Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

ΞΥΛΙΝΗ ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΑ-ΣΜΕΝΗ ΤΟΙΧΟΠΟΙΑ

Πουλιάσης Γεώργιος cv12075
Ψυχάρης Νικόλαος cv12116
Ντιγκάκης Χαράλαμπος cv12117
Μπούρος Αλέξανδρος cv12069
Φιλαρέτου Φιλάρετος cv12060

Ξύλινη Προκατασκευασμένη Τοιχοποιία

Περιεχόμενα

Εισαγωγή……2

- Μέρος Πρώτο: Οι ιδιότητες του ξύλου ως τεχνικό υλικό

1. Δομή……3
2. Φυσικές ιδιότητες
   - 2.1. Πυκνότητα……4
   - 2.2. Υγροσκοπικότητα……4
   - 2.3. Ρίκνωση και διόγκωση λόγω μεταβολής υγρασίας……5
3. Θερμικές ιδιότητες
   - 3.1. Συστολή και διαστολή……6
   - 3.2. Θερμοαγωγιμότητα……7
   - 3.3. Ειδική θερμότητα……7
   - 3.4. Συμπεριφορά του ξύλου σε πυρκαγιά……8
4. Ακουστικές ιδιότητες……9
5. Μηχανικές ιδιότητες……9
   - 5.1. Εφελκυστική και θλιπτική αντοχή παράλληλα στις ίνες……10
   - 5.2. Εφελκυστική και θλιπτική αντοχή κάθετα στις ίνες……10
   - 5.3. Αντοχή σε κάμψη……12
   - 5.4. Μέτρο ελαστικότητας……12
   - 5.5. Αντοχή σε κρουστικά φορτία……13
   - 5.6. Φαινόμενο κλίμακας……13
   - 5.7. Η υγρασία και μηχανικές ιδιότητες……13
   - 5.8. Ο ερπυσμός του ξύλου……13
   - 5.9. Επαναλαμβανόμενη φόρτιση……15

- Μέρος δεύτερο: Παρουσίαση τοιχοποιίας Κοφινάς

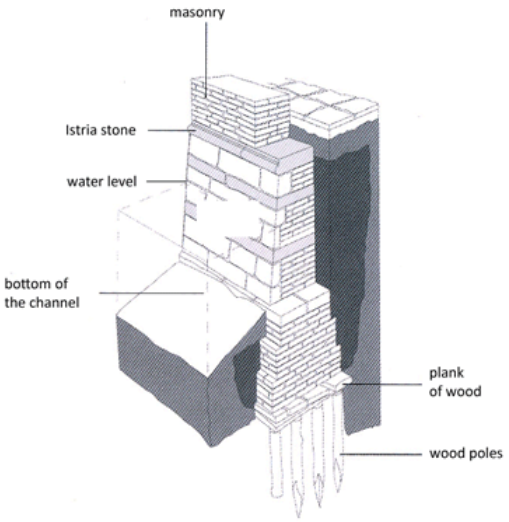
6. Η δομική ξυλεία στην σύγχρονη εποχή……16
7. Παρουσίαση τοιχοποιίας……16
8. Ανάλυση κατασκευαστικής μεθόδου……17
9. Σχεδιασμός φέροντος οργανισμού……18
10. Δοκιμές και συμμόρφωση με τα πρότυπα……20
11. Διερεύνηση λειτουργικότητας κατασκευής, αντιμετώπιση προβλημάτων……21
12. Επίλογος……24

Παραπομπές

Βιβλιογραφία……26

Εισαγωγή

Το ξύλο είναι ένα από τα αρχαιότερα δομικά υλικά και μάλιστα το ποιο , τόσο όσον αφορά την απόκτηση και την κατεργασία της πρώτης ύλης, όσο και τη μελέτη και κατασκευή εξαιρετικά λειτουργικών φορέων, απλών ή περίτεχνων ως την τελευταία λεπτομέρειά τους. Για πολλούς αιώνες και σε πολλές περιοχές υπήρξε το ποιο διαδεδομένο οικοδομικό υλικό. Εμφανίζεται σε κατασκευές από την αρχαιά Ελλάδα, μέχρι την μεσαιωνική Ευρώπη και τη Βενετία. Στην σύγχρονη εποχή, η πρόοδος της τεχνολογίας δημιουργεί νέες και αξιόπιστες μορφές βιομηχανικού ξύλου με αποτέλεσμα την αναβίωση των ξύλινων κατασκευών. Ιδιαίτερα στις χώρες του εξωτερικού, όπως η Αμερική και ο Καναδάς, οι ξύλινες προκατασκευασμένες κατοικίες είναι εξαιρετικά διαδεδομένες. Στην Ελλάδα υπάρχει μία γενική δυσπιστία ως προς το ξύλο, ακόμα και από μηχανικούς. Αυτό οφείλεται κυρίως λόγο του κατασκευαστικού μοντέλου που έχει επικρατήσει, το οποίο θέλει το σκυρόδεμα ως βέλτιστη λύση σε κάθε περίπτωση, και λόγω της έλλειψης εξειδικευμένων τεχνιτών. Όμως με τις αλλαγές που υφίστανται έχουν αρχίσει να δραστηριοποιούνται ελληνικές εταιρίες προς την κατεύθυνση της προκατασκευασμένης τοιχοποιίας. Μία από αυτές είναι η εταιρία Κοφινάς. Ως χαρακτηριστικό δείγμα μελετημένης και πιστοποιημένης τοιχοποιίας, στην παρούσα έκθεση θα εξεταστούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες της, με στόχο την εξαγωγή ενός ποιο γενικού συμπεράσματος για αυτόν τον τρόπο δόμησης. Για την καλύτερη κατανόηση όμως των παραπάνω χαρακτηριστικών κρίνεται απαραίτητη η ανάπτυξη πρώτα των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων της δομικής ξυλείας ώστε αυτές να αποτελέσουν την βάση, σύμφωνα με την οποία θα εξαχθούν οποιαδήποτε συμπεράσματα.



The foundations of the buildings in Venice

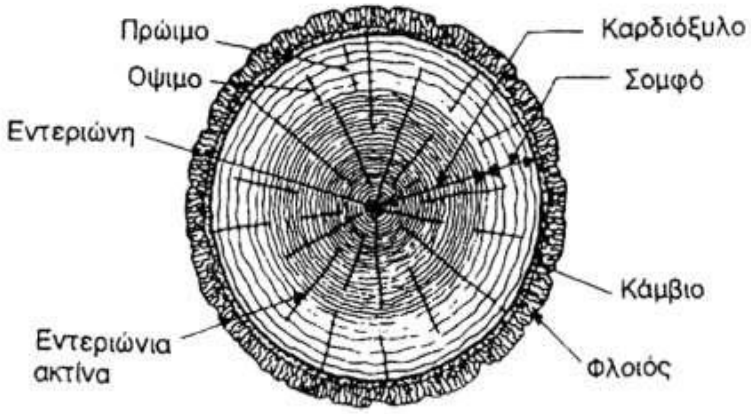
Εικόνα 1: Τυπική θεμελίωση με ξύλινους πασσάλους σε βενετσιάνικη κατασκευή

Μέρος πρώτο: Οι ιδιότητες του ξύλου ως τεχνικό υλικό

1. Δομή

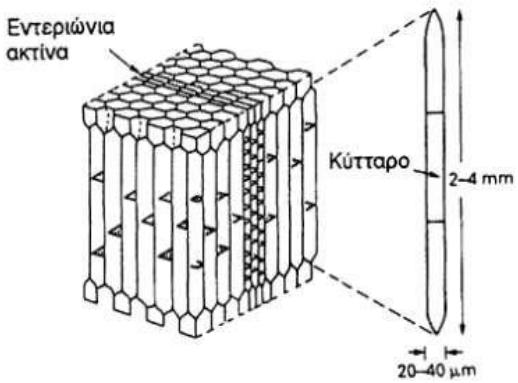
Το ξύλο είναι οργανικό προϊόν, προέρχεται δηλαδή από ζώντες οργανισμούς τα δένδρα. Οι δύο κατηγορίες στις οποίες κατατάσσονται όλα τα δένδρα είναι τα πλατύφυλλα που παράγουν την «Σκληρή Ξυλεία» (Hardwood) και τα κωνοφόρα που δίνουν την λεγόμενη «Μαλακή Ξυλεία» (Softwood). Το μεγαλύτερο ποσοστό της δομικής ξυλείας προέρχεται από τα κωνοφόρα όπως το έλατο ή το πεύκο.

Εκτελώντας μία τομή κάθετα στον άξονα ενός δένδρου (εικόνα 2) αποκαλύπτονται διάφορα χαρακτηριστικά του μέρη. Στην σχηματική απεικόνιση της τομής ξεχωρίζουν τα μέρη του κορμού. Ξεκινώντας από το κέντρο βρίσκεται η εντεριώνη η οποία σχηματίζεται από τον ιστό που προωθεί την καθ΄ ύψος ανάπτυξη κάθε χρόνο και ελέγχει την ανάπτυξη προς το εξωτερικό και προς τα κλαδιά και τις ρίζες. Από τεχνικής άποψης αποτελεί μειονέκτημα του ξύλου μειώνοντας την αντοχή του. Γύρω από αυτό βρίσκεται το καρδιόξυλο που είναι αδρανής στρώση η οποία περιβάλλεται από το σομφό ξύλο. Μέσω αυτού μεταφέρονται οι χυμοί από τις ρίζες στα φύλλα. Ύστερα ακολουθεί το κάμβιο το οποίο παράγει τον εσωτερικό φλοιό προς τα έξω και τέλος έχουμε τον φλοιό που αποτελείται από τον εσωτερικό και τον εξωτερικό φλοιό.



Εικόνα 2: Τομή κάθετη στον άξονα κορμού δένδρου

Εξετάζοντας την μικροσκοπική δομή των δένδρων παρατηρούμε (εικόνα 3) περίπου κοινή κυτταρική δομή σε όλα τα είδη. Τα βασικότερα κύτταρα του ξύλου είναι σωληνωτής μορφής με προσανατολισμό παράλληλα στην αξονική διεύθυνση. Τα τοιχώματα τους δομούνται από ίνες κυτταρίνης σε ποσοστό 50% κ.β. που περιβάλλονται από άλλα συστατικά, το σημαντικότερο από τα οποία είναι η λιγνίνη. Αυτή αποτελεί άμορφο πολυμερές που βρίσκεται σε ποσοστό περίπου 25% κ.β. στο κύτταρο και δίνει σταθερότητα διαστάσεων. Η κυτταρίνη είναι κρυσταλλικής δομής και απαρτίζεται από μακρομόρια $C_6H_{10}O_5$. Τα μόρια αυτά σχηματίζουν μακριές αλυσίδες κατά μήκος των κυττάρων, γεγονός στο οποίο οφείλεται η καλή μηχανική συμπεριφορά του ξύλου στην αξονική διεύθυνση. [1]



Εικόνα 3: Μικροσκοπική δομή δένδρου

2. Φυσικές Ιδιότητες
   2.1. Πυκνότητα

Η πυκνότητα του ξύλου αποτελεί μία σημαντική φυσική ιδιότητά του καθώς συνδέεται άμεσα με τις μηχανικές του ιδιότητες αλλά και με τις υπόλοιπες φυσικές, όπως η υγροσκοπικότητα, η ρίκνωση και η διόγκωση, οι ακουστικές, θερμικές και οι ηλεκτρικές ιδιότητες. Πυκνότητα είναι το μέτρο της μάζας που περιέχεται σε ορισμένο όγκο υλικού και εκφράζεται με το πηλίκο μάζας και όγκου. Στην δομική ξυλεία αυτή κυμαίνεται μεταξύ 300 και 550 kg/m^3, ενώ στις πλάκες προσανατολισμένων ινών κυμαίνεται μεταξύ 550 και 750 kg/m^3. [2,3]

Η πυκνότητα του ξύλου επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Σημαντικότερος από αυτούς είναι η υγρασία. Το ξύλο είναι ύλη υγροσκοπική, δηλαδή είχε την ιδιότητα να προσλαμβάνει υγρασία. Πρόσληψη υγρασίας έχει ως αποτέλεσμα αύξηση του όγκου και της μάζας του, και απώλεια υγρασίας την μείωσή τους. Είναι ευνόητο ότι συγκρίσιμα στοιχεία μπορούν να προκύψουν μόνο αν η υγρασία κατά τον προσδιορισμό της μάζας και του όγκου είναι γνωστή. (Εκτενέστερη αναφορά για τις επιδράσεις της υγρασίας στο ξύλο γίνεται παρακάτω όμως γίνεται από νωρίς κατανοητή η σημασία της υγροσκοπικότητας στις ιδιότητές του)

Άλλος παράγοντας που επηρεάζει την πυκνότητα του ξύλου είναι η δομή του. Το ξύλο είναι κατασκευασμένο από κύτταρα που αποτελούνται από κυτταρικά τοιχώματα και κυτταρικές κοιλότητες. Μερικές φορές ανάμεσα στα κύτταρα υπάρχουν μεσοκυττάριοι αγωγοί ή μεσοκυττάριοι χώροι. Η πυκνότητα του ξύλου θεωρείται ως το μέτρο της ποσότητας της ξυλώδους ύλης που περιέχεται σε ορισμένο όγκο αλλά είναι και δείκτης των κενών χώρων. Το ποσοστό αυτών κυμαίνεται από 95% στα ελαφρά ως 15% σε πολύ βαριά ξύλα. Διαφορές πυκνότητας προέρχονται από διαφορές δομής, που αναφέρονται στην κυτταρική συγκρότηση και ιδιαίτερα στους τύπους κυττάρων, στην ποσοτική κατανομή τους, στο πάχος των κυτταρικών τοιχωμάτων και στο μέγεθος των κυτταρικών κοιλοτήτων. Ενδεικτικά αναφέρονται και παράγοντες μικρότερης σημασίας όπως τα διάφορα εκχυλίσματα που μπορεί να περιέχονται στο ξύλο και η χημική σύσταση των κυτταρικών τοιχωμάτων. [4]

Γενικά παρατηρείται ότι μεγαλύτερη πυκνότητα του ξύλου είναι δηλωτική καλύτερων μηχανικών ιδιοτήτων. Αυτό είναι εύλογο καθώς αύξηση της πυκνότητας υποδηλώνει κύτταρα με παχύτερα τοιχώματα και λιγότερα διάκενα μεταξύ των κυττάρων. [5]

2.2. Υγροσκοπικότητα

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το ξύλο αποτελεί ένα υγροσκοπικό υλικό που ανταλλάσσει νερό με το περιβάλλον, ώσπου να φθάσει σε μία στάθμη ισορροπίας. Το περιεχόμενο νερό, εκτός από τις αναμενόμενες προφανείς ογκομετρικές μεταβολές και τις μεταβολές του βάρους, επηρεάζει σημαντικά όλες τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του ξύλου. Έτσι μία σωστή αναφορά ή χρήση των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου πρέπει να γίνεται σε αντιστοιχία με το ποσοστό της υγρασίας που αυτό περιέχει, ή που αναμένεται να περιέχει στην κατασκευή.

Σχετική υγρασία(%)	Θερμοκρασία (°C)								
	10	15	20	30	40	50	60	70	80
90	22	22	22	21	20	19	18	17	15.5
80	17	17	16.5	16	15	14.5	13.5	12.5	12
70	14	13.5	13	13	12	11.5	11	10	9
60	11.5	11	11	10.5	10	9.5	9	8	7.5
50	9.5	9.5	9.5	9	8.5	8	7.5	7	6
40	8	8	8	7.5	7	6.5	6	5.5	5
30	6	6	6	6	5.5	5	5	4.5	4
20	4.5	4.5	4.5	4	4	3.5	3	3	2.5
10	2.5	2.5	2.5	2.5	2	2	2	1.5	1.5

Πίνακας 1: Εσωτερική υγρασία σε σχέση με την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία περιβάλλοντος

Ανεξάρτητα από την υγρασία που περιέχει το ξύλο στο ζωντανό δέντρο (επομένως και αμέσως μετά την υλοτομία), η επαφή του με την ατμόσφαιρα έχει ως συνέπεια την απώλεια υγρασίας. Η ποσότητα που τελικά συγκρατεί εξαρτάται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες στις οποίες είναι εκτεθειμένο. Η υγρασία βρίσκεται στο ξύλο σε δύο μορφές: ως υγρό νερό στα κυτταρικά τοιχώματα και ως υγρό ή με μορφή υδρατμών στις κυτταρικές κοιλότητες. Σε κατάσταση κορεσμού δεν υπάρχουν υδρατμοί αλλά μόνο υγρό νερό.

Βασική αιτία εισόδου νερού στη μάζα ξηρού ξύλου είναι η έλξη μορίων νερού από υδροξύλια των χημικών δομικών συστατικών του, ιδίως της κυτταρίνης. Στην αρχή δημιουργείται μονομοριακό στρώμα νερού, που βαθμιαία γίνεται πολυμοριακό. Το μονομοριακό στρώμα συγκρατιέται από τα υδροξύλια με ισχυρούς δεσμούς υδρογόνου. Το πολυμοριακό στρώμα εισέρχεται και συγκρατιέται με τη δράση δευτερευουσών ελκτικών δυνάμεων. Η είσοδος νερού προκαλεί απώθηση κρυσταλλιτών και μικροϊνιδίων με συνέπεια την έναρξη διογκώσεως του ξύλου. Συμπληρωματικά, νερό μπορεί να προσληφθεί με τριχοειδή συμπύκνωση σε κενά που υπάρχουν στο κυτταρικό τοίχωμα, ανοίγματα μεμβρανών βοθρίων και μικρά στόμια βοθρίων που όλα δρουν ως τριχοειδή. Μετά τον κορεσμό των τοιχωμάτων, υγρό νερό μπορεί και να εισέλθει και στις κυτταρικές κοιλότητες. [6]

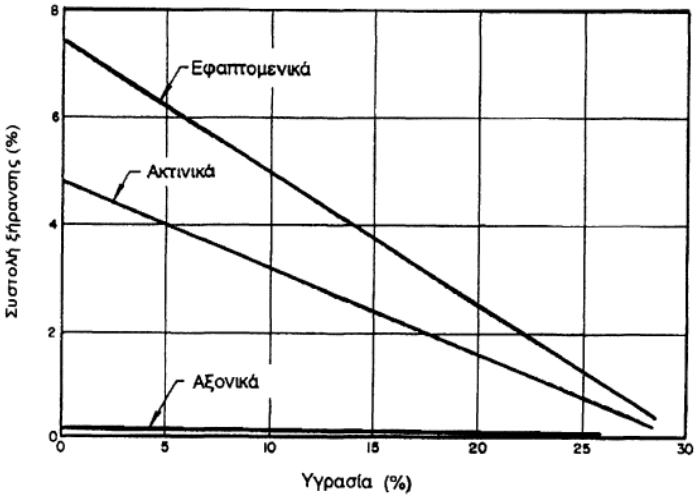
Από την παραπάνω βασική ανάλυση του μηχανισμού συγκράτησης της υγρασίας προκείπτουν δύο πολύ βασικά συμπεράσματα με άμεση σχέση μεταξύ τους. Αρχικά δύναται ο υπολογισμός ενός σημείου του ποσοστού της υγρασίας του ξύλου που θα αντιστοιχεί σε πλήρη κορεσμό των κυτταρικών τοιχωμάτων και κυτταρικές κοιλότητες εντελώς κενές. Αυτό το σημείο το ονομάζεται σημείο ινοκόρου και θεωρητικά κυμαίνεται γύρω στο 28%. Επίσης παρατηρείται ότι οποιαδήποτε μεταβολή υγρασίας κάτω από το σημείο αυτό επηρεάζει άμεσα την κυτταρική δομή του ξύλου επομένως περιμένουμε μεταβολή των διαστάσεών του. Πράγματι οι μεταβολές τις υγρασίας κάτω από το σημείο του ινοκόρου έχουν ως αποτέλεσμα την σχεδόν γραμμική μεταβολή των διαστάσεών του ενώ αντίθετα πάνω από αυτό οι παραπάνω μεταβολές είναι αμελητέες και συντελούν πρακτικά μόνο στην αύξηση του βάρους.

Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι το φαινόμενο αποβολής-πρόσληψης νερού από το ξύλο παρουσιάζει μία υστέρηση. Για την ίδια σχετική υγρασία περιβάλλοντος, το ποσοστό υγρασίας του είναι υψηλότερο κατά την διάρκεια της αποβολής νερού κατά την πρώτη ξήρανση του ξύλου απ΄ ότι για τις επόμενες ξηράνσεις οι οποίες, με την σειρά τους σημειώνουν υψηλότερα ποσοστά υγρασίας από τις προσλήψεις νερού. Δηλαδή το ξύλο μετά την πρώτη ξήρανση φτάνει δυσκολότερα (υπό υψηλότερη σχετική υγρασία περιβάλλοντος) το ποσοστό υγρασίας που είχε αρχικά.

2.3. Ρίκνωση και Διόγκωση λόγω μεταβολής υγρασίας

Το ξύλο είναι ανισότροπο υλικό από άποψη ρίκνωσης και διόγκωσης, δηλαδή οι μεταβολές των διαστάσεών του, για την ίδια μεταβολή υγρασίας, διαφέρουν σε διαφορετικές αυξητικές διευθύνσεις. (Διάγραμμα 1) Συγκεκριμένα, η αυξομείωση είναι ελάχιστη στην αξονική διεύθυνση, πολύ μεγαλύτερη ακτινικά και σχεδόν διπλάσια της ακτινικής στην εφαπτομενική διεύθυνση. Ως αποτέλεσμα της ανομοιο-

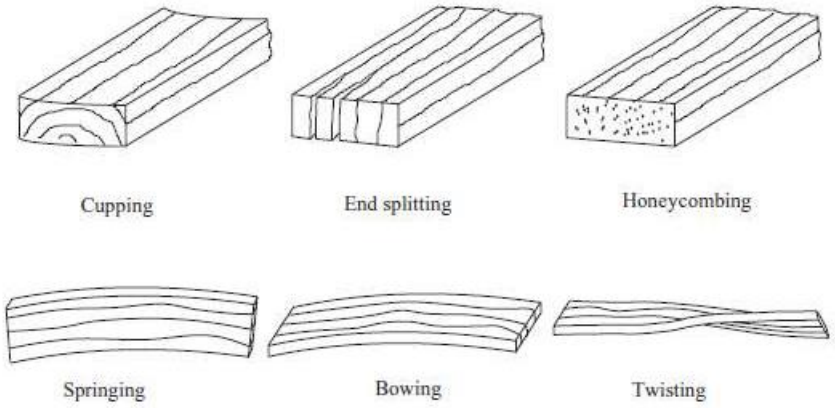
μορφίας στην κατανομή των παραμορφώσεων, λόγω του παραπάνω φαινομένου αλλά και λόγω ενδεχόμενης ανομοιόμορφης κατανομής της υγρασίας στο εσωτερικό του ξύλου, εμφανίζεται στρέβλωση επιφανειών και διατομών του ξύλου, ακόμη και διαμήκεις και εγκάρσιες ρωγμές. (Εικόνα 4) Όπως είναι προφανές η παραμορφωσιμότητα του ξύλου μπορεί να γίνει σοβαρό εμπόδιο στην αξιοποίηση του ξύλου γιατί υποβαθμίζει την ποιότητα κατασκευών και προϊόντων του. Για παράδειγμα ένα σκεβρωμένο ξύλο εμφανίζει προβλήματα εφαρμογής, ένα δομικό στοιχείο με υψηλή παραμόρφωση μπορεί να προκαλέσει ρηγματώσεις στις συνδέσεις.



Διάγραμμα 1: Συστολή ξήρανσης στις τρεις διευθύνσεις του ξύλου

Προκύπτει επομένως ότι η υγροσκοπικότητα του ξύλου αποτελεί το σημαντικότερο ελάττωμα του ως δομικό υλικό, για το οποίο έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι αντιμετώπισης, όπως μηχανική μεταποίηση του ξύλου, κάλυψη της επιφάνειάς του, διατήρηση σε κατάσταση διογκώσεως και ελάττωση της υγροσκοπικότητας.

Όμως αυτές οι μέθοδοι είναι ήτε εργαστηριακές ήτε ιδιαίτερα δαπανηρές, εκτός της εξωτερικής επικάλυψης που προσφέρει περιορισμένη προστασία η οποία φθίνει με τον χρόνο και της μεταποίησης του ξύλου με παραγωγή αντικολλητών, μοριόπλακων (particle boards) κλπ. Έτσι, η απλούστερη μέθοδος χειρισμού του ξύλου είναι η ξήρανσή του, με την οποία επιδιώκεται ρύθμιση της υγρασίας του σε επίπεδο παραπλήσιο του μέσου όρου της υγρασίας που αναμένεται να συγκρατεί στον χώρο χρησιμοποιήσεως του, ελαχιστοποιώντας έτσι την διακύμανση υγρασίας. Όμως η ξήρανση θα πρέπει να τελείται με μεγάλη επιμέλεια καθώς όπως είδαμε υψηλός ρυθμός θα προκαλέσει αστοχίες.[7]



Εικόνα 4: Διάφορες παραμορφώσεις ξύλου λόγο απότομης ξήρανσης

3. Θερμικές Ιδιότητες
   3.1. Συστολή και Διαστολή

Όπως συμβαίνει και σε άλλα υλικά, όταν το ξύλο ψύχεται οι διαστάσεις του ελαττώνονται (συστολή) και αντίστροφα όταν θερμαίνεται οι διαστάσεις του αυξάνονται (διαστολή). Οι θερμικές συστολοδιαστολές του ξύλου δεν έχουν σημαντική πρακτική σημασία, καθώς είναι πολύ μικρές σε σχέση με εκείνες τις οποίες συνεπάγονται οι σύγχρονες μεταβολές του ποσοστού υγρασίας, δηλαδή η ταυτόχρονη ρίκνωση ή διόγκωση που προκαλείται εξουδετερώνει ουσιαστικά τις αντίστοιχες διαστολές ή συστολές. Μάλιστα γίνεται, με την μεταβολή της θερμοκρασίας να έχουμε ρίκνωση ή διόγκωση μεγαλύτερη από την αντίστοιχη διαστολή ή συστολή με αποτέλεσμα το ξύλο να συμπεριφέρεται αντίθετα από το αναμενόμενο. Ο συντελεστής θερμικής διαστολής κάθε ξύλου διαφέρει κι αυτός στις διάφορες διευθύνσεις, με την μικρότερη τιμή στην αξονική διεύθυνση (3-4,5x10^{-6} ^{o}C). Συγκριτικά αναφέρουμε ότι ο συντελεστής θερμικής διαστολής της συνήθους δομικής ξυλείας έχει περίπου μισή τιμή του αντίστοιχου συντελεστή του σκυροδέματος και του χάλυβα (11-12x10^{-6} ^{o}C). [8]

3.2. Θερμοαγωγιμότητα

Η θερμοαγωγιμότητα είναι έννοια αντίστροφη από την θερμομονωτική αξία του υλικού. Το ξύλο έχει μικρή θερμοαγωγιμότητα λόγω της πορόδους δομής του. Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας «λ» του ξύλου είναι περίπου διπλάσιος στην αξονική διεύθυνση από ότι στις εγκάρσιες (ακτινική και εφαπτομενική). Αυτό οφείλεται στην ευκολότερη πορεία της θερμότητας μέσα από τα πυκνότερα, άρα θερμικώς αγωγιμότερα, «καλαμάκια ινών», ενώ στις εγκάρσιες διευθύνσεις συναντά τις θερμικώς λιγότερο αγώγιμες ουσίες που γεμίζουν τον μεσοκυτταρικό χώρο.

Η διαφοροποίηση του «λ» ανάλογα με τη διεύθυνση των ινών είναι ευνοϊκή για τις συνήθεις περιπτώσεις διατάξεως των φέροντων δομικών στοιχείων και των επικαλύψεων, με τις ίνες τους κάθετες προς τη διεύθυνση διάδοσης της θερμότητας. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι ο «λ» εξαρτάται από τη θερμοκρασία, μείωνεται μάλιστα όσο αυτή αυξάνεται, δηλαδή το ξύλο είναι περισσότερο θερμομονωτικό σε χαμηλές θερμοκρασίες (τον χειμώνα). [9]

3.3. Ειδική Θερμότητα

Από την επιστήμη της Φυσικής είναι γνωστή η σχέση που συνδέει την προσφερόμενη σ΄ένα σώμα θερμότητα με την συνεπαγόμενη αύξηση της θερμοκρασίας αυτού: $dQ=c*m*d\Theta$ όπου dQ: το προσφερόμενο ποσό θερμότητας, c: η ειδική θερμότητα, σταθερά εξαρτώμενη από το υλικό, m: μάζα και $d\Theta$: η μεταβολή της θερμοκρασίας του σώματος. Σαν ειδική θερμότητα του σώματος ορίζεται το ποσό της θερμότητας που χρειάζεται για να αυξηθεί η θερμοκρασία μονάδας της μάζας του υλικού κατά 1°C. Μετριέται σε J/(kgK). Αυτή η σταθερά είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς ουσιαστικά εκφράζει το πόσο εύκολα αναφλέγεται ένα υλικό.

Η ειδική θερμότητα του ξύλου είναι μεγαλύτερη από άλλα συνηθισμένα δομικά υλικά πράγμα το οποίο σημαίνει ότι απαιτείται μεγαλύτερο ποσό θερμότητας για την αύξηση της θερμοκρασίας του. Αυτή δεν επηρεάζεται σημαντικά από το είδος και την πυκνότητα αλλά αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία και η υγρασία του. Παρατίθεται ενδεικτικά συγκριτικός πίνακας (πίνακας 2) με την θερμοαγωγιμότητα και την ειδική θερμότητα διαφόρων δομικών υλικών.

Πίνακας 2: Ειδική θερμότητα και θερμοαγωγιμότητα διαφόρων δομικών υλικών. Πηγή: Τεχνική Οδηγία ΤΕΕ 20701-2/2010

Υλικά	Ειδική Θερμότητα (J/(kgK))	Θερμοαγωγιμότητα (W/(mK))
Αλουμίνιο	880	160
Χάλυβας	450	50

Σκυρόδεμα οπλισμένο	1000	2.3
Πλίνθοι κοινοί	1000	0.51
Ξύλο (κωνοφόρα)	1600	0.14
Μοριοσανίδες	1700	0.14

3.4. Συμπεριφορά του Ξύλου σε πυρκαγιά

Το ξύλο κατατάσσεται στα καιόμενα υλικά. Αυτή του η ιδιότητα έχει προκαλέσει την αμφισβήτηση κατά καιρούς της ικανότητας αντοχής του σε πυρκαγιά. Όμως πειραματικές μετρήσεις καθώς και πραγματικά γεγονότα καταδεικνύουν το αντίθετο, δηλαδή ότι η συμπεριφορά του ξύλου σε καύση είναι εξαιρετική, γεγονός το οποίο επαληθεύεται και από τις ιδιότητες της θερμοαγωγιμότητας και της ειδικής θερμότητας που περιγράφησαν παραπάνω. Θα εξετάσουμε αρχικά την πορεία της καύσης σε ένα δοκίμιο ξύλου.

- Θ<=100 ^oC

Σε αυτήν την περιοχή γίνεται εξάτμιση της περιεχόμενης υγρασίας, η οποία προσωρινά καθυστερεί την άνοδο της θερμοκρασίας.

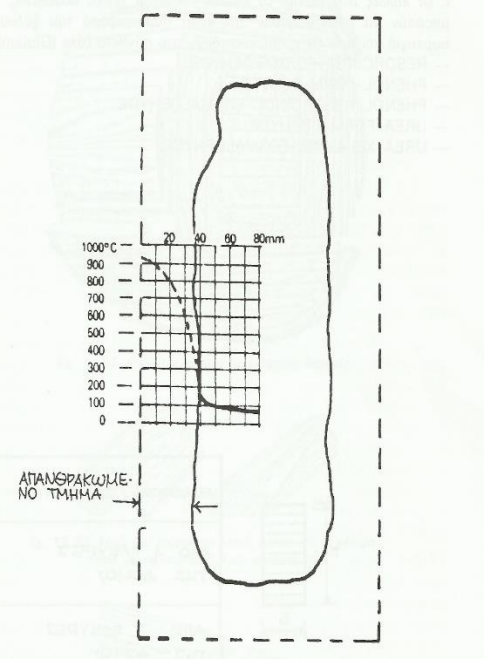
- 100 ^oC <Θ<=300 ^oC

Εδώ ξεκινούν οι χημικές αλλαγές του υλικού. Σε θερμοκρασία 150 με 200 ^oC παρατηρείται μαύρισμα του ξύλου και εκλύονται άφλεκτο CO_2 σε ποσοστό 70% και εύφλεκτο CO σε ποσοστό 30%. Σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 200 ^oC αυξάνεται το ποσοστό έκλυσης εύφλεκτων αερίων που με την ανάφλεξή τους αυξάνεται η θερμοκρασία των επιφανειών του ξύλου. Μεταξύ 275 μέχρι 300 ^oC απανθρακώνονται οι εκτεθειμένες επιφάνειες με ταυτόχρονη έκλυση CO και μεθανίου τα οποία με την καύση τους δημιουργούν φλόγα.

- >>300 ^oC

Με την εξάντληση της φλόγας ξεκινά η ανάφλεξη του άνθρακα γύρω στους 500 ^oC. Μέχρι αυτή την θερμοκρασία ο άνθρακας είχε παραμείνει ανέπαφος προστατεύοντας το ξύλο που κάλυπτε καθώς η θερμοαγωγιμότητα του είναι περίπου 1/6 από εκείνης του ξύλου.[10,11,12]

Επιβάλλεται τώρα να γίνουν κάποιες σημαντικές παρατηρήσεις επάνω στην διαδικασία της καύσης που μόλις περιεγράφηκε. Καθώς φαίνεται και από τις θερμικές ιδιότητες η ταχύτητα ανάφλεξης και απανθρακώσεως του ξύλου είναι σχετικά αργές. Μάλιστα όσο μεγαλώνει η πυκνότητα τόσο αυτές μειώνονται. Συγκεκριμένα η ταχύτητα απανθρακώσεως έχει προσδιορισθεί κατά μέσο όρο στα 0,6 mm/min. Ο προσδιορισμός αυτός δίνει σημαντικά πλεονεκτήματα στον αντιπυρικό σχεδιασμό μιας κατασκευής καθώς μπορεί να υπολογιστεί με μικρές αποκλίσεις το πάχος της απανθράκωσης



Εικόνα 5: Θερμοκρασίες καιόμενης διατομής

σε μια τυπική πυρκαγιά και να αυξηθεί αναλόγως την διατομή των δομικών στοιχείων ώστε όχι μόνο να μην επέλθει αστοχία αλλά με την κατάλληλη επεξεργασία (τρίψιμο, βερνίκωμα) μετά την σβέση να είναι πλήρως ασφαλής. Συγκριτικά οι παραπάνω υπολογισμοί στο σκυρόδεμα και στον χάλυβα είναι αδύνατοι και η αποκατάσταση τους δύσκολη ώς αδύνατη και πολύ δαπανηρή.

Επίσης παρατηρείται πως η απανθράκωση ξεκινά σε θερμοκρασία περίπου 500 ^{o}C από εξωτερικά της διατομής προς το εσωτερικό και σε αυτό το σημείο το ξύλο ξεκινά και χάνει τις μηχανικές του ιδιότητες με εξαιρετικά βραδύ ρυθμό. Εν αντιθέση ο χάλυβας και το σκυρόδεμα έχουν απότομη πτώση των αντοχών τους κατά 50% σε αυτή την θερμοκρασία με αποτέλεσμα να έχουμε ξαφνική κατάρρευση της κατασκευής. Από πειραματικά δεδομένα βλέπουμε ότι η παραπάνω αστοχία τελείται σε χρονική διάρκεια περίπου 5 λεπτών από την έναρξη της πυρκαγιάς, καθώς η θερμότητα στα μέταλλα μεταφέρεται ακαριαία σε όλη τους την μάζα ενώ σύνθετη ξυλεία μεγάλης διατομής έχει διατηρήσει περίπου 80% των αρχικών της αντοχών μετά από 30 λεπτά. [13]

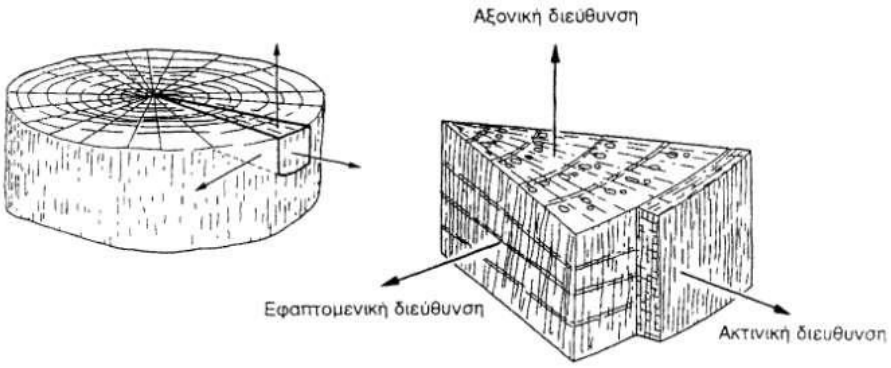
Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι ιδιαίτερη προσοχή κατά τον αντιπυρικό σχεδιασμό πρέπει να δίνεται στις μεταλλικές συνδέσεις καθώς όχι μόνο είναι πολύ ποιο ευάλωτες στην πυρκαγιά από το ξύλο αλλά μεταφέρουν την θερμότητα στο εσωτερικό των διατομών του.

4. Ακουστικές Ιδιότητες

Η ηχομονωτική ικανότητα του ξύλου μετριέται με τον συντελεστή απορροφήσεως, που εκφράζει το ποσοστό % της προσπίπτουσας ηχητικής ενέργειας που απορροφάται. Το ξύλο πλεονεκτεί γενικά από άλλα υλικά, όπως σκυρόδεμα η τούβλα αλλά έχει σχετικά μικρό συντελεστή απορροφήσεως. Αυτός επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως η υγρασία, ελαστικότητα, θερμοκρασία, ένταση και συχνότητα του ήχου. Η ηχομονωτική ικανότητα του ξύλου μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά (μέχρι 90%) σε ξύλινες κατασκευές όπως τοίχους ή διαχωρίσματα προκατασκευασμένων σπιτιών με τη δημιουργία κενών χώρων ανάμεσα σε παράλληλες επιφάνειες.

5. Μηχανικές Ιδιότητες

Βασικό χαρακτηριστικό του ξύλου ως προς την μηχανική του αντοχή είναι ότι αποτελεί ανισότροπο υλικό δηλαδή παρουσιάζει διαφορετικές ιδιότητες σε διάφορες διευθύνσεις. Συγκεκριμένα τρείς είναι οι διευθύνσεις (ορθότροπο) όπου μελετώνται οι μηχανικές ιδιότητές του: η αξονική (παράλληλα στον άξονα του κορμού), η ακτινική και η εφαπτομενική. (Εικόνα 6)



Εικόνα 6: Οι τρεις διευθύνσεις του ξύλου

Για την μεγαλύτερη κατανόηση των ικανοτήτων του στις παραπάνω φορτίσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα απλοποιημένο προσομοίωμα της

δομής του υλικού παρουσιάζοντάς το ως ένα δεμάτι καλαμάκια, τα οποία παριστάνουν τα σωληνωτά κύτταρα του ξύλου. Η εξέταση αυτού του προσομοιώματος δίνει ποιοτικές ερμηνείες για την διαμόρφωση των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου.

Σε εφελκυσμό η αντοχή του δεματίου είναι μεγάλη. Αντίστοιχα σε θλίψη, ένα καλαμάκι που λυγίζει παρασύρει σχετικά εύκολα και τα γειτονικά του με αποτέλεσμα η φόρτιση να κατανέμεται και να παρουσιάζεται εξίσου σημαντική αντοχή παράλληλα προς τα καλαμάκια (ίνες του ξύλου). Όμως σε κάθετες προς τα καλαμάκια φορτίσεις αυτά συνθλίβονται και αποχωρίζονται εύκολα και αυτό εξηγεί την μειωμένη εφελκυστική και θλιπτική αντοχή του ξύλου σε υπό γωνία ασκούμενα φορτία ως προς την διεύθυνση των ινών του. Όμως η ευκολία με την οποία θραύονται τα καλαμάκια (ίνες) τοπικά επιτρέπει το βίδωμα και το κάρφωμα χωρίς σκισίματα του ξύλου και γενικά το καθιστά εξαιρετικά ανθεκτικό στις συγκεντρώσεις τάσεων. [14]

5.1. Εφελκυστική και θλιπτική αντοχή παράλληλα στις ίνες

Τα σωληνωτά κύτταρα του ξύλου εμφανίζουν εξαιρετική αντοχή σε εφελκυσμό (200-1300 MPa). Η αντίστοιχη αντοχή του ξύλου είναι αισθητά μικρότερη (50-160 MPa). Αυτό οφείλεται σε διάφορες ατέλειες στην δομή του ξύλου, όπως απόκλιση ινών από την παραλληλότητα με τον άξονα του κορμού του δένδρου, εμφάνιση ασυνεχειών της δομής (ρόζοι) αλλά και ουσίες που παρεμβάλλονται μεταξύ των κυττάρων όπως ημικυτταρίνες, λιγνίνη και εκχυλίσματα. Επίσης έχει βρεθεί ότι και το μήκος των κυττάρων σχετίζεται με την αντοχή του ξύλου σε μονοαξονικό εφελκυσμό. Συγκεκριμένα τα μακρόινα ξύλα (γενικά ξύλα κωνοφόρων σε σύγκριση με πλατύφυλλα) έχουν μεγαλύτερη αντοχή.

Η αντοχή του ξύλου σε θλίψη κυμαίνεται μεταξύ 30-100 MPa. Παρατηρούμαι ότι αυτή η αντοχή είναι μικρότερη της εφελκυστικής. Αυτό συμβαίνει γιατί για την θλιπτική αντοχή του ξύλου συνεισφέρουν η λιγνίνη και οι ημικυτταρίνες, ενώ για την εφελκυστική αντοχή οι αλυσίδες μορίων κυτταρίνης. Η αστοχία του ξύλου σε αξονική θλίψη προέρχεται από την θραύση των μεσοκυττάριων στρώσεων (λιγνίνης) τη διατμητική ολίσθηση και αποκόλληση και τέλος των λυγισμό των κυτταρικών ινών. Όταν αστοχεί το ξύλο σε θλίψη παρατηρούνται στην πλαϊνή επιφάνεια του ξύλου ρυτίδες υπό γωνία 45° μοιρών περίπου με τον άξονα του δένδρου και οφείλονται στην αστοχία των ινών.

Γενικά με την εισαγωγή των κανονισμών και την διαβάθμιση της δομικής ξυλείας σε κατηγορίες αντοχών είναι εύκολη η αντιστοίχησή τους με άλλα δομικά υλικά. Εκεί όμως που το ξύλο υπερτερεί είναι στην σχέση πυκνότητας-αντοχής. Δηλαδή συγκριτικά με όλα τα δομικά υλικά πλην κάποιων πολυμερών δίνει μεγαλύτερες μηχανικές αντοχές με μικρότερο βάρος, χαρακτηριστικό όμως όχι τόσο σημαντικό για μικρές κατασκευές (μικρές κατοικίες).

5.2. Εφελκυστική και θλιπτική αντοχή κάθετα προς τις ίνες

Όπως αναφέρθηκε στην αρχή της παραγράφου το ξύλο αποτελεί ορθότροπο υλικό επομένως θα πρέπει να εξετάζονται οι μηχανικές του ιδιότητες σε τρεις διευθύνσεις. Όμως οι πειραματικές μετρήσεις έχουν δείξει πως οι αντοχές του ξύλου είναι παρόμοιες στην ακτινική και εφαπτομενική διεύθυνση επομένως γίνεται προσεγγιστικά αναφορά σε ιδιότητες καθέτως στις ίνες.

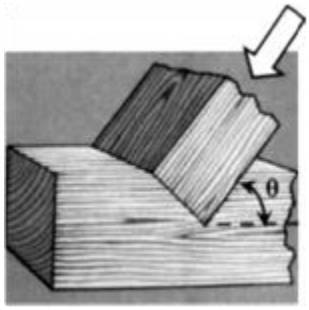
Η εφελκυστική αντοχή καθέτως στις ίνες του ξύλου εξαρτάται από την αντοχή της συγκολλητικής ύλης μεταξύ των κυττάρων και είναι ως και 50 φορές μικρότερη από την αντίστοιχη παράλληλα προς τις

ίνες. Επίσης τυχόν σχισμές λόγο ρικνώσεως κατά την ξήρανση μπορούν πρακτικά να μηδενίσουν τις ίδη μικρές αντοχές. Επομένως κατά τον σχεδιασμό ξύλινων κατασκευών θα πρέπει να αποφεύγονται οπωσδήποτε τέτοιες φορτίσεις σε μέλη της κατασκευής. [15]

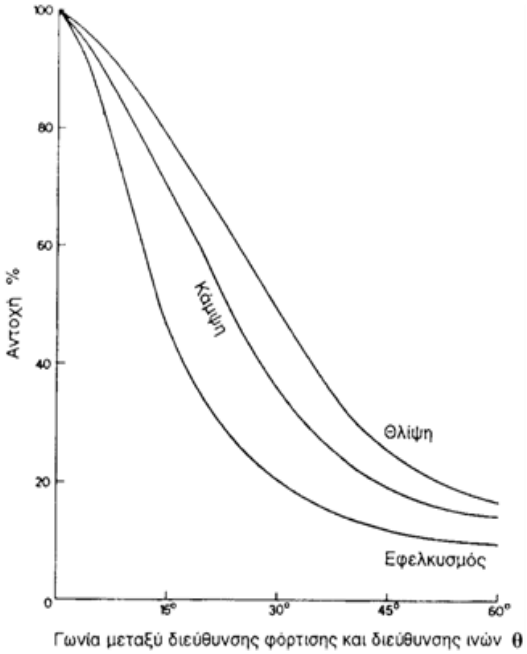
Η θλίψη καθέτως στις ίνες προκαλεί παραμόρφωση της διατομής των σωληνίσκων των κυττάρων και, γενικώς συρρίκνωση των κοιλοτήτων και των διάκενων των κυττάρων. Οι παραμορφώσεις αυτές δεν αναπτύσσονται ομοιόμορφα στη φορτιζόμενη μάζα του ξύλου, αλλά ξεκινούν από τις άμεσα φορτιζόμενες στιβάδες και διαδίδονται με την εξέλιξη της φορτίσεως. Μια δοκιμή θλίψης κάθετα προς τις ίνες συνεχίζεται με σταθερό φορτίο και συνεχή αύξηση των παραμορφώσεων με το δοκίμιο διαλυμένο να προσπαθεί να γίνει χαρτί. Η συμπεριφορά αυτή εκφράζεται βέλτιστα από το διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων του ξύλου σε θλίψη. Παρατηρείται αύξηση του φορτίου στο τέλος της καμπύλης καθώς οι ίνες του ξύλου έχουν συμπιεστεί και έχουν εξαλειφθεί πλήρως τα διάκενα μεταξύ τους. Επιβεβαιώνονται όσα προαναφέρθηκαν για την συμπεριφορά του ξύλου στην εικόνα 7. Στην περίπτωση γ παρατηρείται πως οι παραμορφώσεις μέχρι την αστοχία είναι ελάχιστες. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η β καθώς διακρίνονται οι αυξητικοί δακτύλιοι να έχουν αποκολληθεί υπό την θλίψη. Τέλος στην α περίπτωση φαίνεται η μεγάλη παραμόρφωση που έχει η υποστεί το δοκίμιο. Επίσης είναι ξεκάθαρο το φαινόμενο Poisson.

Εικόνα 7: Δοκίμια ξύλου από θλιπτική καταπόνηση. Από αριστερά α) ακτινική, β) εφαπτωμενική, γ) αξονική

Για θλίψη υπό γωνία προς τις ίνες, η αντοχή του ξύλου αυξάνεται με τη γωνία επιβολής της θλίψης, από την τιμή της θλιπτικής αντοχής καθέτως προς τις ίνες, έως την τιμή της θλιπτικής αντοχής παραλλήλως προς τις ίνες.



Εικόνα 8: Γωνία ϑ μεταξύ διεύθυνσης φόρτισης και ινών



Διάγραμμα 2: % της μέγιστης αντοχής του ξύλου σε σχέση με την γωνία ϑ μεταξύ διεύθυνσης φόρτισης και ινών

5.3. Αντοχή σε κάμψη

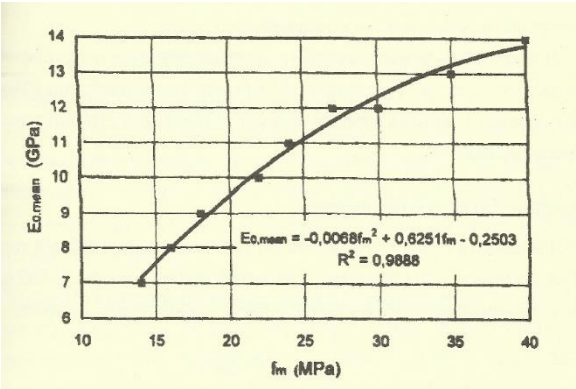
Η αντοχή του ξύλου σε κάμψη καθορίζεται βασικώς από την αντοχή των εφελκυόμενων ινών του, καθώς εμφανίζεται μια πλαστικοποίηση της θλιβομένης ζώνης της καμπτόμενης διατομής, με αύξηση του πάχους ινών οι οποίες φθάνουν τη μέγιστη τάση τους. Με την πλαστικοποίηση και τις τοπικές αστοχίες των θλιβόμενων ινών, η μέγιστη τάση στη θλιβόμενη ζώνη μένει σταθερή, ενώ μεγαλώνουν οι ε-

Εικόνα 9: Αστοχία δοκιμίου ξύλου D40 σε κάμψη τεσσάρων σημείων

φελκυστικές τάσεις, έναντι των οποίων το ξύλο εμφανίζει και μεγαλύτερη αντοχή. Στην εικόνα απεικονίζεται δοκίμιο ξύλου κατηγορίας D40 το οποίο υποβλήθηκε σε κάμψη τεσσάρων σημείων μέχρι την αστοχία του. Παρατηρείται στο εφελκυόμενο (άνω τμήμα στην εικόνα) η αστοχία των ινών οι οποίες έχουν σχιστεί στην επιφάνεια με την μεγίστη εφελκυστική τάση.

5.4. Μέτρο ελαστικότητας

Το μέτρο ελαστικότητας του ξύλου παρουσιάζει και αυτό ορθοτροπία. Όμως προσεγγιστικά για την εφαπτομενική και την ακτινική διεύθυνση λόγο μικρής απόκλισης λαμβάνεται η ίδια τιμή, η οποία ορίζεται ως το μέτρο ελαστικότητας κάθετα στην αξονική διεύθυνση. Το μέτρο ελαστικότητας στην αξονική διεύθυνση έχει άμεσο συσχετισμό με την αντοχή του ξύλου σε κάμψη. (διάγραμμα) Κυμαίνεται από 7 GPa (C14) εώς 20 GPa (D70).



Διάγραμμα 3: Σχέση μεταξύ μέτρου ελαστικότητας και καμπτικής αντοχής, κατά EN338

5.5. Αντοχή σε κρουστικά φορτία

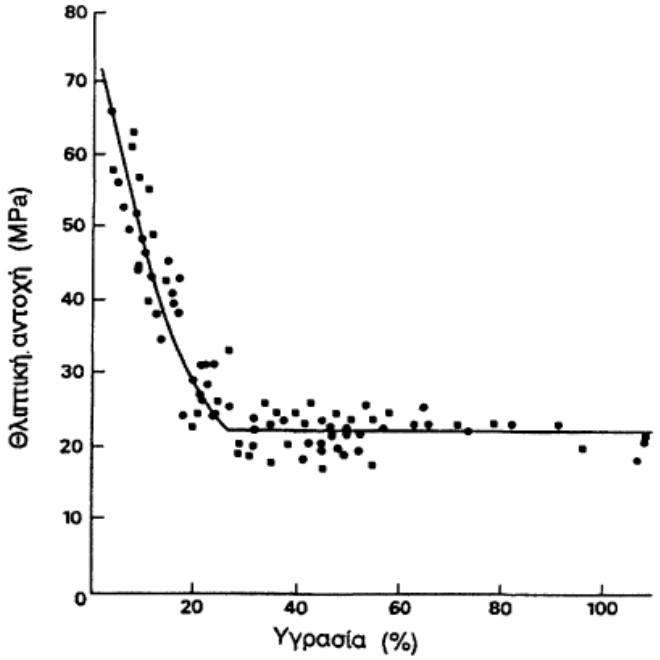
Η αντοχή σε κρούση αναφέρεται σε απότομη (δυναμική) φόρτιση, σε αντίθεση με τις προηγούμενες περιπτώσεις όπου δρούσαν στατικά φορτία. Το ξύλο εμφανίζει γενικώς υψηλή αντοχή σε κρουστικά φορτία κυμαινόμενη σε μεγάλο εύρος ανάλογα με το είδος του ξύλου, η οποία είναι συνήθως μεγαλύτερη από την αντίστοιχη τιμή της σε στατική φόρτιση. Αυτή του η αντοχή έχει ιδιαίτερη σημασία για ορισμένες περιοχές των ξύλινων κατασκευών, όπως οι περιοχές των συνδέσεων όπου υφίστανται κρουστική καταπόνηση κατά την διάρκεια ενός σεισμού.

5.6. Φαινόμενο Κλίμακας

Το ξύλο, όπως και το σκυρόδεμα εμφανίζει το λεγόμενο φαινόμενο κλίμακας, δηλαδή παρατηρείται αύξηση της αντοχής με την μείωση του όγκου. Ποιοτικά το φαινόμενο εξηγείται ως εξής. Σε μικρότερο όγκο ξύλου υπάρχουν μικρότερες πιθανότητες ύπαρξης ατελειών, δηλαδή κομματιών μικρότερης αντοχής από τα οποία θα ξεκινήσει η αστοχία. Αυτό το φαινόμενο είναι σημαντικό και η αντιμετώπισή του προβλέπει από τους κανονισμούς απαιτούμενη αύξηση των αντοχών ανάλογα με το μήκος και την επιβαλλόμενη φόρτιση. [16]

5.7. Υγρασία και μηχανικές ιδιότητες

Η αύξηση του ποσοστού υγρασίας του ξύλου έχει ιδιαίτερα δυσμενείς επιπτώσεις στις μηχανικές του ιδιότητες (Διάγραμμα 3). Μέχρι το σημείο ινοκόρου εμφανίζεται μείωση των αντοχών του ενώ πάνω από αυτό ο ρόλος της υγρασίας είναι γενικά ασήμαντος. Το παραπάνω φαινόμενο φαντάζει λογικό καθώς όπως έχουμε ίδη αναφέρει αύξηση υγρασίας κάτω από το σημείο ινοκόρου σημαίνει σημαντική αύξηση των διαστασεών του ξύλου επομένως και μείωση της πυκνότητάς του. Η αύξηση της υγρασίας προκαλεί μείωση της θλιπτικής και εφελκυστικής αντοχής, του μέτρου ελαστικότητας και διατμήσεως και αύξηση των ερπυστικών παραμορφώσεων. Η τελευταία αποτελεί την ποιο σημαντική επίδραση της υγρασίας στις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου. Στο διπλανό δίαγραμμα παριστάνεται γραφικά η μείωση της θλιπτικής αντοχής σε σχέση με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας.



Διάγραμμα 4: Θλιπτική αντοχή συναρτήσει της περιεχόμενης υγρασίας

5.8. Ο ερπυσμός του ξύλου

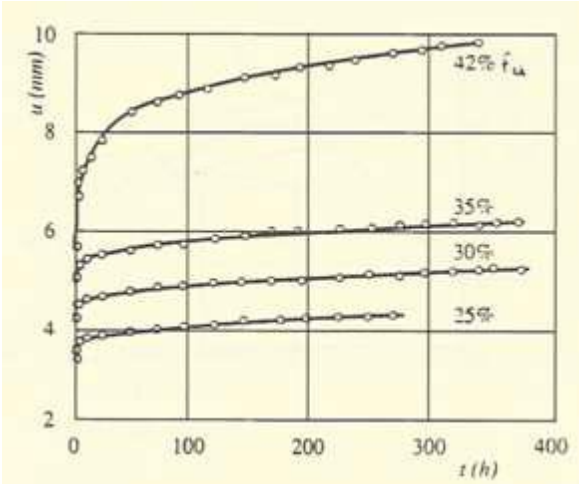
Το φαινόμενο του ερπυσμού είναι αρκετά έντονο στο ξύλο όπως και σε όλα σχεδόν τα πολυμερή υλικά. Δύναται να παρατηρηθεί σε ράφια βιβλιοθήκης, σε οριζόντιες δοκούς όπου φέρουν το βάρος στεγών καθώς υπό τα φορτία φαίνεται το ξύλο να κυρτώνει. Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τον ερπυσμό του ξύλου είναι οι εξής:

- Το ποσοστό υγρασίας του ξύλου
- Η διάρκεια φορτίσεως
- Η στάθμη φορτίσεως
- Η θερμοκρασία

Από τις παραπάνω παράγοντες οι ποιο σημαντικοί είναι οι δύο πρώτοι οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη και κατά τον σχεδιασμό.

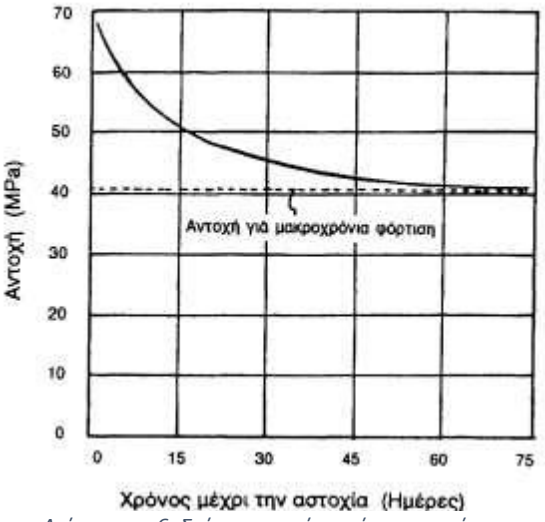
Τις επίδραση στον ερπυσμό έχει και η διεύθυνση φόρτισης σε σχέση με την διεύθυνση των ινών του ξύλου. Ο ερπυσμός είναι μικρότερος στην αξονική διεύθυνση και αυξάνεται καθώς αυξάνεται η γωνία επιβολής του φορτίου λαμβάνοντας την μέγιστη τιμή τις με το φορτίο κάθετα τις ίνες.

Στο ξύλο ο ερπυσμός προέρχεται από την απομάκρυνση του περιεχόμενου νερού υπό την πίεση επιβαλλόμενου φορτίου. Με την μείωση τις ποσότητας του νερού, το ποσοστό των τάσεων τις οποίες φέρει το νερό μειώνεται ενώ οι τάσεις οι οποίες αναλαμβάνονται από τον στερεό ιστό μεγαλώνουν με συνέπεια την αύξηση των παραμορφώσεων του ξύλου υπό σταθερό φορτίο στην διάρκεια του χρόνου. [17] Όμως στο ξύλο το φαινόμενο είναι γενικά ποιο πολύπλοκο καθώς με τις αυξομειώσεις της υγρασίας αντίστοιχα μεταβάλλονται και οι μηχανικές του ιδιότητες. Γενικά παρατειρείται ότι για σταθερή υγρασία ο ερπυσμός παραμένει σταθερός καθ΄ όλη την διάρκεια της φόρτισης. Αντίθετα τα αποτελέσματα δείχνουν πως όταν το ξύλο υπόκειται σε κύκλους ύγρανσης-ξήρανσης οι ερπυστικές παραμορφώσεις είναι πολύ μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες για σταθερή υγρασία, γεγονός που οφείλεται στην χαλάρωση της συνοχής μεταξύ των κυτταρικών ινών. Επίσης ο ερπυσμός αυξάνεται όταν αυξάνεται η υγρασία γεγονός που αποδίδεται στην μείωση των μηχανικών του αντοχών. Τέλος ο ερπυσμός μεγαλώνει όσο μεγαλώνει και η στάθμη φορτίσεως. Γενικά η δομική ξυλεία σχεδιάζεται να φέρει φορτίο που αντιστοιχεί περίπου στο 35% των αντοχών της. Σε αυτή την φόρτιση ο ερπυσμός παραμένει σταθερός. Στο διάγραμμα 4 που παρατίθεται βλέπουμε την σχέση μεταξύ ερπυσμού και στάθμης φορτίσεως. Αξίζει να παρατηρήσουμε πως για φόρτιση μεγαλύτερη του 35% της συνολικής του αντοχής το ξύλο όχι μόνο εμφανίζει αισθητά μεγαλύτερο ερπυσμό αλλά και το φαινόμενο αυτό αυξάνεται με την πρόοδο του χρόνου.



Διάγραμμα 5: Ερπυσμός σε σχέση με το ποσοστό % της συνολικής αντοχής

Τέλος η αντοχή συναρτήση της διάρκειας φορτίσεως παρίσταται διαγραμματικά και όπως φαίνεται μειώνεται με τον χρόνο. (Διάγραμμα 5)



Διάγραμμα 6: Σχέση αντοχών-χρόνου φορτίσεως

5.9. Επαναλαμβανόμενη φόρτιση

Η συμπεριφορά του ξύλου στην επαναλαμβανόμενη φόρτιση είναι γενικά πολύ καλή. Πειράματα κόπωσης με μέγιστη τάση στο 50% περίπου της αντοχής σε βραχυχρόνια φόρτιση έχουν δείξει πως το ξύλο μπορεί να υποστεί αρκετά εκατομμύρια κύκλους φόρτισης-αποφόρτισης-επαναφόρτισης χωρίς να μειωθεί η αντοχή του. Βασικό χαρακτηριστικό της ανακλυζόμενης φόρτισης του ξύλου είναι ο ερπυσμός που παρουσιάζει λόγο της μέσης τάσης που του ασκείται. Οι ερπυστικές αυτές παραμορφώσεις αυξάνονται όσο αυξάνεται η μέση τάση και ο χρόνος φόρτισης με αποτέλεσμα το υλικό να βρεθεί στο τελικό στάδιο ερπυσμού. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι σημαντικά μειώνονται οι αντοχές του ξύλου σε επαναλαμβανόμενη φόρτιση από ύπαρξη ατελειών στην δομή του ξύλου(ρόζοι) οι οποίες αποτελούν πηγές αστοχίας.

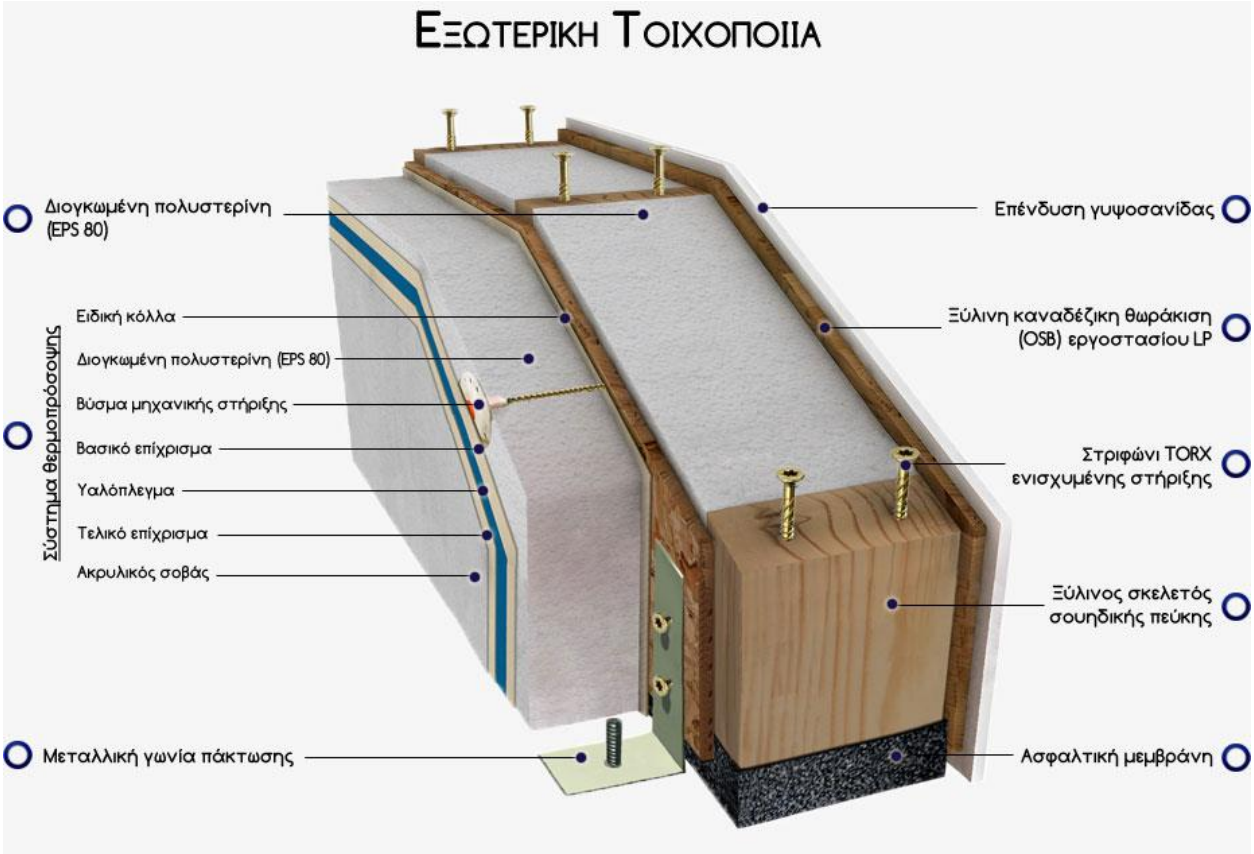
Μέρος δεύτερο: Παρουσίαση τοιχοποιίας Κοφινάς

6. Η δομική ξυλεία στην σύγχρονη εποχή

Στην Αμερική το 2005 η παραγωγή δομικής ξυλείας ξεπέρασε τα 16 δισεκατομμύρια μέτρα σανίδων, σύμφωνα με το αμερικάνικο υπουργείο γεωργίας. Περίπου μισή από αυτήν την ποσότητα χρησιμοποιήθηκε για την ανέγερση 2 εκατομμυρίων νέων κατοικιών και περίπου 7 δισεκατομμύρια χρησιμοποιήθηκαν για επισκευές. Παρόλο που σήμερα η παραγωγή έχει μειωθεί κατά 55% στην Αμερική, η οποία αποτελεί την μεγαλύτερη ξυλοπαραγωγό χώρα του κόσμου, από το 2005 τα παραπάνω νούμερα μας δίνουν μία σημαντική εικόνα για την ευρεία χρήση της ξυλείας στις μέρες μας. Μάλιστα με την αυξημένη ζήτηση αναπτύσσονται και νέες τεχνολογίες όχι μόνο στην συντήρηση και στην επεξεργασία του ξύλου αλλά σε νέα προϊόντα σύνθετης ξυλείας όπως είναι οι μοριοσανίδες (particle boards) που σκοπό έχουν να βελτιώσουν τα ελαττώματα του φυσικού ξύλου και τις εφαρμογές του.

7. Παρουσίαση Τοιχοποιίας

Η εταιρία Κοφινάς κατασκευάζει προκατασκευασμένη ξύλινη τοιχοποιία σε πάνελ. Η τομή ενός τοίχου παρουσιάζει τα υλικά που την αποτελούν. (Εικόνα 10)



Εικόνα 10: Τρισδιάστατη τομή εξωτερικής τοιχοποιίας Κοφινάς

i. Σουηδικό Πεύκο Κλάσης C24

Όπως παρατειρείται και από την κατάταξη της αυτή η ξυλεία είναι μαλακή με αντοχή με χαρακτηριστική αντοχή σε κάμψη 24 MPa. Αντίστοιχα από τον πίνακα 1 του πρότυπου EN 338 λαμβάνονται οι υπόλοιπες μηχανικές αντοχές του ξύλου, οι ποιο σημαντικές από τις οποίες είναι η αντοχή σε αξονικό εφελκυσμό και θλίψη που ανέρχονται σε 13 MPa και 20 MPa αντίστοιχα. Σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα του ξύλου είναι η διαδικασία της κατεργασίας του φυσικού κορμού. Σύμφωνα με τα πρότυπα της εταιρίας του προμηθευτή η παραπάνω ξυλεία είναι πριστή, δηλαδή ο αρχικός κορμός δεν έχει σχιστεί αλλά έχει κοπεί με μηχανικό τρόπο εξασφαλίζοντας τυποποίηση διαστάσεων. Επίσης ξηραίνεται σε φούρνο ώστε να έρθει σε επίπεδο υγρασίας επιθυμητό γύρω στο 15% κάτι το οποίο εξασφαλίζει την λιγότερη μεταβολή του ποσοστού υγρασίας κατά την διάρκεια κατασκευής. Ταυτόχρονα γίνεται απεντόμωση του ξύλου. Τέλος γίνεται λείανση αποθήκευση σε ελεγχόμενο περιβάλλον θερμοκρασίας και υγρασίας. Να σημειωθεί ότι όλη η παραπάνω διαδικασία είναι πιστοποιημένη και ελέγχεται.

ii. <u>OSB (Oriented Strand Board)</u>

Η ελληνική μετάφραση του ονόματος αυτού του τύπου μοριοσανίδας είναι πλάκες προσανατολισμένων ινών. Αυτή η ονομασία δικαιολογείται άμεσα από την διαδικασία κατασκευή τους. Πρόκειται για σύνθετες πλάκες από τεμαχίδια ξύλου μήκους 55-77 mm τα οποία τοποθετούνται σε τρία στρώματα. Στα εξωτερικά δύο στρώματα τα τεμαχίδια διατάσσονται σε ισόπαχες στρώσεις παράλληλα στο μήκος της πλάκας, ενώ στην μεσαία, που καλύπτει περίπου το 50% του όγκου της πλάκας διατάσσονται κάθετα στο μήκος της. Για την ένωση των τεμαχιδίων χρησιμοποιείται κάποια συγκολλητική ύλη η οποία κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας κάνει ένα σώμα τα παραπάνω στοιχεία. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το ξύλο είναι ορθότροπο υλικό. Με την μεταξύ τους κάθετη διάταξη των τεμαχιδίων το OSB στοχεύει στην μείωση της ανισοτροπίας με πολύ καλά αποτελέσματα όπως δείχνουν οι πειραματικές μετρήσεις. Σχετικά με τις άλλες ιδιότητες (θερμομόνωση, ηχομόνωση κτλπ.) είναι παρόμοιες με αυτές του φυσικού ξύλου εκτός της υγροσκοπικότητας που εμφανίζεται μειωμένη. Συγκεκριμένα στην περίπτωσή μας ο κατασκευαστής προσθέτει και επιπλέον εκτός της συγκολλητικής ουσία πρόσθετα που μειώνουν σημαντικά την υγροσκοπικότητα. Ο τύπος OSB που χρησιμοποιείται είναι OSB/4 πάχους 22mm.

iii. <u>Διογκωμένη Πολυστερίνη EPS 80</u>

Για την θερμομόνωση της τοιχοποιίας χρησιμοποιείται ενδιάμεσα των φύλλων OSB διογκωμένη πολυστερίνη EPS 80 διατομής 100mm η οποία είναι η μεγαλύτερη που διατίθεται. Είναι αυτοσβενώμενη και δημιουργεί ένα φράγμα υδρατμών για το εσωτερικό της τοιχοποιίας. Έχει εξαιρετική απόδοση θερμομόνωσης με συντελεστή θερμοαγωγιμότητας λ=0,032 W/mK.

iv. <u>Ασφαλτική Μεμβράνη</u>

Η ασφαλτική μεμβράνη αποτελεί την ποιο συνηθισμένη λύση για υγρομόνωση. Τοποθετείται με ζεστή πίσσα και κολλάει επάνω στην επιφάνεια. Έχει αποδειχτεί μέχρι στιγμής αρκετά αξιόπιστη λύση στις κατασκευές.

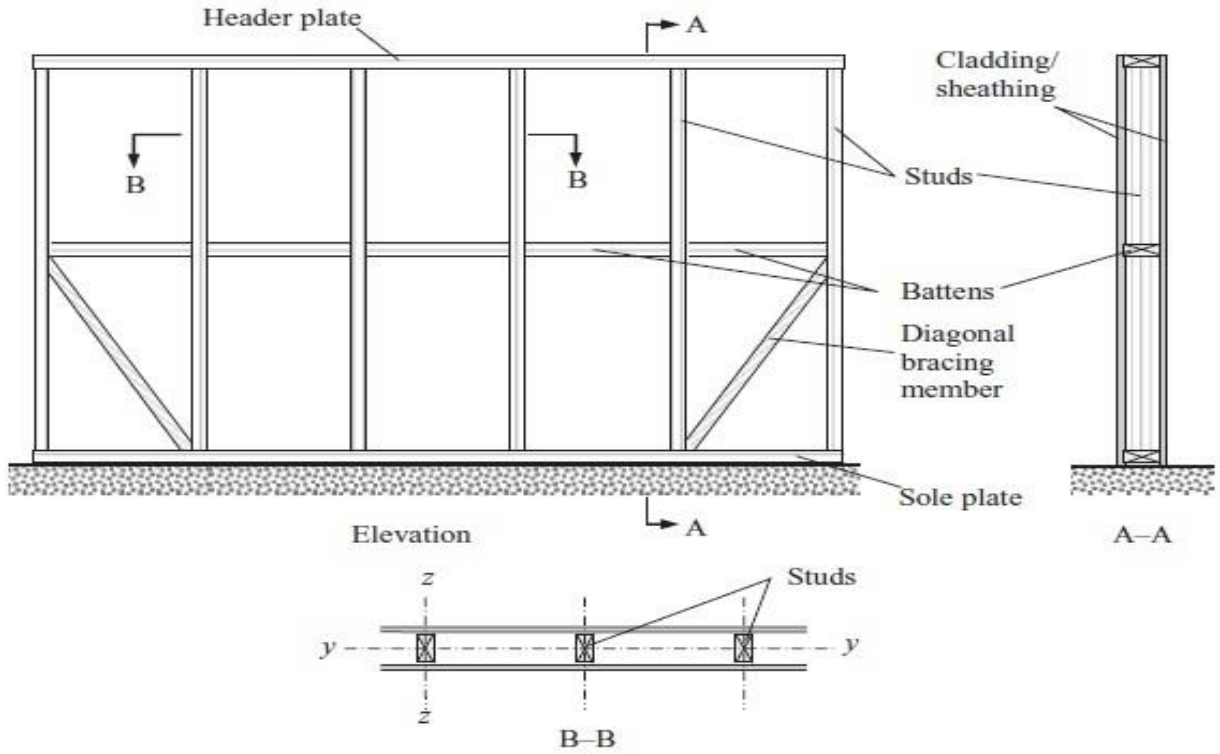
Για τα στριφώνια, τις μεταλλικές γωνίες και την θερμοπρόσοψη πάκτωσης γίνεται λόγος παρακάτω.

8. <u>Ανάλυση κατασκευαστικής μεθόδου</u>

Η κατασκευή γίνεται στο εργοστάσιο της εταιρίας Κοφινάς. Είναι αυτοματοποιημένη στο μεγαλύτερο κομμάτι της, σαφές πλεονέκτημα καθώς εξασφαλίζεται σταθερότητα ποιότητας. Η διαδικασία ξεκινάει από την τοποθέτηση του σκελετού του πάνελ σε τραπέζι ευθυγράμμισης. Ανάλογα με την διάταξη τα κάθετα μεταξύ τους ξύλα γωνιάζονται ηλεκτρονικά και πρεσάρονται ώστε να εκμηδενιστούν οι αρμοί μεταξύ τους και να επιτευχθεί καλύτερη συναρμογή, έτσι ώστε να αυξηθεί βελτιωθεί η μηχανική συμπεριφορά του πάνελ. Χαλαροί αρμοί μπορούν να αποτελέσουν σημεία αστοχίας. Ύστερα τα μέλη βιδώνονται μεταξύ τους και τοποθετείται το πρώτο φύλλο OSB το οποίο και αυτό βιδώνεται επάνω στον σκελετό. Στην συνέχεια εγκιβωτίζεται μέσα στο πάνελ η θερμομόνωση με αυτοδιογκούμενη πολυστερίνη EPS 80 και βιδώνεται και το δεύτερο φύλλο OSB. Τέλος στο κάτω μέρος του τοιχίου τοποθετείται ασφαλτική μεμβράνη για υγρομόνωση και το τοιχίο εξετάζεται για τυχόν κατασκευαστικές ατέλειες.

9. <u>Σχεδιασμός φέροντος οργανισμού</u>

Στις ξύλινες κατασκευές ο ρόλος του τοίχου είναι να φέρει τα αξονικά φορτία που προκύπτουν από την στέγη, τον υπερκείμενο όροφο, τα πρόσθετα φορτία όπως χιόνι, και στις εκτός επιπέδου φορτίσεις όπως ο άνεμος και ο σεισμός. Ο σχεδιασμός φέροντος οργανισμού ξύλινης κατασκευής καλύπτεται πλέον σχεδόν πλήρως από τις διατάξεις του Ευροκώδικα 5. Η τοιχοποιία της εταιρία Κοφινάς στην οποία αναφερόμαστε χαρακτηρίζεται ως φέρουσα και ο στατικός της μηχανισμός αποτελείται από ένα σύνολο στρωτήρων (sole plate στην βάση και head plate στην κεφαλή) και ορθοστατών (studs) τα οποία τοποθετούνται στην διάταξη που φαίνεται στο σκαρίφημα (Εικόνα 11) και την εξωτερική αμφίπλευρη επένδυση από ξύλινα πάνελ.



Εικόνα 11: Σκαρίφημα εσωτερικής δομής ξύλινου τοιχίου

Όπως παρατηρήθηκε και παραπάνω τα φορτία τα οποία καλείται να αντεπεξέλθει ο τοίχος είναι τα εξής.

- 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 και σεισμού.

Τα κατακόρυφα και τα εκτός επιπέδου φορτία αναλαμβάνονται από τους ορθοστάτες, ενώ τα εντός επιπέδου από τα πάνελς. Όμως τα πάνελς βιδώνονται επάνω στους ορθοστάτες επομένως ο τοίχος μπορεί να θεωρηθεί ως μια σύνθετη διατομή η οποία αναλαμβάνει εξίσου τα κατακόρυφα και τα εκτός επιπέδου φορτία. Συγκεκριμένα η σύνθετη διατομή καταπονείται από ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο, δρώντας ως δοκός, και από αξονικά φορτία δρώντας ως υποστύλωμα.

Σημαντικό κομμάτι του σχεδιασμού είναι οι χρησιμοποιούμενες συνδέσεις. Αυτές είναι υπεύθυνες για την σταθερότητα της κατασκευής και λειτουργούν ως περιοχές ανάλωσης ενέργειας κατά την σεισμική δραστηριότητα. Όπως επισημάνθηκε και κατά την περιγραφή της κατασκευής της τοιχοποιίας οι ορθοστάτες και οι στρωτήρες αφού γωνιαστούν και πρεσαριστούν βιδώνονται μεταξύ τους. Επίσης τα πάνελς βιδώνονται και αυτά επάνω στους στρωτήρες. Η βίδα (στριφώνι) σαν μέσω σύνδεσης υπερέχει εξαιρετικά του ήλου (καρφιού). Λόγο των σπειρωμάτων στον κορμό της γίνεται πολύ πιο δύσκολη η εξόλκευσή της ακόμα και από ήλους με νευρώσεις. Επίσης η βίδα, όπως και ο ήλος, δημιουργεί συνδέσμους άκαμπτους με καμία δυνατότητα ανάλωσης ενέργειας με αποτέλεσμα ο σύνδεσμος να φορτίζεται κρουστικά από σεισμικές δονήσεις και έτσι να αυξάνεται κατακόρυφα ο κίνδυνος εξόλκευσης, πράγμα το οποίο την καθιστά καταλληλότερο μέσω σύνδεσης.

Φεύγοντας από το επίπεδο συνδέσεων ενός τοιχίου περνάμε στις συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών τοιχίων κάθετων μεταξύ τους. Όπως είναι προφανές η σύνδεση γίνεται στην γωνία που σχηματίζουν. Μέσω προ διάτρητων οπών στο πάνελ του OSB τα δύο στοιχεία βιδώνονται μεταξύ τους στους ορθοστάτες και ύστερα 'δένονται' μεταξύ με την προσθήκη εξωτερικά μεταλλικών ελασμάτων. (Εικόνα 13)

Η υψηλή συναρμογή που επιτυγχάνεται με το βίδωμα τόσο των στοιχείων των μεμονωμένων τοιχίων όσο και των ίδιων των τοιχίων μεταξύ τους έχει δύο σημαντικά οφέλη. Για μέλη τα οποία δεν εφαρμόζουν σωστά οι περιοχές σύνδεσής τους αποτελούν σημεία πιθανής αστοχίας λόγο συγκέντρωσης τάσεων. Επίσης όσο αφορά την σεισμική συμπεριφορά του φέροντος οργανισμού αυξάνοντας την συναρμογή αυξάνεται ταυτόχρονα και η στρεπτική αντίσταση και ακαμψία και έτσι περιορίζεται η στροφική κίνηση της κατασκευής η οποία καταπονεί ανομοιόμορφα τα μέλη της αυτής. Με λίγα λόγια επιτυγχάνεται η συμπεριφορά του συνόλου της κατασκευής ως ένα ενιαίο σώμα.

Τέλος θα εξετάσουμε τους συνδέσμους της κατασκευής με τις θεμελιώσεις. Τα τοιχία τοποθετούνται επάνω σε μικρά ξύλινα κομμάτια ορθογωνικής διατομής και πακτώνονται με μεταλλικά ελάσματα τα οποία τοποθετούνται κατά μήκος του πάνελ με βίδες ανά εξήντα εκατοστά. Τα εν λόγω ελάσματα στερεώνονται στην πλάκα με μεταλλικές ντίζες. (Εικόνα 12)

Εικόνα 12: Ξύλινα κομμάτια στα οποία ακουμπάει ο τοίχος

Εικόνα 13: Μεταλλικά ελάσματα σύνδεσης

Αξίζει να αναφερθεί πως η παραπάνω συνδεσμολογία και σχεδιασμός έχουν σαν αποτέλεσμα η κατασκευή να θεωρείται από τους κανονισμούς σαν μέτρια ή υψηλής ανάλωσης ενέργειας κατασκευή με αποτέλεσμα την υψηλή σεισμική αντοχή της όπως αποδεικνύουν τα πειραματικά δεδομένα.

10. Δοκιμές και συμμόρφωση με τις απαιτήσεις
    i. Αντισεισμικότητα

Η παραπάνω κατασκευή με τον σχεδιασμό που περιεγράφηκε ελέγχθηκε όσο αναφορά την αντισεισμικότητά της στο εργαστήριο αντισεισμικών ερευνών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Ένα μονώροφο δοκίμιο κατασκευασμένο σε φυσική κλίμακα από την εταιρία Κοφινάς εξετάστηκε πειραματικά με την χρήση σεισμικού προσομοιωτήρα. Το δοκίμιο αποτελείται από τοιχοποιία η οποία συνίσταται από ξύλινο σκελετό, μόνωση με διογκωμένη πολυστερίνη και ξύλινη θωράκιση OSB. Η μία πρόσοψη είναι καλυμμένη με σύστημα θερμοπρόσοψης.

Αρχικά το δοκίμιο διεγέρθηκε από μια χρονοΐστορία σταθερής επιτάχυνσης ημιτονικής μορφής με λογαριθμική σάρωση συχνοτήτων για τον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών του (ιδιοπερίοδο και λόγο απόσβεσης). Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν σεισμικές δοκιμές κατά τις οποίες το δοκίμιο διεγέρθηκε από χρονοΐστορίες επιτάχυνσης στις διευθύνσεις X, Y και Z. Οι χρονοΐστορίες αυτές αποτελούσαν τις συνιστώσες ενός τεχνητού σεισμού το φάσμα του οποίου περιβάλλει το ελαστικό φάσμα του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ 2000) για έδαφος κατηγορίας Α και μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0,16g (πρώτη περίπτωση). Το δοκίμιο καταπονήθηκε από διαδοχικές κλιμακωτές τεχνητές σεισμικές διεγέρσεις. Ακολούθως, τοποθετήθηκε πρόσθετη μάζα στο δοκίμιο 8Mgr και πραγματοποιήθηκαν σεισμικές τριαξονικές διεγέρσεις. Το φάσμα των διεγέρσεων αυτών αντιστοιχούσε στο ελαστικό φάσμα του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού για έδαφος Κατηγορίας Β και μέγιστη εδαφική επιτάχυνση 0,16g (δεύτερη περίπτωση). Το δοκίμιο καταπονήθηκε από διαδοχικές κλιμακωτές τεχνητές σεισμικές διεγέρσεις.

Στην α΄ περίπτωση πραγματοποιήθηκαν 11 σεισμικές δοκιμές με τη διέγερση να αυξάνεται κλιμακωτά μέχρι επιτάχυνση 1,50g κατά διεύθυνση X, 1,17g κατά διεύθυνση Y και 0,87g κατά διεύθυνση Z. Στην β΄ περίπτωση πραγματοποιήθηκαν 5 σεισμικές δοκιμές με τη διέγερση να αυξάνεται κλιμακωτά μέχρι επιτάχυνση 0,58g κατά διεύθυνση X, 0,54g κατά τη διεύθυνση Y και 0,68g κατά την διεύθυνση Z.

Καθόλη την διάρκεια των δοκιμών δεν παρατηρήθηκε καμία ορατή βλάβη ή ρωγμή στο δομικό σύστημα (ξύλινο σκελετό, ξύλινη θωράκιση OSB, επιφάνεια με θερμοπρόσοψη). [18]

ii. Ενεργειακή Απόδοση

Διάφορες κατοικίες κατασκευασμένες με την τοιχοποιία της εταιρίας Κοφινάς έλαβαν πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης σύμφωνα με τις ισχύουσες διατάξεις του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Κ.Εν.Α.Κ) κατηγορίας Α. Κατά την διαδικασία της πιστοποίησης ελέγχεται η θερμομονωτική επάρκεια των επιμέρους δομικών στοιχείων καθώς και η θερμονωτική επάρκεια του κτηριακού κελύφους στο σύνολό του. Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για την έκδοση του εν λόγω πιστοποιητικού είναι

- Τη χρήση του κτηρίου, τις επιθυμητές συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος (θερμοκρασία και σχετική υγρασία αέρα, αερισμό) και τον αριθμό χρηστών.
- Τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής του κτηρίου
- Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των δομικών στοιχείων του κτηριακού κελύφους σε σχέση με τον προσανατολισμό και τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών δομικών στοιχείων
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης θέρμανσης χώρων
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης/κλιματισμού χώρων
- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης παραγωγής ζεστού νερού χρήσης
- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα

Επίσης στη μεθολογία υπολογισμού συνεκτιμάται κατά περίπτωση η θετική επίδραση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, της ενέργειας παραγόμενης με τεχνολογίες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θέρμανσης ή ψύξης και αξιοποίηση φυσικού φωτισμού. Οι τελικοί έλεγχοι γίνονται αφού αναχθούν όλες οι παραπάνω παράμετροι σε πρωτογενής ενέργεια.

11. Διερεύνηση λειτουργικότητας κατασκευής, αντιμετώπιση προβλημάτων

Όπως είναι ξεκάθαρο για μία κατασκευή που στοχεύει να αποτελέσει κατοικία, εκτός από την στατική μελέτη και τις μηχανικές παράμετρους αντοχής θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η λειτουργικότητα της. Ως λειτουργική κατασκευή μπορεί να οριστεί μία κατασκευή που «λειτουργεί» σύμφωνα με τις απαιτήσεις των χρηστών της καθ΄ όλη ή κατά το μεγαλύτερο ποσοστό της διάρκειας ζωής της. Γενικά αυτή η παράμετρος αφορά και τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό του κτηρίου και τα υλικά κατασκευής. Παρακάτω εξετάζονται τα υλικά κατασκευής όσο αφορά την ξύλινη προκατασκευασμένη τοιχοποιία.

Από την ανάλυση των φυσικών ιδιοτήτων του ξύλου που έγινε στο πρώτο μέρος της παρούσας έκθεσης παρατηρείται πως η έντονη υγροσκοπικότητα που αυτό παρουσιάζει επηρεάζει αρνητικά όλες τις ιδιότητές του, μηχανικές και φυσικές. Είναι σαφές λοιπόν πως, όπως και σε κάθε κτήριο, είναι αναγκαία η υγρομόνωση του και η προστασία της τοιχοποιίας στο σύνολό της.

Οι μέθοδος προστασίας που χρησιμοποιείται είναι η προσθήκη κέλυφους μόνωσης γύρω από όλη την επιφάνεια του κτηρίου. Το συνηθέστερο υλικό που επιλέγεται είναι εξυλασμένη πολυστερίνη σε διάφορες μορφές και εμπορικές ονομασίες. Πρόκειται για ένα πολυμερές θερμονωτικό και υγρομονωτικό υλικό το οποίο τοποθετείται στην επιφάνεια του πάνελ με την χρήση ειδικών κολλητικών ουσιών. Επάνω από το κέλυφος πολυστερίνης τοποθετείται ένα αρχικό επίχρισμα, ύστερα υαλόπλεγμα και τελικό επίχρισμα με ειδικής κατασκευής χρωματιστό κονίαμα. Το κέλυφος αυτό, γνωστό και ως σύστημα

θερμοπρόσοψης, προστατεύει της μεγαλύτερες επιφάνειες των εξωτερικών πάνελ από την περιβαλλοντική υγρασία και βροχή, ενώ παράλληλα προσφέρει εξαιρετικές θερμομονωτικές ιδιότητες με συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της τάξεως των 0,03-0,04 W/mK. Όμως η ίδια η σύσταση του υλικού (πολυμερές) προβληματίζει για την χρήση του. Ως πολυμερές υλικό έχει μεγάλο συντελεστή θερμικής διαστολής, πολύ μεγαλύτερο από αυτόν του ξύλου. Επίσης όπως είδαμε με την αύξηση της θερμοκρασίας το ξύλο ουσιαστικά συστέλλεται λόγο ρικνώσεως. Αυτό σημαίνει πως τα δύο υλικά δεν συνεργάζονται σωστά με την αύξηση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα την πιθανότητα ριγμάτωσης της πολυστερίνης, άρα και μηδενισμού όλων των χρήσιμων ιδιοτήτων της. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται το υαλόπλεγμα, για την αποφυγή αυτού του φαινομένου.

Ένα ακόμα αρνητικό χαρακτηριστικό είναι η ηχητική συμπεριφορά του κέλυφους πολυστερίνης. Παρ΄ όλο που χρησιμοποιείται συνήθως τεχνολογία για τον εγκλωβισμό φυσαλίδων αέρα στο πολυμερές, γεγονός που βελτιώνει και την ηχομονωτική και θερμομονωτική συμπεριφορά του υλικού, ήχοι που προκαλούνται από πρόσπτωση βροχής ή γενικώς παρόμοιας φύσης ακούγονται στο εσωτερικό της κατασκευής πολύ διαφορετικά από το συνηθισμένο ήχο της συμβατικής τοιχοποιίας, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την αισθητική του χρήστη. Επίσης κατά το άγγιγμα δίνει την αίσθηση του κούφιου τοιχίου.

Γενικώς υπάρχουν κι άλλες τεχνικές μόνωσης τύπου κελύφους, όπως η επικάλυψη με εμφανή συνθετική ξυλεία. Όλες οι τεχνικές όμως δίχως προσοχή στην εφαρμογή τους αφείνουν κενά σημεία στην επιφάνεια του κτηρίου από όπου μπορεί να εισχωρήσει η υγρασία. Μπορούμε να αναγνωρίσουμε τρία σημεία κάθε κατασκευής που πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση. Αυτά είναι η βάση πάκτωσης του τοιχίου, οι γωνίες ένωσης μεταξύ τοιχίων και οι επιφάνειες ένωσης τοιχίων και στέγης.

Η εταιρία Κοφινάς, της οποίας την τοιχοποιία εξετάζουμε, χρησιμοποιεί κυρίως το σύστημα θερμοπρόσοψης που αναπτύχθηκε πριν, επομένως η ανάλυση θα περιοριστεί σε αυτό το κέλυφος. Στις γωνίες ένωσης των τοιχίων η πολυστερίνη επικαλύπτεται με ειδική μεμβράνη και τα φύλλα της συννενόνωνται με το υαλόπλεγμα καλύπτοντας πλήρως οποιαδήποτε κενά. Επίσης για την στερέωση της στέγης χρησιμοποιείτε η ίδια τεχνική με τα κλασικά σπίτια από σκυρόδεμα και πλινθοδομή. Δηλαδή τα δοκάρια της στέγης βιδώνονται επάνω στο τοιχίο και τα κενά γεμίζουν με μονωτικό υλικό. Αυτή η τεχνική είναι δοκιμασμένη και με σωστή εργασία δεν εμφανίζει προβλήματα.

Η εταιρία ακολουθεί την διάταξη σύνδεσης των τοιχίων με την βάση του σκυροδέματος όπως αναπτύχθηκε παραπάνω. Αμφίπλευρα του τοιχίου μετά την πάκτωση τοποθετούνται ασφαλτικές μεμβράνες για την υγρομόνωση της βάσης του πάνελ και ύστερα γίνεται η σκυροδέτηση λεπτής πλάκας εσωτερικά μεγαλύτερη ύψους από ότι εξωτερικά.

Η υγροσκοπικότητα του OSB σαν βιομηχανικό προϊόν εξαρτάται πάρα πολύ από την ρητίνη συγκόλλησης. Γενικά ο ρυθμός απορρόφησης αλλά και αποβολής υγρασίας είναι πολύ μεγαλύτερος από του φυσικού ξύλου και στις δύο περιπτώσεις. Επίσης μελέτες έχουν δείξει πως το κύριο πρόβλημα του OSB είναι διόγκωση λόγο υγρασίας στην περιφέρειά του. [19] Ακόμα το ξύλο προσβάλλεται παρουσία περιβάλλοντος υψηλής υγρασίας από διάφορους μικροοργανισμούς, που αν και περιορίζονται σημαντικά έως εξολοκλήρου με την διαδικασία της απεντόμωσης είναι ένας κίνδυνος που πρέπει να εξετάζεται.

Με τα παραπάνω στοιχεία υπόψη παρατηρείται άμεσα το μειονέκτημα της τεχνικής πάκτωσης των τοιχίων που ακολουθείται. Σε περίπτωση αστοχίας της ασφαλτικής μεμβράνης, η οποία επέρχεται συνηθέστερα στα χαμηλότερα σημεία της, η υγρασία που θα εισχωρήσει θα επηρεάσει κατά ανάλογο

τρόπο την τοιχοποιία. Μία βατή και μικρού κόστους αντιμετώπιση αυτού του κινδύνου είναι κατασκευή υπερυψωμένης βάσης σκυροδέματος και η πάκτωση σε αυτή των τοιχίων. Η διαφορά ύψους της εσωτερικής με την εξωτερική επιφάνεια εξασφαλίζει πως ακόμα και σε περίπτωση αστοχίας της υγρομόνωσης, η υγρασία θα περάσει κατευθείαν στην πλάκα και από εκεί στο έδαφος προστατεύοντας την κατασκευή. Επίσης αυτή η τεχνική επιτρέπει την εύκολη αντικατάσταση της υγρομόνωσης αφού δεν απαιτείται σπάσιμο του ελαφρού σκυροδέματος για την αντικατάστασή της. Ένα μειονέκτημα θα μπορούσε να αποτελέσει η κατεύθυνση της μεταλλικής ντίζας στερέωσης των μεταλλικών ελασμάτων πάκτωσης, καθώς αν αυτή εφαρμοστεί στην πλάκα κάθετα στο επίπεδο της τοιχοποιίας κατά την διάρκειας σεισμικών δονήσεων θα δέχεται πολύ ισχυρά αξονικά φορτία, λόγο ότι οι μέγιστες επιταχύνσεις που προκύπτουν από σεισμούς ενεργούν σε αυτό το επίπεδο.

Επίσης ένα ακόμα μέσω πρόληψης συσσώρευσης υγρασίας στην βάση των τοιχίων είναι η χρήση νέας τεχνολογίας υγρομονωτικές μεμβράνες, οι οποίες έχουν την δυνατότητα να αναπνέουν, διατηρώντας έτσι πάντα στο ελάχιστο την υγρασία σε αυτό το κομμάτι της κατασκευής. Οι ίδιες μεμβράνες θα μπορούσαν να εφαρμοστούν για την μόνωση των χώρων των μπάνιων, και της κουζίνας που υπάρχει μεγάλη έκθεση σε νερό. Ειδικά στην περίπτωση των μπάνιων πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη καθώς, ο κίνδυνος σε αυτές τις περιοχές είναι πολλαπλάσιος και η αντιμετώπιση προβλήματος δύσκολη έως ανέφικτη.

Τέλος, σχετικά με την υγρασία, προσοχή πρέπει να δίνεται όταν η κατασκευή δεν περιλαμβάνει επικλινή στέγη παρά ταράτσα. Εκεί θα πρέπει να παρθούν τα μέγιστα μέτρα υγρομόνωσης και απαιτείται εξαιρετικός σχεδιασμός ρύσεων και έλεγχοι ποιότητας των μεμβρανών ανά τακτά χρονικά διαστήματα για την πρόληψη εισροών υγρασίας.

Όπως και αναφέρθηκε στις ιδιότητες, το ξύλο αποτελεί ένα εξαιρετικό θερμονωτικό υλικό. Συγκεκριμένα ο συντελεστής θερμικής του αγωγιμότητας κυμαίνεται περίπου σε 0,1 W/mK, ενώ το σκυρόδεμα αντίστοιχα κυμαίνεται σε 1,5 W/mK και οι οπτόπλινθοι 0,5 W/mK. Με βάση αυτές τις τιμές παρατηρούμε την σαφή υπεροχή του ξύλου, σχετικά με την θερμομόνωση ενάντια στα συμβατικά δομικά υλικά η οποία με την προσθήκη της μόνωσης εσωτερικά των πάνελ OSB δίνει συνολικά για το τοιχίο συντελεστή θερμοπερατότητας 0,1 W/mK. Επίσης τα πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης κατάταξης Α αποδεικνύουν πως στο σύνολό της μία κατασκευή από την εν λόγω τοιχοποιία έχει πολύ χαμηλό κόστος θέρμανσης και ψύξης, προσφέροντας οικονομία στον χρήστη, αλλά και δημιουργεί ποιο άνετο περιβάλλον διαβίωσης καθώς δεν συντελούνται μεγάλες θερμοκρασιακές αλλαγές στον εσωτερικό του κτηρίου.

Προσοχή, ακόμα πρέπει να δοθεί κατά τον σχεδιασμό του κτηρίου σε δύο σημαντικές παραμέτρους που αφορούν την ηχομόνωση του κτηρίου. Το ξύλο δεν λειτουργεί καλά ως φράγμα ηχητικών ταλαντώσεων, κάτι το οποίο προβλέπεται για αρκετές περιπτώσεις από τον Ευροκώδικα 5, σχετικά με την αντιμετώπιση του προβλήματος. Πηγές θορύβων και ταλαντώσεων, όπως γεννήτριες, θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ιδιαιτέρως. Μία λύση που θα μπορούσε να περιορίσει το πρόβλημα είναι η εγκατάσταση της μηχανής σε αντικραδασμικά εφέδρανα ή και να εξαλείψει το πρόβλημα των δονήσεων με την ανεξάρτητη στήριξη της βάσης της.

Η δεύτερη σημαντική παράμετρος που πρέπει να αναφερθεί σχετικά με την λειτουργικότητα ενός σπιτιού και τις ηχητικές ταλαντώσεις, είναι το πρόβλημα της ηχομόνωσης των πατωμάτων των πολυώροφων κτηρίων. Εδώ η ηχομόνωση είναι κατά πολύ κατώτερη της πλάκας σκυροδέματος η οποία με προσθήκη πολυμερούς υλικού κάτω από το πάτωμα ουσιαστικά καταργεί το πρόβλημα. Η συνήθης α-

ντιμετώπιση σχετικά με τις ξύλινες κατασκευές είναι η εξής. Επάνω από τα οριζόντια δοκάρια που στηρίζεται ο όροφος τοποθετείται ένα λεγόμενο ψευδοπάτωμα, δηλαδή πάνελ από κόντρα-πλακέ ή OSB. Επάνω σε αυτό καρφώνονται πηχάκια ξύλου ανά αποστάσεις ανάλογα με το πλάτος της διατομής και το μήκος του πατώματος που θα χρησιμοποιηθεί. Επάνω σε αυτό τοποθετείται ηχομονωτικό πολυμερές υλικό και τέλος τοποθετείται το κανονικό πάτωμα. Να σημειωθεί ότι το ηχομονωτικό πολυμερές είναι απαραίτητο να είναι σε επαφή με το πάτωμα, αλλιώς ελαττώνεται κατά πολύ η ηχομονωτική ικανότητά του. Δηλαδή όλη η κατασκευή θα πρέπει να λειτουργεί ως ενιαία διατομή για τα μέγιστα αποτελέσματα. Χωρίς αυτή ή παρόμοια αντιμετώπιση θα υπάρχουν πολύ έντονα ανεπιθύμητα τριξίματα και κακή ηχομόνωση. Όμως σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να αντιμετωπισθεί τόσο καλά όσο με την πλάκα σκυροδέματος.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της προκατασκευασμένης ξύλινης τοιχοποιίας σχετικά με την λειτουργικότητα ενάντια στα προκατασκευασμένα ξύλινα σπίτια με εμφανή ξυλεία είναι η τοποθέτηση των ηλεκτρολογικών εγκαταστάσεων. Στο ξύλινο τοιχίο, εσωτερικά προβλέπεται ένα διάκενο μερικών εκατοστών για την ηλεκτρολογική εγκατάσταση. Επομένως μπορούν να γίνουν παρεμβάσεις και επισκευές στο δίκτυο οποιαδήποτε στιγμή κριθεί αναγκαίο χωρίς πρόβλημα. Επίσης δεν απαιτείται προσχεδιασμός για την θέση των διακόπτων, κάτι που βοηθάει ιδιαίτερα καθώς κατά τον χρόνο ζωής μιας κατασκευής γίνονται αρκετές αλλαγές. Τέλος συμβάλλει στην αισθητική του χώρου, αφού δεν υπάρχουν εμφανή καλώδια και οι διακόπτες τοποθετούνται μέσα στο τοιχίο, εν αντιθέση με τα φινλανδικού τύπου ξύλινα σπίτια που τα καλώδια ενδέχεται να είναι εμφανή και να καλύπτονται με πλαστικά πηχάκια και οι διακόπτες εξωτερικού τύπου.

12. Επίλογος

Η ξύλινη προκατασκευασμένη τοιχοποιία, όπως είδαμε παραπάνω, έχει χαρακτηριστικά τα οποία ανταγωνίζονται άμεσα όλους τους τρόπους δόμησης, τόσο σε στατική αντοχή όσο και σε φυσικά χαρακτηριστικά και λειτουργικότητα, πάντα με την κατάλληλη εφαρμογή της τεχνολογίας και τεχνογνωσίας. Το κόστος ποικίλει ανάλογα με την ποιότητα των πρώτων υλών όμως για να επιτευχθούν ανταγωνιστικές αντοχές, αυτό έπρεπε να είναι ισάξιο με την αντίστοιχη κατασκευή με από οπλισμένο σκυρόδεμα. Όμως λόγο της αυτοματοποιημένης διαδικασίας της προκατασκευής, και για αύξηση της ανταγωνιστικότητας το κόστος μειώνεται.

Στην εποχή που διανύουμε δημιουργούνται όλο και περισσότερες αμφιβολίες για το μέλλον του επαγγέλματος του πολιτικού μηχανικού. Μία συνιστώσα της εργασίας μας αποτελούν οι κατοικίες των οποίων η κατασκευή έχει μειωθεί κατά 70% περίπου τα τελευταία έτη. Κι αυτό συμβαίνει ενώ σχηματίζουν την κύρια πηγή εισοδήματος για το μεγαλύτερο μέρος των συναδέλφων μας. Σαν μηχανικοί όμως καλούμαστε να δώσουμε λύση σε αυτό το πρόβλημα και να καταστήσουμε την κατασκευή ποιο προσιτή στο ευρύ κοινό με γνώμονα την ποιότητα. Εμφανίζεται λοιπόν η ανάγκη απόκλισης του ίδη υπάρχοντος μοντέλου δόμησης. Μία τέτοια πρόταση μπορεί να αποτελέσει η προκατασκευασμένη ξύλινη τοιχοποιία.

Παραπομπές

[1]Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, Δομικά Υλικά Πάτρα 2013, Έκδοση 10η, σελίδα 355

[2]Ελισσαίος Σ. Κατσαραγάκης, Ξύλινες κατασκευές Αθήνα 2000, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., σελίδα 43

[3]Ελισσαίος Σ. Κατσαραγάκης, Ξύλινες κατασκευές Αθήνα 2000, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., σελίδα 93

[4] Γεώργιος Θ. Τσουμής, Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου, Τόμος Α: Δομή και Ιδιότητες, Θεσσαλονίκη 1992, σελίδες 110 και 117

[5] Ελισσαίος Σ. Κατσαραγάκης, Ξύλινες κατασκευές Αθήνα 2000, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., σελίδα 44

[6] Γεώργιος Θ. Τσουμής, Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου, Τόμος Α: Δομή και Ιδιότητες, Θεσσαλονίκη 1992, σελίδα 134

[7] Γεώργιος Θ. Τσουμής, Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου, Τόμος Α: Δομή και Ιδιότητες, Θεσσαλονίκη 1992, σελίδες 169-177

[8]Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος, Βουγιούκας Ε., Μπαδογιάννης Ε., Χριστίδης Κ., Ξύλο: Δομή και ιδιότητες-Δομική Ξυλεία, σελίδα παρουσίασης 22 Link: https://docs.google.com/file/d/0B9Y9hf4FXbCsWU5vVjNWZ0JsNms/edit?usp=sharing

[9] Γεώργιος Θ. Τσουμής, Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου, Τόμος Α: Δομή και Ιδιότητες, Θεσσαλονίκη 1992, σελίδες 232-233

[10] Γεώργιος Θ. Τσουμής, Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου, Τόμος Α: Δομή και Ιδιότητες, Θεσσαλονίκη 1992, σελίδες 234-236

[11] Ελισσαίος Σ. Κατσαραγάκης, Ξύλινες κατασκευές Αθήνα 2000, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., σελίδες 95-100

[12] Συλλογικό έργο, Ε.Μ.Π. Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Θέματα Οικοδομικής, Εκδόσεις Συμμετρία Αθήνα 1999, σελίδες 194-198

[13] Συλλογικό έργο, Ε.Μ.Π. Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Θέματα Οικοδομικής, Εκδόσεις Συμμετρία Αθήνα 1999, σελίδα 194, Σχήμα 12.26

[14] Ελισσαίος Σ. Κατσαραγάκης, Ξύλινες κατασκευές Αθήνα 2000, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., σελίδες 25-26

[15] Ελισσαίος Σ. Κατσαραγάκης, Ξύλινες κατασκευές Αθήνα 2000, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., σελίδα 27

[16] Ελισσαίος Σ. Κατσαραγάκης, Ξύλινες κατασκευές Αθήνα 2000, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., σελίδες 36-41

[17] Ελισσαίος Σ. Κατσαραγάκης, Ξύλινες κατασκευές Αθήνα 2000, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π., σελίδα 49

[18] ΕΜΠ Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τεχνική Έκθεση NTUA.LEE 3/2009, Χάρης Π. Μουζάκης, Κ. Σπυράκος

[19] http://bct.eco.umass.edu/publications/by-title/choosing-between-oriented-strandboard-and-plywood/

Βιβλιογραφία

- Γεώργιος Θ. Τσουμής, Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου, Τόμος Α: Δομή και Ιδιότητες, Θεσσαλονίκη 1992
- Γεώργιος Θ. Τσουμής, Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου, Τόμος Β: Βιομηχανική Αξιοποίηση. Θεσσαλονίκη 1992
- Ελισσαίος Σ. Κατσαραγάκης, Ξύλινες κατασκευές Αθήνα 2000, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π
- Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου, Δομικά Υλικά Πάτρα 2013, Έκδοση 10η
- Συλλογικό έργο, Θέματα Οικοδομικής, ΕΜΠ Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα 1999
- ΕΜΠ Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τεχνική Έκθεση NTUA.LEE 3/2009, Χάρης Π. Μουζάκης, Κ. Σπυράκος
- www.Lpcorp.com
- www.kofinas.gr
- www.knauf.gr
- http://www.mapsofworld.com/world-top-ten/countries-with-most-timber-producing-countries.html
- http://continuingeducation.construction.com/article.php?L=5&C=645
- http://bct.eco.umass.edu/publications/by-title/choosing-between-oriented-strandboard-and-plywood/