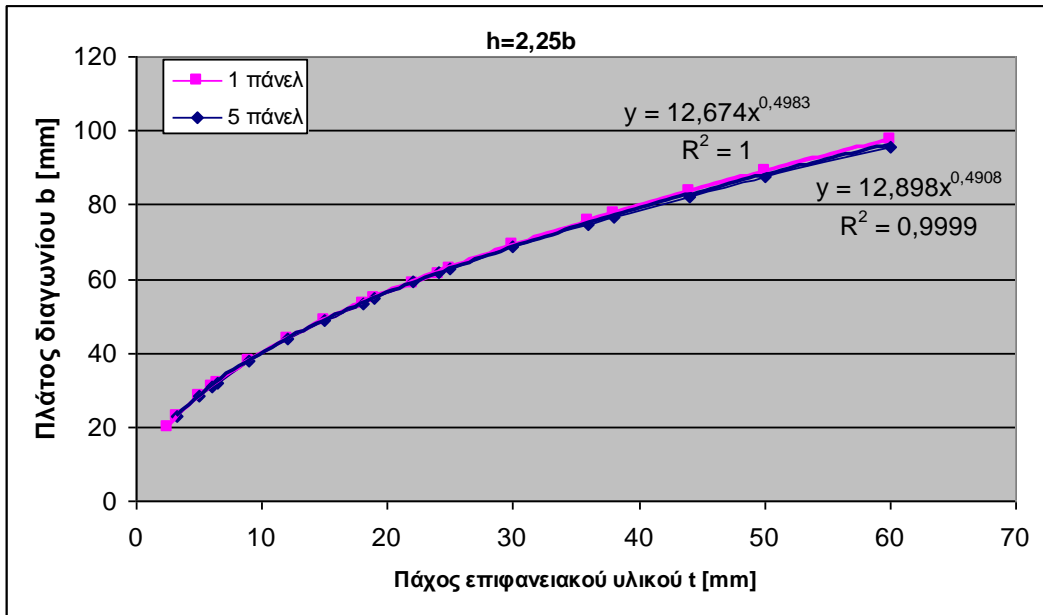
Διάγραμμα 5.12. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. h/b=1.75



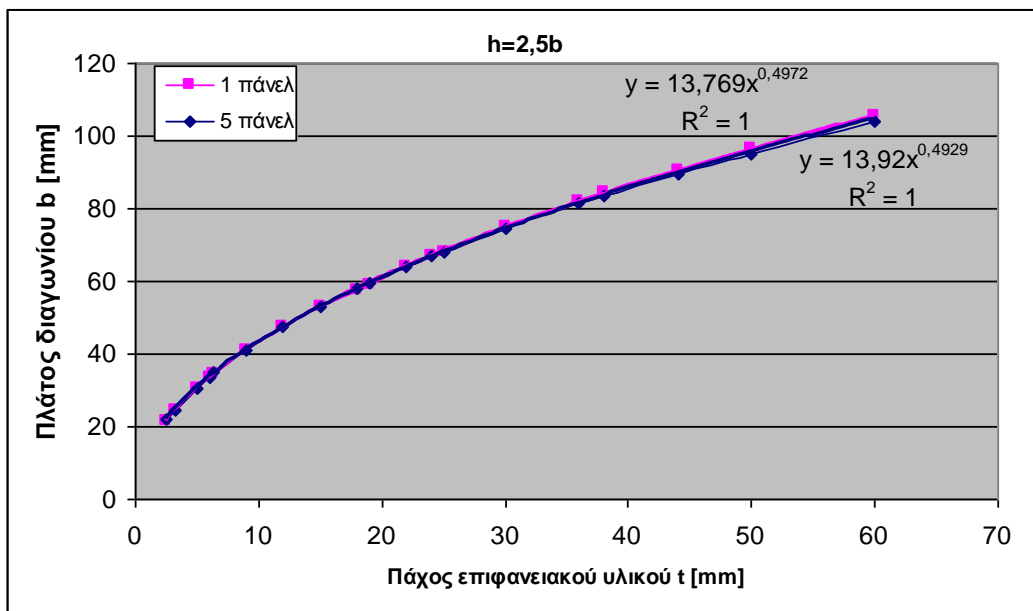
Διάγραμμα 5.13. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. h/b=2



Διάγραμμα 5.14. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. h/b=2.1



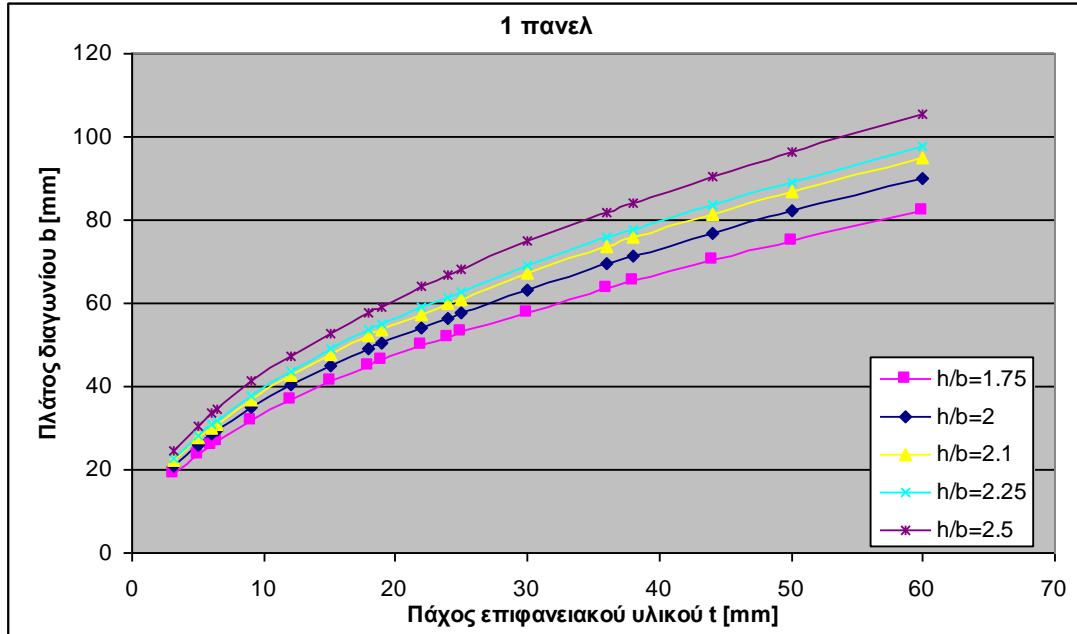
Διάγραμμα 5.15. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. h/b=2.25



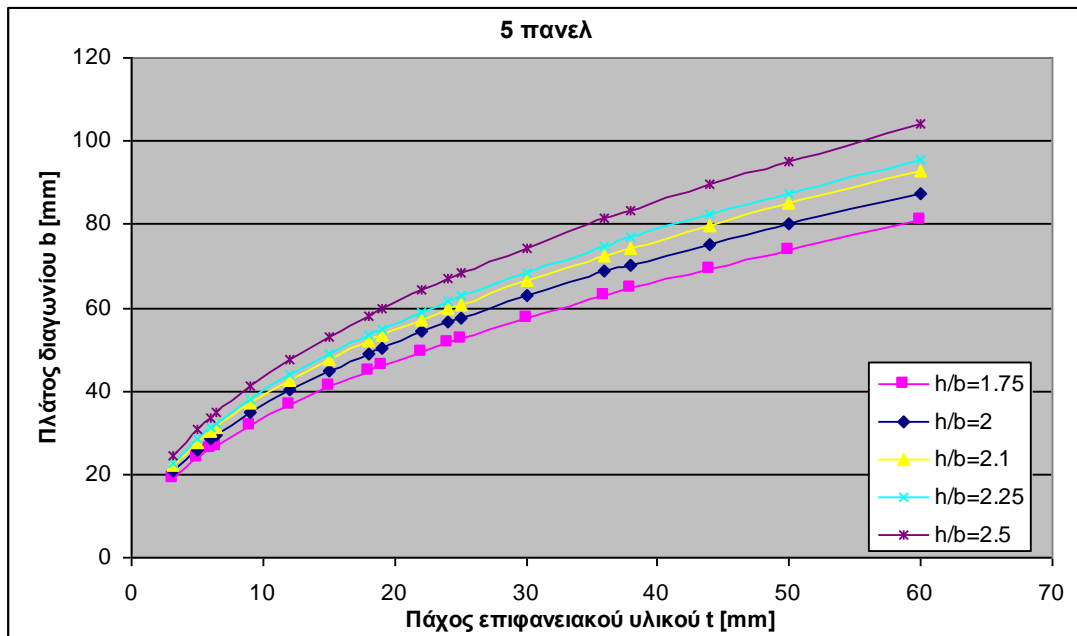
Διάγραμμα 5.16. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. h/b=2.5

Παρατηρήσεις

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 5.8. – 5.12., για όλους τους λόγους h/b, υπάρχει μια σταθερή σχέση μεταξύ του ενός και των πέντε πάνελ, χωρίς μεγάλες διαφορές στις αντικαταστάσεις των επιφανειακών στοιχείων.



Διάγραμμα 5.17. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. 1 πάνελ



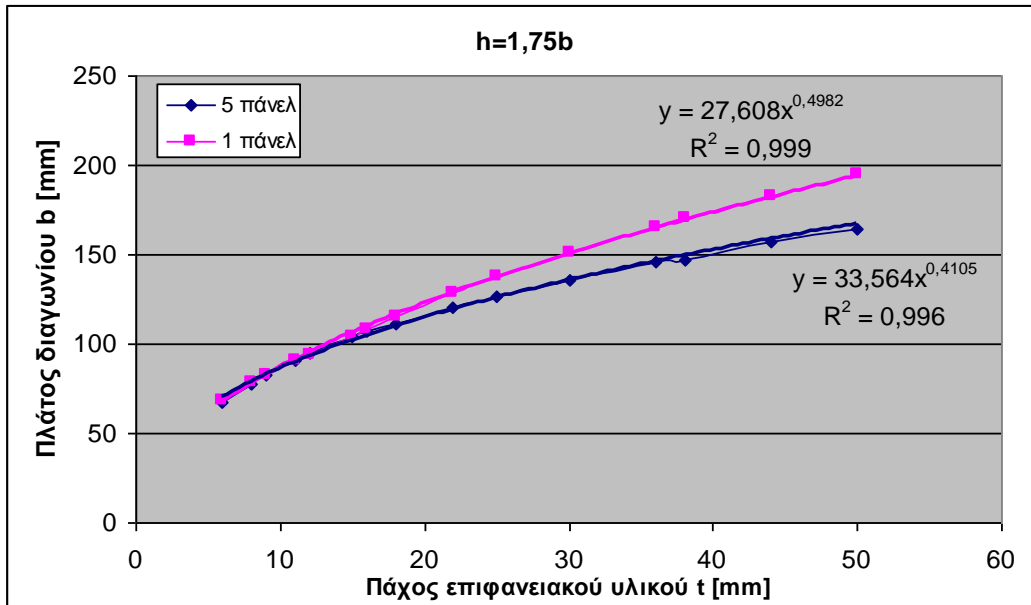
Διάγραμμα 5.18. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. 5 πάνελ

Παρατηρήσεις

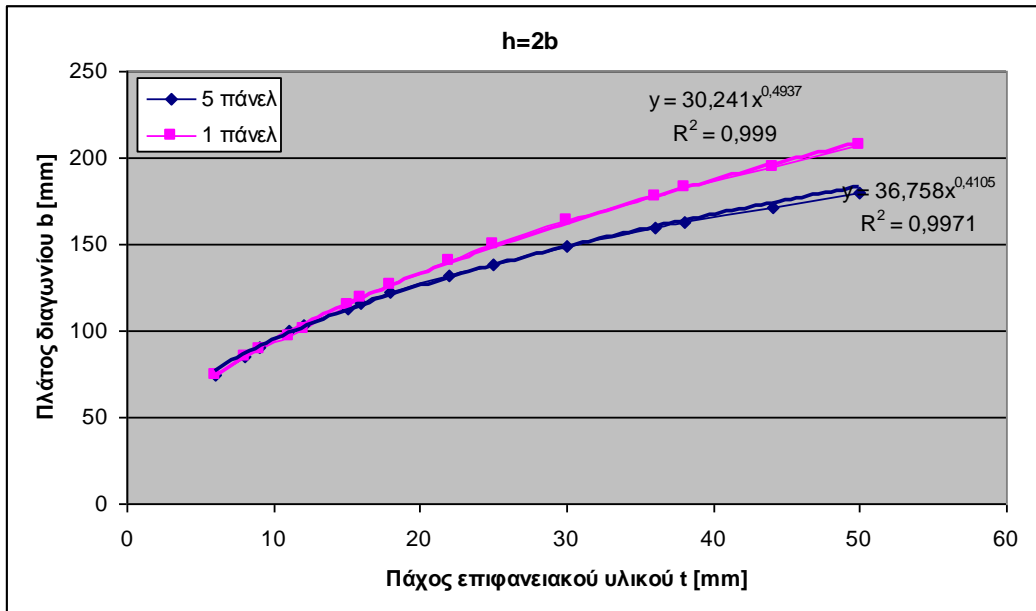
Παρατηρούμε ότι, όσο αυξάνεται ο λόγος h/b του πάνελ, χρειάζεται μεγαλύτερο πλάτος διαγωνίου για το ίδιο πάχος επιφανειακού υλικού, κάτι που είναι απολύτως λογικό αφού για μεγαλύτερο λόγο h/b έχουμε μεγαλύτερες μετατοπίσεις.

Επίσης, και στα δύο διαγράμματα, 5.13. και 5.14, παρατηρούμε ότι υπάρχει μια μικρή αύξηση της κλίσης της ευθείας του διαγράμματος. Ενώ για μικρό πάχος επιφανειακού υλικού οι διαφορές στην αντικατάσταση δεν είναι τόσο μεγάλες για μεγαλύτερο λόγο h/b , όσο αυξάνεται το πάχος η διαφορά αυτή γίνεται μεγαλύτερη.

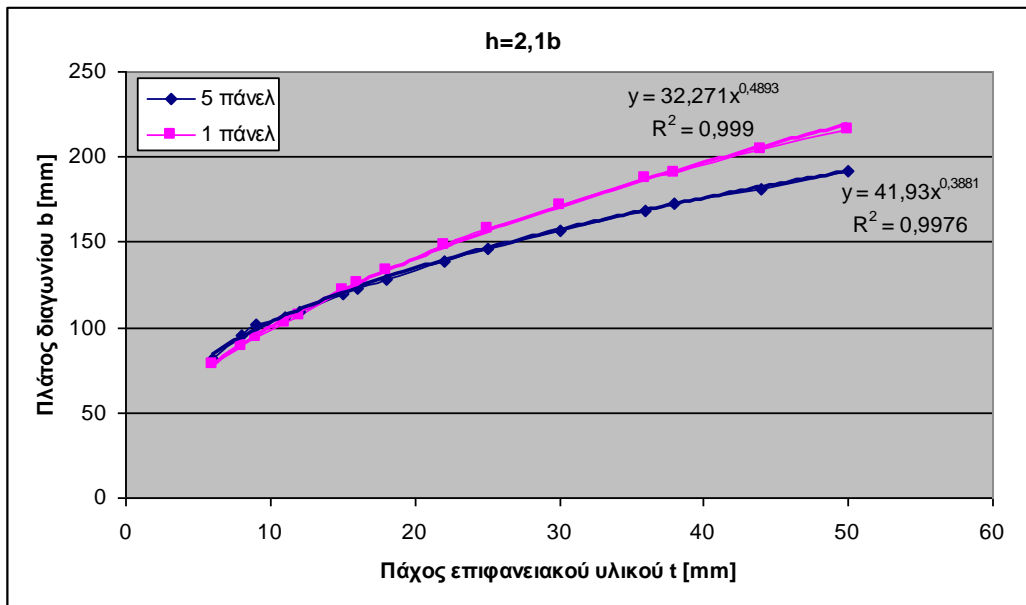
OSB



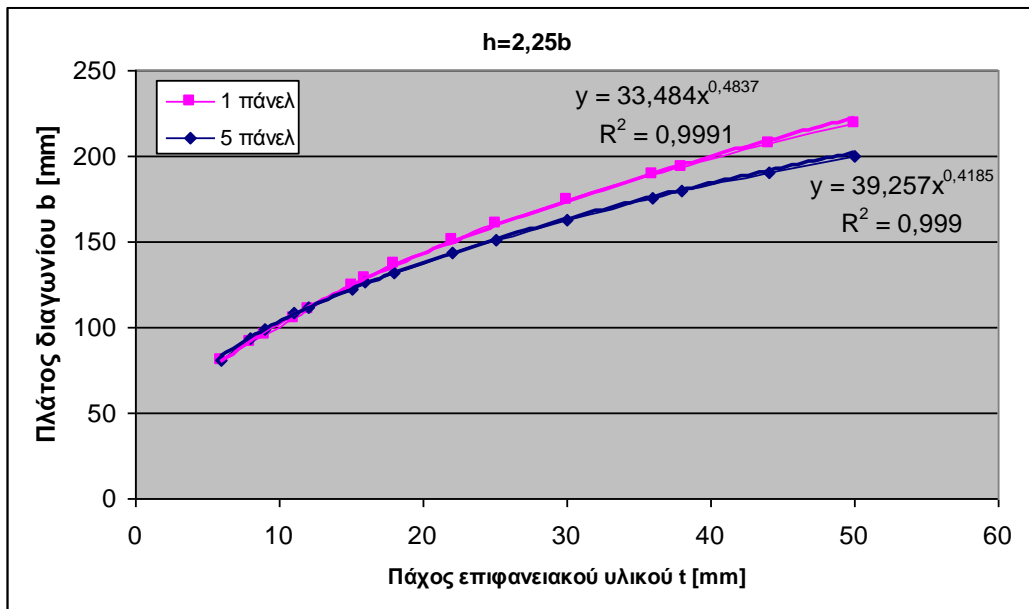
Διάγραμμα 5.19 Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. h/b=1.75



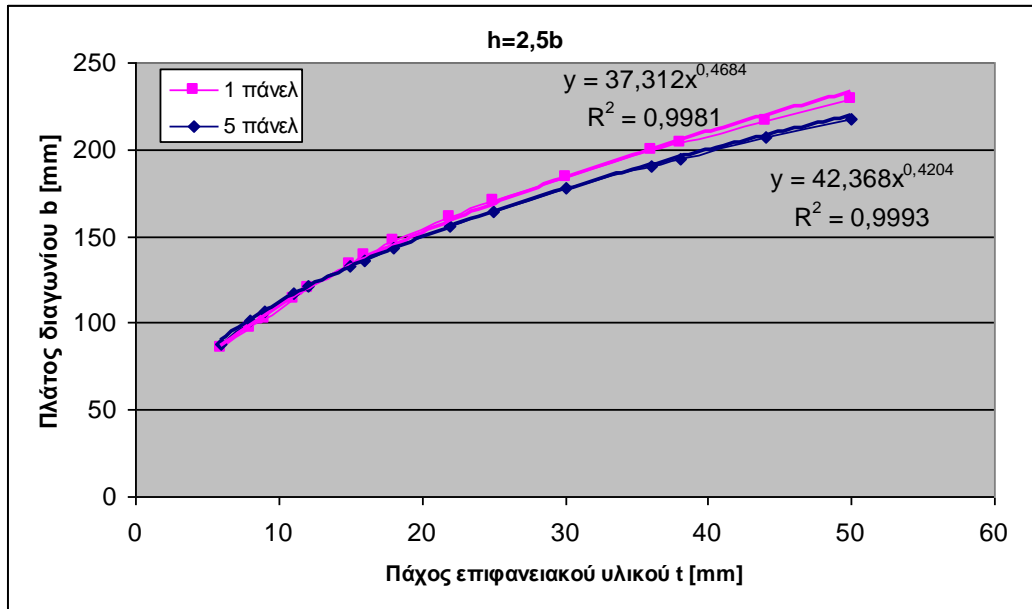
Διάγραμμα 5.20. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. h/b=2



Διάγραμμα 5.21. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. $h/b=2.1$



Διάγραμμα 5.22. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. $h/b=2.25$

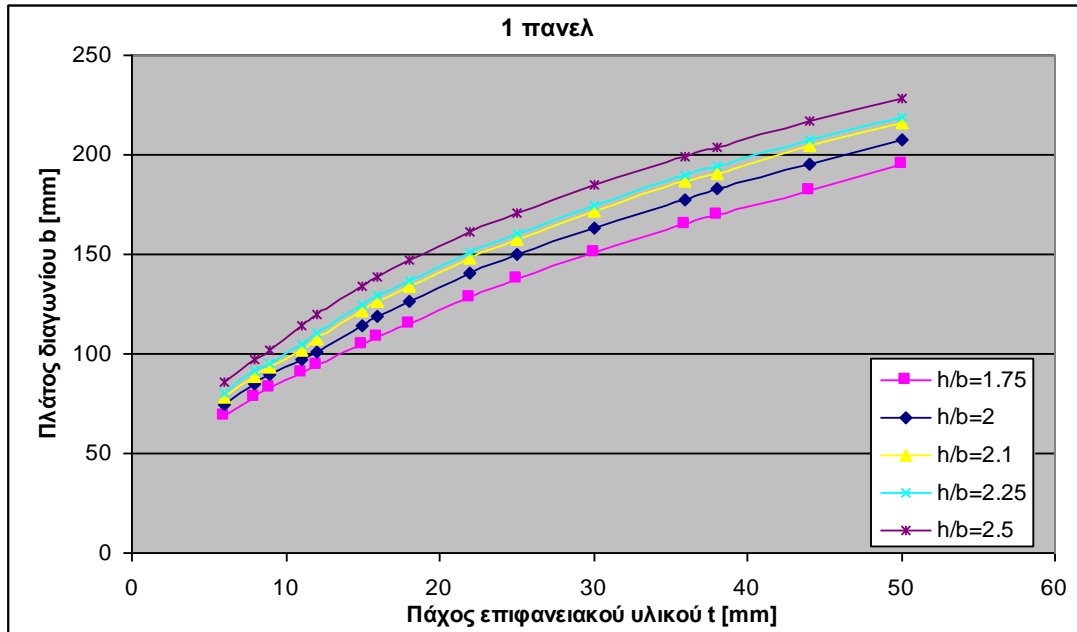


Διάγραμμα 5.23. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. h/b=2.5

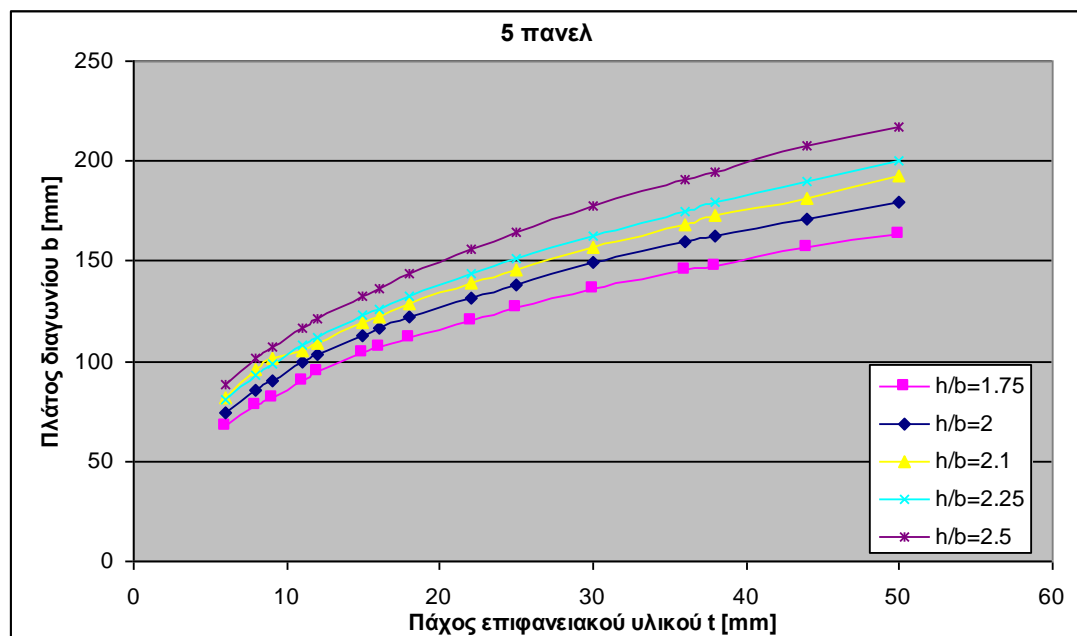
Παρατηρήσεις

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 5.15. – 5.19., όσο μειώνεται ο λόγος h/b, αυξάνεται η διαφορά στην αντικατάσταση των επιφανειακών στοιχείων μεταξύ του ενός και των πέντε πάνελ. Αυτό οφείλεται στο ότι, μειώνοντας τον λόγο h/b μειώνονται ακόμη περισσότερο η διαφορά στις μετακινήσεις μεταξύ ενός και πέντε πάνελ με αποτέλεσμα και την μείωση της διαφοράς στο πλάτος των ισοδύναμων διαγωνίων.

Επίσης παρατηρούμε ένα «σπάσιμο» στην κλίση του διαγράμματος που αφορά τα 5 πάνελ. Αυτό οφείλεται στο ότι, αυξάνοντας το πάχος του επιφανειακού στοιχείου, η μετακίνηση μέχρι το τελευταίο πάνελ μειώνεται λόγω της μεγαλύτερης παραμόρφωσης του πάνελ στο οποίο ασκείται η φόρτιση, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει μεγάλη διαφορά στις μετακινήσεις και συνεπώς ούτε στο πλάτος των ισοδύναμων διαγωνίων.



Διάγραμμα 5.24. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. 1 πάνελ



Διάγραμμα 5.25. Πάχος επιφανειακού υλικού t - Πλάτος διαγωνίου b. 5 πάνελ

Παρατηρήσεις

Παρατηρούμε ότι, όσο αυξάνεται ο λόγος h/b του πάνελ, χρειάζεται μεγαλύτερο πλάτος διαγωνίου για το ίδιο πάχος επιφανειακού υλικού, κάτι που είναι απολύτως λογικό αφού για μεγαλύτερο λόγο h/b έχουμε μεγαλύτερες μετατοπίσεις.

Όσο αφορά το ένα πάνελ η αύξηση αυτή είναι περίπου σταθερή ενώ για πέντε πάνελ υπάρχει μια μικρή αύξηση της κλίσης της ευθείας του διαγράμματος.

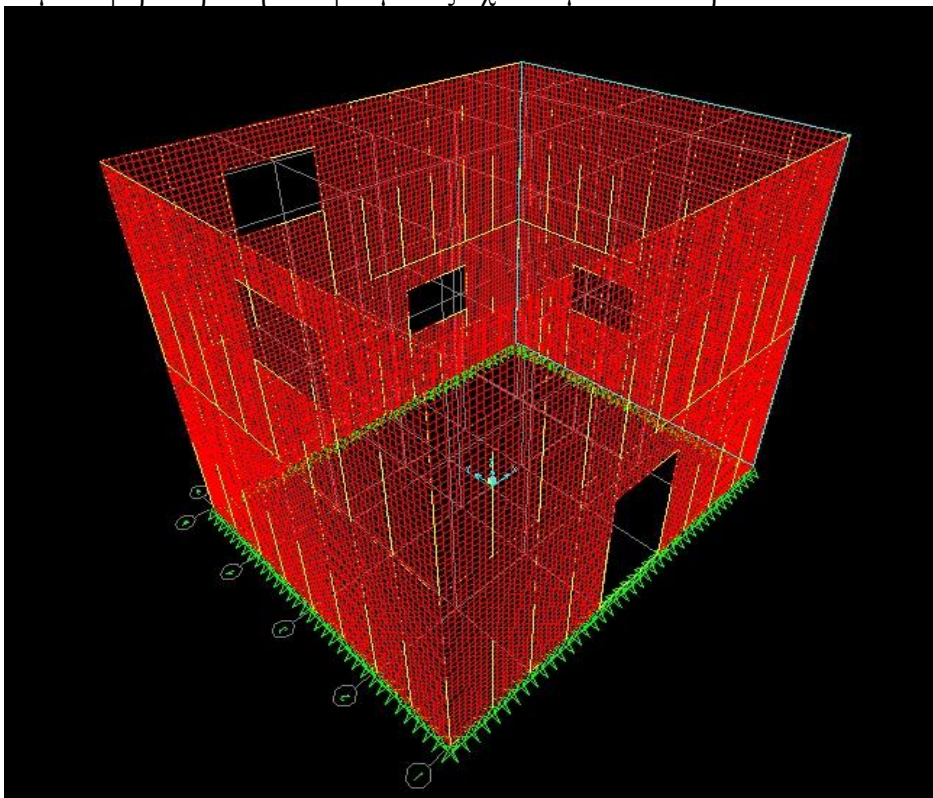
5.7. Εφαρμογή αναλύσεων σε σύνθετο παράδειγμα

Για να δούμε αν οι σχέσεις και οι αναλύσεις οι οποίες έγιναν πιο πάνω, έχουν εφαρμογή σε πιο σύνθετες κατασκευές από μια σειρά από πάνελ, έγινε ανάλυση σε ένα διώροφο κτίριο κατασκευασμένο από πάνελ.

Το κτίριο έχει διαστάσεις $6 * 4,8$ μέτρα σε κάτοψη και ύψος ίσο με $5,28$ μέτρα. Αποτελείται από πάνελ ύψους $2,64$ μέτρα και πλάτους $1,2$ μέτρα ($h/b = 2.1$) και έχουν την ίδια μορφή με τα πάνελ τα οποία χρησιμοποιήθηκαν πιο πάνω.

Τα φορτία τα οποία εφαρμόστηκαν στην κατασκευή είναι τα εξής:

- Μόνιμο φορτίο ίσο με 1KN κατανεμημένο σε ολόκληρη την επιφάνεια κάθε πλάκας. Έγινε επιλογή της εντολής Uniform to frame, two-ways έτσι ώστε το φορτίο να μεταφέρεται στις 4 πλευρές της πλάκας.
- Κινητό φορτίο ίσο με 2KN κατανεμημένο σε ολόκληρη την επιφάνεια κάθε πλάκας. Έγινε επιλογή της εντολής Uniform to frame, two-ways έτσι ώστε το φορτίο να μεταφέρεται στις 4 πλευρές της πλάκας.
- Φορτίο ανέμου κατανεμημένο σαν ομοιόμορφο σε κάθε κύριο ορθοστάτη αφού πρώτα έγινε υπολογισμός του μέσω του Ευρωκώδικα 1.
- Στην προσήνεμη πλευρά το φορτίο αυτό ήταν ίσο με 1.161 KN/m στους μεσαίους ορθοστάτες και 0.581 KN/m στους ακραίους ορθοστάτες, ενώ στην υπήνεμη πλευρά το φορτίο είναι ίσο με 0.726 KN/m στους μεσαίους ορθοστάτες και 0.363 KN/m στους ακραίους ορθοστάτες.
- Σεισμικό φορτίο βάση του φάσματος σχεδιασμού του Ευρωκώδικα 8.



Εικόνα 5.5. Προσομοίωση κτιρίου με τη χρήση του προγράμματος SAP

Παραδοχές και διευκρινήσεις

- Για καλύτερη προσομοίωση του πάνελ με τη χρήση του SAP, η κάτω δοκός του κτιρίου έχει μοιραστεί σε μικρότερα κομμάτια όπου έχουν τοποθετηθεί αρθρώσεις.
- Οι συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων του πλαισίου δεν είναι μονολιθικά συνδεδεμένες αλλά επιτρέπονται η στροφή και η μετακίνηση παράλληλα προς την διεύθυνση του πάνελ.
- Τα επιφανειακά στοιχεία έχουν «σπάσει» σε μικρότερα με τη λογική της προσομοίωσης της σύνδεσης τους με τα στοιχεία του πλαισίου. Βάση αυτής της προσομοίωσης, τα στοιχεία του πλαισίου έχουν δεσμευτεί με κάθε ένα από τα κομμάτια του επιφανειακού στοιχείου.
- Στο άνω μέρος των πάνελ έχει χρησιμοποιηθεί ενιαία δοκός η οποία κρατάει όλα τα πάνελ, όπως γίνεται και στη πραγματικότητα με τη χρήση κεφαλοδοκού.
- Στις δοκιμές που έγιναν χρησιμοποιήθηκε ως επιφανειακό υλικό OSB με πάχος ίσο με $t=18\text{mm}$. Για την αντικατάσταση του με ισοδύναμες διαγωνίους χρησιμοποιήθηκε το πλάτος το οποίο προκύπτει από τις αναλύσεις.
- Σαν πατώματα στις επιλύσεις χρησιμοποιήθηκε το ίδιο υλικό με το πλαίσιο (C22).
- Στην επίλυση, έχουν επιλεγεί πατώματα, και με την επιλογή Assign – Joint – Constraints έχει εφαρμοστεί η διαφραγματική λειτουργία του κτιρίου
- Όταν γίνεται η αντικατάσταση των επιφανειακών στοιχείων με τις ισοδύναμες διαγωνίους, αγνοούμε τα πάνελ με κουφώματα σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα5.
- Για την εφαρμογή του φορτίου του ανέμου, έχει εφαρμοστεί ο Ευρωκώδικας1.

Συνδυασμοί φορτίσεων

Για την σύγκριση των δυο κτιρίων έγιναν οι ακόλουθοι συνδυασμοί φορτίσεων και στη συνέχεια σύγκριση μεταξύ των μετατοπίσεων και των ιδιοπεριόδων που προκύπτουν από το δυσμενέστερο συνδυασμό.

Για καταστάσεις διαρκείας ή παροδικές

$$1.35 G + 1.5 W$$

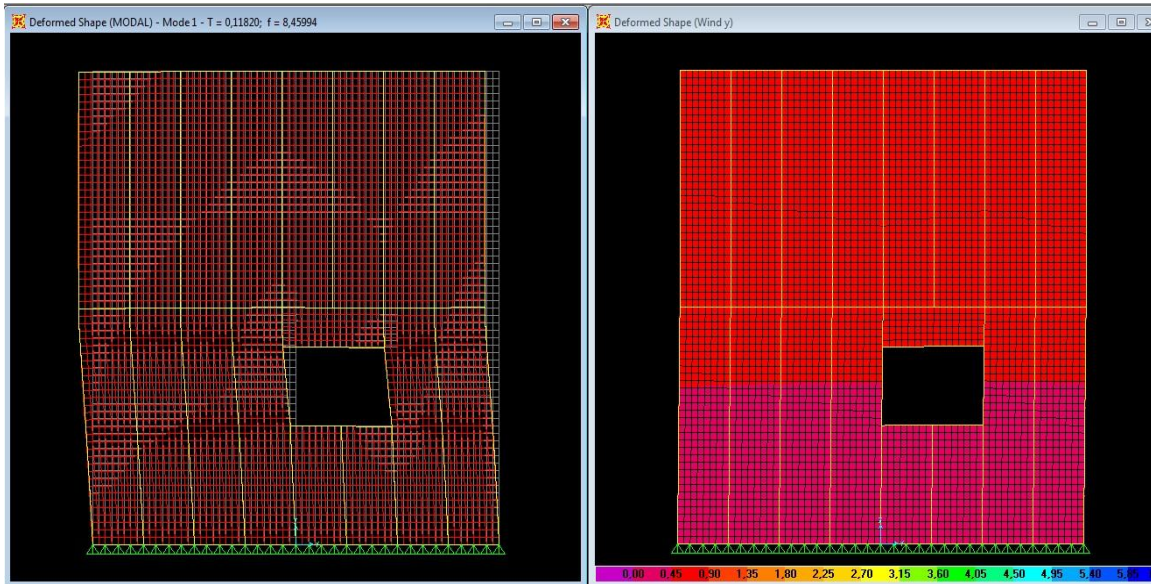
Για καταστάσεις σεισμού

$$1.0 G + 0.3 Q \pm 1.0 E_x \pm 0.3 E_y$$

$$1.0 G + 0.3 Q \pm 1.0 E_y \pm 0.3 E_x$$

Δυσμενέστερος συνδυασμός προέκυψε ο συνδυασμός ανέμου για τις δυο διευθύνσεις.

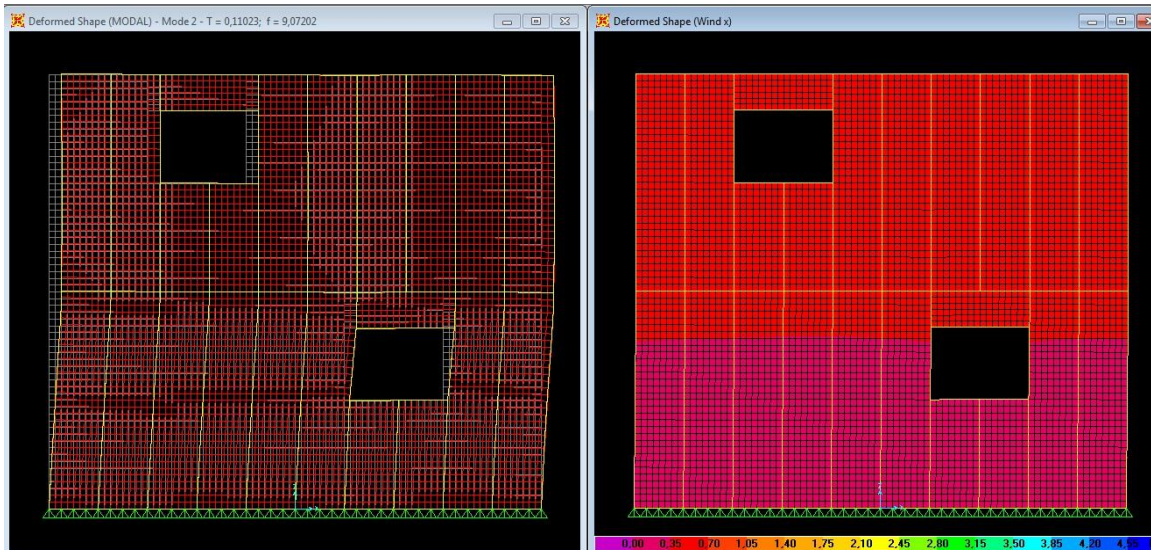
Αποτελέσματα ανάλυσης



Εικόνα 5.6. 1^η Ιδιοπερίοδος και μετακίνηση Uy

1^η Ιδιοπερίοδος: T1=0,118 s

Μετακίνηση κατά τη διεύθυνση y: Uy=0,7 mm

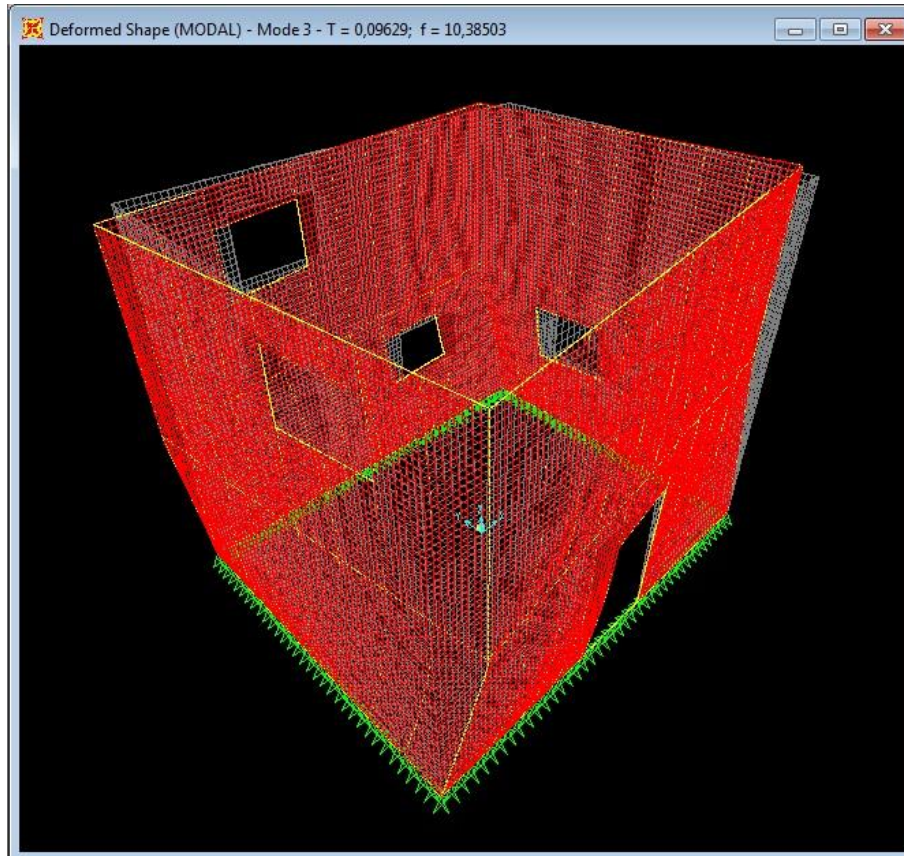


Εικόνα 5.7. 2^η Ιδιοπερίοδος και μετακίνηση Ux

2^η Ιδιοπερίοδος: T2=0,110 s

Μετακίνηση κατά τη διεύθυνση y: Ux=1 mm

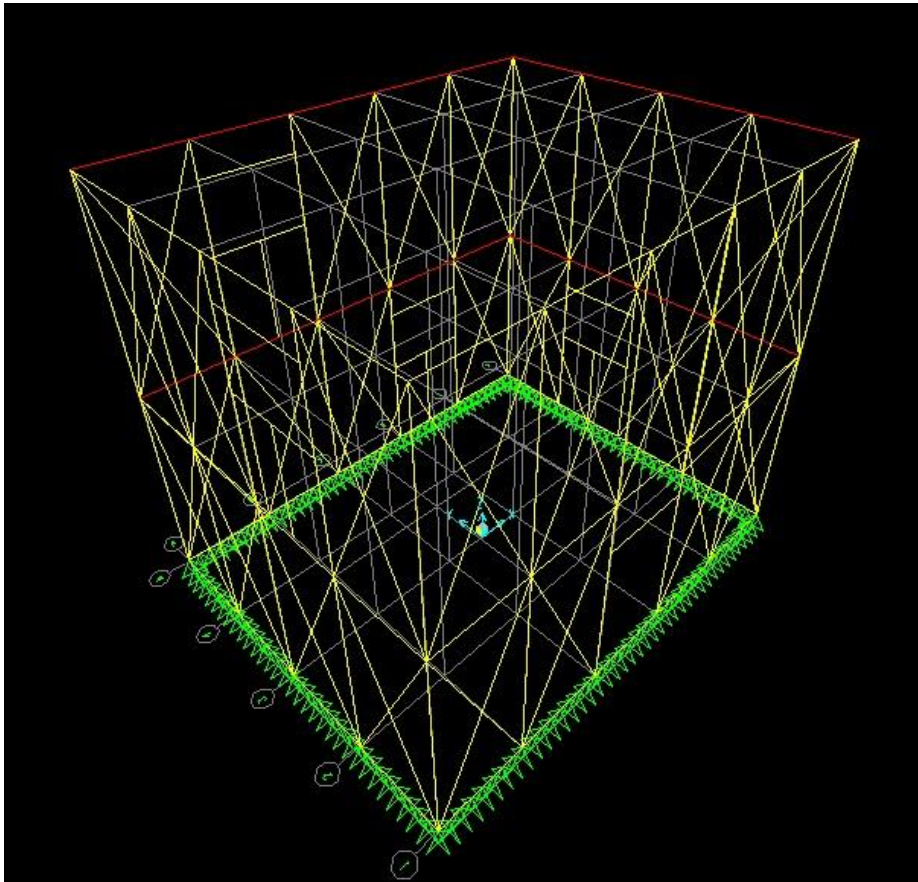
Δομοστατικός Σχεδιασμός Ξύλινων Φερόντων Τοίχων



Εικόνα 5.8. 3^η Ιδιοπερίοδος

3^η Ιδιοπερίοδος: $T_3=0,096$ s

Εφαρμογή σε κτίριο με ισοδύναμες διαγωνίους



Εικόνα 5.9. Προσομοίωση κτιρίου με τη χρήση ισοδύναμων διαγωνίων.

Στην αντικατάσταση των επιφανειακών στοιχείων με ισοδύναμες διαγωνίους παράλληλα με τον άξονα x, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος από το Παράρτημα Α που αφορά το OSB για 5 πάνελ.

$$b = 41.93 * t^{0.3881}$$

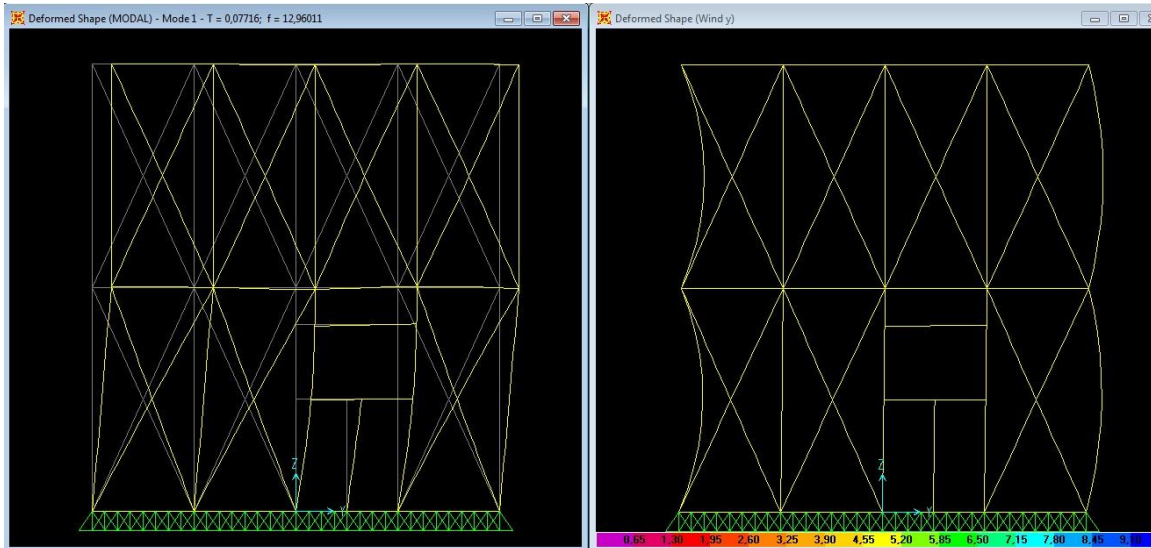
Με τη χρήση του πιο πάνω τύπου για OSB με πάχος $t=18\text{mm}$ προκύπτει πλάτος ισοδύναμων διαγωνίων $b=128.7\text{mm}$.

Στην αντικατάσταση των επιφανειακών στοιχείων με ισοδύναμες διαγωνίους παράλληλα με τον άξονα y, χρησιμοποιήθηκε ο τύπος από το Παράρτημα Α που αφορά το OSB για 4 πάνελ.

$$b = 37.05 * t^{0.4348}$$

Με τη χρήση του πιο πάνω τύπου για OSB με πάχος $t=18\text{mm}$ προκύπτει πλάτος ισοδύναμων διαγωνίων $b=130.2\text{mm}$.

Αποτελέσματα ανάλυσης



Εικόνα 5.10. 1^η Ιδιοπερίοδος και μετακίνηση U_y

1^η Ιδιοπερίοδος: $T_1=0,077$ s

Μετακίνηση κατά τη διεύθυνση y: $U_y=0,8$ mm

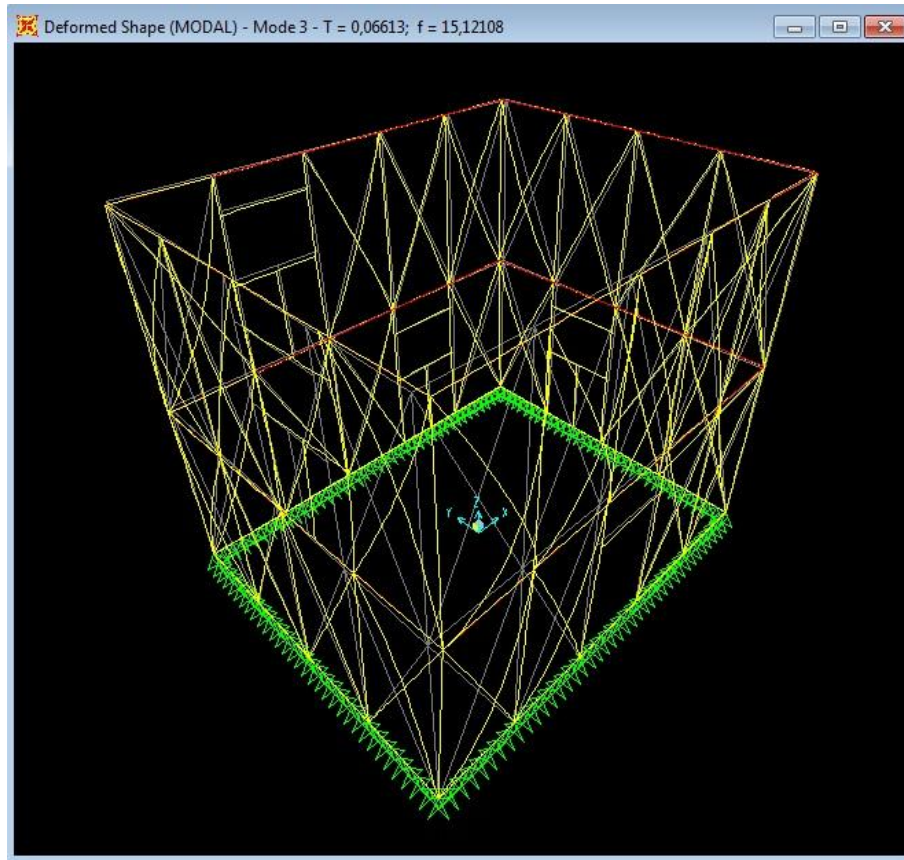


Εικόνα 5.11. 2^η Ιδιοπερίοδος και μετακίνηση U_x

2^η Ιδιοπερίοδος: $T_2=0,071$ s

Μετακίνηση κατά τη διεύθυνση y: $U_x=0,9$ mm

Δομοστατικός Σχεδιασμός Ξύλινων Φερόντων Τοίχων



Εικόνα 5.12. 3^η Ιδιοπερίοδος

3^η Ιδιοπερίοδος: $T_3=0,066$ s

Παρατηρήσεις

Συγκρίνοντας τις ιδιοπεριόδους των δύο κτιρίων παρατηρούμε μια μείωση όσο αφορά το κτίριο με τις ισοδύναμες διαγωνίους. Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην διαφορά στη μάζα του κτιρίου όταν γίνεται η αντικατάσταση των επιφανειακών στοιχείων με τις ισοδύναμες διαγωνίους.

Επίσης υπάρχει μια μικρή διαφορά στις μετατοπίσεις της τάξεως του 0,1mm η οποία οφείλεται όπως φαίνεται στις εικόνες 5.10. και 5.11. στις καμπτικές παραμορφώσεις των ορθοστατών στους οποίους ασκείται το φορτίο ανέμου, κάτι το οποίο δεν αντιστοιχεί και τόσο στην πραγματικότητα παρά στην προσομοίωση την οποία κάνει το ίδιο το πρόγραμμα.

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα – Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Συμπεράσματα

Επιρροή επιφανειακού υλικού

Όπως φάνηκε από τις αναλύσεις του Κεφαλαίου 5., το υλικό από το οποίο αποτελείται το επιφανειακό στοιχείο, επηρεάζει τις μετακινήσεις και συνεπώς το πλάτος αντικατάστασης των ισοδύναμων διαγωνίων.

Προέκυψε πώς υλικά με μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας και δυσκαμψίας δίνουν μικρότερες μετακινήσεις και συνεπώς μεγαλύτερο πλάτος ισοδύναμων διαγωνίων. Επίσης όσο μικρότερο είναι το εύρος των μετακινήσεων, τόσο μεγαλύτερο είναι το εύρος του πλάτους αντικατάστασης.

Επιρροή χαρακτηριστικών επιφανειακού υλικού

Όπως αναμενόταν, το πλάτος της ισοδύναμης διαγωνίου, εξαρτάται από τις χαρακτηριστικές αντοχές του επιφανειακού στοιχείου.

Για το Plywood, λόγω του μεγάλου εύρους τιμών αντοχής, υπάρχει σημαντική διαφορά στις αντικαταστάσεις, με το πλάτος των ισοδύναμων διαγωνίων να μειώνεται και να έχει τιμή ίση και με το 1/10 σε κάποιες περιπτώσεις, όσο αυξάνονται οι αντοχές του επιφανειακού υλικού.

Αντίθετα, για το OSB, η διαφορά στις αντικαταστάσεις είναι μικρή λόγω της μικρής διαφοράς στις αντοχές.

Αυτό ισχύει και για τα δύο υλικά, ανεξάρτητα από τον αριθμό των πάνελ από τα οποία αποτελείται ο τοίχος.

Επιρροή αριθμού συνεχόμενων πάνελ

Από τις αναλύσεις που έγιναν, παρατηρήθηκε ότι ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την αντικατάσταση των επιφανειακών στοιχείων είναι ο αριθμός των πάνελ από τα οποία αποτελείται ο τοίχος.

Στα υλικά με μικρό μέτρο ελαστικότητας και δυσκαμψίας, η διαφορά στον αριθμό των πάνελ δεν επιφέρει σημαντική διαφορά στις μετακινήσεις συνεπώς ούτε και στο πλάτος των ισοδύναμων διαγωνίων. Μπορούμε να πούμε μάλιστα πως η διαφορά αυτή είναι πρακτικώς μηδενική.

Αντίθετα, σε υλικά με μεγάλο μέτρο ελαστικότητας και δυσκαμψίας η αύξηση στον αριθμό των πάνελ, φαίνεται να επηρεάζει το πλάτος των ισοδύναμων διαγωνίων προκαλώντας την μείωση του.

Επιρροή λόγου h/b

Η τρίτη παράμετρος η οποία εξετάστηκε σε ένα πάνελ ήταν ο λόγος h/b του πάνελ. Όσο αυξάνεται ο λόγος h/b ενός πάνελ, χρειάζεται μεγαλύτερο πλάτος διαγωνίου για το ίδιο πάχος επιφανειακού υλικού, κάτι που είναι απολύτως λογικό αφού για μεγαλύτερο λόγο h/b έχουμε μεγαλύτερες μετατοπίσεις.

Επίσης η διαφορά στην αντικατάσταση μεταξύ των λόγων h/b φαίνεται να επηρεάζεται και από το μέτρο ελαστικότητας και δυσκαμψίας του υλικού, με τις μικρότερες τιμές των μέτρων αυτών να προκαλούν και μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ των λόγων.

Εφαρμογή σε κτίριο

Εφαρμόζοντας τις σχέσεις των αντικαταστάσεων σε κανονικό κτίριο παρατηρήθηκε κάποια μείωση στις ιδιοπεριόδους του κτιρίου. Αυτό πιθανώς να οφείλεται σε κάποια διαφορά στις μάζες των δύο κτιρίων η οποία προκύπτει από την αντικατάσταση των επιφανειακών στοιχείων.

Όσο αφορά τις μετακινήσεις, παρατηρήθηκε μείωση στις μετακινήσεις 0,1mm κατά την διεύθυνση y και αύξηση 0,1mm κατά την διεύθυνση x , διαφορά πρακτικώς ασήμαντη σε ένα κτίριο πλάτους περίπου 5 μέτρων.

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Στη παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκε η επιρροή του επιφανειακού υλικού, του αριθμού των πάνελ και του λόγου h/b ενός πάνελ στην αντικατάσταση του επιφανειακού υλικού με ισοδύναμες διαγωνίους. Προτείνεται όπως εξεταστεί και η επίδραση του πλαισίου στις μετακινήσεις που προκύπτουν, αλλάζοντας το υλικό και τις διαστάσεις των διατομών του.

Επίσης, καλό θα ήταν να γίνει εφαρμογή σε ένα πιο σύνθετο κτίριο, το οποίο θα αποτελείται από δίκλινη στέγη, όπως κατασκευάζονται στην πραγματικότητα τα ξύλινα σπίτια, και με συνδυασμό περισσότερων φορτίων όπως χιονιού κτλ.

Τέλος, συνιστάται περαιτέρω έρευνα σχετικά με την επιρροή των συνδέσεων στην πλαστιμότητα του πάνελ καθώς και στην παραμορφωσιμότητα των ίδιων των συνδέσεων, τα οποία δεν εξετάστηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Εξισώσεις αντικατάστασης επιφανειακού στοιχείου με ισοδύναμες διαγωνίους

Plywood

h=1.75b	$b = 10.663 * t^{0.4987}$	1 πάνελ
	$b = 10.784 * t^{0.4927}$	5 πάνελ
h=2b	$b = 11.642 * t^{0.4986}$	1 πάνελ
	$b = 11.868 * t^{0.4896}$	5 πάνελ
h=2.1b	$b = 12.325 * t^{0.4987}$	1 πάνελ
	$b = 12.63 * t^{0.4984}$	2 πάνελ
	$b = 12.415 * t^{0.4968}$	3 πάνελ
	$b = 12.457 * t^{0.4942}$	4 πάνελ
	$b = 12.576 * t^{0.4892}$	5 πάνελ
h=2.25b	$b = 12.667 * t^{0.4985}$	1 πάνελ
	$b = 12.898 * t^{0.4902}$	5 πάνελ
h=2.5b	$b = 13.764 * t^{0.4974}$	1 πάνελ
	$b = 13.954 * t^{0.4921}$	5 πάνελ

OSB

h=1.75b	$b = 27.608 * t^{0.4982}$	1 πάνελ
	$b = 33.564 * t^{0.4105}$	5 πάνελ
h=2b	$b = 30.241 * t^{0.4937}$	1 πάνελ
	$b = 36.758 * t^{0.4105}$	5 πάνελ
h=2.1b	$b = 31.888 * t^{0.4929}$	1 πάνελ
	$b = 34.903 * t^{0.4632}$	2 πάνελ
	$b = 35.79 * t^{0.452}$	3 πάνελ
	$b = 37.05 * t^{0.4348}$	4 πάνελ
	$b = 41.93 * t^{0.3881}$	5 πάνελ
h=2.25b	$b = 33.484 * t^{0.4837}$	1 πάνελ
	$b = 39.257 * t^{0.4185}$	5 πάνελ
h=2.5b	$b = 37.312 * t^{0.4684}$	1 πάνελ
	$b = 42.368 * t^{0.4204}$	5 πάνελ

Τροποποίηση εξισώσεων

Plywood

Πίνακας Α1. Πλάτος διαγωνίων όπως προκύπτει από τις ακριβείς και τις τροποποιημένες εξισώσεις για διαφορετικούς λόγους h/b

1 πάνελ									
h/b = 1,75		h/b = 2		h/b = 2,1		h/b = 2,25		h/b = 2,5	
10,633x ^{0,4987}	10,6x ^{0,5}	11,642x ^{0,4986}	11,6x ^{0,5}	12,325x ^{0,4987}	12,3x ^{0,5}	12,667x ^{0,4985}	12,6x ^{0,5}	13,764x ^{0,4974}	13,7x ^{0,5}
16,8	16,8	18,4	18,3	19,5	19,4	20,0	19,9	21,7	21,7
19,0	19,0	20,8	20,8	22,0	22,0	22,6	22,5	24,5	24,5
23,8	23,7	26,0	25,9	27,5	27,5	28,3	28,2	30,6	30,6
26,1	26,0	28,4	28,4	30,1	30,1	30,9	30,9	33,6	33,6
26,9	26,8	29,4	29,3	31,1	31,1	32,0	31,9	34,7	34,7
31,9	31,8	34,8	34,8	36,9	36,9	37,9	37,8	41,1	41,1
36,8	36,7	40,2	40,2	42,6	42,6	43,7	43,6	47,4	47,5
41,2	41,1	44,9	44,9	47,6	47,6	48,9	48,8	52,9	53,1
45,1	45,0	49,2	49,2	52,1	52,2	53,5	53,5	58,0	58,1
46,3	46,2	50,5	50,6	53,5	53,6	55,0	54,9	59,5	59,7
49,8	49,7	54,4	54,4	57,6	57,7	59,1	59,1	64,0	64,3
52,0	51,9	56,8	56,8	60,1	60,3	61,8	61,7	66,9	67,1
53,1	53,0	57,9	58,0	61,4	61,5	63,0	63,0	68,2	68,5
58,1	58,1	63,5	63,5	67,2	67,4	69,0	69,0	74,7	75,0
63,7	63,6	69,5	69,6	73,6	73,8	75,6	75,6	81,8	82,2
65,4	65,3	71,4	71,5	75,6	75,8	77,7	77,7	84,0	84,5
70,4	70,3	76,8	76,9	81,4	81,6	83,5	83,6	90,4	90,9
75,0	75,0	81,9	82,0	86,7	87,0	89,0	89,1	96,3	96,9
82,2	82,1	89,7	89,9	95,0	95,3	97,5	97,6	105,5	106,1
92,4	92,4	100,9	101,1	106,8	107,2	109,7	109,8	118,6	119,4

Πίνακας Α2. Πλάτος διαγωνίων όπως προκύπτει από τις ακριβείς και τις τροποποιημένες εξισώσεις για διαφορετικούς λόγους h/b

5 πάνελ									
h/b = 1,75		h/b = 2		h/b = 2,1		h/b = 2,25		h/b = 2,5	
10,784x ^{0,4927}	10,7x ^{0,5}	11,868x ^{0,4896}	11,8x ^{0,5}	12,576x ^{0,4892}	12,5x ^{0,5}	12,898x ^{0,4908}	12,8x ^{0,5}	13,954x ^{0,4921}	13,9x ^{0,5}
16,9	16,9	18,6	18,7	19,7	19,8	20,2	20,2	21,9	22,0
19,1	19,1	21,0	21,1	22,2	22,4	22,8	22,9	24,7	24,9
23,8	23,9	26,1	26,4	27,6	28,0	28,4	28,6	30,8	31,1
26,1	26,2	28,5	28,9	30,2	30,6	31,1	31,4	33,7	34,0
26,9	27,1	29,5	29,9	31,2	31,6	32,1	32,4	34,8	35,2
31,8	32,1	34,8	35,4	36,9	37,5	37,9	38,4	41,1	41,7
36,7	37,1	40,1	40,9	42,4	43,3	43,7	44,3	47,4	48,2
40,9	41,4	44,7	45,7	47,3	48,4	48,7	49,6	52,9	53,8
44,8	45,4	48,9	50,1	51,7	53,0	53,3	54,3	57,9	59,0
46,0	46,6	50,2	51,4	53,1	54,5	54,7	55,8	59,4	60,6
49,5	50,2	53,9	55,3	57,1	58,6	58,8	60,0	63,9	65,2
51,6	52,4	56,3	57,8	59,5	61,2	61,4	62,7	66,7	68,1
52,7	53,5	57,4	59,0	60,8	62,5	62,6	64,0	68,0	69,5
57,6	58,6	62,8	64,6	66,4	68,5	68,5	70,1	74,4	76,1
63,0	64,2	68,7	70,8	72,6	75,0	74,9	76,8	81,4	83,4
64,7	66,0	70,5	72,7	74,6	77,1	76,9	78,9	83,6	85,7
69,6	71,0	75,7	78,3	80,1	82,9	82,6	84,9	89,8	92,2
74,1	75,7	80,6	83,4	85,3	88,4	88,0	90,5	95,7	98,3
81,1	82,9	88,2	91,4	93,2	96,8	96,2	99,1	104,6	107,7
91,1	93,3	99,0	102,9	104,7	109,0	108,1	111,6	117,6	121,2

Τροποποιώντας τις εξισώσεις στο πλησιέστερο δεκαδικό παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα έχουν διαφορά μέχρι 4mm στο πλάτος των διαγωνίων συνεπώς μπορούμε να εκφράσουμε τις εξισώσεις στην μορφή:

$$b = a * t^{1/2}$$

όπου a: συντελεστής που εξαρτάται από το λόγο h/b και τον αριθμό των πάνελ

OSB

Πίνακας Α3. Πλάτος διαγωνίων όπως προκύπτει από τις ακριβείς και τις τροποποιημένες εξισώσεις για διαφορετικούς λόγους h/b

1 πάνελ									
h/b = 1,75		h/b = 2		h/b = 2,1		h/b = 2,25		h/b = 2,5	
27,608x ^{0,4982}	27,6x ^{0,5}	30,241x ^{0,4937}	30,2x ^{0,5}	31,888x ^{0,4929}	31,9x ^{0,5}	33,484x ^{0,4837}	33,5x ^{0,5}	37,312x ^{0,4684}	37,3x ^{0,5}
67,4	67,6	73,2	74,0	77,1	78,1	79,7	82,1	86,4	91,4
77,8	78,1	84,4	85,4	88,9	90,2	91,6	94,8	98,8	105,5
82,5	82,8	89,5	90,6	94,2	95,7	96,9	100,5	104,4	111,9
91,2	91,5	98,8	100,2	104,0	105,8	106,8	111,1	114,7	123,7
95,2	95,6	103,1	104,6	108,5	110,5	111,4	116,0	119,5	129,2
106,4	106,9	115,1	117,0	121,1	123,5	124,1	129,7	132,7	144,5
109,9	110,4	118,9	120,8	125,1	127,6	128,0	134,0	136,7	149,2
116,5	117,1	126,0	128,1	132,5	135,3	135,5	142,1	144,5	158,3
128,8	129,5	139,1	141,7	146,3	149,6	149,3	157,1	158,7	175,0
137,2	138,0	148,2	151,0	155,8	159,5	158,9	167,5	168,5	186,5
150,3	151,2	162,1	165,4	170,5	174,7	173,5	183,5	183,5	204,3
164,6	165,6	177,4	181,2	186,5	191,4	189,5	201,0	199,9	223,8
169,1	170,1	182,2	186,2	191,6	196,6	194,5	206,5	205,0	229,9
181,9	183,1	195,9	200,3	205,9	211,6	208,8	222,2	219,6	247,4
193,8	195,2	208,6	213,5	219,3	225,6	222,1	236,9	233,2	263,8
238,8	240,6	256,5	263,3	269,6	278,1	272,0	292,0	283,7	325,2

Πίνακας Α4. Πλάτος διαγωνίων όπως προκύπτει από τις ακριβείς και τις τροποποιημένες εξισώσεις για διαφορετικούς λόγους h/b

5 πάνελ									
h/b = 1,75		h/b = 2		h/b = 2,1		h/b = 2,25		h/b = 2,5	
33,564x ^{0,4105}	33,6x ^{0,5}	36,758x ^{0,4105}	36,8x ^{0,5}	41,93x ^{0,3881}	41,9x ^{0,5}	39,257x ^{0,4185}	39,2x ^{0,5}	42,368x ^{0,4204}	42,4x ^{0,5}
70,0	82,3	76,7	90,1	84,0	102,6	83,1	96,0	90,0	103,9
78,8	95,0	86,3	104,1	94,0	118,5	93,7	110,9	101,6	119,9
82,7	100,8	90,6	110,4	98,4	125,7	98,5	117,6	106,7	127,2
89,8	111,4	98,4	122,1	106,3	139,0	107,1	130,0	116,1	140,6
93,1	116,4	101,9	127,5	110,0	145,1	111,1	135,8	120,4	146,9
102,0	130,1	111,7	142,5	119,9	162,3	121,9	151,8	132,3	164,2
104,8	134,4	114,7	147,2	123,0	167,6	125,3	156,8	135,9	169,6
109,9	142,6	120,4	156,1	128,7	177,8	131,6	166,3	142,8	179,9
119,4	157,6	130,7	172,6	139,2	196,5	143,1	183,9	155,4	198,9
125,8	168,0	137,8	184,0	146,2	209,5	151,0	196,0	164,0	212,0
135,6	184,0	148,5	201,6	157,0	229,5	163,0	214,7	177,0	232,2
146,1	201,6	160,0	220,8	168,5	251,4	175,9	235,2	191,1	254,4
149,4	207,1	163,6	226,9	172,0	258,3	179,9	241,6	195,5	261,4
158,7	222,9	173,8	244,1	182,1	277,9	191,3	260,0	207,9	281,2
167,2	237,6	183,1	260,2	191,4	296,3	201,8	277,2	219,4	299,8
198,6	292,9	217,5	320,8	225,1	365,3	240,5	341,7	261,7	369,6

Τροποποιώντας τις εξισώσεις στο πλησιέστερο δεκαδικό παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα έχουν μεγαλύτερη διαφορά από τα αντίστοιχα αποτελέσματα για Plywood. Η διαφορά φτάνει μέχρι και 8mm στο πλάτος των διαγωνίων συνεπώς οι εξισώσεις της μορφής:

$$b = a * t^{1/2}$$

δεν έχει ακριβή εφαρμογή.

- [1] Κατσαραγάκης, Ελισσαίος Σ., Ξύλινες Κατασκευές., Πανεπιστημιακές Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2000.
- [2] CEN 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] Jack Porteous and Abdy Kermani , Structural Timber Design to Eurocode 5.
- [4] Τουλιάτος, Θέματα Οικοδομικής, 199-200, Εκδόσεις Συμμετρία, 1999.
- [5] APA The engineered Wood Association. Diaphragms and Shear walls, Design/construction guide
- [6] André Jorissen, Massimo Fragiaco, General notes on ductility in timber structures, Engineering Structures, Volume 33, Issue 11, November 2011, Pages 2987-2997
- [7] Ulf Arne Girhammar, Bo Källsner, Elasto-plastic model for analysis of influence of imperfections on stiffness of fully anchored light-frame timber shear walls, Engineering Structures, Volume 31, Issue 9, September 2009, Pages 2182-2193
- [8] Bo Källsner, Ulf Arne Girhammar, Plastic models for analysis of fully anchored light-frame timber shear walls, Engineering Structures, Volume 31, Issue 9, September 2009, Pages 2171-2181
- [9] M. Premrov, P. Dobrila, Numerical analysis of sheathing boards influence on racking resistancen of timber-frame walls, Advances in Engineering Software, Volume 45, Issue 1, March 2012, Pages 21-27
- [10] Ράμυ Χασσάν, Επιφανειακά βιομηχανικά προϊόντα ξύλου, Διπλωματική εργασία 2010, Ε.Μ.Π., Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τεχνολογία Δομήσιμων Υλικών.
- [11] Αντωνία Πασπουτάκη, Τεχνολογία ξύλινης κατοικίας με έμφαση στην αντσεισμική προστασία, Διπλωματική εργασία 2008, Τ.Ε.Ι Λάρισας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου.
- [12]http://mycourses.ntua.gr/courses/CIVIL1136/document/%D6%C5%D1%CF%CD%D4%C5%D3_%CE%D5%CB%C9%CD%CF%C9_%D4%CF%C9%D7%CF%C9.pdf, Σημειώσεις φερόντων ξύλινων τοίχων, Ξύλινες κατασκευές.
- [13] prEN 300 : 2006 “Πλάκες προσανατολισμένων ξυλοτεμαχιδίων (OSB) - Ορισμοί, κατηγοριοποίηση και προδιαγραφές”
- [14] EN 636: “Αντικολλητή ξυλεία – Προδιαγραφές”
- [15] EN 12369-1 : 2001 “Τεχνητές ξυλόπλακες - Χαρακτηριστικές τιμές για το σχεδιασμό δομημάτων - Μέρος 1: Πλάκες προσανατολισμένων ξυλοτεμαχιδίων (OSB), μοριόπλακες και ινόπλακες”
- [16] EN 12369-2: 2005 “Τεχνητές ξυλοπλακες - Χαρακτηριστικές τιμές για το σχεδιασμό δομημάτων - Μέρος 2: Αντικολλητή ξυλεία”
- [17] EN 13986: 2005 “Πετάσματα με βάση το ξύλο για δομική χρήση - Χαρακτηριστικά, αξιολόγηση της συμμόρφωσης και σήμανση”, Κεφ. 7 .
- [18] CEN/TS 12872 “Τεχνητές ξυλόπλακες - Οδηγίες για την χρήση φερουσών ξυλοπλακών σε δάπεδα, τοίχους και στέγες”
- [19] TRADA, 2009, PANEL GUIDE.V3, Section 1, annex 2b, TRADA, Section 1, section 2.2, Annex 2d, Section 6.4, “2-4”.
- [22] EN 12512—ISO/DIS 16670. European standard = ISO standard. Timber structures. Test methods. Cyclic testing of joints made with mechanical fasteners. Brussels: Comité Européen de Normalisation, CEN; 2001.

- [23] Ευρωκώδικας 8, Αντισεισμικός Σχεδιασμός, “Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια”, Κεφάλαιο 8.
- [24] P.Dobrila, M. Premrov, Reinforcing methods for composite timber frame-fiberboard wall panels, *Engineering Structures*, Volume 25, Issue 11, September 2003, Pages 1369-1376
- [25] M. Premrov, M. Kuhta, Influence of fasteners disposition on behaviour of timber-framed walls with single fibre-plaster sheathing boards, *Construction and Building Materials*, Volume 23, Issue 7, July 2009, Pages 2688-2693
- [26] prEN 335-3 : 1996 “Αντοχή ξύλου και προϊόντων με βάση το ξύλο - Ορισμός των κατηγοριών επικινδυνότητας της βιολογικής προσβολής - Μέρος 3: Εφαρμογή σε τεχνητές ξυλόπλακες”.
- [27] EN 635-1: 1994 “Αντικολλητή ξυλεία - Ταξινόμηση σύμφωνα με την επιφανειακή εμφάνιση - Μέρος 1: Γενικά”.
- [28] EN 635-2: 1995 “Αντικολλητή ξυλεία - Ταξινόμηση σύμφωνα με την επιφανειακή εμφάνιση - Μέρος 2: Ξυλεία πλατυφύλλων”.
- [29] EN 635-3: 1995 “Αντικολλητή ξυλεία - Ταξινόμηση σύμφωνα με την επιφανειακή εμφάνιση - Μέρος 3: Ξυλεία κωνοφόρων”.
- [30] EN TC 112.406: “Wood based panels. Characteristic values for established products”
- [31] prEN 338: “Structural timber. Strength classes”
- [32] EN 1194: “Timber Structures – Glued laminated timber. Strength classes and determination of characteristic values”
- [33] ISO 8375: “Solid timber in structural sizes – Determination of some physical and mechanical properties”