

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ | ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Γιατί όχι ξύλο;

Βιώσιμη προκατασκευή με CLT και προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα

Ερευνητική εργασία, Ιούνιος 2025

Επιμέλεια: Καλκαβούρα Ιωάννα

Επιβλέπων: Βαζάκας Αλέξανδρος-Θεοχάρης

Γιατί όχι ξύλο;
Βιώσιμη προκατασκευή με CLT και προοπτικές εφαρμογής στην Ελλάδα

Why not wood? Sustainable prefabrication with CLT and its application prospects in Greece

Ερευνητική Εργασία
Ιούνιος 2025

Επιμέλεια: Καλκαβούρα Ιωάννα

Επιβλέπων: Βαζάκας Αλέξανδρος-Θεοχάρης

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βαζάκα Αλέξανδρο, για την πολύτιμη καθοδήγηση και υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας, για το ενδιαφέρον του στις ερευνητικές μου αναζητήσεις καθώς και για τις γόνιμες συζητήσεις που ενίσχυσαν την πορεία της έρευνας.

Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένεια μου, τους γονείς, τις αδερφές και στους αγαπημένους φίλους, για την απλόχερη στήριξη, κατανόηση και υπομονή τους σε κάθε βήμα αυτής της διαδρομής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ / ABSTRACT 8

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 10

2. ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ 12

2.1 Η εξέλιξη από το εργοτάξιο στην εργοστασιακή παραγωγή 12

2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προκατασκευής..... 21

2.3 Σύγχρονες τάσεις 22

2.4 Συμπεράσματα ενότητας 26

3. ΤΟ ΞΥΛΟ ΩΣ ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ..... 28

3.1 Δομή, χαρακτηριστικά και ιδιότητες του ξύλου 28

3.2 Ζητήματα βιωσιμότητας και παραγωγής 30

3.3 Ανάλυση Κύκλου Ζωής κτιρίου και δομικών υλικών..... 36

3.4 Σύγκριση φέροντα οργανισμού κτιρίων από ξύλο - σκυρόδεμα - χάλυβα 37

3.5 Συνολική εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα δομικά υλικά..... 37

3.6 Βιομηχανική ξυλεία..... 38

3.7 Αισθητικά και ψυχολογικά οφέλη της χρήσης ξύλου σε κατασκευές 41

3.8 Συμπεράσματα ενότητας 42

4. ΓΙΑΤΙ ΔΕΝ ΧΤΙΖΟΥΜΕ ΜΕ ΞΥΛΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ; 44

4.1 Σύντομη αναδρομή στο ξύλο ως δομικό υλικό στην Ελλάδα..... 44

4.2 Η επικράτηση του οπλισμένου σκυροδέματος στις κατασκευές..... 47

4.3 Η εμπιστοσύνη στις ξύλινες κατασκευές 48

4.4 Τα δάση της Ελλάδας, δυνατότητες παραγωγής και εκμετάλλευσης 50

4.5 Νομοθεσία και κανονισμοί δόμησης ξύλινων κατασκευών 51

4.6 Συμπεράσματα ενότητας 52

5. ΣΧΕΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΜΕ ΠΑΝΕΛ CLT 54

5.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά..... 54

5.2 Αρχές σχεδιασμού..... 56

5.3 Τελικές επεξεργασίες επιφανειών 61

5.4 Θερμομόνωση και ηχομόνωση 62

5.5 Πυροπροστασία..... 63

5.6 Σεισμική συμπεριφορά..... 64

5.7 Νέες τεχνικές και καινοτόμες εφαρμογές με πάνελ CLT..... 65

5.8 Συμπεράσματα Ενότητας 84

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΡΕΙΣ ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ..... 86

6.1 Προσθήκη καθ' ύψος..... 88

6.2 Ανέγερση σε απομακρυσμένες περιοχές 90

6.3 Επέμβαση σε υφιστάμενο κέλυφος 92

7. ΕΠΙΛΟΓΟΣ 94

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΗΣΗΣ 96

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία εξετάζει την προκατασκευή με σύγχρονα προϊόντα βιομηχανικής ξυλείας ως μια εναλλακτική μέθοδο δόμησης, παρουσιάζει τις δυνατότητες της σε τυπικές και ειδικές κατασκευές και αναζητά πιθανές τις ευκαιρίες εφαρμογής της στην Ελλάδα. Αρχικά, το ζήτημα της προκατασκευής κατοικιών ερευνάται μέσα από την πορεία βελτιστοποίησης διαδικασιών δόμησης έως την πλήρη εργοστασιακή παραγωγή τους, εντοπίζοντας τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που την χαρακτηρίζουν και πως αυτά σκιαγραφούν τις σύγχρονες τάσεις. Το ξύλο, ως βασικό υλικό για την προκατασκευή και τη δόμηση γενικότερα, αναλύεται μέσα από τα τεχνικά, οικολογικά και αισθητικά χαρακτηριστικά του, τα προϊόντα που παράγει και τις σύγχρονες αρχιτεκτονικές εφαρμογές του. Συγκεκριμένα, μια από τις πιο πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στην βιομηχανική ξυλεία, τα πάνελ CLT, εξετάζονται ως προς τα δομικά χαρακτηριστικά και τις ιδιαίτερες αρχιτεκτονικές χρήσεις τους μέσα από καινοτόμες εφαρμογές. Χωρίς αμφιβολία όμως, η απουσία του ξύλου από την οικοδομική πρακτική της Ελλάδας προκαλεί ερωτήματα και οδηγεί στην αναζήτηση των παραγόντων εκείνων που έχουν περιορίσει την χρήση του. Ολοκληρώνοντας την παρουσίαση των γενικών σημείων ενδιαφέροντος (προκατασκευή, ξύλο, ελληνική πραγματικότητα, πάνελ CLT), συνοψίζονται τρεις ευκαιρίες εφαρμογής των παραπάνω μεθόδων στην Ελλάδα, λαμβάνοντας υπόψιν τις υφιστάμενες κατασκευαστικές πρακτικές και πως αυτές μπορούν να ωφεληθούν από την μέθοδο προκατασκευής με σύστημα CLT.

**λέξεις-κλειδιά: προκατασκευή, ξύλο, βιομηχανική ξυλεία, CLT, βιωσιμότητα*

ABSTRACT

This paper examines prefabrication using contemporary engineered wood products as an alternative construction method. It shows the potential applications of this approach in both typical and specialized structures, and investigates possible opportunities for its implementation in Greece. Initially, the issue of prefabricated housing is presented through the course of optimizing construction processes up to complete factory production. It identifies the advantages and disadvantages of prefabrication, and highlights the way in which it shapes current architectural trends. Wood, as a primary material for both prefabrication and general construction, is analyzed in terms of its technical, ecological and aesthetic qualities, its derived products and their contemporary architectural applications. As CLT panels are one of the most recent technological advancements in engineered wood, they are examined for their structural properties through innovative architectural case studies. Nevertheless, the absence of timber in Greek construction practice, raises questions and leads to further investigation into the factors that have limited its use. Concluding the discussion of key points (prefabrication, timber, Greek context, CLT panels), three potential opportunities for implementation in Greece are summarized, while taking into account the existing construction practices and how they might benefit from CLT based prefabrication methods.

**keywords: prefabrication, wood, engineered wood, CLT, sustainability*

01. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αντικείμενο της εργασίας είναι η διερεύνηση της χρήσης ξύλου, με την μορφή των πάνελ CLT και με μεθόδους προκατασκευής στη σύγχρονη αρχιτεκτονική και ειδικότερα η αξιολόγηση των δυνατοτήτων εφαρμογής τους στην χώρα μας. Το ζήτημα ερευνάται μέσα από την ιστορική, τεχνολογική και πολιτισμική σκοπιά, με στόχο την επανεξέταση του ξύλου ως δομικό υλικό, σε μια συνθήκη που το οπλισμένο σκυρόδεμα, η πέτρα και ο χάλυβας κυριαρχούν. Επιχειρείται επίσης, η κατανόηση των λόγων για τους οποίους η ελληνική κατασκευή δεν έχει ενσωματώσει το ξύλο σαν βασικό δομικό υλικό και η αναζήτηση των δυνατοτήτων εφαρμογής εξελιγμένων συστημάτων προκατασκευής με ξύλο στην Ελλάδα.

Η επιλογή της θεματικής έχει προκύψει από προσωπική επαγγελματική εμπειρία σε προμελέτη και μελέτη εφαρμογής μονοκατοικιών με σύστημα δόμησης από CLT. Αυτή η πρακτική εμπειρία επισήμανε τις διαφορές στις διαδικασίες, τα στάδια σχεδιασμού και την σημασία του συντονισμού μεταξύ μελετητή, των υπόλοιπων μηχανικών και της βιομηχανίας που κατασκευάζει και προμηθεύει την ξυλεία. Τα παραπάνω αποτέλεσαν αφορμή για την ενασχόληση μου με το θέμα και δημιούργησαν προβληματισμούς σχετικά με την αποδοχή του ξύλου σαν υλικό, την εφαρμογή νέων τεχνικών στην Ελλάδα και τις μεθόδους της σύγχρονης προκατασκευής. Συγκεκριμένα, τα ερωτήματα που σχηματίστηκαν και επιχειρείται να απαντηθούν συνοψίζονται ως εξής:

- Γιατί δεν κατασκευάζουμε με ξύλο στην Ελλάδα;
- Γιατί το ξύλο έχει γενικά χαμηλή αποδοχή σαν δομικό υλικό;
- Τι μπορεί να προσφέρει η προκατασκευή στη σύγχρονη αρχιτεκτονική;
- Ποιοι είναι οι σύγχρονοι μέθοδοι κατασκευής με ξύλο; Γιατί να τις επιλέξει κανείς σε σχέση με τις συμβατικές κατασκευές;
- Τι ιδιαίτερες δυνατότητες προσφέρει το CLT σαν υλικό; Πως αξιοποιούνται καλύτερα οι ιδιότητες του σε επίπεδο σχεδιασμού και κατασκευής;
- Μπορεί να εφαρμοστεί το CLT σαν μέθοδος κατασκευής στην Ελλάδα;

Για την προσέγγιση των παραπάνω πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική έρευνα και αναζήτηση πρόσφατων ερευνών πάνω στο υλικό, τις οικολογικές του προεκτάσεις, την σύγκριση μεταξύ υλικών δόμησης και των στατιστικών που αποτυπώνουν την πορεία της οικοδομικής πρακτικής στην Ελλάδα. Η ανάλυση των προβληματισμών έγινε μέσα από την έρευνα σε τέσσερις βασικές θεματικές ενότητες που διαρθρώνουν αντίστοιχα και την δομή της εργασίας.

Αρχικά, εξετάζεται η ιστορική πορεία της προκατασκευής από τον 20^ο αιώνα μέχρι σήμερα δίνοντας έμφαση, όχι τόσο στη χρονολογική συνέχεια των γεγονότων, όσο στα αποτυχημένα και επιτυχημένα παραδείγματα της. Τα βιβλία «*The prefabricated home*» του Colin Davies και «*Prefab Architecture*» του Ryan Smith χρησιμοποιήθηκαν σαν εποπτεία για την ιστορική εξέλιξη του ζητήματος των προκατασκευασμένων κατοικιών και τη σχέση μεταξύ αρχιτεκτονικής και βιομηχανίας. Η πορεία από την βελτιστοποίηση του εργοταξίου προς την πλήρη εργοστασιακή παραγωγή κατοικιών υπήρξε καθοριστική και οδήγησε στην δημιουργία τυπολογιών που εντοπίζονται αρχιτεκτονικά μέχρι και σήμερα.

Η δεύτερη ενότητα αφορά το ξύλο, ένα υλικό πολύ σημαντικό για την πορεία της προκατασκευής, αλλά και με διαχρονικά τεράστια αξία για την αρχιτεκτονική. Μετά από έρευνα σε πηγές σχετικές το υλικό και τις τεχνικές κατασκευής του, αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά και η οικολογική του διάσταση. Η ανάπτυξη των δυνατοτήτων της βιομηχανικής ξυλείας εντοπίζεται ως το ορόσημο για την ευρεία χρήση του ξύλου στον σύγχρονο κόσμο, επιτρέποντας εφαρμογές που θα ήταν αδύνατες με φυσική ξυλεία.

Στη συνέχεια, η προσοχή στρέφεται στην Ελλάδα της οποίας η οικοδομική πρακτική δημιουργεί ερωτήματα σχετικά με την ολική -μέχρι τα μέσα του 20^{ου} αιώνα- επικράτηση του οπλισμένου σκυροδέματος και την πρακτικά συνολική έλλειψη ξύλινων κτιρίων, που περιορίζει το ξύλο σε δευτερεύουσες κατασκευές. Οι λόγοι απόρριψης του ξύλου αναζητούνται στον τομέα βιομηχανικής παραγωγής, τις παθογένειες της αγοράς και στην διαμόρφωση της αρχιτεκτονικής κουλτούρας μέσα από την κοινωνία.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών έχουν φέρει στην αγορά καινοτόμα προϊόντα όπως τα πάνελ σταυρωτής επικολλητής ξυλείας (CLT) με εντυπωσιακά χαρακτηριστικά που αναδιαμορφώνουν τη συνολική αντίληψη γύρω από τις ξύλινες κατασκευές. Μέσα από έρευνα σε αρχιτεκτονικά περιοδικά και τεχνικούς καταλόγους, παρουσιάζονται τα σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά τους και υλοποιημένα έργα που αναδεικνύουν το CLT ως ένα υλικό αντίστοιχης αξιοπιστίας με τα συμβατικά, που όμως ωθεί τα όρια των δυνατοτήτων του ξύλου.

Συνολικά στην πορεία της έρευνας, το ξύλο επανεφευρίσκεται ως βασικό δομικό υλικό του 21^{ου} αιώνα, μέσα από τις εξελίξεις της σύνθετης βιομηχανικής ξυλείας και του ψηφιακού σχεδιασμού. Οι προβληματισμοί περί κλιματικής καταστροφής και η σχέση τους με τις οικοδομικές πρακτικές είναι ένα θέμα που απασχολεί ήδη τον αρχιτεκτονικό κλάδο στην Ελλάδα, ακολουθώντας τις παγκόσμιες και ευρωπαϊκές τάσεις, και είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα στραφούν στην αναζήτηση νέων οικολογικών υλικών. Μετά την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις τέσσερις θεματικές που αναφέρθηκαν, προτείνονται τρεις συγκεκριμένες κατηγορίες εφαρμογών προκατασκευής με πάνελ CLT στην Ελλάδα, με στόχο την αναγνώριση των καινοτόμων προσπαθειών και την περεταίρω προώθηση της έρευνας στον τομέα.

02. ΠΡΟΚΑΤΑΣΚΕΥΗ



[2.1]

[2.1] Το Crystal Palace στο Λονδίνο (1851), κατασκευασμένο εξ' ολοκλήρου από τυποποιημένα και προκατασκευασμένα μέλη σιδήρου και γυαλιού. Οι διαστάσεις του κτιρίου καθορίστηκαν από αυτές των διαθέσιμων γυάλινων επιφανειών.

Η έννοια της προκατασκευής στην αρχιτεκτονική αφορά ένα σύνολο μεθόδων κατασκευής όπου εξαρτήματα ή ακόμα και ολόκληρα τμήματα του κτιρίου, κατασκευάζονται εκτός του εργοταξίου και συναρμολογούνται επιτόπου. Μια σύντομη ιστορική αναδρομή της μεθόδου μέσα από τα αρχιτεκτονικά οράματα τυποποίησης του εργοταξίου, μαζικής παραγωγής και πειραματισμού μέχρι τα επιτυχημένα παραδείγματα των λιγότερο προβεβλημένων κατασκευαστών, φανερώνει την στενή σχέση της προκατασκευής με τις κοινωνικές ανάγκες κάθε περιόδου και την εξέλιξη των παραγόμενων μορφών της. Τα τελευταία χρόνια, οι σημαντικές εξελίξεις της τεχνολογίας και της βιομηχανίας επιτρέπουν την εφαρμογή πρωτοποριακών συστημάτων με νέα δομικά υλικά, προσαρμοσμένα στις ανάγκες της εποχής, καθιστώντας την προκατασκευή μια πολλά υποσχόμενη μέθοδο, εναλλακτική της συμβατικής οικοδομικής πρακτικής in situ.

2.1 Η εξέλιξη από το εργοτάξιο στην εργοστασιακή παραγωγή

Η εργοστασιακή κατασκευή μελών και εξαρτημάτων κτιρίων, σαν πρακτική, δεν είναι κάτι το καινούργιο καθώς εντοπίζεται σε έργα εδώ και τουλάχιστον 200 χρόνια. Τούβλα, κεραμικά πλακίδια, πριστή ξυλεία, φύλλα γυαλιού, κουφώματα παραθύρων, χυτές μεταλλικές κολώνες είναι κάποια μόνο από τα εργοστασιακά προϊόντα του 19^{ου} αιώνα στην αγορά Ευρώπης και Αμερικής.¹ Ωστόσο, η προκατασκευή δεν περιορίζεται στα δομικά μέλη. Ιστορικά, έχει αποτελέσει μια σχεδιαστική απάντηση στις ανάγκες για γρήγορη, οικονομική και μαζική παραγωγή κτιρίων μέσα από τη μετατόπιση της διαδικασίας κατασκευής στο εργοστάσιο. Η πορεία της στον αρχιτεκτονικό και κατασκευαστικό τομέα δεν έχει ξεκάθαρη, γραμμική εξέλιξη αλλά τροποποιείται από τις τεχνολογικές δυνατότητες, το κοινωνικό και το εμπορικό κλίμα της κάθε εποχής.

1. Davies, Colin, 2005, Εκδόσεις Reaktion Books, London, σελ.8

2.1.1 Αρχιτεκτονικά οράματα προκατασκευής

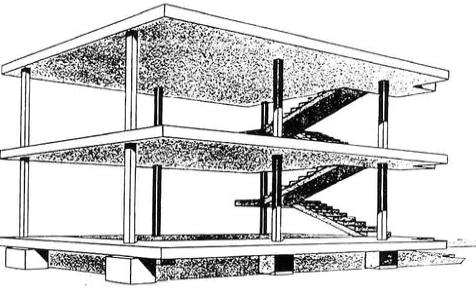
Οι αρχιτέκτονες πάντα έβρισκαν δύσκολο να συμβιβαστούν με την ιδέα ότι τα προϊόντα της τέχνης τους κατασκευάζονται στα εργοστάσια.² Η μοντέρνα αρχιτεκτονική, απορρίπτοντας τον ιστορικισμό του προηγούμενου αιώνα, αξιοποίησε την προκατασκευή ως βασικό εργαλείο της για να απαντήσει στα αιτήματα μιας μαζικής αρχιτεκτονικής σε μια ολοένα και πιο βιομηχανοποιημένη κοινωνία.

«Οι εργασίες στο εργοτάξιο ελαχιστοποιούνται, όχι μέσω της προκατασκευής, αλλά μέσα από τον εξορθολογισμό του σχεδιασμού.»³

Στην πρώιμη φάση της ένταξης της προκατασκευής στον σχεδιασμό, οι προσπάθειες επικεντρώθηκαν στην βελτιστοποίηση του εργοταξίου με στόχο την μείωση του κόστους και χρόνου κατασκευής. Ο Le Corbusier εφαρμόζει ένα από τα πρώτα παραδείγματα αυτής της σκέψης. Στο βιβλίο «Για μια αρχιτεκτονική» παρουσιάζει το όραμα του για μια μοντέρνα, βιομηχανοποιημένη αρχιτεκτονική που καλύπτει τις ανάγκες μαζικής στέγασης μέσα από μια σειρά προτύπων. Πρόκειται για απλές μονάδες από σπλισμένο σκυρόδεμα που, στην επανάληψη τους, τυποποιούνται ως προς τη μορφή, τις διαστάσεις και τα υλικά παράγοντας μεγαλύτερα σύνολα κατοικιών. Η επιρροή τους μεταπολεμικά στην κοινωνική στέγαση ήταν τεράστια, αλλά πρακτικά μηδενική στην ιδιωτική κατοικία.⁴

Λίγα χρόνια αργότερα στις ΗΠΑ, ο Frank Lloyd Wright απευθύνεται σχεδιαστικά στη μέση τάξη μέσα τις κατοικίες *Usonian* των δεκαετιών '30-'40.⁵ Παρότι δεν σχεδιάστηκαν σαν κατοικίες για μαζική παραγωγή, χαρακτηρίζονται από τυποποίηση των στοιχείων τους, των υλικών και του συστήματος δόμησης που απλοποιεί τη χάραξη και την κατασκευή τους. Η εκβιομηχάνιση της διαδικασίας δεν μοιάζει να απασχόλησε ποτέ πραγματικά τον Wright ο οποίος προσπαθούσε απλά να κανονικοποιήσει και να μειώσει το κόστος στην παραγωγή των μονοκατοικιών του.⁶ Εξάλλου, η αρχιτεκτονική του ήταν πάντοτε παρακινούμενη πρώτα από τον πελάτη, την τοποθεσία και δευτερευόντως από την τεχνολογία.⁷

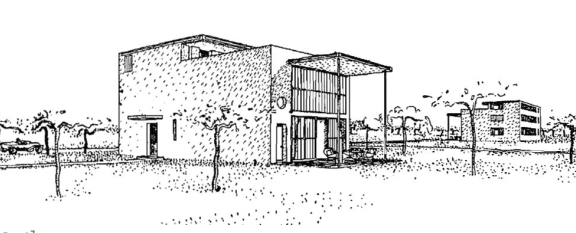
2. ο.π., σελ.8
3. ο.π., σελ.31
4. ο.π., σελ.19
5. Ο Wright μετά το 1938, πρόσθετε τον τίτλο *Usonian* σε κάθε κατοικία που σχεδίαζε αλλά τα πραγματικά *Usonian Houses* απαριθμούν περίπου 26 υλοποιημένες κατοικίες. (Davies C., 2005, σελ.32)
6. ο.π., σελ.33
7. Smith, Ryan, 2010, *Prefab Architecture. A Guide to Modular Design and Construction*, Εκδόσεις John Wiley & Sons, New Jersey, σελ.31



[2.2]



[2.3]

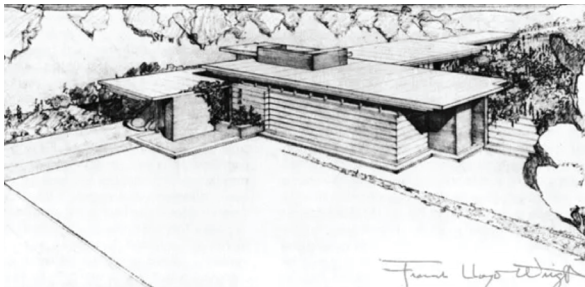


[2.4]

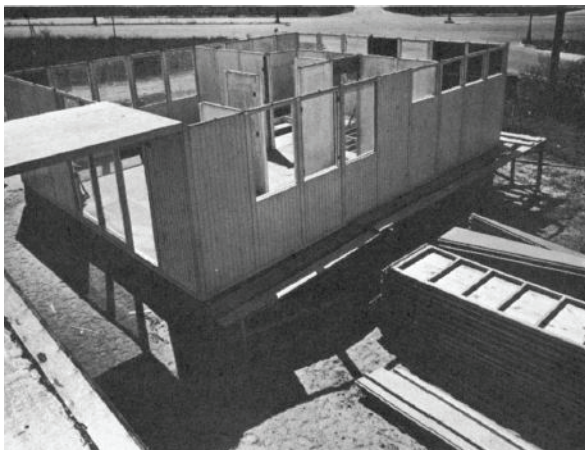
[2.2] Dom-Ino (1914), Le Corbusier, ένα πρότυπο φέροντα οργανισμό από πλάκες και υποστυλώματα σπλισμένου σκυροδέματος.

[2.3] Monol House (1919), Le Corbusier, επαναλαμβανόμενες μονάδες σε παράταξη που σχηματίζουν συγκροτήματα κατοικιών.

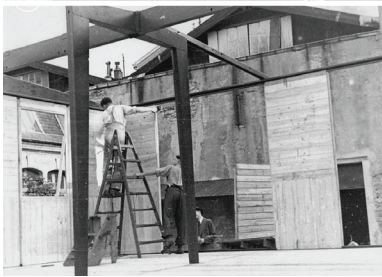
[2.4] Cirtohan House (1920), Le Corbusier, πρότυπο τυποποιημένης αυτοτελούς μονοκατοικίας που επαναλαμβάνεται



[2.5]



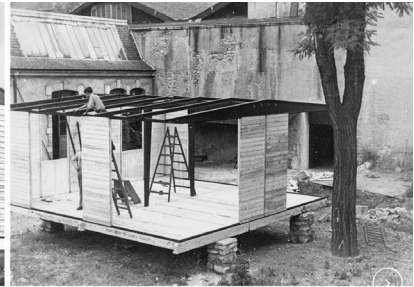
[2.8]



[2.6]



[2.9]



[2.7]



[2.10]

Ο Β΄ Παγκόσμιος πόλεμος μετέβαλε ριζικά τις ανάγκες κατοίκησης και τους στόχους της προκατασκευής στις κατοικίες. Πλέον η επείγουσα στέγαση των πληθυσμών, η μείωση του κόστους κατασκευής και η αξιοποίηση των διαθέσιμων υλικών οδηγούν στην αναζήτηση της εργοστασιακής παραγωγής.

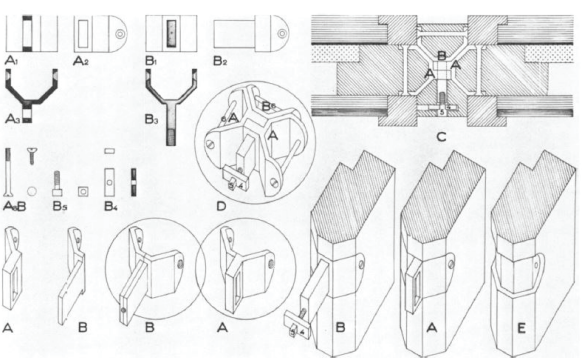
Ο Jean Prouné είναι ένα ακόμα άτομο που επηρέασε βαθιά την αρχιτεκτονική της προκατασκευής ήδη από το 1935. Κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου πολέμου, σχεδιάζει καταλύματα έκτακτης ανάγκης για τους στρατιώτες και μετά τη λήξη του προωθεί τυπολογίες λυόμενων κατοικιών γνωστές και ως *Demountable Houses* (1944)⁸ για τη στέγαση του πληθυσμού. Τα δομικά συστήματα βασίζονται στην εύκολη επιτόπια συναρμολόγηση πάνελ τοιχοποιίας σε μεταλλικά πλαίσια. Αν και οι λύσεις ήταν πρωτοποριακές τεχνικά, δεν έλαβαν την αναμενόμενη κρατική υποστήριξη και εμπορικά απέτυχαν.

Την δεκαετία του 1940 ξεκινάει το φιλόδοξο σχέδιο προκατασκευασμένων κατοικιών των Walter Gropius και Konrad Wachsmann, το *Packaged House*⁹ (1941-1947). Η λογική συναρμολόγησης όλων των στοιχείων ενός κτιρίου (τοίχοι, δάπεδα, οροφές, στέγες) από προκατασκευασμένα πάνελ σε τυποποιημένες διαστάσεις με ένα εξαιρετικά περίπλοκο σύστημα σύνδεσης, αποτέλεσε ένα πραγματικά καινοτόμο εγχείρημα. Παρόλα αυτά, παράγονται ελάχιστες μονάδες και η επιχείρηση αποτυγχάνει μεταπολεμικά λόγω των καθυστερήσεων στην παραγωγή, της έλλειψης κρατικής υποστήριξης, του αυξημένου κόστους και της πολυπλοκότητας που απαιτεί υψηλή εξειδίκευση των τεχνιτών για την εγκατάσταση.¹⁰

Στα πλαίσια της παραγωγής οικονομικών κατοικιών και της αξιοποίησης των υλικών όπως το αλουμίνιο-υλικό με πλεονάζουσα παραγωγική δυνατότητα μετά τη λήξη του πολέμου- ο Richard Buckminster Fuller πειραματίζεται με τις φουτουριστικές κατοικίες *Dymaxion* και *Wichita House* (1944-1946), χωρίς όμως πραγματική εμπορική ανταπόκριση.

Το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, η σχέση αρχιτεκτονικής και μαζικής παραγωγής αλλάζει. Δεν επιδιώκεται πλέον ο σχεδιασμός και παραγωγή ρεαλιστικών προτάσεων και οι αρχιτέκτονες αφήνονται στην δύναμη της επιρροής που ασκεί το έργο τους. Μοιάζει σαν να μην θέλουν να υποβληθούν στην πειθαρχία που απαιτεί το εργοστάσιο.¹¹

8. *Demountable House*: Λυόμενη Κατοικία
9. *Packaged House*: Συσκευασμένη Κατοικία
10. Davies, Colin, 2005, *The Prefabricated Home*, Εκδόσεις Reaktion Books, London, σελ.23
11. ο.π., σελ.35



[2.11]

«Για τον Wachsmann το *'Packaged House'* δεν ήταν πραγματικά ένα σπίτι, ούτε ένας τόπος για τις ζωές πραγματικών ανθρώπων, ούτε ένα *'σπίτι-μηχανή'*, ήταν ένα αφηρημένο γεωμετρικό σύστημα που έτεινε συνεχώς προς την μαθηματική τελειότητα. Ο Wachsmann είχε εμμονή με το σύστημα του και δεν μπορούσε να σταματήσει να το βελτιώνει, πράγμα που σήμαινε να το κάνει εννοιολογικά όσο πιο κοντά στο τέλειο μπορούσε.»¹⁰

[2.5] Jackobs Usonian House (1937), F. L. Wright

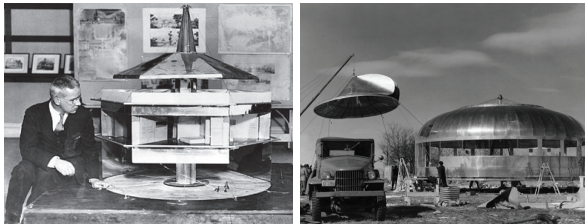
[2.6] Συναρμολόγηση πρωτύπου "6x6 Demountable House" στο εργαστήριο του Jean Prouné (1944) και [2.7] επανασυναρμολόγηση το 2014

[2.8] Κατασκευή πρωτοτύπου Packaged House

[2.9] Δοκιμές του συστήματος Packaged House στο εργοστάσιο

[2.10] Walter Gropius, Konrad Wachsmann επιθερώντας την κατασκευή (1946)

[2.11] Το περίπλοκο σύστημα σύνδεσης των πάνελ Packaged House

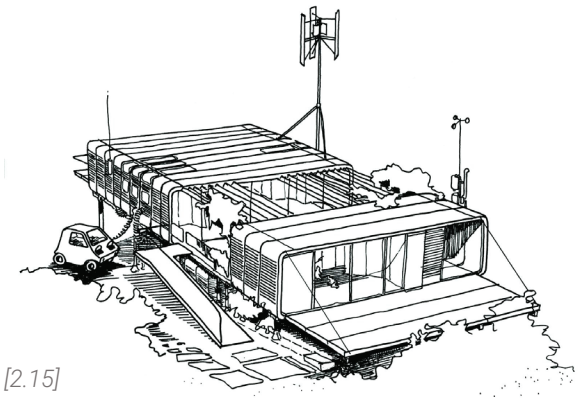


[2.12]

[2.13]



[2.14]



[2.15]

[2.12] Buckminster Fuller με ένα μοντέλο του προτύπου κατασκευής Dymaxion House

[2.13] Οι κατασκευαστικές αρχές του προτύπου Dymaxion, είναι εμφανείς στο -υπό συναρμολόγηση- Wichita House (1946)

[2.14] Φωτογραφίες μακέτας του Zip-Up House

[2.15] Προοπτικό σκίτσο του Zip-Up House

«Η αγορά ρούχων από το ράφι είναι ο κανόνας. Θέλαμε να κάνουμε το ίδιο και για το σπίτι – ένα προσιτό, γρήγορο κι εξαρτημάτων.»¹²

Στο τέλος της δεκαετίας του '60 η τεχνολογία έρχεται στο προσκήνιο της αρχιτεκτονικής, με πρωτοπόρους τους Richard Rogers και Norman Foster στο κίνημα British High-Tech. Ο Rogers στο *Zip-up House* (1968)¹³, προτείνει εργοστασιακά προκατασκευασμένα ορθογώνια πλαίσια αλουμινίου που συναρμολογούνται επιτόπου και σχηματίζουν το κέλυφος του κτιρίου, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να τοποθετηθεί οπουδήποτε με ρυθμιζόμενα μεταλλικά πέλματα. Γενικά, η περίοδος του High-Tech και της προκατασκευής ήταν μια περίοδος γέννησης αρχιτεκτονικών ιδεών, των οποίων τα προϊόντα αν κατασκευάζονταν καν, συχνά δεν προχωρούσαν πέρα από το πρωτότυπο.¹⁴ Η εργοστασιακή παραγωγή έχει γίνει πλέον στιλιστική επιλογή, μια επιλογή με περιορισμένη απήχηση έξω από τον κλάδο της αρχιτεκτονικής.¹⁵

Οι σχεδιαστικές προτάσεις-μανιφέστα της αρχιτεκτονικής ομάδας Archigram κατά τη δεκαετία 1960 εισάγουν για πρώτη φορά έννοιες όπως *capsule* και *rod* για την περιγραφή των αρθρωτών, τεχνολογικά εξελιγμένων κατοικιών τους. Στην λογική της προκατασκευής με αυτοτελείς μονάδες (*modules*), ένα από τα γνωστότερα υλοποιημένα παραδείγματα της περιόδου είναι το συγκρότημα *Habitat* σχεδιασμένο από τον Moshe Safdie το 1967. Αποτελείται από 354 προκατασκευασμένες μονάδες οπλισμένου σκυροδέματος τοποθετημένες η μία πάνω στην άλλη και σχηματίζει 158 κατοικίες με τους αντίστοιχους εξωτερικούς τους χώρους. Την ίδια περίοδο στο ρεύμα του Ιαπωνικού μεταβολισμού, ο Kisho Kurokawa σχεδιάζει τον πύργο *Nakagin Capsule Tower* (1972) στο Τόκιο, όπου 140 όμοιες πλήρως προκατασκευασμένες μονάδες κατοικιών συνδέονται σε δύο πύργους από οπλισμένο σκυρόδεμα. Παρότι στα δύο τελευταία παραδείγματα πραγματοποιείται το δύσκολο όραμα του σχεδιασμού με προκατασκευασμένες μονάδες, η πολυπλοκότητα, το αυξημένο κόστος και οι δυσκολίες που προέκυψαν στη συντήρηση, ακύρωσαν τους αρχικούς σχεδιαστικούς τους στόχους και δεν οδήγησαν ποτέ σε ευρεία εφαρμογή.

Μετά το 1970 οι αρχιτεκτονικές προτάσεις παραμένουν σε μεγάλο βαθμό σε πειραματικό επίπεδο, χωρίς την αναμενόμενη μαζική παραγωγή. Η αναζήτηση της καινοτομίας μοιάζει να υπερισχύει εις βάρος της κοινωνικής ισότητας μέχρι το τέλος του εικοστού αιώνα.¹⁶

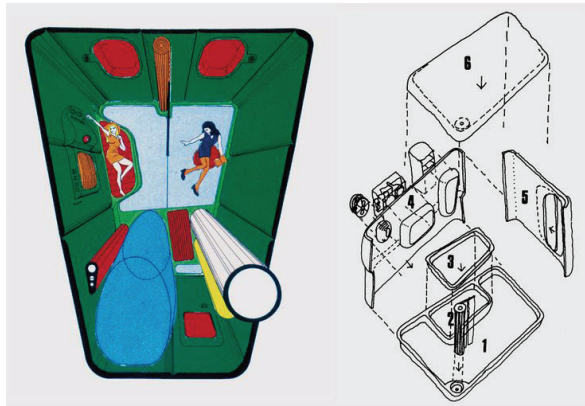
12. Wainright, 15-07-2013, Oliver, *Richard Rogers: the world as it could be*, The Guardian
13. Σχεδιασμένο για τον διαγωνισμό "The House of Today" της εταιρείας DuPont, το Zip-up House κέρδισε την προσοχή του κοινού και των συμμετεχόντων.
14. Smith, Ryan, 2010, *Prefab Architecture. A Guide to Modular Design and Construction*, Εκδόσεις John Wiley & Sons, New Jersey, σελ.35
15. Davies, Colin, 2005, *The Prefabricated Home*, Εκδόσεις Reaktion Books, London, σελ.40
16. Smith, Ryan, 2010, *Prefab Architecture. A Guide to Modular Design and Construction*, Εκδόσεις John Wiley & Sons, New Jersey, σελ.39



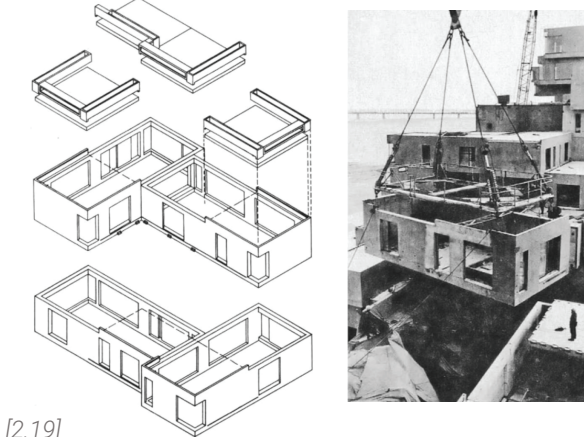
[2.16]



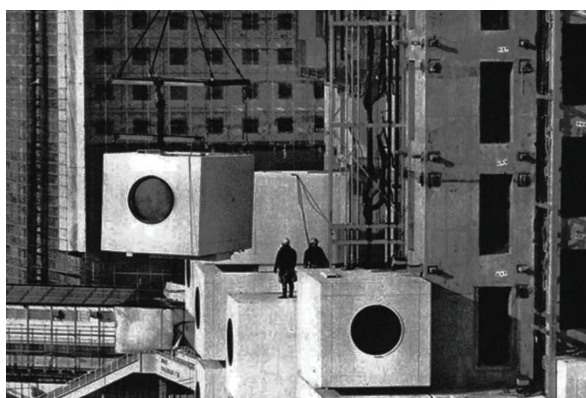
[2.17]



[2.18]



[2.19]



[2.20]

[2.16] Συνολική άποψη του Nakagin Capsule Tower

[2.17] Η διάρθρωση των επαναλαμβανόμενων modules στο Nakagin Capsule Tower

[2.18] Archigram, *Plug-in city* προταση για προκατασκευασμένη κατοικία-κάψουλα

[2.19] Σχηματική απεικόνιση και φωτογραφία από την εγκατάσταση των μονάδων στο Habitat (1967)

[2.20] Φωτογραφία εγκατάστασης των μονάδων στο Nakagin Capsule Tower (1972)

[2.21] Πανοραμική φωτογραφία του συγκροτήματος Habitat από το λιμάνι του Μόντρεαλ



[2.21]

2.1.2 Κατασκευαστικές επιτυχίες της προκατασκευής

Οι οραματισμοί των αρχιτεκτόνων για μαζική στέγαση μέσω της προκατασκευής -παρότι δημοφιλείς- αποτυγχάνουν στο βασικό τους σκοπό: την μαζική παραγωγή.¹⁷ Αντιθέτως, ιστορικά οι πιο επιτυχημένες κατασκευαστικές λύσεις προήλθαν από κατασκευαστές, δεν κατάφεραν όμως να κερδίσουν το κύρος του τίτλου της ‘αρχιτεκτονικής’.¹⁸

«Ενώ η αρχιτεκτονική δυσκολεύεται να βρει την πραγματική καλλιτεχνική έκφραση της βιομηχανικής παραγωγής, η κατασκευή εκβιομηχανίζεται αθόρυβα πίσω από την πλάτη της.»¹⁹

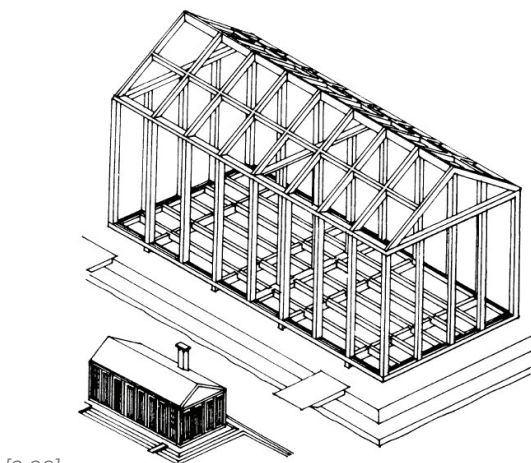
Η ιστορία των προκατασκευασμένων συστημάτων από μη-αρχιτέκτονες μπορεί να σηματοδοτηθεί με την εισαγωγή του συστήματος *balloon frame* στην αναπτυσσόμενη πόλη του Σικάγο το 1833. Η κατασκευή χαρακτηρίζεται από το δομικό σύστημα των τοίχων της, που αποτελείται από κάθετα λεπτά μέλη πλήρους ύψους τα οποία επενδύονται με οριζόντιες σανίδες εξωτερικά. Η ευελιξία, η ταχύτητα κατεργασίας και ολοκλήρωσης των κτιρίων οδήγησαν στην καθιέρωση του συστήματος ως μια από τις πιο δημοφιλείς μεθόδους ξύλινης κατασκευής μέχρι και σήμερα.

Ταυτόχρονα στην Βρετανία, η ταχύτατη εξάπλωση των αποικιών σε μακρινές χώρες, οδήγησε στην παραγωγή φορητών κατοικιών προς συναρμολόγηση. Το *Manning Portable Colonial Cottage* (1830) είναι η πρώτη καταγεγραμμένη τέτοια κατοικία με κολώνες και τυποποιημένα πάνελ πλήρωσης, σχεδιασμένη ώστε να μεταφέρεται και να συναρμολογείται από ανειδίκευτο προσωπικό. Παρά τη μεγάλη εμπορική επιτυχία τους, προς το τέλος του 19^{ου} αιώνα, τέτοιου τύπου λυόμενες κατοικίες φθίνουν καθώς οι αποικίες αναπτύσσουν τις δικές τους βιομηχανίες.

Μέχρι τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο, στην Αμερική αναπτύσσονται πολλές εταιρείες με *κιτ-κατοικιών* μέσα από καταλόγους με την υπόσχεση μιας παραδοσιακής οικονομικής κατοικίας, ενώ μεταπολεμικά οι κρατικές επιχορηγήσεις δίνουν μεγάλη ώθηση στην προκατασκευή για προσωρινή στέγαση του πληθυσμού. Ένα από τα φιλόδοξα προγράμματα που υποστηρίχθηκε από το κράτος ήταν τα *Lustron Houses* (1947-1950), μια προσπάθεια παραγωγής κατοικιών με συμβατική μορφή, αλλά κατασκευή σχεδόν εξ’ ολοκλήρου από μέταλλο. Παρά την καινοτόμα προσέγγιση, η περιπλοκότητα της κατασκευής και οι λάθος εκτιμήσεις σχετικά την διαδικασία παραγωγής οδήγησαν στην παραγωγή μόλις 2.500 κατοικιών.



[2.22]



[2.23]

[2.22] Ανέγερση κτιρίου με την τεχνική *balloon frame*

[2.23] *Manning Portable Cottage*, “Κανένα από τα κομμάτια δεν είναι βαρύτερο από ο,τι ένας άνδρας ή αγορι θα μπορούσε εύκολα να μεταφέρει για μίλια”, όπως αναφέρει ο δημιουργός του J. Manning

Η μεταπολεμική άνθιση της προκατασκευής στη Βρετανία μέσα από τα προγράμματα στέγασης που χρηματοδοτούνταν από το κράτος τόνιζε τον προσωρινό χαρακτήρα τους, ώστε οι μεν πολίτες να δεχθούν τα μικρά, ανορθόδοξης κατασκευής σπίτια που προσφέρονταν και οι οικοδόμοι να καθισχαστούν ότι οι δεξιότητες τους θα αξιοποιηθούν ξανά σύντομα σε κατασκευές μόνιμου χαρακτήρα.²⁰ Τέτοιο παράδειγμα είναι και το πρόγραμμα κατοικιών *AIROH*²¹ (1944) που μετράει περίπου 54.500 υλοποιημένες εφαρμογές. Οι κατοικίες κατασκευάζονταν από το πλεονάζον αλουμίνιο της βιομηχανίας αεροσκαφών και σχηματίζονταν από τέσσερεις έτοιμες ενότητες με πάτωμα, τοίχους και στέγη που μεταφερόταν στη θέση εγκατάστασης. Παρότι ορισμένες επιβιώνουν μέχρι και σήμερα, δεν μπόρεσαν να αποτελέσουν μακροπρόθεσμη λύση λόγω των κατασκευαστικών προβλημάτων που παρουσίασαν σχετικά σύντομα και της έλλειψης αποδοχής από τους κατοίκους.

Τέλος, αξίζει να αναφερθούμε σε ένα ιδιαίτερο κεφάλαιο στην ιστορία των προκατασκευασμένων κατοικιών στην Αμερική που άνθησε κατά τη δεκαετία του 1970: τα *mobile/ manufactured homes*, δηλαδή τις φορητές κατοικίες. Κατασκευασμένες κατά παραγγελία εξ’ ολοκλήρου στο εργοστάσιο, μεταφέρονται σε δύο ή τρία τμήματα πάνω σε σκελετούς με ρόδες στη θέση εγκατάστασης. Αποτελούν ένα πολύ επιτυχημένο παράδειγμα της βιομηχανοποίησης της κατοικίας, με μικρότερη συμμετοχή στον κατασκευαστικό τομέα από ότι στη βιομηχανία, αφού η βάση τους είναι το εργοστάσιο και όχι το εργοτάξιο.²² Απευθύνονταν κυρίως σε νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος προσφέροντας ευκαιρίες γρήγορης, οικονομικής στέγασης αλλά περιβάλλονται ακόμα από ισχυρό κοινωνικό στίγμα και προκατάληψη.

Ιστορικά, η αρχιτεκτονική ανέκαθεν προχωρούσε και συνεχίζει να προχωράει μπροστά μαζί με την προκατασκευή, είτε αυτό είναι με την μορφή ολόκληρων κτιρίων που μεταφέρονται αυτούσια στο οικόπεδο, είτε με την τμηματική εργοστασιακή παραγωγή στοιχείων τους. Η συνεχής αναζήτηση λύσεων ώστε να γίνει πιο αποδοτική, οικονομική και μαζική, αποδεικνύει τη σημασία της για την αρχιτεκτονική παραγωγή τόσο σε εποχές κρίσης αλλά και σαν έκφραση της τεχνολογικής καινοτομίας κάθε εποχής, θέτοντας τη βάση για να αναλυθούν περεταίρω τα πλεονεκτήματα, τα μειονεκτήματα και οι σύγχρονες εφαρμογές της προκατασκευής.

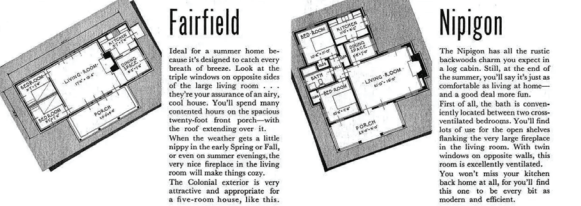
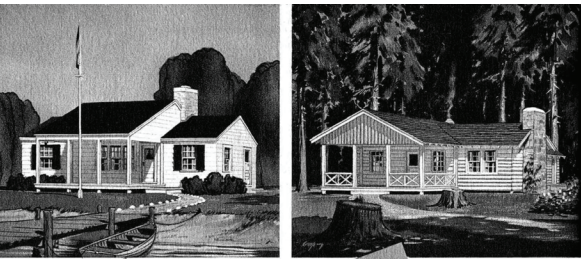
20. ο.π., σελ.61

21. *AIROH: Aircraft Industries Research Organization on Housing* (Οργανισμός Έρευνας Αεροναυπηγικών Βιομηχανιών για τη Στέγαση)

22. Davies, Colin, 2005, *The Prefabricated Home*, Εκδόσεις Reaktion Books, London, σελ.81



[2.24]

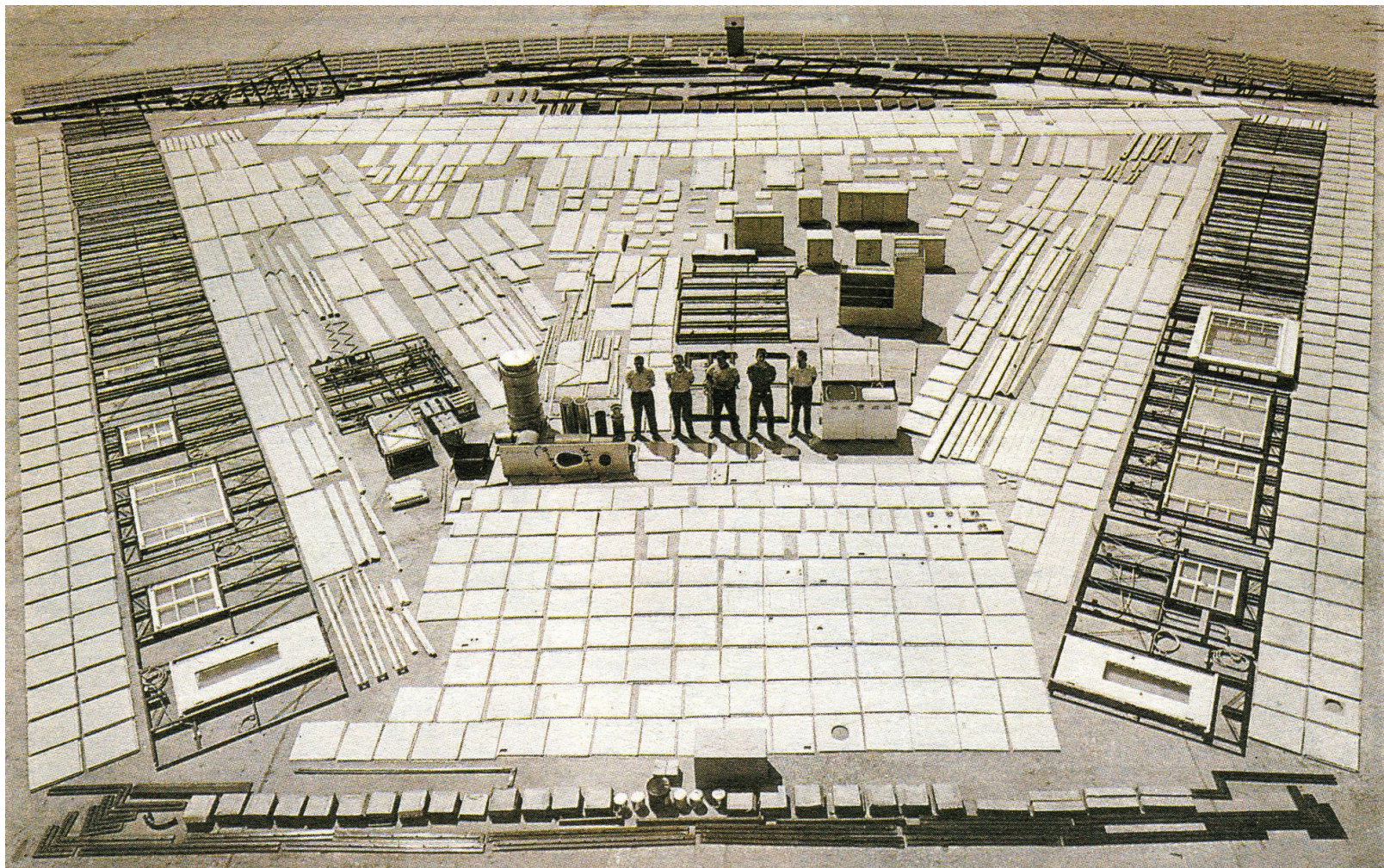


[2.25]

Διαφημιστικά εποχής:

[2.24] *Lustron Houses* (1950)

[2.25] *Sears Roebuck House kit*



[2.26]

2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της προκατασκευής

Η γνωστή σε όλους διαδικασία συμβατικής κατασκευής με το σύνολο των εργασιών να γίνονται επιτόπου, παρουσιάζει ορισμένες δεδομένες δυσκολίες. Οι καιρικές συνθήκες, ο πολύπλοκος συντονισμός πολλών συνεργείων και η οργάνωση εργασιών στο εργοτάξιο συχνά καθιστούν τις εργασίες αναποτελεσματικές. Τα σχεδιαστικά προβλήματα εντοπίζονται και επιλύονται κυρίως επιτόπου στο εργοτάξιο, οι έκτακτες αλλαγές στα σχέδια δημιουργούν καθυστερήσεις, ενώ δεν λείπουν και ζημιές λόγω των διαφορετικών ειδικοτήτων που εργάζονται ταυτόχρονα στο χώρο. Εξαιτίας των παραπάνω, τα πρόσθετα κόστη γίνονται σαφή μόνο κατά τη διάρκεια της κατασκευής, τα χρονοδιαγράμματα είναι δύσκολο να τηρηθούν και συχνά προκαλείται δυσaréσκεια στη γειτονιά, ιδίως σε αστικές περιοχές.²³

Η μεταφορά τμήματος της κτιριακής παραγωγής στο εργοστάσιο μέσω της προκατασκευής, μπορεί να προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα. Πρώτον, ο χρόνος ανέγερσης και συναρμολόγησης επιτόπου μειώνεται σημαντικά οδηγώντας πιο γρήγορα σε ένα κλειστό κέλυφος κτιρίου, προστατευμένο από τις καιρικές συνθήκες.²⁴ Κατ' αυτό τον τρόπο, μειώνεται η συνολική περίοδος κατασκευής με ότι οικονομικά πλεονεκτήματα συνεπάγεται αυτό για κάθε έργο. Δεύτερον, το ελεγχόμενο περιβάλλον μιας βιομηχανίας δίνει τη δυνατότητα μεγαλύτερου ελέγχου των εφαρμογών και διαδικασιών κατασκευής. Ο καιρός δεν επηρεάζει την πορεία εργασιών, ο τυχόν συντονισμός διαφορετικών ειδικοτήτων είναι ευκολότερος και τα παραγόμενα απόβλητα είναι μειωμένα με τη διαδικασία σωστής διάθεσης τους ή ανακύκλωσης να είναι ευκολότερη.²⁵

Ταυτόχρονα όμως, η προκατασκευή έχει και μειονεκτήματα και δεν είναι η σωστή λύση για όλες τις περιπτώσεις. Αρχικά, απαιτείται μια πολύ λεπτομερής φάση σχεδιασμού όπου οι μηχανικοί και οι πελάτες πρέπει να είναι έτοιμοι από νωρίς να λάβουν σχεδιαστικές αποφάσεις, κατανοώντας ότι οι αλλαγές και διορθώσεις στο εργοτάξιο θα έχουν αρνητικό αποτέλεσμα στο κόστος, τον προγραμματισμό και την ποιότητα κατασκευής. Είναι σημαντικό επίσης να αντισταθμίζεται η κλίμακα του έργου σε σχέση με το σύστημα προκατασκευής προς επιλογή, αφού πιο περίπλοκα συστήματα είναι πιθανό να καταλήξουν ασύμφορα και κοστοβόρα για μικρά ή μεσαία έργα που δε μπορούν να επωφεληθούν από τον υψηλό βαθμό τυποποίησης.²⁶ Τέλος, άξια αναφοράς είναι και η προκατάληψη που συχνά συνοδεύει τα προκατασκευασμένα κτίρια στην κοινή γνώμη.

23. Huß, Wolfgang, 2018, "Prefabrication", *Manual of Multi-Storey Timber Construction: Principles – Constructions – Examples*, DETAIL, Munich, σελ.142

24. Σαν κλειστό κέλυφος νοείται η κατασκευή με τις προσόψεις, κουφώματα και οροφές, χωρίς απαραίτητα την εγκατάσταση του εσωτερικού εξοπλισμού και των λοιπών εγκαταστάσεων.

25. ο.π., σελ. 143

26. ο.π., σελ.144



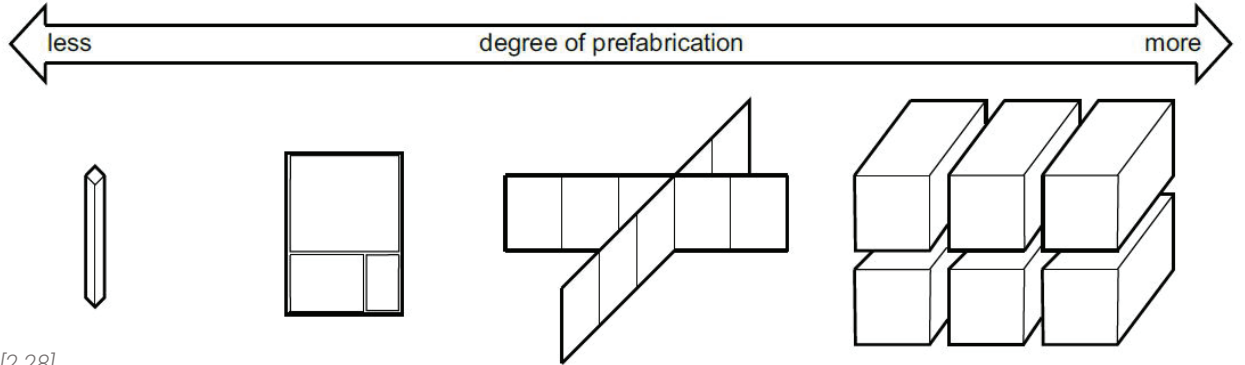
[2.27]

[2.26] Τα πάνελ και εξαρτήματα μιας κατοικίας Lustron προς συναρμολόγηση (1949)

[2.27] Τμήμα κατοικίας AIROH μεταφέρεται με φορτηγό και εγκαθίσταται στο οικόπεδο

Παρότι στην Ευρώπη το μέσο ποσοστό των προκατασκευασμένων κτιρίων φτάνει το 15%, στην Ελλάδα όπως και σε άλλες μεσογειακές χώρες, η διείσδυση τους στην οικοδομή είναι χαμηλή.²⁷ Οι κοινές αντιλήψεις ότι τέτοια κτίρια είναι χαμηλότερης ποιότητας ή σχεδιάζονται για προσωρινή χρήση αποτελούν τις βασικότερες αιτίες της χαμηλής ζήτησης παρά τις καινοτόμες προσεγγίσεις των τελευταίων δεκαετιών.²⁸

2.3 Σύγχρονες τάσεις



[2.28]

Στην προσπάθεια κατηγοριοποίησης των τεχνικών ως προς την προκατασκευή των μελών τους πριν την συναρμολόγηση στο εργοτάξιο, τρεις βασικές κατηγορίες εντοπίζονται ευρέως σε κατασκευές: τα προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία (δοκοί, κολώνες), τα πάνελ επιφάνειας (τοιχοποιία, δάπεδα, στέγη) και οι εργοστασιακά παραγόμενες μονάδες (modules). Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός προκατασκευής, τόσο μεγαλύτερη είναι η επαναληψιμότητα και μικρότερη η ευελιξία του συστήματος. Ένα υβριδικό μείγμα συστημάτων είναι συχνά το καταλληλότερο, διατηρώντας τα στοιχεία που αυξάνουν την αποδοτικότητα, αλλά αφήνοντας πίσω εκείνα που περιορίζουν την ελευθερία σχεδιασμού.²⁹

27. Στην χώρα μας, το 79% των κτιρίων είναι κατοικίες και η πλειοψηφία τους έχει κατασκευαστεί πριν το 1980 με κυρίαρχα υλικά το οπλισμένο σκυρόδεμα για τον σκελετό και τοιχοποιία οπτοπλινθοδομής. (Tsikaloudaki, K., et al., 2020)
28. Tsikaloudaki, K., Tsodosiou, T., Tsoka, S., Chastas, P., 2020, “Conventional vs. Prefabricated Buildings: Pursuing the Goal of Sustainability”, ανακοίνωση στο συνέδριο: 7th International Academic Conference: Places and Technologies
29. Smith, Ryan, 2010, *Prefab Architecture. A Guide to Modular Design and Construction*, Εκδόσεις John Wiley & Sons, New Jersey, σελ.180

[2.28] Ταξινόμηση των μεθόδων βάσει του βαθμού προκατασκευής πριν την συναρμολόγηση στο έργο. Υλικά - Εξαρτήματα - Επιφάνειες - Μονάδες

Σε κάθε περίπτωση, τα σύγχρονα προκατασκευασμένα κτίρια δεν βασίζονται σε κάποια άκαμπτη επαναλαμβανόμενη φόρμουλα. Η χρήση ψηφιακών τεχνολογιών (CAD/ CAM/ BIM)³⁰ αποδεικνύεται καθοριστική για αυτή την αλλαγή στην ιδεολογία της προκατασκευής καθώς διευκολύνει την διαχείριση μεγάλου αριθμού δεδομένων και προσφέρει την απαραίτητη ευελιξία στις επιλογές.³¹ Το κόστος μειώνεται, όπως επίσης και ο όγκος σχεδιασμού των επιμέρους στοιχείων, με αποτέλεσμα η τελική κατασκευή να είναι εξατομικευμένη και οι λύσεις πρακτικά αυτοματοποιημένες. Οι τεχνολογικές εξελίξεις προάγουν την καινοτομία και τις λεπτομερείς λύσεις, αλλά συχνά έχουν εφαρμογή μόνο στο συγκεκριμένο κτίριο που μελετάται κάθε φορά.³² Στις επόμενες υποενότητες, θα παρουσιαστούν οι βασικότερες σύγχρονες μέθοδοι προκατασκευής μέσα από παραδείγματα εφαρμογών τους.

2.3.1 Προκατασκευασμένα πάνελ

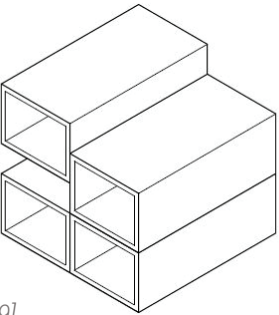
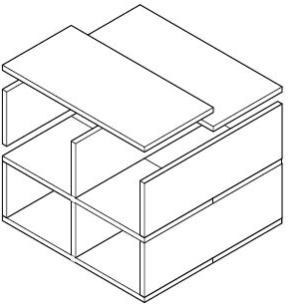
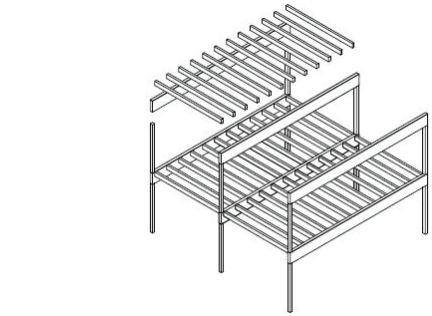
Η κατασκευή με προκατασκευασμένα πάνελ αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα συστήματα με πληθώρα εφαρμογών σε κτίρια ανά τον κόσμο. Τα πάνελ είναι στοιχεία επιφανειών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τοίχων, δαπέδων και οροφών, σε εξωτερικούς ή εσωτερικούς χώρους.³³ Συχνά περιλαμβάνουν προεγκατεστημένα τακουφώματα στα ανοίγματα, την θερμομόνωση, τα εξωτερικά φινιρίσματα ή την επένδυση ακόμα και ηλεκτρομηχανολογικές υποδομές. Ανάλογα το δομικό σύστημα που επιλέγεται, τα πάνελ μπορεί να έχουν κύριο φέροντα χαρακτήρα, όπως στην περίπτωση του *LCT ONE* [2.30-2.31], ή να λειτουργούν ως τοιχοποιία πλήρωσης για την κατασκευή, όπως στις φοιτητικές εστίες *Brock Commons* [2.32-2.35].

2.3.2 Προκατασκευασμένες μονάδες (modules)

Η πιο ολοκληρωμένη μορφή προκατασκευής συναντάται στην πλήρη κατασκευή χωρικών ή λειτουργικών ενοτήτων στο εργοστάσιο και τη μεταφορά τους στο έργο ως αυτοτελείς μονάδες. Σε αντίθεση με τα πάνελ, οι μονάδες έχουν συνήθως στατική λειτουργία για τον κτίριο και ο βαθμός προκατασκευής τους σε σχέση με τις εγκαταστάσεις και τα φινιρίσματα ποικίλλει και φτάνοντας μέχρι το 95% πριν την τοποθέτηση του.³⁴

Αξιοποιούν στο μέγιστο τα οφέλη της προκατασκευής όπου απαιτείται επαναληψιμότητα από το κτιριολογικό πρόγραμμα, όπως σε ξενοδοχεία, φοιτητικές εστίες ή κτίρια κατοικιών, περιορίζουν όμως λόγω της επανάληψης την ευελιξία του σχεδιασμού.

30. CAD: Computer Aided Design, CAM: Computer Aided Manufacturing, BIM: Building Information Model
31. ο.π., σελ.18
32. Huß, Wolfgang, 2018, “Prefabrication”, στο βιβλίο: *Manual of Multi-Storey Timber Construction: Principles – Constructions – Examples*, DETAIL, Munich, σελ.142
33. Smith, Ryan, 2010, *Prefab Architecture. A Guide to Modular Design and Construction*, Εκδόσεις John Wiley & Sons, New Jersey, σελ.140
34. ο.π., σελ.160



[2.29]

[2.29] Οι τρεις βασικές κατηγορίες προκατασκευής: δομικά στοιχεία - πάνελ - μονάδες



[2.30]



[2.32]



[2.35]



[2.31]



[2.33]

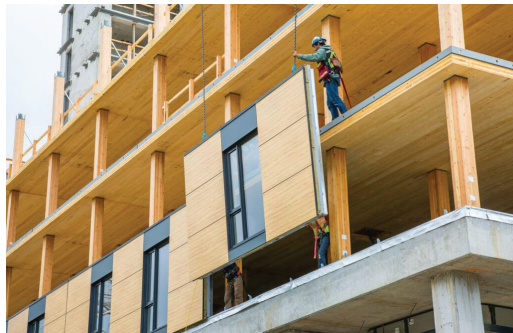


[2.36]

[2.30, 2.31] *Life Cycle Tower One* (2011), HK Architetten, Αυστρία. Η κατασκευαστική λογική βασίζεται σε φέροντα πάνελ από ξύλο και σκυρόδεμα.

[2.32 - 2.34] *Brock Commons* (2016), Acton Ostry Architects, Βανκούβερ. Τα πάνελ έχουν το ρόλο τοιχοποιίας και ο βασικός φέρων οργανισμός σχηματίζεται από ανεξάρτητα προκατασκευασμένα δομικά στοιχεία.

[2.35 - 2.37] *Sara Kulturhus Center* (2021), White Arkitekter, Σουηδία. Το πολιτιστικό κέντρο 20 ορόφων αποτελείται από προκατασκευασμένες μονάδες, σε συνδυασμό με άλλους τύπους ξύλινων κατασκευών όπως πυρήνες κλιμακοστασίων από CLT και σύνθετες επιλύσεις δοκών για επίτευξη μεγάλων ανοιγμάτων.

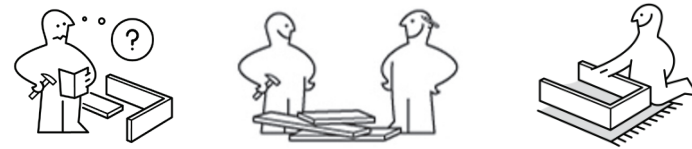


[2.34]



[2.37]

2.3.3 Κιτ-κατοικιών: η περίπτωση του WikiHouse



Το *WikiHouse* είναι μια καινοτόμος προσέγγιση της προκατασκευής που ξεκίνησε το 2011 από μια ομάδα σχεδιαστών και βασίζεται στον ανοιχτού κώδικα ψηφιακό σχεδιασμό κτιρίων. Στόχος είναι η αρχιτεκτονική και η κατασκευή να είναι προσβάσιμες από όλους, επιτρέποντας τη δημιουργία βιώσιμων, οικονομικών και εύκολα συναρμολογήσιμων κατοικιών.

Σαν γενική ιδέα, οποιοσδήποτε χρήστης μπορεί να κάνει λήψη των σχεδίων και των οδηγιών συναρμολόγησης για τα διαθέσιμα κτήρια μέσα από την ανοιχτή βιβλιοθήκη, να τα προσαρμόσει στις ανάγκες του, να προχωρήσει στην παραγωγή των στοιχείων και τέλος στη συναρμολόγηση. Το δομικό σύστημα βασίζεται φέροντα μπλοκ κατασκευασμένα από εύκολα διαθέσιμα φύλλα ξυλείας OSB ή κόντρα πλακέ και κάποιου τύπου θερμομονωτικό υλικό ανάμεσα τους. Στη συνέχεια τα φύλλα κόβονται σε μηχάνημα CNC βάσει των σχεδίων και συναρμολογούνται αρθρωτά σε δομικά μπλοκ σχηματίζοντας τοίχους, δάπεδα, στέγη και σκάλες. Το βασικότερο ίσως πλεονέκτημα που παρουσιάζεται στο εγχείρημα, είναι ότι μπορεί να υλοποιηθεί από μη-επαγγελματίες κατασκευαστές εφόσον ακολουθήσουν τις λεπτομερείς οδηγίες συναρμολόγησης που υπάρχουν για κάθε βήμα της διαδικασίας.³⁵

Μέχρι στιγμής τα κτίρια που μπορούν να υλοποιηθούν είναι μικρής κλίμακας και ελαφράς κατασκευής, αλλά η επαναστατική αυτή προσέγγιση στην προκατασκευή θα μπορούσε να βρει πρόσφορο έδαφος για εξέλιξη και πολυπλοκότερες εφαρμογές.



[2.38]



[2.39]



[2.40]

[2.38 - 2.40] Συναρμολόγηση μικρής κατοικίας με το σύστημα WikiHouse, Αγγλία, (2022)

35. <https://www.wikihouse.cc/>

2.4 Συμπεράσματα ενότητας

Μέσα από την παραπάνω ανασκόπηση της προκατασκευής σαν οικοδομική πρακτική, παρατηρείται ότι η ανάπτυξη της βασίστηκε κυρίως στις τεχνολογικές δυνατότητες, τις ανάγκες και τις επιδιώξεις κάθε εποχής. Οι στόχοι μπορεί να μεταβάλλονταν -άλλοτε ήταν η κατασκευή σε απομακρυσμένες περιοχές, η γρήγορη παράδοση κατοικιών ή η μαζική κατασκευή τους- αλλά η αρχιτεκτονική σταθερά στρέφεται στην βιομηχανία για τη βελτιστοποίηση των εργασιών της.

Κάθε αποτυχημένο παράδειγμα, έχει οδηγήσει στην κατανόηση των στοιχείων που λειτουργούν, την διατήρηση και τη βελτίωση τους, χαρακτηρίζοντας καλύτερα την πορεία της προκατασκευής ως *εξελικτική* και όχι *επαναστατική*.³⁶ Μέσα από την ιστορική εξέλιξη των μεθόδων που χρησιμοποιούνται, οι σύγχρονες εφαρμογές προκατασκευής μπορούν να ερμηνευθούν ως μεταφορές των ιστορικών τύπων με την τεχνογνωσία του σήμερα. Συνολικά, πρόκειται για έναν κλάδο με συνεχή εξέλιξη και φιλόδοξες προοπτικές, διότι χρησιμοποιεί το πλήρες φάσμα δυνατοτήτων της βιομηχανίας και το μεταφέρει στην κατασκευή αυξάνοντας την ποιότητα, την ταχύτητα και την αποδοτικότητα της οικοδομικής παραγωγής.



[2.41]



[2.42]



[2.43]

[2.41] *Packaged House*, Gropius και Waschmann (1931-1932)

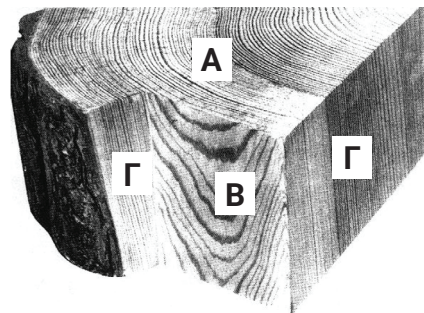
[2.42] Κτίριο με προκατασκευασμένα πάνελ στο Κίεβο (1961-1964)

[2.43] *HoHo Vienna*, Αυστρία (2019)

36. Smith, Ryan, 2010, *Prefab Architecture. A Guide to Modular Design and Construction*, Εκδόσεις John Wiley & Sons, New Jersey, σελ.39

03. ΤΟ ΞΥΛΟ ΩΣ ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

«Τα υλικά που χτίζουμε δεν είναι πράγματα άψυχα. Δεν είναι ουδέτερες ποσότητες που έρχονται χωρίς κάποια κρυμμένη σπίθα να γίνουν τοίχοι και πατώματα σπιτιών. Κάτι βαθιά τους στέκετε άθικτο και δέχεται υπομονετικά την κάθε μεταχείριση.»³⁷



[3.1]

Το ξύλο αποτελεί παγκόσμια ένα από τα παλιότερα και πιο εύχρηστα υλικά κατασκευής, καθοριστικό για την επιβίωση του ανθρώπου από τα προϊστορικά χρόνια. Τα χαρακτηριστικά του ως ένα φυσικό υλικό με μεγάλες μηχανικές αντοχές, ιδιαίτερη οικολογική διάσταση και υψηλή αισθητική αξία, το καθιστούν πολύ ελκυστικό σε αρχιτεκτονικές χρήσεις, συγκεντρώνοντας το ερευνητικό και κατασκευαστικό ενδιαφέρον. Τεχνολογικά αυτό αποτυπώνεται μέσα από τις βιομηχανικές εξελίξεις των τελευταίων δεκαετιών και τα σύγχρονα προϊόντα ξυλείας που ως στόχο έχουν να αντιμετωπίσουν τα εγγενή μειονεκτήματα του υλικού. Ο καταλυτικός του ρόλος στην προώθηση των βιώσιμων κατασκευών, η ισορροπία μεταξύ εκμετάλλευσης και προφύλαξης των δασών και οι προϋποθέσεις της αειφόρου διαχείρισης τους, αναλύονται στις επόμενες ενότητες με στόχο την διερεύνηση των δυνατοτήτων εφαρμογής του ξύλου στη σύγχρονη δόμηση.

3.1 Δομή, χαρακτηριστικά και ιδιότητες του ξύλου

Η δομή του ξύλου εξετάζεται μέσα από τις τρεις αντιπροσωπευτικές τομές του κορμού ενός δέντρου, αυτές όπως φαίνονται και στην συνοδευτική εικόνα [3.1] είναι: η εγκάρσια (Α), η εφαπτομενική (Β) και η ακτινική (Γ). Στην χαρακτηριστική εγκάρσια τομή ενός κορμού [3.2] διακρίνεται η βασική δομή του: στο κέντρο ο πυρήνας -που ονομάζεται *εντεριώνη*-, τριγύρω από αυτόν το *εγκάρδιο ξύλο* με σκούρο χρώμα, στη συνέχεια το ανοιχτόχρωμο *σομφό ξύλο*, ο *εσωτερικός και εξωτερικός φλοιός*, και τέλος οι *αυξητικοί δακτύλιοι* σαν λεπτοί ομόκεντροι κύκλοι από το κέντρο. Οι παραπάνω εσωτερικές διαφοροποιήσεις στην μάζα του, δείχνουν ότι σαν πρώτη ύλη είναι ανομοιογενής.

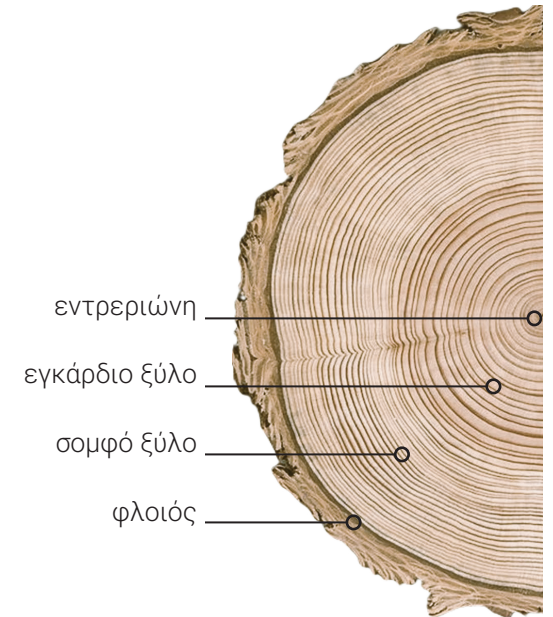
37. Μανωλίδης, Γ., Κώστας, 2017, *Εδαφολόγιο - Κείμενα για την ύλη της αρχιτεκτονικής*, Εκδόσεις νήσος, Αθήνα, σελ.13

Αυτή η ξεχωριστή δομή ωστόσο, προσφέρει στο ξύλο -αναλογικά με το βάρος του- μεγάλη μηχανική αντοχή σε εφελκυσμό, θλίψη και κάμψη, εξαρτώμενη όμως από την διεύθυνση των ινών κατά τη φόρτιση. Πρόκειται για ένα υλικό μονωτικό στον ηλεκτρισμό, με καλή θερμομονωτική απόδοση, καλές ακουστικές ιδιότητες, που δεν οξειδώνεται και έχει εύκολη μηχανική κατεργασία. Τα διαφορετικά είδη δέντρων προσδίδουν μεν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά στο τελικό προϊόν (πχ. διαβαθμίσεις σκληρότητας, ελαστικότητας, πυκνότητας), αλλά οι μηχανικές του ιδιότητες επηρεάζονται σημαντικά κυρίως από εξωτερικές παραμέτρους (πχ. υγρασία, θερμοκρασία) και φυσικά ελαττώματα της δομής (πχ. ρόζοι, σχισμές).

Ένα σημαντικό στοιχείο που το διαφοροποιεί σαν δομικό υλικό από τα υπόλοιπα, είναι ότι αποτελεί μια ανανεώσιμη πρώτη ύλη που παράγεται από τη φύση χωρίς πρόσθετη κατανάλωση ενέργειας από τον άνθρωπο, σε αντίθεση με τις ορυκτές ύλες, τα μεταλλεύματα ή το πετρέλαιο. Εκτός της οικολογικής του διάστασης, που θα αναλυθεί περισσότερο στη συνέχεια, έχει υψηλή αισθητική αξία και προσφέρει πληθώρα επιλογών σε χρώματα και υφές, δημιουργώντας έτσι μια φυσική αίσθηση οικειότητας που δύσκολα αναπαράγεται από άλλα δομικά υλικά.

Ωστόσο, οι φυσικές ιδιότητες του ξύλου είναι αυτές που δημιουργούν τις προκλήσεις στη χρήση του ως δομικό υλικό. Είναι υλικό ανισότροπο, με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες, αντοχές και συμπεριφορά τόσο στις τρεις διευθύνσεις του όσο και μεταξύ διαφορετικών ειδών ξυλείας. Είναι επίσης υγροσκοπικό και ρικνώνεται ή διογκώνεται επηρεαζόμενο από την υγρασία του περιβάλλοντος μεταβάλλοντας τις διαστάσεις του. Στην πράξη, τα τεχνολογικά επεξεργασμένα προϊόντα ξυλείας υπόκεινται σε ελεγχόμενη διαδικασία ξήρανσης, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο ευαίσθητο στους εξωτερικούς παράγοντες. Στη φυσική του μορφή είναι ευαίσθητο υλικό και μπορεί αλλοιωθεί εύκολα από το κλίμα, την ηλιακή ακτινοβολία ή να προσβληθεί από βιολογικούς ή χημικούς παράγοντες (πχ. μύκητες, βακτήρια, έντομα) αν δεν ληφθούν μέτρα πρόληψης και συντήρησης. Με τις σωστές ενέργειες προστασίας και μεθόδους πρόληψης, όπως είναι ο εμποτισμός ειδικών ουσιών (πχ. ειδικά έλαια, μυκητοκτόνα), οι παραπάνω κίνδυνοι μπορούν να περιοριστούν και οι ξύλινες κατασκευές να διατηρηθούν ανέπαφες για πολλά χρόνια. Η βασικότερη ίσως πηγή ανησυχίας σχετικά με το ξύλο είναι η εύφλεκτη φύση του, καθώς η φωτιά αποτελεί τον κυριότερο αβιοτικό εχθρό του.³⁸ Οι παράγοντες που βελτιώνουν τη συμπεριφορά μιας ξύλινης κατασκευής απέναντι στην φωτιά θα αναλυθούν σε επόμενη ενότητα, όμως η αύξηση του ενδιαφέροντος για το υλικό οδηγεί στην ανάπτυξη νέων μεθόδων πρόληψης και πρακτικών σχεδιασμού για την αντιμετώπιση των πυρκαγιών.

38. Μαντάνης, Γ., Κακαράς, Ι., 2022, «Δομή, χαρακτηριστικά και ιδιότητες του ξύλου» στο βιβλίο: *Το ξύλο στα κτίρια - Οδηγός σχεδιασμού και κατασκευής*, Εκδόσεις Κτίριο, Θεσσαλονίκη, σελ.184



[3.2]

[3.1] Σχεδιάγραμμα της δομής του ξύλου και οι τρεις χαρακτηριστικές τομές του

[3.2] Εγκαρσια τομή ενός κορμού και τα επιμέρους στοιχεία του

Η συνεχής εξέλιξη μέσω της έρευνας και της τεχνολογίας, προσφέρει σημαντικές προοπτικές ανάδειξης του υλικού και διαχείρισης των μειονεκτημάτων που αυτό παρουσιάζει, προκειμένου οι ξύλινες κατασκευές να εναρμονίζονται με τους παγκόσμιους κανονισμούς ασφαλείας.

3.2 Ζητήματα βιωσιμότητας και παραγωγής

Στην 74^η Σύνοδο της Οικονομικής Επιτροπής την Ηνωμένων Εθνών (UNECE) που πραγματοποιήθηκε στην Γενεύη το 2016, το ξύλο χαρακτηρίζεται ως το υλικό του 21^{ου} αιώνα.³⁹ Η υπεύθυνη χρήση του στην κατασκευή είναι συμβατή με την κυκλική διαχείριση των αγαθών, πιο βιώσιμη από τη χρήση οποιουδήποτε άλλου συμβατικού υλικού δόμησης⁴⁰ και παρουσιάζει πολλά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα μέσα από την επιλογή του σαν βασικό δομικό υλικό για κατασκευές, με την προϋπόθεση ότι προέρχεται από δάση βιώσιμης διαχείρισης.

3.2.1 Το ξύλο ως οικολογικό υλικό

Βασική επιδίωξη των παγκόσμιων περιβαλλοντικών πολιτικών κατά της κλιματικής αλλαγής αποτελεί η μείωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα. Στην πράξη, αυτό επιτυγχάνεται μέσα από δύο στρατηγικούς άξονες: την μείωση εκπομπών CO₂ και την απομάκρυνση και δέσμευση του από την ατμόσφαιρα για μεγάλα διαστήματα. Το ξύλο σαν δομικό υλικό ικανοποιεί και της δύο παραπάνω συνθήκες.⁴¹

A. Μείωση των εκπομπών άνθρακα

- **Περιεχόμενη ενέργεια υλικού:** Η ενέργεια που δαπανάται για την παραγωγή δομικών υλικών ενός κτιρίου τυπικά αποτελεί το 22% της συνολικής ενέργεια που θα δαπανηθεί για αυτό μέχρι το τέλος της ζωής του. Συγκριτικά, η παραγωγή ξύλου μέσα από τη διαδικασία φωτοσύνθεσης χωρίς ανθρώπινες επεμβάσεις δίνει το πλεονέκτημα ενός εξαιρετικά χαμηλού αποτυπώματος άνθρακα.
- **Αντικατάσταση άλλων υλικών:** Η ευκολία κατεργασίας και η πληθώρα παραγόμενων προϊόντων προσφέρει ευκαιρίες αντικατάστασης ενεργοβόρων στην παραγωγή υλικών όπως ο χάλυβας, το αλουμίνιο, το τσιμέντο ή το πλαστικό.

39. Κωτσόπουλος, Σοφοκλής, 2022, «Χτίζοντας με ξύλο. Η αναβίωση μιας αειφόρου δόμησης» στο βιβλίο: *Το ξύλο στα κτίρια - Οδηγός σχεδιασμού και κατασκευής*, Εκδόσεις Κτίριο, Θεσσαλονίκη, σελ.8
40. UNECE, 2023, *Circularity Concepts in Wood Construction*, United Nations Publication, Geneva, σελ. 12
41. CEI-Bois, 2011, *Tackle Climate Change: Use Wood*, CEI-Bois, Brussels, σελ.12-13

- **Θερμική απόδοση:** Το ξύλο λόγω της δομής του, προσφέρει πολύ ικανοποιητικές θερμομονωτικές ιδιότητες σαν υλικό. Ενδεικτικά, αποδίδει 15 φορές καλύτερα από το τσιμέντο, 400 φορές καλύτερα από τον χάλυβα και 1770 φορές καλύτερα από το αλουμίνιο.
- **Αντικατάσταση ενέργειας ορυκτών καυσίμων:** Όταν φτάσει στο τέλος της ζωής του και η επανάχρηση ή η ανακύκλωση δεν είναι δυνατές, μπορεί να προσφέρει την περιεχόμενη ενέργεια του μέσα από την καύση, επιστρέφοντας το δεσμευμένο CO₂ στην ατμόσφαιρα.

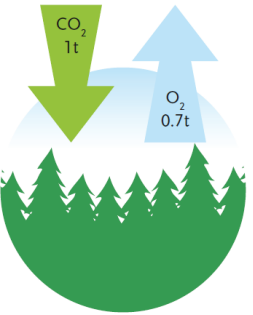
Κάθε χρόνο η ανθρώπινη δραστηριότητα αυξάνει κατά 7900 εκ. τόνους τον ατμοσφαιρικό άνθρακα, από τα οποία οι δεξαμενές άνθρακα δεσμεύουν 4600 εκ. τόνους οδηγώντας δηλαδή σε ετήσια καθαρή αύξηση 3300 εκ. τόνων.

Η ανισορροπία αυτή είναι τόσο έντονη που η μείωση των εκπομπών άνθρακα δεν είναι αρκετή, αλλά είναι απαραίτητο να αυξηθούν και οι *δεξαμενές* του. Ο απλούστερος τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι η αύξηση της χρήσης ξύλου.⁴²

B. Αύξηση δεξαμενών άνθρακα

- **Δάση ως δεξαμενές άνθρακα:** Μέσα από την φωτοσύνθεση των δέντρων, τα δέντρα απομακρύνουν μεγάλες ποσότητες CO₂ από την ατμόσφαιρα και τις δεσμεύουν στη δομή τους για μεγάλα χρονικά διαστήματα.
- **Προϊόντα ξύλου ως αποθήκες άνθρακα:** Τα προϊόντα από ξύλο θεωρούνται *αποθήκες* άνθρακα, καθώς διατηρούν για την διάρκεια ζωής τους τις ποσότητες που έχουν ήδη δεσμεύσει.⁴³

42. ο.π., σελ.14
43. ο.π., σελ.14



[3.4]

[3.4] Προσεγγιστικά, υπολογίζεται ότι μέσα από τη διαδικασία φωτοσύνθεσης ένα δέντρο δεσμεύει περίπου 1 τόνο CO₂/m³ ανάπτυξης του, ενώ απελευθερώνει 0,7 τόνους οξυγόνου στην ατμόσφαιρα. (CEI-Bois, 2011, σελ.12)

Ταυτόχρονα, για κάθε κυβικό μέτρο ξύλου που χρησιμοποιείται έναντι άλλου δομικού υλικού, οι εκπομπές CO₂ μειώνονται επιπλέον κατά 1,1 τόνους, αθροίζοντας δηλαδή σε **συνολική μείωση περίπου 2 τόνων CO₂ ανά κυβικό μέτρο δομικής ξυλείας**. (Hurmekoski, 2017, σελ.7)

[3.3] Σύγκριση καθαρών εκπομπών από δομικά υλικά κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής τους. (CEI-Bois, 2011, σελ.38)

3.2.2 Ευρωπαϊκά δάση

Τα δάση καταλαμβάνουν σε έκταση το 31% της χερσαίας επιφάνειας του πλανήτη, δημιουργούν οικοσυστήματα, ρυθμίζουν το κλίμα, καθαρίζουν το νερό, προσφέρουν πρώτες ύλες και έχουν αμέτρητα οφέλη για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.⁴⁴ Το 70% των Ευρωπαϊκών δασών είναι ημι-φυσικά, δηλαδή η δυναμική τους επηρεάζεται από την ανθρώπινη παρέμβαση, αλλά διατηρούν τα φυσικά χαρακτηριστικά τους. Το επικρατέστερο ευρωπαϊκό είδος είναι τα κωνοφόρα δάση (softwood) σε ποσοστό περίπου 50%, ακολουθεί σημαντικό ποσοστό πλατύφυλλων (hardwood) με 27% και μεικτά δάση για το υπόλοιπο 23%.⁴⁵

Η βιομηχανία της ξυλείας αποτελεί βασικό πυλώνα της οικονομίας για πολλές περιοχές μέσα από την δασοκομία, την υλοτομία, το εμπόριο και την παραγωγή διάφορων προϊόντων που προέρχονται από ξύλο.⁴⁶ Η Ευρώπη συγκεκριμένα παρέχει πάνω από το 25% της παγκόσμιας ζήτησης σε ξυλεία και -παρά την συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση των τελευταίων ετών - συνεχίζει σταθερά να μεγαλώνει ενεργά τα δάση της από το 1990, καθιστώντας την τη μόνη περιοχή με θετική μεταβολή στις δασικές εκτάσεις της τα τελευταία 20 χρόνια.⁴⁷

3.2.3 Αειφορία και διαχειριζόμενα δάση

Η βιώσιμη διαχείριση των δασών, αποτελεί βασικό εργαλείο εξασφάλισης της αειφορίας τους. Στόχος της διαχείρισης είναι η προστασία από την υποβάθμιση μέσα από τη δημιουργία κανονισμών, πρωτοκόλλων και περιορισμών στον ρυθμό εκμετάλλευσης τους.

Η αναδάσωση είναι η βασικότερη τακτική ανάπτυξης ενός διαχειριζόμενου δάσους. Στην Ευρώπη ειδικότερα, αναγνωρίζεται από την βιομηχανία της ξυλείας σαν απαραίτητη ενέργεια για την προστασία και επέκταση των δασών, σε συνδυασμό με την εφαρμογή αυστηρής νομοθεσίας που εξασφαλίζει ότι φυτεύονται περισσότερα δέντρα παρά υλοτομούνται, αφού μόνο το 64% της ετήσιας προσάυξεσης επιτρέπεται να υλοτομηθεί για εκμετάλλευση, αφήνοντας περιθώριο ασφαλείας για δασική ανάπτυξη.⁴⁹

Χωρίς διαχείριση, η ανάπτυξη συμπληρώνει την αποσύνθεση και το συνολικό ποσό αποθηκευμένου άνθρακα δεν αυξάνεται, αλλά παραμένει σταθερό.⁵⁰ Στη φυσική κατάσταση τους, τα δάση φτάνουν ένα επίπεδο κορύφωσης της ανάπτυξης -οριζόμενο από τη γονιμότητα του εδάφους, τη βροχή και τις θερμοκρασίες- και στη συνέχεια αναπτύσσονται μόνο για την αντικατάσταση των δέντρων που γερνούν, καίγονται ή πέφτουν από φυσικά φαινόμενα.

Η δασική διαχείριση στην Ευρώπη χρησιμοποιεί μεθόδους που βελτιώνουν τις φυσικές διαδικασίες και παράγουν αυθεντικές δομές δασών, όπως είναι όμως λογικό, η φύση κυριαρχεί στην δασική αναγέννηση. Παρά τους διαφορετικούς ανά χώρα τρόπους αναζωογόνησης, σχεδόν το 70% των ευρωπαϊκών δασών αποκαθίσταται φυσικά διατηρώντας την βιοποικιλότητα και την οικολογική δυναμική μεταξύ των διαφορετικών ειδών.⁵¹

Πολύ σημαντικός είναι ο ρόλος του ρυθμιστικού πλαισίου σε συνδυασμό με κρατικούς ελέγχους για την προφύλαξη και ενίσχυση των υγιών πρακτικών ανάπτυξης. Η πιστοποίηση ξυλείας στην Ευρώπη επικεντρώνεται σε δύο προγράμματα: το *PEFC* (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes) και το *FSC* (Forest Stewardship Council) σε συνεργασία με την WWF.⁵² Επί του παρόντος, η FOREST EUROPE⁵³ είναι ο επίσημος φορέας που ασχολείται με τη βιωσιμότητα των δασών και ορίζει το σύνολο των κατευθυντήριων γραμμών για την αειφόρο διαχείριση τους.

Συνοψίζοντας, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στην Ευρώπη περισσότερο από το 90% της κατανάλωσης ξύλου προέρχεται από ευρωπαϊκά δάση τα οποία χαρακτηρίζονται ως «γενικά σταθερά, καλά διαχειριζόμενα και σε πλεονάζουσα παραγωγή».⁵⁴ Επομένως ο καταναλωτής μπορεί να είναι αρκετά σίγουρος για τα περιβαλλοντικά διαπιστευτήρια των προϊόντων ξύλου που προμηθεύεται.



[3.5]



[3.6]

[3.5] PEFC: Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes

[3.6] FSC: Forest Stewardship Council

«Αειφόρος Ανάπτυξη είναι η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να διακυβεύει την δυνατότητα των επόμενων γενεών να ικανοποιήσουν τις δικές τους ανάγκες».⁴⁸

“Our common future”, Παγκόσμια επιτροπή για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, 1987

44. Mayo, Joseph, 2015, *Solid wood: Case Studies in Mass Timber Architecture, Technology and Design*, Routledge, London, σελ.7

45. CEI-Bois, 2011, *Tackle Climate Change: Use Wood*, CEI-Bois, Brussels, σελ.22

46. Η εμπορία δασικών προϊόντων σε οικονομικούς όρους το 2011 έφτανε τα 460 δισεκατομμύρια δολάρια με πάνω από 1 δισεκατομμύριο απασχολούμενους να βιοπορίζονται από τα δάση. (Mayo, J., 2015, σελ.7)

47. CEI-Bois, 2011, *Tackle Climate Change: Use Wood*, CEI-Bois, Brussels, σελ.21

48. <https://necca.gov.gr/aksones-drasis/aeioforos-anptyxi-kai-klimatiki-allagi/>

49. CEI-Bois, 2011, *Tackle Climate Change: Use Wood*, CEI-Bois, Brussels, σσ.22-24

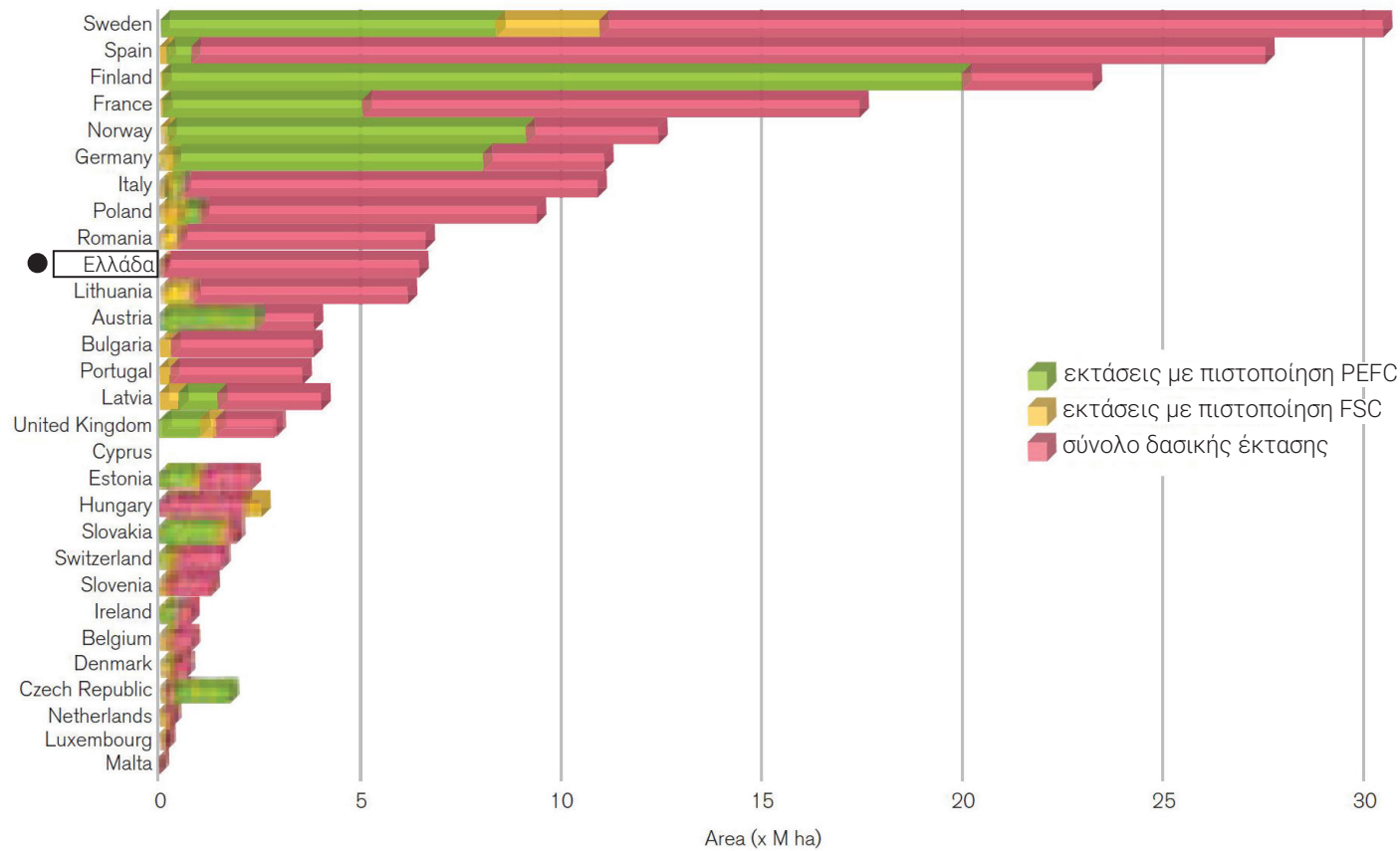
50. ο.π., σελ.24

51. ο.π., σελ.26

52. ο.π., σελ.28

53. Η Υπουργική Διάσκεψη για την Προστασία των Δασών στην Ευρώπη (Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe - MCPFE), γνωστή και ως *FOREST EUROPE* (<https://foresteurope.org>) είναι μια πανευρωπαϊκή εθελοντική διαδικασία δασικής πολιτικής υψηλού επιπέδου. Από το 1990 έχει ως στόχο την ανάπτυξη κοινών στρατηγικών για τις χώρες της ΕΕ σχετικά με τον τρόπο προστασίας και βιώσιμης διαχείρισης των δασών.

54. ο.π., σελ.28



[3.7]

[3.7] Γράφημα κατάταξης των ευρωπαϊκών χωρών βάσει της δασικής τους έκτασης και το ποσοστό αυτών που εντάσσονται στα δύο βασικότερα προγράμματα πιστοποίησης ξυλείας. (CEI-Bois, 2011, σελ.29)

	Έκταση	Δασική έκταση	Ποσοστό δασικής γης	Πληθυσμός (2010)	Κατα κεφαλήν δασική έκταση	Δασικός όγκος (FAWS)	Αυξανόμενο απόθεμα (FAWS)	Συνολική υλοτόμηση κορμών (FAWS)	Μέση υλοτόμηση κορμών (FAWS)	Απόθεμα άνθρακα σε βιομάζα ξύλου
	(x 1000 ha)	(x 1000 ha)	%	(x 1000)	(ha)	(x M cubic metre)	(cubic metre per ha)	(x 1000 cubic metre)	(cubic metre per ha)	(x million metric tons C)
Austria	8 245	3 991	48	8 387	0.48	1 107	277	19 261	5.8	393.0
Belgium	3 028	706	23	10 698	0.07	164	232	3 451	5.1	64.4
Bulgaria	10 864	3 927	36	7 497	0.52	435	111	6 071	2.1	202.1
Cyprus	924	387	42	880	0.44	3	8			3.0
Czech Republic	7 726	2 657	34	10 411	0.25	738	278	16 187	6.9	355.5
Denmark	4 242	635	15	5 481	0.12	112	176			38.5
Estonia	4 239	2 337	55	1 339	1.75	398	156	4 348	2.2	162.5
Finland	30 408	23 116	76	5 346	4.32	2 024	88	46 512	2.3	832.4
France	55 010	17 572	32	62 637	0.28	2 453	191	61 677	4.1	1 208.0
Germany	34 877	11 076	32	82 057	0.13	3 466	268	47 688	4.5	1 405.0
Ελλάδα	12 890	6 539	51	11 183	0.58	170	45	1 743	0.5	79.0
Hungary	8 961	2 039	23	9 973	0.20	259	174	6 496	3.8	117.0
Ireland	6 889	788	11	4 589	0.18	74	74	2 591		22.6
Italy	29 411	10 916	37	60 098	0.17	1 285	117			557.9
Latvia	6 229	3 467	56	2 240	1.55	584	174	11 091	3.5	271.6
Lithuania	6 268	2 249	36	3 255	0.69	408	181	5 515	2.9	155.6
Luxemburg	259	88	34	492	0.18			353	4.1	9.4
Malta	32	0.35	1	410	0.00			0		0.1
Netherlands	3 388	365	11	16 653	0.02	56	153	1 118	3.8	27.7
Norway	30 427	12 384	41	4 855	2.55	797	78			399.0
Poland	30 633	9 319	30	38 038	0.24	2 092	224	35 281	4.1	1 073.0
Portugal	9 068	3 611	40	10 732	0.34	154	43	10 866	6.0	102.4
Romania	22 998	6 733	29	21 190	0.32			13 667	2.6	618.1
Slovakia	4 810	1 938	40	5 412	0.36	478	247	9 027	5.1	211.2
Slovenia	2 014	1 274	63	2 025	0.63	390	306	3 236	2.3	178.3
Spain	49 919	27 748	56	45 317	0.61	784	28	13 980	0.9	421.8
Sweden	41 031	30 625	75	9 293	3.29	2 651	86	74 285	3.6	1 255.3
Switzerland	4 000	1 311	33	7 595	0.17	415	334	5 876	4.9	143.0
United Kingdom	24 250	2 901	12	61 899	0.05	340	117	8 432	3.5	136.0
Total	453 040	190 699	42	509 982	0.37	21 837		408 752		10 443.4

[3.8]

[3.8] Πίνακας των ευρωπαϊκών δασών FAWS: Forest Available for Wood Supply -Διαθέσιμο Δάσος για Προμήθεια Ξύλου (CEI-Bois, 2011, σελ.23)

3.3 Ανάλυση Κύκλου Ζωής κτιρίου και δομικών υλικών

Ένα εργαλείο για την ποσοτική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μιας κατασκευής καθ’ όλη τη διάρκεια ζωής της, αποτελεί η *Ανάλυση Κύκλου Ζωής* (ΑΚΖ) ή αλλιώς Life Cycle Assessment (LCA)⁵⁵. Η αναγνώριση των επιπτώσεων των δομικών υλικών είναι πολύ σημαντική για την διαδικασία επιλογής τους και λαμβάνει υπόψη τον αντίκτυπο τους σε 3 συγκεκριμένες φάσεις:⁵⁶

A. Φάση παραγωγής: Εξαγωγή – Παραγωγή – Μεταφορά στο έργο

Η ενέργεια που απαιτείται για την εξαγωγή και παραγωγή υλικών ονομάζεται «*ενσωματωμένη ενέργεια*» και αποτυπώνει το ποσό CO₂ που εκπέμπεται σε αυτή την φάση. Επιπλέον, η μεταφορά είναι ένας βασικός παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα της ΑΚΖ, ειδικά σε χώρες που δεν παράγουν ξυλεία.

B. Φάση χρήσης: Χρήση ενέργειας – Θερμικές ιδιότητες – Συντήρηση

Η ευρωπαϊκή νομοθεσία ωθεί στην κατασκευή νέων κτιρίων με όσο το δυνατόν μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, δηλαδή με βελτιωμένη συνολική θερμική απόδοση του κτιριακού κελύφους. Σε αντίθεση με υλικά όπως τσιμεντόλιθοι και τούβλα, το ξύλο παρουσιάζει πολύ καλή θερμική απόδοση, και μπορεί να προσφέρει άνετες συνθήκες διαβίωσης με συνολικά χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας.

Γ. Φάση τέλους κύκλου ζωής: Ανακύκλωση – Ανάκτηση – Τελική διάθεση

Εκτός από την ανακύκλωση υποπροϊόντων όπως πριονίδι, ρινίσματα και θραύσματα σε μοριοσανίδες, είναι δυνατή η ανάκτηση υλικών όπως ξύλινα πάνελ ή σανίδες με στόχο την επέκταση της χρήσης τους. Το τελευταίο βήμα για το ξύλο είναι η αξιοποίηση της βιομάζας ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, πρακτική που θεωρείται ότι έχει ουδέτερο ισοζύγιο άνθρακα επιστρέφοντας στην ατμόσφαιρα μόνο την ήδη δεσμευμένη στο ξύλο ποσότητα CO₂.

3.4 Σύγκριση φέροντα οργανισμού κτιρίων από ξύλο-σκυρόδεμα-χάλυβα

Στα σύγχρονα κτίρια η χρήση ενός και μόνο υλικού είναι πρακτικά αδύνατη. Τα διαφορετικά υλικά που χρησιμοποιούνται είναι πολλά και οι αναλογίες τους ποικίλλουν, ώστε σε κάθε περίπτωση να αξιοποιούνται στο έπακρο οι ιδιότητες του καθενός.

Κάνοντας μια προσπάθεια ερμηνείας της αειφορίας των ξύλινων κατασκευών, παρουσιάζονται τα παρακάτω αποτελέσματα συγκριτικής έρευνας με τη μέθοδο Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, για την διερεύνηση των επιπτώσεων των διαφορετικών δομικών υλικών σε κατασκευές από ξύλο, μέταλλο και οπλισμένο σκυρόδεμα, με την παραδοχή ότι ο τύπος κτιρίου καθορίζεται από το βασικό υλικό που χρησιμοποιείται για τον φέροντα οργανισμό του. Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που παρατίθενται στον συνοδευτικό πίνακα [3.10], αφορούν τη σύγκριση μιας ξύλινης κατοικίας με την αντίστοιχη μεταλλική και με μια από οπλισμένο σκυρόδεμα, με εμφανή και στις δυο περιπτώσεις την καλύτερη απόδοση των ξύλινων κτιρίων σχεδόν σε κάθε κατηγορία.⁵⁷

3.5 Συνολική εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα δομικά υλικά

Συνολικά, παρατηρείται ότι η ενέργεια που δαπανάται στις κατασκευές συμπεριλαμβανομένης της παραγωγής, της μεταφοράς και της ανέγερσης κτιρίων, είναι σημαντικά χαμηλότερη για τα προϊόντα με βάση το ξύλο από ό,τι για άλλα δομικά υλικά, κάνοντας το ξύλο την πιο φιλική προς το περιβάλλον επιλογή.⁵⁸ Κρίνεται λοιπόν απαραίτητο το ερευνητικό και κατασκευαστικό ενδιαφέρον να επικεντρωθεί στην ανάπτυξη και εφαρμογή καινοτόμων συστημάτων δόμησης που εκμεταλλεύονται τις δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του. Μια τέτοια κατηγορία, που εξελίσσεται ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες, είναι τα δομικά συστήματα βιομηχανικής ξυλείας.

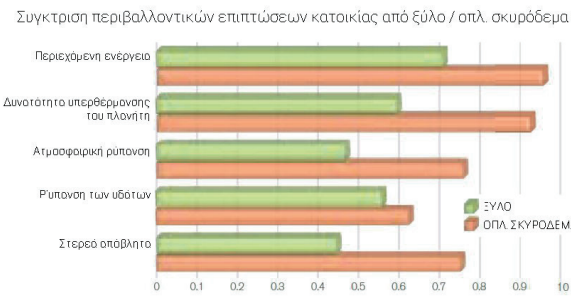
«Σε έρευνες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, εκτιμάται ότι ο παγκόσμιος κατασκευαστικός τομέας είναι υπεύθυνος για το:

- 42% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας
- 35% των συνολικών εκπομπών CO₂
- 50% των υλικών εξόρυξης
- 30% της κατανάλωσης νερού»⁵⁹

57. ο.π., σελ.43

58. ο.π., σελ.43

59. Hurmekoski, Elias, 2017, *How can wood construction reduce environmental degradation?*, European Forest Institute, σελ.4



[3.10]

«Τα δύο τρίτα της ενέργειας που καταναλώνεται στα ευρωπαϊκά κτίρια αντιστοιχεί στα νοικοκυριά. Η κατανάλωσή τους αυξάνεται κάθε χρόνο, καθώς η άνοδος του βιοτικού επιπέδου αντανakλάται στη μεγαλύτερη χρήση κλιματισμού και θέρμανσης».

Ευρωπαϊκή Επιτροπή, Νέα ευρωπαϊκή νομοθεσία για εξοικονόμηση ενέργειας, 2003

[3.9] Ποσοστιαία ανάλυση της συνολικής ενέργειας που δαπανάται στη διάρκεια ζωής μιας κατοικίας

55. Αυτή η προσέγγιση δεν μπορεί πάντα να χρησιμοποιηθεί με ακρίβεια για τη σύγκριση υλικών ή προϊόντων από διαφορετικές χώρες, πολλές από τις οποίες έχουν διαφορετικό κλίμα, πηγές παραγωγής ενέργειας, σχεδιαστικούς θεσμούς, οικοδομικούς κώδικες, υποδομές, πολιτικές επιρροές και μεθόδους κατασκευής, με αντίστοιχο αντίκτυπο στα στοιχεία της ΑΚΖ. (CEI-Bois, 2011, σελ.33)

56. CEI-Bois, 2011, *Tackle Climate Change: Use Wood*, CEI-Bois, Brussels, σελ.33

3.6 Βιομηχανική ξυλεία

Με στόχο τη βελτίωση των οικοδομικών πρακτικών, το ξύλο βρίσκεται στο επίκεντρο της έρευνας λόγω της φυσικής του προέλευσης και της σχετικά απλής βιομηχανικής του επεξεργασίας. Η εφαρμογή του στη σύγχρονη δόμηση και η εναρμόνιση με τους αυστηρούς κανονισμούς κατασκευής έφερε στην επιφάνεια το βασικότερο πρόβλημα προς επίλυση: την τυποποίηση των ιδιοτήτων, των μηχανικών αντοχών και την πυροπροστασία του ξύλου.⁶⁰

Ο όρος βιομηχανική ή σύνθετη ξυλεία (engineered wood) αφορά εργοστασιακά επεξεργασμένα προϊόντα που παράγονται από την ένωση μικρότερων ξύλινων τεμαχίων για να δημιουργήσουν μεγάλα συμπαγή μέλη με φέρουσα ικανότητα (κολώνες, δοκοί, τοιχία, πλάκες).⁶¹ Η ανάπτυξη της βιομηχανικής ξυλείας υπήρξε καθοριστική για την αντιμετώπιση της φυσικής ανισοτροπίας του ξύλου ως υλικό. Διάσπαρτοι ρόζοι, τρύπες και ελαττώματα στις ίνες του ξύλου πρακτικά εξαλείφονται και το ξύλο αναδεικνύεται ως ένα υλικό με προβλέψιμες ιδιότητες και δυνατότητες εφαρμογής συγκρίσιμες με αυτές του χάλυβα και του οπλισμένου σκυροδέματος.⁶² Η διαμόρφωση και η επεξεργασία των μελών γίνεται σε βιομηχανικό περιβάλλον και τα προϊόντα μεταφέρονται έτοιμα προς εγκατάσταση στο έργο. Με αυτό τον τρόπο, για πρώτη φορά, οι δυνατότητες των ξύλινων κατασκευών ξεπερνούν τα όρια ανάπτυξης των δέντρων και ξύλινα τεμάχια μικρότερης αξίας αξιοποιούνται για τη δημιουργία προϊόντων υψηλών προδιαγραφών.

3.6.1 Βασικά προϊόντα δομικής βιομηχανικής ξυλείας

Οι τύποι βιομηχανικής ξυλείας θα μπορούσαν να διαχωριστούν σε δύο γενικές κατηγορίες βάσει του τρόπου κατασκευής τους από τα επιμέρους ξύλινα στοιχεία. Η πρώτη αφορά την συγκόλληση με χρήση χημικών ουσιών και συναντάται συχνότερα σε κατασκευές με τους παρακάτω τύπους προϊόντων.

- **GLT / Glulam (Glued-Laminated Timber) ή Συγκολλητή ξυλεία**
Προϊόντα ξυλείας κωνοφόρων που κατασκευάζονται από την συγκόλληση σανίδων ή δοκών με τις ίνες του ξύλου προς την ίδια κατεύθυνση. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται κολώνες (αξιοποίηση του κάθετου ισχυρού άξονα), δοκοί (οριζόντια τοποθέτηση στον αδύναμο άξονα) ή και σπανιότερα πάνελ. Στις μέρες μας, η συγκολλητή ξυλεία κυριαρχεί στις εφαρμογές και χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά αντί πριστής ξυλείας μεγάλων

60. Κωτσόπουλος, Σοφοκλής, 2022, «Χτίζοντας με ξύλο. Η αναβίωση μιας αειφόρου δόμησης» στο βιβλίο: *Το ξύλο στα κτίρια - Οδηγός σχεδιασμού και κατασκευής*, Εκδόσεις Κτίριο, Θεσσαλονίκη, σελ.10
61. Συχνά περιγράφοντας τα συστήματα δόμησης που προκύπτουν από τη χρήση βιομηχανικής ξυλείας, στη βιβλιογραφία συναντάται ο όρος *Mass Timber Construction*, που μπορεί να μεταφραστεί περιφραστικά ως «δόμηση με συμπαγή ξύλινα στοιχεία μεγάλης κλίμακας».
62. UNECE, 2023, *Circularity Concepts in Wood Construction*, United Nations Publication, Geneva, σελ.10

διαστάσεων και συνεργάζεται πολύ καλά σε υβριδικά δομικά συστήματα τόσο με άλλους τύπους ξυλείας όσο και με συμβατικές κατασκευές.⁶³

- **LVL (Laminated Veneer Lumber) ή Ξυλεία Συγκολλημένων Φύλλων**
Όπως περιγράφει και η ονομασία, τα προϊόντα LVL κατασκευάζονται από την ισχυρή συγκόλληση λεπτών στρώσεων ξυλείας (συχνότερα κωνοφόρων) πάχους 3-4χιλ. προσανατολισμένων στην ίδια κατεύθυνση. Παρουσιάζει μεγαλύτερη ομοιομορφία σε σχέση με την πριστή ξυλεία, μεγάλη αντοχή στον διαμήκη παράλληλο με τις ίνες άξονα και έχει χρήσεις αντίστοιχες με του GLT.⁶⁴
- **CLT (Cross Laminated Timber) ή Σταυρωτή Επικολλητή Ξυλεία**
Η κατασκευαστική λογική των πάνελ CLT μπορεί να παρομοιωθεί με αυτή των επιφανειών κόντρα πλακέ, μόνο που αντί για λεπτές στρώσεις από καπλαμάδες, αποτελείται από στρώσεις σανίδων προσανατολισμένες εναλλάξ σε διεύθυνση κάθετη μεταξύ τους. Το τελικό αποτέλεσμα είναι ένα μονολιθικό πάνελ με μεγάλη αντοχή στις δύο διευθύνσεις και δυνατότητα χρήσης σαν κατακόρυφο ή οριζόντιο φέρον στοιχείο. Οι δυνατότητες των προϊόντων CLT παρουσιάζονται αναλυτικότερα σε επόμενη ενότητα. (βλ. ενότητα 5)

Συμπληρωματικά των παραπάνω, εδώ και τουλάχιστον 100 χρόνια υπάρχουν διαθέσιμες μέθοδοι παραγωγής σύνθετης ξυλείας με μηχανική συγκράτηση των επιμέρους στοιχείων.

- **NLT (Nail Laminated Timber)**
Η παραδοσιακότερη εκδοχή δημιουργίας συμπαγών ξύλινων στοιχείων είναι χρησιμοποιώντας ήλους ή βίδες για τη στερέωση των σανίδων σε επάλληλες ή κάθετες στρώσεις. Η τεχνική αυτή είναι απλούστερη έχει μικρότερες βιομηχανικές απαιτήσεις, μπορεί να περιλαμβάνει προκατασκευασμένα τμήματα ή ακόμα και να συναρμολογείται επιτόπου.
- **DLT (Dowel Laminated Timber)**
Μια διαφορετική τεχνική χωρίς κόλλα αξιοποιεί τις υγροσκοπικές ιδιότητες του ξύλου. Οι σανίδες συγκρατούνται με ξύλινες καβίλιες, ξηραίνονται σε διαφορετικά ποσοστά υγρασίας και η σύνδεση τους «κλειδώνει» μέσα από την διόγκωση και συρρίκνωση όταν έρθουν σε ισορροπία. Αυτή η τεχνική, ενέχει μεγαλύτερους κινδύνους αστοχίας σε σχέση με τις προηγούμενες σε βάθος χρόνου.⁶⁵

63. Mayo, Joseph, 2015, *Solid wood: Case Studies in Mass Timber Architecture, Technology and Design*, Routledge, London, σελ.14
64. ο.π., σελ.15
65. ο.π., σελ.18



[3.11]



[3.12]



[3.13]



[3.14]



[3.15]

[3.11] Glulam

[3.12] LVL

[3.13] CLT

[3.14] NLT

[3.15] DLT

3.6.2 Συγκολλητικές ουσίες

Οι περισσότεροι τύποι βιομηχανικής ξυλείας βασίζονται στη χρήση συγκολλητικών ουσιών, ή ρητινών όπως αλλιώς ονομάζονται, με διαφορετικά χαρακτηριστικά συγκόλλησης, ανθεκτικότητας και χημικής σύστασης. Βασικός στόχος είναι η δημιουργία δεσμών ισχυρότερων από του ίδιου του ξύλου για να μεταφέρουν τα φορτία μεταξύ των επιμέρους στρώσεων, ενώ παράλληλα εξασφαλίζουν και την αντοχή τους παρουσία νερού.⁶⁶

Η παραγωγή των συγκολλητικών ουσιών σε σχέση με το τελικό προϊόν ξυλείας, είναι μια αρκετά ενεργοβόρα διαδικασία.⁶⁷ Ο τύπος τους ποικίλλει ανάλογα με τον κατασκευαστή και τη χρήση, αλλά συχνότερα επιλέγονται κόλλες με βασικότερο συστατικό την φορμαλδεΐδη (πχ. UF, PF, PFR, ρMDI)⁶⁸, η οποία για τον άνθρωπο, αποτελεί γνωστή ερεθιστική ουσία και πιθανό καρκινογόνο, με τις εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων να μπορούν να επηρεάσουν την υγεία.⁶⁹ Αν και θα ήταν δύσκολο να αντικατασταθεί χωρίς την απώλεια απόδοσης, ήδη ερευνώνται και χρησιμοποιούνται εναλλακτικές ουσίες με διαφορετικά οργανικά υλικά ως βάση. Όλα τα διαθέσιμα επιστημονικά δεδομένα δείχνουν ότι οι μέγιστες εκπομπές φορμαλδεΐδης σε σύνθετα πάνελ ξυλείας είναι ισοδύναμες με αυτές του εξωτερικού αέρα σε αστικά περιβάλλοντα, ως εκ τούτου, δεν φαίνεται να προκαλούν σημαντικές ανησυχίες και προβλήματα υγείας.⁷⁰

Η δαπάνη ενέργειας και οι χημική σύσταση των ρητινών αποτελούν σημαντική συνιστώσα στην γενικότερη «πράσινη» αξιολόγηση των σύγχρονων προϊόντων βιομηχανικής ξυλείας. Η ανάπτυξη ουσιών φιλικότερων προς την ανθρώπινη υγεία ή η εξάλειψη τους από τα προϊόντα ξυλείας θα βελτιώσει σημαντικά το συνολικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα τους.⁷¹

66. ο.π., σελ.16

67. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η ενέργεια που είναι απαραίτητη για το LVL καταλαμβάνει περίπου το 16% της συνολικής ενέργειας παραγωγής, για το κόντρα πλακέ το 16% και για το Glulam το 8% (Mayo, 1025, σελ.16)

68. UF: κόλλα ουρίας-φορμαλδεΐδης, PF: κόλλα φαινόλης-φορμαλδεΐδης, PFR: κόλλα φαινόλης ρεσορκινόλης-φορμαλδεΐδης, ρMDI: κόλλα πολυμερούς μεθυλενοδιφαινυλικού διισοκυανικού

69. Micheal Green Architecture, 2017, *TALL WOOD: The Case for Tall Wood Buildings*, 2η εκδ., Vancouver, σελ.36

70. Οι εκπομπές από PF, PRF και ρMDI που εντοπίζονται, είναι πολύ κάτω από τα τυπικά επίπεδα που θεωρούνται επιβλαβή. Δοκιμές σε LVL και πάνελ CLT έχουν δείξει εκπομπές φορμαλδεΐδης 0,02-0,04ppm και 0,015-0,05ppm αντίστοιχα. Στον Καναδά, όπου πραγματοποιήθηκαν οι αναφερόμενες στην πηγή έρευνες, η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος θεωρεί τα 0,10ppm μέρη ανά εκατομμύριο ως αυξημένα, δηλαδή έχουν επίπεδο έκθεσης που μπορεί να προκαλέσει παρενέργειες στους ανθρώπους. (Micheal Green Architecture, 2017, σελ.37)

71. Mayo, Joseph, 2015, *Solid wood: Case Studies in Mass Timber Architecture, Technology and Design*, Routledge, London, σελ.16

[3.16] Η διαδικασία τοποθέτησης κόλλας στη γραμμή εργοστασιακής παραγωγής

3.7 Αισθητικά και ψυχολογικά οφέλη της χρήσης ξύλου σε κατασκευές

Η παρουσία εμφανούς ξύλου στους χώρους παρουσιάζει σημαντικά οφέλη στην αίσθηση και αντίληψη του χώρου από τους χρήστες. Προερχόμενο από τη φύση, βοηθά στη διαμόρφωση ενός φιλόξενου περιβάλλοντος, πλούσιο σε αισθητηριακά ερεθίσματα αφού το άρωμα, η φυσική υφή και η ζεστή εμφάνιση προκαλούν άνεση και ευεξία. Οι ακουστικές του ιδιότητες βελτιώνουν σημαντικά την ηχητική ποιότητα του χώρου, για αυτό άλλωστε χρησιμοποιείται σαν υλικό επένδυσης σε αίθουσες συναυλιών, αμφιθέατρα και χώρους ηχογράφησης. Σε περιπτώσεις που οι επιφάνειες αφήνονται ανεπεξέργαστες, ρυθμίζουν με φυσικό τρόπο τα επίπεδα υγρασίας στους εσωτερικούς χώρους, ενώ στις επιφάνειες που το ξύλο είναι προσβάσιμο, η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του συμβάλλει στην ζεστότερη αίσθηση αφής συγκριτικά με άλλα δομικά υλικά όπως ο χάλυβας, το σκυρόδεμα και η κοινή τοιχοποιία.⁷²

Η έμφυτη ανθρώπινη τάση για σύνδεση με τη φύση, ονομάζεται *βιοφιλία* και είναι κρίσιμη για τη σωματική και ψυχική υγεία στο σύγχρονο κόσμο. Στην αρχιτεκτονική, μια έκφραση του βιοφιλικού σχεδιασμού είναι η ενσωμάτωση στοιχείων που έμμεσα ή άμεσα παραπέμπουν στη φύση.⁷³ Ολοένα αυξανόμενο είναι το ερευνητικό ενδιαφέρον σχετικά με την επίδραση της χρήσης ξύλου σαν υλικό στα κτίρια τα τελευταία χρόνια και αποδεικνύεται ότι πράγματι υπάρχει θετική απόκριση όχι μόνο ψυχολογικά και σωματικά, αλλά και στην παραγωγικότητα και δημιουργικότητα του χρήστη. Η παρουσία του σε εσωτερικούς χώρους υγείας, εργασίας και εκπαίδευσης φαίνεται να μειώνει το άγχος, το στρες, να ενισχύει συνολικά την ευεξία και την αποκατάσταση.⁷⁴

Επιδιώκοντας να συμπεριλάβει κανείς στοιχεία της φύσης στον σχεδιασμό γρήγορα βρίσκεται αντιμέτωπος με φυσικούς και πρακτικούς περιορισμούς, όπως για παράδειγμα το φυσικό φως που επιβάλλει ανοίγματα, τα παράθυρα που δεν έχουν πάντα θέα προς τη φύση και τα φυτά που δεν ευδοκιμούν σε σκοτεινά και δύσκολα σημεία του χώρου. Η χρήση φυσικών υλικών όπως το ξύλο, αποτελεί μια από τις πιο εύκολα εφαρμόσιμες τεχνικές. Τα ξύλινα δομικά στοιχεία, σε αντίθεση με τα συμβατικά, αν διατηρηθούν εμφανή αποκτούν διπλό ρόλο στην κατασκευή: δομικό και βιοφιλικό, χωρίς καμία επιπλέον σχεδιαστική ενέργεια.⁷⁵

72. Dangel, Ulrich, 2016, *Turning Point in Timber Construction: A New Economy*, Birkhäuser, Besel, σελ.146

73. Kellert, Stephen, Calabrese, Elizabeth, 2015, *The Practice of Biophilic Design*, σελ.4-10

74. Ενδεικτικά, αναφέρονται οι παρακάτω έρευνες σχετικά με τις θετικές επιδράσεις του ξύλου στους εσωτερικούς χώρους: (Kotradynova, V. et al., 2019), (Augustin, S. και Fell, D., 2015) και (Fell, D., 2011)

75. Augustin, Sally, Fell, David, 2015, *Wood as a restorative material in healthcare environments*, FPIinnovations, Quebec, σελ.16



[3.17]



[3.18]

[3.17] CLT House (2019), FMD architects

[3.18] CLT House (2019), FMD architects

[3.19] CLT House (2022), Unknown Works

3.8 Συμπεράσματα ενότητας

Η μακρόχρονη ευρωπαϊκή πρακτική εκμετάλλευσης των δασικών πόρων αποδεικνύει ότι η χρήση δομικής ξυλείας μπορεί να βοηθήσει στην διατήρηση και επέκταση των δασικών εκτάσεων, αρκεί να τηρούνται τα κανονιστικά πλαίσια και τα πρωτόκολλα αειφορίας. Το ξύλο μέσα από την βιομηχανική του προσέγγιση, τοποθετείται στο σύγχρονο αρχιτεκτονικό λεξιλόγιο ως ένα υλικό ανθεκτικό, βιώσιμο και προβλέψιμο. Αποτελεί πλέον ένα εργαλείο προώθησης της περιβαλλοντικής υπευθυνότητας μέσα από την εφαρμογή σύγχρονων κατασκευαστικών πρακτικών. Χάρη στην πρόοδο της βιομηχανικής ξυλείας, η παραγωγή προϊόντων υψηλών προδιαγραφών γίνεται με συνέπεια και πρωτόγνωρη συνοχή, συνεισφέροντας στην αισθητική του κτιρίου και τη σύνδεση του με το φυσικό περιβάλλον.



[3.19]

76. Μανωλίδης, Κώστας, 2017, *Εδαφολόγιο - Κείμενα για την ύλη της αρχιτεκτονικής*, Εκδόσεις Νήσος, Αθήνα, σελ.38

«Έτσι, με το καλό θέλουν τα ξύλα να τα πάρεις. (...) Για να δωρίσουνε στα σπίτια των ανθρώπων τη ζέστη που ταμίευσαν στους πόρους τους απ' τη γλυκιά πυράκτωση δεκάδων φθινοπώρων. Για να κρατήσουν στις ίνες τους βαθιά την ιαχή των νεαρών βλαστών, που κάποτε υπήρξαν.»⁷⁶

04. ΓΙΑΤΙ ΔΕΝ ΧΤΙΖΟΥΜΕ ΜΕ ΞΥΛΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ;

Στην Ελλάδα, η οικοδομική πρακτική ανέκαθεν βασιζόταν στα διαθέσιμα υλικά δόμησης κάθε τόπου, τα οποία αναζητούνταν από άμεσο φυσικό περιβάλλον με στόχο την εξοικονόμηση υλικών και μέσων κατασκευής. Το ξύλο περιορίζεται σε δευτερεύον ρόλο, με την πέτρα και αργότερα το οπλισμένο σκυρόδεμα να ξεχωρίζουν σαν υλικά επιλογής φέροντα οργανισμού. Η μαζική ανοικοδόμηση στις αρχές του 20^{ου} αιώνα επηρέασε σημαντικά τα υλικά και τις τεχνικές κατασκευής, θέτοντας τις βάσεις των σημερινών πρακτικών. Παράλληλα με την αναζήτηση της επικράτησης του οπλισμένου σκυροδέματος, στόχος της ενότητας είναι η διερεύνηση των πολυδιάστατων λόγων για τους οποίους το ξύλο δεν καταφέρνει να διεισδύσει στην ελληνική αρχιτεκτονική μέχρι σήμερα.

4.1 Σύντομη αναδρομή στο ξύλο ως δομικό υλικό στην Ελλάδα

Ήδη από την αρχαιότητα, η ελληνική αρχιτεκτονική ταυτίζεται σε μεγάλο βαθμό με τις λίθινες κατασκευές λόγω της αφθονίας της πέτρας στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Δεν πρέπει όμως να παραβλέπεται ο σημαντικότερος ρόλος του ξύλου άλλοτε σε συνδυασμό με λιθοδομή και άλλοτε μέσα από αυτοτελή ξύλινα φέροντα δομικά στοιχεία. Σε κάθε περιοχή, η χρήση ξύλου με την πάροδο των χρόνων εξελίχθηκε διαφορετικά ανάλογα με το κλίμα, τη διαθεσιμότητα του ξύλου και την κοινωνική και πολιτική ανάπτυξη.⁷⁷ Ταυτόχρονα όμως, η παρουσία του ήταν σταθερή σε όλο τον ελλαδικό χώρο σε δευτερεύοντα στοιχεία των κατασκευών όπως αρχιτεκτονικές προεξοχές (πχ. σαχνισί), εσωτερικές τοιχοποιίες, στέγες, πατώματα, κουφώματα και σκάλες.

77. Αγναντοπούλου, Ευαγγελία, 2020, *Το ξύλο στην πολιτιστική κληρονομιά των Κυκλάδων: είδη, χρήσεις, προστασία*, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, σελ.78

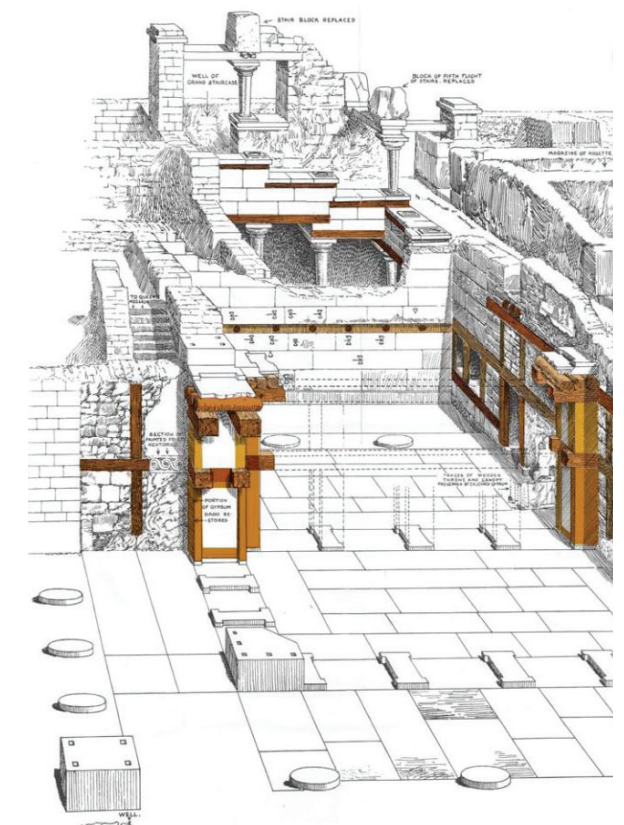
Ιστορικά παραδείγματα του συνδυασμού πέτρας και ξύλου με μεγάλο ενδιαφέρον στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική αποτελούν οι εσωτερικές ενισχύσεις σε λιθόκτιστες τοιχοποιίες με *ξυλοδεσιές*⁷⁸ και οι *ξυλόπηκτες τοιχοποιίες* (πχ. τσατμάς, μπαγδατί)⁷⁹. Και οι δύο περιπτώσεις ενσωμάτωσης ξύλινων στοιχείων του υλικού στη δομή των τοίχων προσδίδουν εντυπωσιακή αντισεισμική συμπεριφορά στο κτίριο. Ειδικότερα στην περίπτωση των κτιρίων με ξυλόπηκτους ορόφους στη Λευκάδα, ένας δευτερεύων πλαισιωτός φέροντας οργανισμός από ξύλο δημιουργείται μέσα από την πέτρινη τοιχοποιία του ισογείου και σε περίπτωση αστοχίας του λιθόκτιστου τοίχου λόγω σεισμού, παραλαμβάνει τα φορτία του υπερκείμενου ορόφου και αποτρέποντας την πλήρη κατάρρευση [4.2].

Περνώντας στη σύγχρονη εποχή, παρατηρούμε ότι το ξύλο για πολλές χώρες με υψηλή παραγωγική δυνατότητα, ήταν και παραμένει ακόμα το κυριότερο υλικό δόμησης για κατοικίες και άλλες δημόσιου χαρακτήρα χαμηλές κατασκευές, συνεχίζοντας τις παραδόσεις χρόνων, ενώ ταυτόχρονα καινοτομούν και προωθούν νέες τεχνικές κατασκευής στον τομέα. Ποσοτικά αυτό αποτυπώνεται σε έρευνα που παρουσιάζει η Οικονομική Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για την Ευρώπη, όπου για τη χρονιά 2021 τα ξύλινα κτίρια αποτελούσαν το 45-70% σε περιοχές κυρίως της Βόρειας Ευρώπης, όπου υπάρχει μακρά παράδοση στις ξύλινες κατασκευές. Στην Κεντρική και Νότια Ευρώπη οι ξύλινες κατασκευές είναι λιγότερο συχνές. Για παράδειγμα, οι νέες ξύλινες κατοικίες στη Γερμανία και το Ηνωμένο Βασίλειο αποτελούν το 10-11% του συνόλου, στην Ιταλία και Γαλλία το 7% και 4% κατ' αντιστοιχία, ενώ σε περιοχές όπως η Ισπανία το 2-3%.

Στην Ελλάδα, βάσει των στατιστικών στοιχείων από την τελευταία διαθέσιμη απογραφή το 2011, μόνο το 0,5% των κτιρίων έχει ως βασικό υλικό κατασκευής το ξύλο, με την Περιφερειακή Ενότητα Λευκάδας να παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό ξύλινων κτιρίων, δηλαδή 5,9% επί του συνόλου της [4.10].

78. Οι *ξυλοδεσιές* αποτελούν μια συχνή τακτική ενίσχυσης πέτρινων ή πλίνθινων τοίχων με οριζόντιες ζώνες από ξύλινες δοκούς περιμετρικά του κτιρίου. Αυτές, συνδέονται μεταξύ τους με εγκάρσια μέλη και δημιουργούν «σχάρες» σε διάφορα ύψη.

79. Οι *ξυλόπηκτες τοιχοποιίες* αποτελούνται από ξύλινο σκελετό, με διαγώνιες στηρίξεις μεταξύ των πλαισίων και πλήρωση των κενών που δημιουργούνται στον σκελετό με μικρότερα ξύλα, καλάμια, χώμα, μικρές πέτρες, τούβλα ή και συνδυασμούς των παραπάνω διαθέσιμων υλικών.



[4.1]

[4.1] Αξονομετρική αναπαράσταση της Αίθουσας Διπλών Πελέκεων στο Ανάκτορο της Κνωσού όπως βρέθηκε κατά την ανασκαφή.

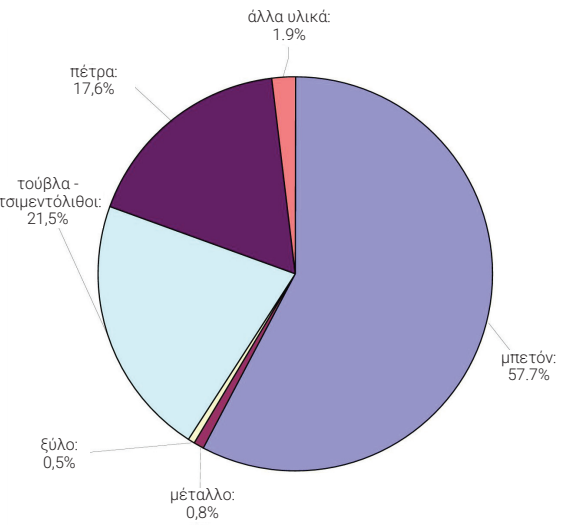
4.2 Η επικράτηση του οπλισμένου σκυροδέματος στις κατασκευές

«Το ρευστό χαρμάνι άμμου, χαλικιού, τσιμέντου και νερού που θα στερεοποιηθεί στον άκαμπτο σκελετό του κτίσματος αποτελεί το κομβικό στοιχείο της σύγχρονης οικοδομής (...) το σκυρόδεμα συγκροτείται με έναν νέο τρόπο: δεν συναρμολογείται πλέον από μέλη αλλά σαρκώνεται σε ένα μονολιθικό σώμα.»⁸⁰

Στην Ευρώπη ο 19^{ος} αιώνας σφραγίζεται από την γενικότερη εκβιομηχάνιση των διαδικασιών κατασκευής και την εισαγωγή νέων δομικών υλικών στην αγορά που αντιπροσωπεύουν τη δύναμη, την αντοχή και την σταθερότητα. Ο λόγος γίνεται για το οπλισμένο σκυρόδεμα και τον χάλυβα, που ειδικά στις πρώτες δεκαετίες του επόμενου αιώνα, μετά από δύο παγκόσμιους πολέμους, θα ξεχωρίσουν ως πρωταγωνιστές της μαζικής ανοικοδόμησης των βομβαρδισμένων πόλεων. Η καινοτομία των τελευταίων τεχνολογικών επιτευγμάτων, όπως είναι φυσικό, παραγκωνίζει το ξύλο σαν υλικό επιλογής, αφού κρίνεται ότι εκείνη την περίοδο δεν μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις.

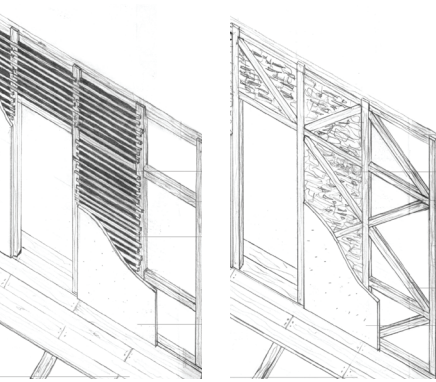
Στην χώρα μας, προσπαθώντας να ερμηνεύσουμε την σύγχρονη *βασιλεία του μπετόν*⁸¹, όπως χαρακτηριστικά την περιγράφει ο Δημήτρης Φιλιππίδης, θεωρούμε σαν σημείο τομής την εμφάνιση κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα στην Ελλάδα το 1920. Ενώ η χρήση τσιμέντου σαν οικοδομικό υλικό έχει προηγηθεί τα προηγούμενα χρόνια σε διάφορες ειδικές εφαρμογές,⁸² η διείσδυση του σε κατασκευές όλων των κοινωνικών στρωμάτων ήταν σταδιακή. Στην αρχή, χρησιμοποιείται ως υλικό εξειδικευμένων κατασκευών και ως το τέλος της τρίτης δεκαετίας εντοπίζεται σε ολοκληρωμένους φέροντες οργανισμούς κτιρίων. Μέχρι τη δεκαετία του 1930, τα επείγοντα στεγαστικά προβλήματα ως συνέπεια της μικρασιατικής καταστροφής, οδήγησαν σε πιέσεις επέκτασης του σχεδίου πόλεως και προώθηση της ανάπτυξης καθ’ ύψος με τη μορφή πολυκατοικιών. Η επικράτηση του όμως σε κάθε είδους οικοδομή ως το κυρίαρχο υλικό κατασκευής παρατηρείται μεταπολεμικά, αφού μετατρέπεται σε μοχλό μιας τεράστιας αναπτυξιακής προσπάθειας. Πέτρες, ξύλα, λάσπη και κεραμίδια της τυπικής «παραδοσιακής» αρχιτεκτονικής, σύντομα αντικαθίστανται από ξυλότυπο, σίδερα, αναμονές και το χαρμάνι του τσιμέντου ως σύμβολα της λαϊκής κουλτούρας και μιας νέας μαζικής αρχιτεκτονικής. Ως υλικό ήταν εύκαιρο, φτηνό και προσαρμόσιμο στις απαιτήσεις ειδικών έργων, πολυκατοικιών και μικρότερων κτιρίων σφραγίζοντας με την παρουσία του την μορφή της μεταπολεμικής αρχιτεκτονικής.

80. Μανωλίδης, Κώστας, 2017, *Εδαφολόγιο - Κείμενα για την ύλη της αρχιτεκτονικής*, Εκδόσεις Νήσος, Αθήνα, σελ.32
81. Φιλιππίδης, Δημήτρης, 2019, *Ανώνυμη αρχιτεκτονική, Μια άρρητη παρουσία*, Πολιτιστικό Ίδρυμα Ομίλου Πειραιώς, Αθήνα, σελ.177
82. Η ίδρυση του πρώτου ελληνικού εργοστασίου παραγωγής τσιμέντου έχει ήδη γίνει από το 1902 στην Ελευσίνα με την επωνυμία «ΤΙΤΑΝ»

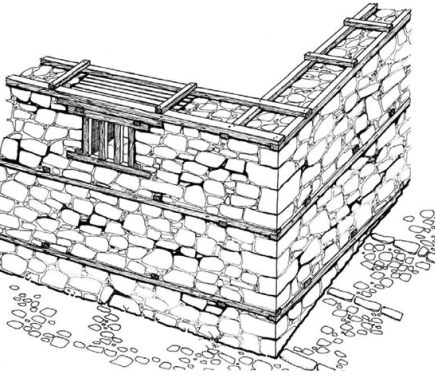


[4.10]

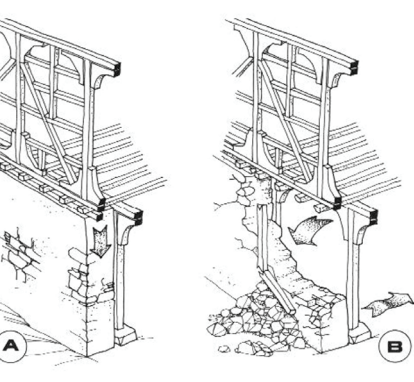
[4.10] Γράφημα ποσοστιαίας κατανομής κτιρίων σύμφωνα με το βασικό υλικό κατασκευής τους (ΕΛΣΤΑΤ, 2011)



[4.7]



[4.4]



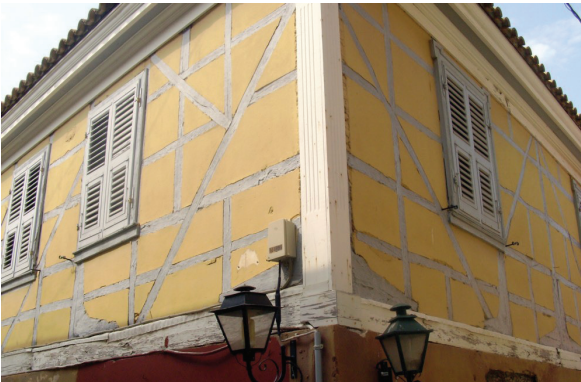
[4.2]



[4.8]



[4.5]



[4.3]

[4.2] Το διπλό δομικό σύστημα στη Λευκάδα

[4.3] Παραδοσιακή κατοικία στη Λευκάδα

[4.4] Αργολιθοδομή με ξυλοδεσιές

[4.5] Κατοικία με ξυλοδεσιές στο Πήλιο

[4.6] Το αρχοντικό της Πούλκως, Σιάτιστα, Μακεδονία

[4.7] Τοιχοποιίες: μπαγδατί (αρ.) και τσατμας (δεξ.)

[4.8] Εξωτερική τοιχοποιία με τεχνική μπαγδατί

[4.9] Εξωτερική τοιχοποιία με τεχνική τσατμά

Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται, το μπετόν μπορεί να εμπλουτίζεται με νέα υλικά και να δουλεύεται με διαφορετικές τεχνικές, αλλά παραμένει το πιο δημοφιλές υλικό προηγμένης τεχνολογίας για την επώνυμη αρχιτεκτονική και το πιο στοιχειώδες υλικό για όλες τις υπόλοιπες εργασίες. Οποιοσδήποτε αλλαγές και ανατροπές της σύγχρονης αρχιτεκτονικής ως προς τις νεότερες μορφολογικές τάσεις, δεν μπόρεσαν να κλονίσουν την πρωτοκαθεδρία του μπετόν.⁸³

«Η παραδοσιακή μαστορική δεν αναστέλλεται πλήρως, απλά μετατίθεται σε παράπλευρες εργασίες όπως στην κατασκευή του καλουπιού.

Πριν ακόμη υλοποιηθεί το κτίσμα βλέπουμε για λίγο ένα ξύλινο είδωλο του.»⁸⁴

4.3 Η εμπιστοσύνη στις ξύλινες κατασκευές

Στην ελληνική οικοδομική πραγματικότητα, οι ξύλινες κατασκευές αντιμετωπίζονται με επιφυλακτικότητα εξαιτίας των κοινωνικών προκαταλήψεων αλλά και των θεσμικών ελλείψεων που επηρεάζουν μελετητές, κατασκευαστές και πελάτες, μειώνουν τη ζήτηση και αναστέλλουν την εξέλιξη των συστημάτων δόμησης με ξύλο.

Το πρώτο και ίσως πιο βαθιά ριζωμένο σημείο δυσπιστίας προέρχεται από τις παγιωμένες αντιλήψεις γύρω από την φύση και τη συμπεριφορά του υλικού. Τα ξύλο πράγματι είναι ένα υλικό ευπαθές απέναντι στην υγρασία, τα έντομα και τους μικροοργανισμούς αν δεν έχουν γίνει ενέργειες προστασίας, συντήρησης και σωστής χρήσης του. Είναι επίσης εύφλεκτο υλικό, γεγονός που εντείνει τις ανησυχίες σχετικά με την αντοχή του σε περίπτωση πυρκαγιάς. Ιστορικά, περίπου από τα μέσα του 19^{ου} αιώνα παρατηρείται μια έντονη μείωση της χρήσης του ξύλου σε κατασκευές στην Ευρώπη. Οι μεγάλες, επαναλαμβανόμενες αστικές πυρκαγιές που έπληξαν τα αναπτυσσόμενα αστικά κέντρα διεθνώς είχαν ως αποτέλεσμα την ταύτιση του ξύλου με τους κινδύνους της πυρκαγιάς, ωθώντας προς την αντικατάσταση των ξύλινων με μεταλλικά μέρη. Για τις αμέσως επόμενες δεκαετίες, η χρήση του στα κτίρια περιορίστηκε σε δευτερεύοντα στοιχεία όπως κουφώματα και δάπεδα.⁸⁵ Η βασικότερη παράμετρος που έχει επηρεαστεί από τους προβληματισμούς πυρασφαλείας είναι το επιτρεπόμενο ύψος των ξύλινων κατασκευών που ανά τα χρόνια σχεδόν σε κάθε χώρα περιορίστηκε από τους κανονισμούς δόμησης.⁸⁶

83. ο.π., σελ.178

84. Μανωλίδης, Κώστας, 2017, *Εδαφολόγιο - Κείμενα για την ύλη της αρχιτεκτονικής*, Εκδόσεις Νήσος, Αθήνα, σελ.32

85. Κωτσόπουλος, Σοφοκλής, 2022, «Χτίζοντας με ξύλο. Η αναβίωση μιας αειφόρου δόμησης» στο βιβλίο: *Το ξύλο στα κτίρια - Οδηγός σχεδιασμού και κατασκευής*, Εκδόσεις Κτίριο, Θεσσαλονίκη, σελ.8

86. UNECE, 2023, *Circularity Concepts in Wood Construction*, United Nations Publication, Geneva, σελ.9

Στην σημαντική δυσφήμιση των ξύλινων κατασκευών στην Ελλάδα συντελούν διάφοροι ακόμα παράγοντες που βασίζονται σε παθογένειες του κατασκευαστικού τομέα και της αγοράς. Μετά από μια συνεχή πορεία απαξίωσης, ο κλάδος των ξύλινων κατασκευών παρουσιάζει σοβαρές ελλείψεις σε εξειδικευμένους τεχνίτες και η βιομηχανία δομικής ξυλείας στη χώρα μας έχει πρακτικά εκλείψει, αυξάνοντας το κόστος προμήθειας υλικών. Στην αγορά μπορεί κανείς να βρει ποικιλία προϊόντων ξυλείας, σε διάφορες ποιότητες, κυρίως εισαγωγής αλλά και εγχώριας προέλευσης. Δυστυχώς όμως, παρά τις προσπάθειες επιβολής των κανονισμών του εμπορίου ξυλείας, συχνά πωλούνται δομικά προϊόντα μη πιστοποιημένα, με ψευδή σήμανση ποιότητας, από ακατάλληλους χώρους φύλαξης, χωρίς ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, έχοντας ως αποτέλεσμα την αλλοίωση των ιδιοτήτων τους πριν καν φτάσουν στον καταναλωτή.

Δεν είναι τυχαίο λοιπόν, ότι στην Ελλάδα έχει επικρατήσει η άποψη ότι η ξύλινη κατασκευή είναι προσωρινή, πρόχειρη και μη ανθεκτική.⁸⁷ Η έλλειψη τεχνογνωσίας, εξοικείωσης και επαρκούς εκπαίδευσης σε κατασκευές με ξύλινους φορείς, αποθαρρύνει μηχανικούς και τεχνίτες από τη χρήση ξύλου, ενισχύοντας την αβεβαιότητα και τον φόβο.

Τέλος, η προκατάληψη αποτυπώνεται και στις επιθυμίες των πελατών που επιμένουν σε συμβατικές κατασκευές για λόγους μεταπώλησης και διατήρησης της αξίας της περιουσίας τους. Δεν είναι απίθανο, να αντιμετωπίσουν προκλήσεις με φορείς όπως τράπεζες και ασφαλιστικές εταιρείες, που θεωρούν προτιμότερες τις συμβατικές κατασκευές, διακρίνοντας τις ξύλινες ως μεγαλύτερο ασφαλιστικό ρίσκο.⁸⁸

Παρατηρείται συνεπώς ότι η κουλτούρα και οι κοινωνικές αντιλήψεις γύρω από το υλικό, είναι συχνά παράγοντες με μεγαλύτερη βαρύτητα από την διαθεσιμότητα, σε ότι αφορά τη χρησιμοποίηση ενός υλικού κατασκευής. Ταυτόχρονα όμως, οι διαθέσιμες υποδομές και η διάρθρωση του κατασκευαστικού τομέα διαμορφώνονται και αναπτύσσονται βάσει της αντίστοιχης ζήτησης, που στην περίπτωση της Ελλάδας είναι ιδιαίτερα μικρή. Ο μόνος τρόπος για να εξασφαλιστεί ότι το μέλλον των κατασκευών θα είναι πιο βιώσιμο, είναι η σταδιακή αλλαγή κατεύθυνσης από τις ενεργοβόρες βιομηχανίες προς συστήματα και πρακτικές δόμησης πιο φιλικές προς το περιβάλλον, εξαλείφοντας σταδιακά τις κοινωνικές προκαταλήψεις προς εναλλακτικά υλικά.

87. Κακαράς, Ιωάννης, 2011, «Εφαρμογές του ξύλου στην Ελλάδα από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα», εισήγηση στο: *15^ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο*, Καρδίτσα

88. Frearson, Amy, 09-11-2015, *Architects embrace “the beginning of the timber age”*, Dezeen, <https://www.dezeen.com/2015/11/09/cross-laminated-timber-construction-architecture-timber-age/>

4.4 Τα δάση της Ελλάδας, δυνατότητες παραγωγής και εκμετάλλευσης

Η Ελλάδα διαθέτει περίπου 3,84 εκατ. εκτάρια δασών, σχεδόν το 30% της συνολικής της έκτασης, αλλά η παραγωγή και αξιοποίηση των δασικών πόρων παραμένει χαμηλή σε σύγκριση με αντίστοιχες ευρωπαϊκές χώρες. Τα ελληνικά δάση χαρακτηρίζονται από μορφολογικές ιδιαιτερότητες και ανομοιογένεια στο σύνολο τους, με φυσικές, δύσκολα προσβάσιμες εξαιτίας του αναγλύφου εκτάσεις που καθιστούν τις εργασίες συγκομιδής από τις πλέον επικίνδυνες και δύσκολες εργασίες στη χώρα μας. Σημαντικότερα όμως, οι ειδικοί στον τομέα της δασοπονίας τονίζουν ότι τα δασικά μας οικοσυστήματα δεν προσφέρονται για κερδοσκοπική εκμετάλλευση.⁸⁹ Το δίκτυο *Natura2000*⁹⁰ περιλαμβάνει το 36% των δασικών εκτάσεων της χώρας, υπογραμμίζοντας τον προστατευτικό χαρακτήρα των οικοσυστημάτων, με την παραγωγή προϊόντων ξύλου να έρχεται σε δεύτερη μοίρα.⁹¹

Ένας ακόμα ανασταλτικός παράγοντας είναι οι ελλείψεις σε ότι αφορά την διαχείριση των δασών. Τα ανεπαρκή στατιστικά δεδομένα σχετικά με την έκταση, την παραγωγή και κατ' επέκταση την δασική συμβολή στην οικονομία, δυσχεραίνουν την σωστή αξιολόγηση τους.⁹² Η υποβάθμιση της δασικής πολιτικής σταδιακά από το 1980 μέχρι και σήμερα οδήγησε σε ανεξέλεγκτη συγκομιδή, δασικές καταστροφές και υποβάθμιση των οικοσυστημάτων λόγω της έλλειψης κρατικής επίβλεψης. Επιπλέον, η έλλειψη πιστοποιήσεων, αποτελεί ένα σταθερό εμπόδιο στην δημιουργία ενός αξιόπιστου μοντέλου για μακροχρόνια αειφορική διαχείριση των δασών μας.⁹³

Συνολικά, η Ελλάδα έχει έντονες ελλείψεις σε ξύλο με μόλις το 1/3 των αναγκών σε τεχνική ξυλεία να καλύπτεται από την εγχώρια παραγωγή.⁹⁴

89. Κακαράς, Ιωάννης, 2023, *Συγκομιδή Ξύλου στην Ελλάδα: Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον*, εισήγηση σε ημερίδα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Καρπενήσι
90. Το δίκτυο *Natura2000* είναι ένα δίκτυο ζωνών προστασίας της φύσης και έχει ως στόχο να διασφαλίσει τη μακροπρόθεσμη διατήρησή των πιο πολύτιμων και των πλέον απειλούμενων ειδών και ενδιαιτημάτων σε ικανοποιητικό επίπεδο.
91. Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, *Γνωσιακή Βάση: Τα Δάση της Ελλάδας*, <https://forests-yphen.gr/gnosiaki-vasi/themata/94-ta-dasi-tis-elladas/169-ta-dasi-tis-elladas>
92. Ποια είναι τα παραγωγικά δάση και τι μπορούν να προσφέρουν, 25-11-2023, <https://dasarxeio.com/2023/11/25/130987/>
93. Κακαράς, Ιωάννης, 2023, *Συγκομιδή Ξύλου στην Ελλάδα: Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον*, εισήγηση σε ημερίδα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Καρπενήσι
94. Σύμφωνα με στοιχεία της EUROSTAT το 2017 η συνολική παραγωγή στρόγγυλης ξυλείας ήταν 1.092.000m³. Από αυτά το 70% πήγε για καυσόξυλα και το υπόλοιπο 30% για βιομηχανική ξυλεία. Πάνω από 2.000.000m³ ισοδύναμης στρόγγυλης ξυλείας εισάγονται είτε σε συμπαγή μορφή είτε σε μορφή μεταποιημένων προϊόντων. Για τις εισαγωγές αυτές δαπανώνται ετησίως 1,5 δισεκατομμύρια ευρώ. (Κακαράς Ι., 21-03-2020, <https://dasarxeio.com/2020/03/21/77039/>)

Η βιομηχανία ξυλείας βασίζεται κυρίως σε εισαγωγές από την Ευρώπη, ενώ όποιες εσωτερικές δυνατότητες υπάρχουν παραμένουν ανεκμετάλλευτες. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να ανατραπούν μόνο μέσα από τη διαχείριση των δασών μας, με αναδασώσεις και με καλύτερη εκμετάλλευση του ξύλου.⁹⁵

«Η συγκομιδή των δασικών προϊόντων πρέπει να αποτελεί το τελικό, πολύ σημαντικό, στάδιο της αειφορικής διαχείρισης των δασικών οικοσυστημάτων της Ελλάδας.»⁹⁶

4.5 Νομοθεσία και κανονισμοί δόμησης ξύλινων κατασκευών

Μέχρι σήμερα στην Ελλάδα, η νομοθεσία για τις ξύλινες κατασκευές καθορίζεται από τον Νέο Οικοδομικό Κανονισμό (ΝΟΚ, Ν.4067/2012), ο οποίος ορίζει τις γενικές διατάξεις δόμησης ανεξαρτήτως του υλικού κατασκευής. Τα ξύλινα κτίρια ανήκουν στην κατηγορία των *ελαφρών κατασκευών*⁹⁷, ακολουθούν κανονικά τις διαδικασίες έκδοσης οικοδομικής άδειας και οφείλουν να τηρούν τους όρους δόμησης κάθε περιοχής. Ταυτόχρονα, οι τεχνικές προδιαγραφές για την ασφαλή χρήση τους καθορίζονται από τους Ευρωκώδικες, ένα κοινό σύνολο ευρωπαϊκών προτύπων κατασκευής κτιριακών έργων.

Στα πλαίσια της προώθησης οικολογικών πρακτικών και επιλογής δομικών συστημάτων φιλικών προς το περιβάλλον, παρέχονται ορισμένα πολεοδομικά κίνητρα από τη νομοθεσία σχετικά με τη χρήση φέροντα οργανισμού ή τοιχοποιίας από φυσικά ανακυκλώσιμα πρωτογενή υλικά, όπως το ξύλο, η περιμετρική επιφάνεια των οποίων δεν προσμετρά στα μεγέθη επιτρεπόμενης δόμησης, κάλυψης και όγκου.⁹⁸ Παράλληλα όμως, ο Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίου (Κ.Εν.Α.Κ.) επικεντρώνεται στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων κατά τη φάση λειτουργίας τους, δηλαδή την εξοικονόμηση ενέργειας. Επίσης, το υποχρεωτικό Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης (ΠΕΑ) που θέσπισε ο Κ.Εν.Α.Κ. δε λαμβάνει υπόψη την τοξικότητα των υλικών, το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα, την ενσωματωμένη ενέργεια, τα

95. Κακαράς, Ιωάννης, 21-03-2020, *Τα δασικά προϊόντα των ελληνικών δασών και η ανάγκη για πιστοποίηση αειφορικής προέλευσης*, <https://dasarxeio.com/2020/03/21/77039/>
96. Κακαράς, Ιωάννης, 2023, *Συγκομιδή Ξύλου στην Ελλάδα: Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον*, εισήγηση σε ημερίδα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Καρπενήσι
97. Ως ελαφρά κατασκευή ορίζεται η κατασκευή με φέροντα οργανισμό και στοιχεία πλήρωσης μειωμένου μόνιμου φορτίου ιδίου βάρους σε σχέση με τις συμβατικές κατασκευές, δηλαδή αυτές από οπλισμένο σκυρόδεμα ή λιθοδομή φέρουσας τοιχοποιίας.
98. Παραπομπές στη νομοθεσία για τις παραπάνω περιπτώσεις των κινήτρων: Νέος Οικοδομικός Κανονισμός (Ν.4067/2012): Συντελεστής Δόμησης αρθ.11, παρ.6κβ, Συντελεστής Κάλυψης αρθ.12, παρ.4γ και Ποσοστό Όγκου αρθ.13, παρ.2β

Στον συνοπτικό οδηγό δομικών υλικών του Τ.Ε.Ε.(2003)¹⁰¹, αναγνωρίζεται η αξία του ξύλου και προτείνονται οι παρακάτω ενέργειες για την προώθηση του στις κατασκευές:

«Η Ελλάδα, με τον αξιόλογο σχετικά με το μέγεθος και τον πληθυσμό της εγχώριο δασικό πλούτο, πρέπει να προχωρήσει άμεσα στις ακόλουθες βασικές ενέργειες:

- 1. Καταγραφή, περιγραφή, αξιολόγηση και αποτίμηση του δασικού της πλούτου και των δασικών προϊόντων, καθώς και των δυνατοτήτων ανάπτυξης και βελτίωσης της υπάρχουσας παραγωγής της χώρας*
- 2. Ενημέρωση και διάδοση των γνώσεων γύρω από το ξύλο ως δομικό υλικό και την σύγχρονη ξύλινη κατασκευή*
- 3. Καθιέρωση συστήματος πιστοποίησης και διαδικασιών ελέγχου της δομικής ξυλείας*
- 4. Διερεύνηση των προβλημάτων που αφορούν την επιρροή των σεισμικών δράσεων στις ξύλινες κατασκευές και αντίστοιχη συμπλήρωση του Ευρωκώδικα 5 και 8 στα σημεία που αυτό απαιτείται*
- 5. Μελέτη, αναγνώριση και αποτίμηση της ξύλινης κατασκευής στην παραδοσιακή και μνημειακή μας κληρονομιά, με ανάπτυξη των δυνατοτήτων για συμβατές και αποτελεσματικές επεμβάσεις ενίσχυσης και αποκατάστασης των αντίστοιχων κατασκευών.»*

απόβλητα και την κατανάλωση νερού, όλες σημαντικές ιδιότητες ως προς την *οικολογικότητα* της κατασκευής.⁹⁹ Συγκεκριμένα η παράληψη της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής, δεν αποδίδει στις κατασκευές από φυσικά πρωτογενή υλικά όπως η πέτρα, το ξύλο και ο πηλός τα ευεργετικά ενεργειακά χαρακτηριστικά τους επηρεάζοντας δυσανάλογα τις περιβαλλοντικές τους αξιολογήσεις.

Συνολικά, η νομοθεσία και οι κανονισμοί για τη δόμηση ξύλινων κτιρίων στην Ελλάδα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως αποσπασματικοί καθώς δεν προσφέρουν μια ολιστική προσέγγιση του ζητήματος της οικολογικής δόμησης σε βάθος χρόνου και κίνητρα για την ανάπτυξη οικοδομικών πρακτικών φιλικότερων προς το περιβάλλον.¹⁰⁰

4.6 Συμπεράσματα ενότητας

Οι λόγοι που το ξύλο δεν έχει διαδοθεί σαν βασικό δομικό υλικό στην Ελλάδα είναι ιστορικοί, κοινωνικοί και θεσμικοί και επιδρούν εδώ και πολλά χρόνια στον τομέα των κατασκευών. Σήμερα, η διαχειριστικές δυσκολίες μιας βιομηχανίας που έχει περιθωριοποιηθεί, η έλλειψη κινήτρων και ελλιπής τεχνογνωσία, οδηγούν στην απαξίωση του ξύλου. Παρόλα αυτά, οι λόγοι που συνεχίζουν να περιορίζουν τη χρήση του υλικού δεν είναι τόσο η φυσική διαθεσιμότητα ή η ακαταλληλότητα του υλικού, όσο η κουλτούρα, οι κοινωνικές προκαταλήψεις και η έλλειψη εμπιστοσύνης. Η ταύτιση του μπετόν με την κοινωνική ανέλιξη σε κρίσιμες περιόδους ανάπτυξης, δεν άφησε περιθώριο στο ξύλο να σχηματίσει τις κατάλληλες υποδομές στην αγορά και να διεκδικήσει το μερίδιο του στον τομέα της κατασκευής, έστω στο βαθμό που θα ήταν κάτι τέτοιο ρεαλιστικό. Σε κάθε σημείο, τονίζεται η ανάγκη για θεσμικές αλλαγές στην εκπαίδευση, την διαχείριση και την πολιτική αντιμετώπιση, ώστε η σύγχρονη αρχιτεκτονική να λάβει μια πιο βιώσιμη κατεύθυνση.

99. Τα στοιχεία σχετικά με τον Κ.Εν.Α.Κ. και τις αξιολογήσεις κτιρίων από οικολογικά υλικά έχουν ληφθεί από εισήγηση σχετικά δόμηση με πηλό, ένα φυσικό υλικό που σε ότι αφορά στην οικοδομική νομοθεσία κατατάσσεται στην ίδια κατηγορία με το ξύλο. (Αλεξανδρή, Ε., 2012)

100. Μέσα από την ευρωπαϊκή οδηγία Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) του 2024, προωθείται η σταδιακή ενσωμάτωση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στους κανονισμούς, με έμφαση στην ολιστική αξιολόγηση των κτιρίων. (https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en)

101. Τουλιάτος, Π., Κατσαραγάκης, Ε., Τσακανίκα, Ε., Κρεστενίτη, Ρ., 2003, *Οδηγός Δομικών Υλικών - Ξύλο ως Δομικό Υλικό*, ΤΕΕ

05. ΣΧΕΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΜΕ ΠΑΝΕΛ CLT

«Το βασικό στοιχείο της σύγχρονης ξυλείας είναι η επιφάνεια και όχι πλέον το γραμμικό μέλος»¹⁰²

Andrea Deplazes, 2000

Η παρακάτω ενότητα εστιάζει σε μια από τις πιο πρόσφατες εξελίξεις της βιομηχανικής ξυλείας, τα πάνελ CLT. Αναλύοντας σε βάθος τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, τις σχεδιαστικές αρχές και τις δυνατότητες που προσφέρουν, παρουσιάζονται οι λειτουργίες τους σε τυπικές κατασκευές ως μια οικολογική εναλλακτική των συνηθισμένων υλικών, μέσα από τα συστήματα δόμησης και τις τυπικές λεπτομέρειες τους. Παράλληλα, αναγνωρίζεται η καινοτομία που προσφέρει το υλικό και τα ιδιαίτερα μηχανικά χαρακτηριστικά του μέσα από πρωτότυπες εφαρμογές ξύλινων κατασκευών, ποικίλης κλίμακας και πολυπλοκότητας.

5.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Το καινοτόμο σύστημα δόμησης από *σταυρωτή επικολλητή ξυλεία CLT* (Cross Laminated Timber) είναι αποτέλεσμα της τεχνολογικής εξέλιξής στα συστήματα της παραδοσιακής δόμησης με ξύλο. Στην Ευρώπη μετράει ήδη πάνω από είκοσι χρόνια παρουσίας σε κατασκευές ποικίλης κλίμακας, με την δημοτικότητα του να αυξάνει συνεχώς την τελευταία δεκαετία ως μια πιο βιώσιμη δομική λύση, εναλλακτική των συμβατικών κατασκευών από σκυρόδεμα και χάλυβα.

Μια πρώτη μορφή του CLT εμφανίζεται τη δεκαετία του 1970 σε κατασκευές στεγών στην Γερμανία και στη συνέχεια εξελίσσεται περαιτέρω τη δεκαετία του 1990 στην Αυστρία, Γερμανία και Ελβετία.¹⁰³ Σημαντικότερη θεωρείται η έρευνα του Αυστριακού ερευνητή Gerhard Schickhofer στο Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο του Γκρατς για την ανάπτυξη της τεχνολογίας του CLT όπως το γνωρίζουμε σήμερα. Η ένταξη του νέου υλικού στην αγορά παρέμεινε αργή τα πρώτα χρόνια, παρότι οι πρώτες κτιριακές εφαρμογές στην Ευρώπη εντοπίζονται ήδη πριν

102. Kaufmann, H., Huß, W., Krötsch, S., Winter, S., 2018, “Structures and support structures”, στο βιβλίο: *Manual of Multi-Storey Timber Construction: Principles – Constructions – Examples*, DETAIL, Munich, σελ.38

103. UNECE, 2023, *Circularity Concepts in Wood Construction*, United Nations Publication, Geneva, σελ.10

το 2000. Συγκεκριμένα, το 2002 η Αυστρία γίνεται η πρώτη ευρωπαϊκή χώρα που δημιουργεί προδιαγραφές δόμησης για κατασκευές CLT στην Ευρώπη.

Το δομικό σύστημα που προκύπτει με την αποκλειστική χρήση πάνελ CLT απαρτίζεται από φέροντες τοίχους και πλάκες που συνδέονται μεταξύ τους με μεταλλικές συνδέσεις και ελάσματα. Κατ’ αυτό τον τρόπο σχηματίζονται εσωτερικοί και εξωτερικοί τοίχοι, τα δάπεδα ορόφων και η στέγη ή το δώμα.

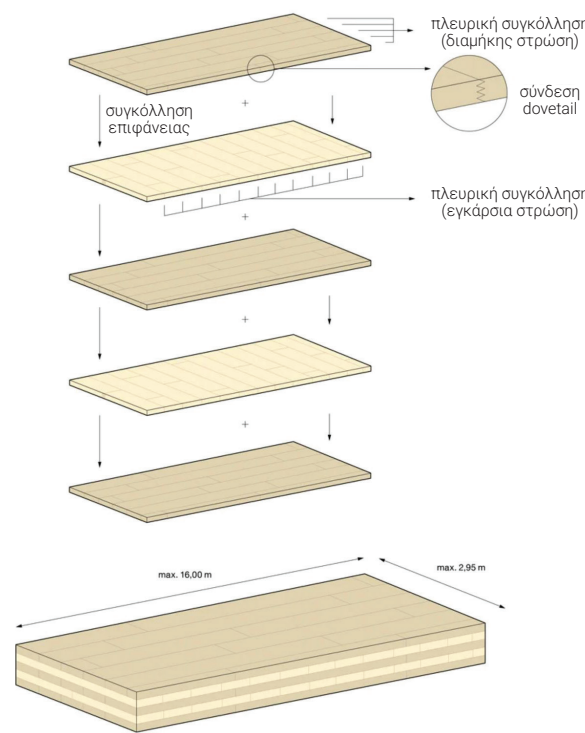
Στην Ευρώπη, η ξυλεία που χρησιμοποιείται συχνότερα είναι από κωνοφόρα (πχ. ερυθρελάτη, έλατο, πεύκο, λάρικα) και σπανιότερα από πλατύφυλλα (πχ. οξιά, δρυς), ενώ δεν αποκλείεται και ο συνδυασμός διαφορετικής ξυλείας στο ίδιο πάνελ για να επιτευχθούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Τα πάνελ αποτελούνται από μονού αριθμού -συνήθως 3, 5 ή 7- επάλληλες, διακριτές στρώσεις ξυλείας. Η κάθε στρώση συντίθενται από ξύλινες σανίδες τοποθετημένες παράλληλα με διαστάσεις μεταξύ 20-60mm σε πάχος και 40-300mm σε πλάτος. Στη συνέχεια, οι στρώσεις συγκολλούνται μεταξύ τους υπό πίεση, έτσι ώστε η διεύθυνση των ινών του ξύλου σε κάθε στρώση να σχηματίζει γωνία 90° με την προηγούμενη. Το πάνελ που προκύπτει έχει τυπικό πάχος μεταξύ 60-500mm ενώ το τυπικό μήκος και πλάτος διαφέρουν ανάλογα την περίπτωση και περιορίζονται κυρίως από εξωτερικούς παράγοντες όπως η μεταφορά στο εργοτάξιο και οι δυνατότητες εγκατάστασης.

Το πάχος κάθε στρώσης, ο αριθμός αυτών και η εξωτερική διεύθυνση των ινών του ξύλου δίνουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες στο τελικό προϊόν, το οποίο όμως χαρακτηρίζεται από υψηλή αντοχή και δυσκαμψία και στις δύο διευθύνσεις. Όταν χρησιμοποιείται σαν κάθετη επιφάνεια, οι δύο εξωτερικές στρώσεις προσανατολίζονται κάθετα, ενώ σε οριζόντια επιφάνεια ακολουθούν τη διεύθυνση της μεγαλύτερης διάστασης του πάνελ.

Η επεξεργασία των σανίδων, οι κολλήσεις των επιμέρους στρώσεων, η τελική κοπή και επεξεργασία απαιτούν βιομηχανικό εξοπλισμό και μηχανήματα ακριβείας για να εξασφαλίζουν την ομοιομορφία και συνοχή του παραγόμενου προϊόντος. Σημαντικό ρόλο σε αυτό έχουν τα μηχανήματα κοπής και διαμόρφωσης CNC τριών ή πέντε αξόνων, βελτιώνοντας την ταχύτητα επεξεργασίας και την ακρίβεια συναρμολόγησης αφού επιτρέπουν σχεδιασμό με πολύ μικρές ανοχές. Ουσιαστικά, η παραγωγή των πάνελ μπορεί να γίνει αποκλειστικά σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες επεξεργασίας ξυλείας, σε ελεγχόμενο περιβάλλον και όχι σε μικρές τοπικές βιοτεχνίες, όπως περιορισμένες είναι επίσης και οι επεμβάσεις που γίνονται επιτόπου στο εργοτάξιο.

Οι κατασκευαστές των CLT οφείλουν να πιστοποιούν τόσο την προέλευση του ξύλου όσο και τις μηχανικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος, ώστε οι μελετητές να είναι βέβαιοι για την αντοχή και τα δομικά χαρακτηριστικά που προδιαγράφουν.¹⁰⁴

104. Gustafsson, Anders, 2019, *The CLT Handbook by Swedish Wood*, Föreningen Sveriges Skogsindustrier, Stockholm, σελ.18



[5.1]

	ΤΥΠΙΚΗ ΔΙΑΣΤΑΣΗ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΜΕΓΕΘΗ
ΠΑΧΟΣ	80 - 300 mm	60 - 500 mm
ΠΛΑΤΟΣ	1.20 - 3.00 m	μέχρι 4.80 m
ΜΗΚΟΣ	16 m	μέχρι 30 m
ΣΤΡΩΣΕΙΣ	3, 5, 7, 9	μέχρι 25

[5.2]

[5.1] Σχηματική απεικόνιση των επιμέρους στρώσεων για τη δημιουργία ενός πάνελ CLT

[5.2] Πίνακας με τα τυπικά και τα διαθέσιμα μεγέθη παραγωγής πάνελ

5.2 Αρχές σχεδιασμού

5.2.1 Συστήματα δόμησης

Με την εισαγωγή του CLT σαν δομικό υλικό στην αγορά, μια πληθώρα δομικών συστημάτων αναπτύχθηκε για την ενσωμάτωση του σε ξύλινες και υβριδικές κατασκευές. Αυτά αφορούν την αποκλειστική χρήση του πάνελ ως φέροντα οργανισμού αλλά και τον συνδυασμό του με άλλα προϊόντα σύνθετης ξυλείας, μέταλλο ή σκυρόδεμα δίνοντας ευελιξία και προσαρμοστικότητα στις αρχιτεκτονικές λύσεις, ειδικά σε έργα μεγάλης κλίμακας. Θα μπορούσαμε να διακρίνουμε τις παρακάτω τέσσερεις βασικές κατηγορίες συστημάτων δόμησης με πάνελ CLT.¹⁰⁵

“Steel is a 19th century material.
Concrete is a 20th century material.
Wood is a 21st century material”

-Alex de Rijke (dRMM Studio)



[5.3]

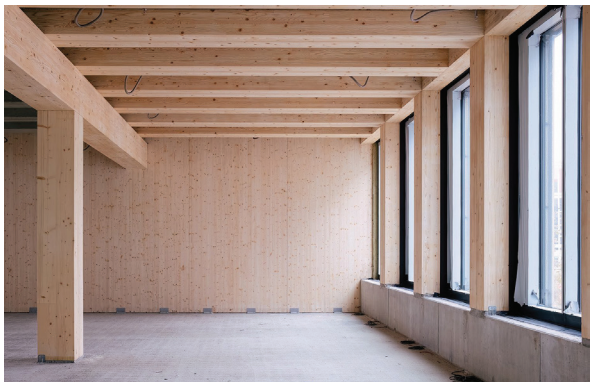


[5.4]

[5.5]



[5.6]



[5.7]

105. Τα παραπάνω συστήματα αφορούν την ανωδομή ενός κτιρίου, καθώς οι θεμελιώσεις και υπόγειοι όροφοι δεν κατασκευάζονται από προϊόντα ξυλείας αλλά από οπλισμένο σκυρόδεμα.

-Σύστημα πλατφόρμας / platform frame [5.3 και 5.8]

Το σύστημα *πλατφόρμας* αποτελείται από εσωτερικούς και εξωτερικούς φέροντες τοίχους με ύψος όσο το καθαρό ύψος ενός ορόφου, και πλάκες που εδράζονται πάνω σε αυτούς, δημιουργώντας μια «πλατφόρμα» στην οποία πατάει ο επόμενος όροφος. Πρόκειται για την απλούστερη κατασκευαστικά μέθοδο, όμως η κάτοψη που προκύπτει είναι πιθανό να έχει κυψελωτή, λιγότερο ευέλικτη δομή αφού οι τοίχοι είναι φέροντες με καθορισμένες ανά όροφο θέσεις.

-Σύστημα balloon / balloon frame [5.4, 5.5 και 5.9]

Στο σύστημα *balloon frame*¹⁰⁶, οι κατακόρυφοι τοίχοι εκτείνονται σε ύψος περισσότερων από έναν ορόφους χωρίς να διακόπτονται από τις πλάκες δαπέδου, οι οποίες αναρτώνται εσωτερικά. Με αυτή τη μέθοδο ο αριθμός των πάνελ είναι μικρότερος, η μεταφορά και εγκατάσταση τους είναι σημαντικά δυσκολότερη και απαιτούνται μεγάλα μηχανήματα ανύψωσης. Χρησιμοποιείται συχνά σε *πυρήνες* του κτιρίου, όπως κλιμακοστάσια και ανελκυστήρες.

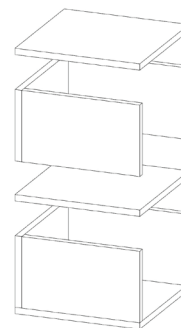
-Πλάκα και υποστυλώματα [5.6 και 5.10]

Η *μονολιθική* συμπεριφορά του CLT επιτρέπει την αξιοποίηση του σαν οριζόντια φέρουσα επιφάνεια που στηρίζεται σημειακά σε υποστυλώματα. Με αυτόν τον τρόπο, προσφέρεται μεγάλη ελευθερία στην κάτοψη, αλλά είναι κρίσιμη η διαστασιολόγηση και οι συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων.

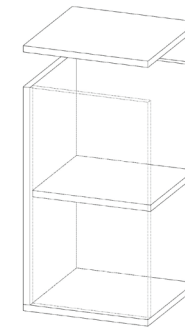
-Πλάκα, δοκοί και υποστυλώματα [5.7 και 5.11]

Η πιο οικεία, σε σχέση με τις συμβατικές κατασκευές, χρήση του CLT είναι με τη μορφή πλάκας που εδράζεται και μεταφέρει φορτία σε δοκούς και υποστυλώματα της κατασκευής, όπως δηλαδή θα συνέβαινε και στην περίπτωση κατασκευής οπλισμένου σκυροδέματος.

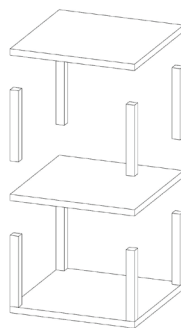
106. Ο όρος *balloon frame* προέρχεται από το αντίστοιχο σύστημα δόμησης με ελαφρά ξύλινη κατασκευή που αναπτύχθηκε στην Αμερική τη δεκαετία του 1830 και αποτελεί μια από τις δημοφιλέστερες μεθόδους ξύλινων κατασκευών μέχρι σήμερα. (βλ. ενότητα 2.1.2)



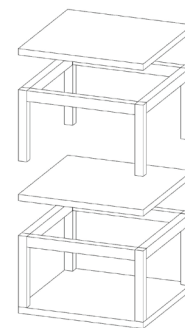
[5.8]



[5.9]



[5.10]



[5.11]

[5.8 - 5.11] Διαγραμματική απεικόνιση των συνηθέστερων συστημάτων δόμησης

5.2.2 Τυπικές λεπτομέρειες πάνελ βάσει της λειτουργίας τους

Έχοντας παρουσιάσει κάποια από τα βασικά δόμησης, παρακάτω αναφέρονται κάποια στοιχεία για τις τυπικές λειτουργίες των πάνελ ανάλογα τη θέση τους στην κατασκευή.

-Τοίχοι

Οι τοίχοι από πάνελ CLT κατασκευάζονται σε διαφορετικές κατηγορίες αντοχής και ποιότητες φινιρίσματος της τελικής επιφάνειας. Οι εμφανείς ξύλινες επιφάνειες κερδίζουν έδαφος μεταξύ των αρχιτεκτόνων, και έχουν οδηγήσει στην παραγωγή διαφορετικών κατηγοριών πάνελ ως προς την τελική επεξεργασία και τη συχνότητα των οπτικών ατελειών που εμφανίζουν.¹⁰⁷

Τα ανοίγματα για πόρτες και παράθυρα δημιουργούνται εύκολα χωρίς να επηρεάζονται οι δομικές ικανότητες του υλικού εξαιτίας της καλής συνοχής που το χαρακτηρίζει. Κατά την μελέτη, τα πάνελ εξετάζονται το καθένα ξεχωριστά, ώστε τα ανοίγματα να σχηματίζονται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο για την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και την συνολική σταθερότητα.¹⁰⁸ Οι βασικοί τρόποι είναι: η αφαίρεση υλικού σε CNC και η συμπλήρωση με οριζόντια τμήματα πάνω και κάτω από το άνοιγμα. Ο κάθε τρόπος είναι κατάλληλος για διαφορετικές περιπτώσεις και συνήθως χρησιμοποιούνται και οι δύο για την επίλυση των ανοιγμάτων ενός κτιρίου.

-Δάπεδα

Η πιο συνηθισμένη χρήση των CLT σε κτιριακές εφαρμογές είναι ως πλάκες δαπέδου, τόσο σε αμιγώς ξύλινες όσο και σε υβριδικές λύσεις με χάλυβα ή σκυρόδεμα. Λόγω της ομοιογενούς δομής τους κατανέμουν καλά τα φορτία στις στηρίξεις και μπορούν να υποστηρίξουν ικανοποιητικά μεγάλες οπές συγκριτικά με τις διαστάσεις τους.¹⁰⁹ Στην απλούστερη μορφή δαπέδου, το πάνελ έχει το κατάλληλο πάχος υλικού, πάνω από αυτό συμπληρώνονται μονωτικές στρώσεις, οι μηχανολογικές οδεύσεις, η υποδομή του πατώματος και η τελική επίστρωση δαπέδου. Αντίστοιχα κάτω από την δομική πλάκα, μπορεί να αναρτηθεί ψευδοροφή για τις υπόλοιπες προσβάσιμες εγκαταστάσεις.

107. Σχισμές, ρόζοι και χρωματισμοί είναι κάποιες από τις φυσικές ατέλειες που προκύπτουν στο υλικό και επηρεάζουν μόνο την αισθητική, όχι τη δομική του επάρκεια. Ανάλογα την χρήση του πάνελ, είναι δυνατή η αφαίρεση των ρόζων, η επεξεργασία της επιφάνειας με τρίψιμο, βερνίκι ή βαφή ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι πιο ομοιόμορφο.

108. Arkemi, 2024, *How To CLT-Architectural Guidelines for Early Stages*, σελ.20

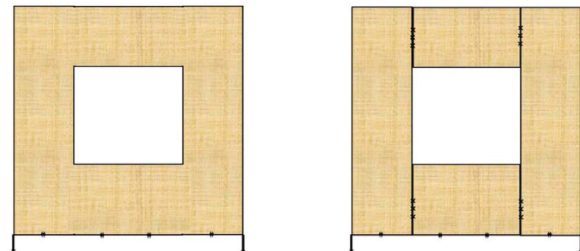
109. ο.π., σελ.22

-Στέγες

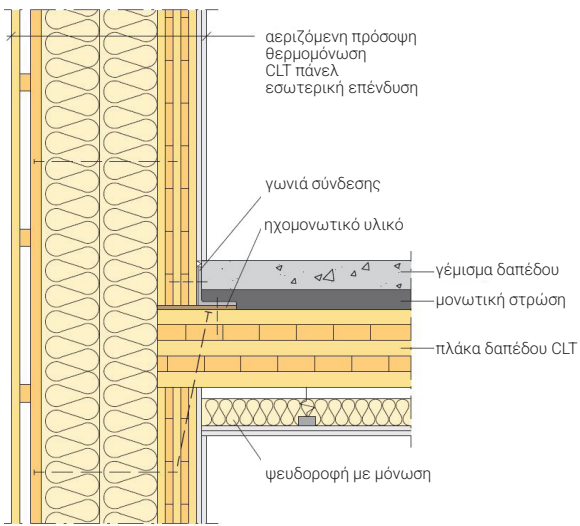
Παρομοίως με τη χρήση του σαν δάπεδο, το CLT λειτουργεί εξαιρετικά σαν επιφάνεια δώματος ή επικλινούς στέγης ακόμα και χωρίς ενδιάμεσες δοκούς λόγω μικρού βάρους του υλικού συγκριτικά με τον χάλυβα ή το σκυρόδεμα. Η στατική επίλυση συνήθως ισορροπεί μεταξύ του βέλτιστου πάχους και του ελεύθερου μήκους ανοίγματος ώστε να υπάρχει οικονομία υλικού και ευκολία κατασκευής. Σε κάθε περίπτωση, πρέπει δίνεται σημασία στην μόνωση και την απομάκρυνση των υδάτων, για αποφευχθούν ζημιές και φθορά του υλικού στο σύνολο της κατασκευής.

-Σκάλες και ανελκυστήρες

Λόγω της σχετικά απλής βιομηχανικής του επεξεργασίας, το CLT χρησιμοποιείται και σε εξειδικευμένες εφαρμογές όπως σκάλες και πυρήνες ανελκυστήρων. Ειδικά στις περιπτώσεις πολυώροφων κτιρίων, οι πυρήνες από CLT είναι πολύ σημαντικοί για την ακαμψία του κτιρίου και επωφελούνται της ακρίβειας που προσφέρει η προκατασκευή για ευκολότερη εγκατάσταση στο εργοτάξιο.



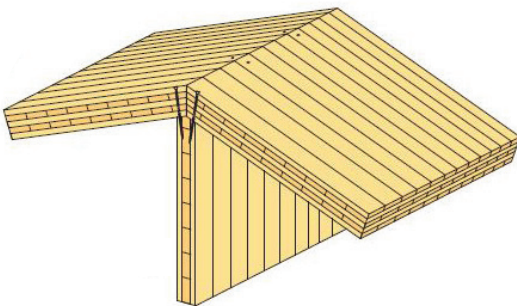
[5.12]



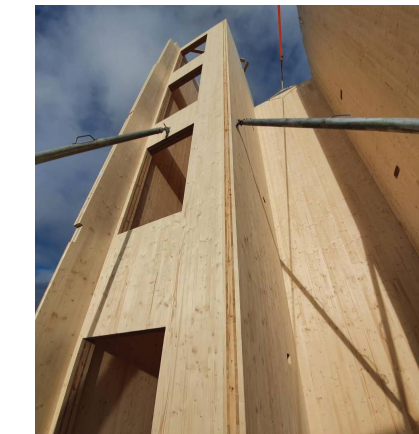
[5.13]

[5.12] Διαφορετικοί τρόποι διαμόρφωσης ανοίγματος σε τοίχο CLT

[5.13] Τυπική λεπτομέρεια εξωτερικού τοίχου και πλάκας ορόφου σε τομή καθ' ύψος



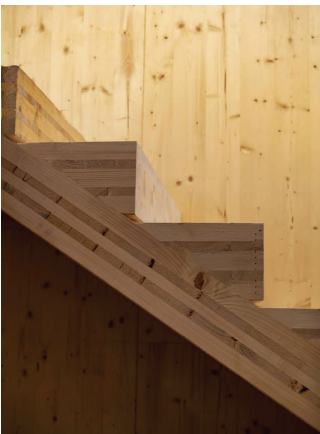
[5.14]



[5.18]

[5.14] Ενδεικτική στηριξη δίρριχτης στέγης με πλάκες CLT

[5.15 - 5.18] Παραδείγματα από διαφορετικές σκάλες και πυρήνα ανελκυστήρα από CLT



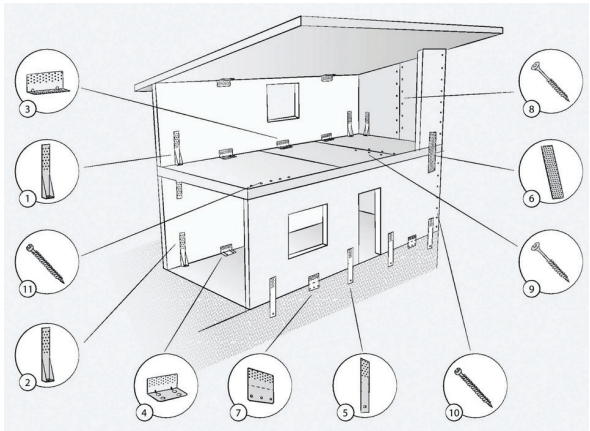
[5.15]



[5.16]



[5.17]



[5.19]



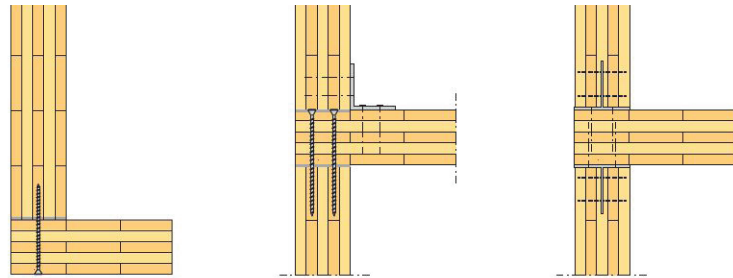
[5.20]

5.2.3 Συνδεσμολογία

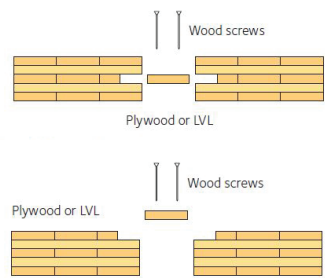
Οι συνδέσεις σε κατασκευές CLT παίζουν ουσιαστικό ρόλο στην διατήρηση ακεραιότητας, την εξασφάλιση ακαμψίας, σταθερότητας και ελαστικότητας στη δομή. Για να λειτουργήσουν όμως στο σύνολο τους χωρίς αστοχίες, απαιτείται προσεκτική μελέτη των λεπτομερειών από τους μηχανικούς ήδη από την φάση της προμελέτης. Σε ένα ξύλινο κτίριο, οι σύνδεσμοι είναι αυτοί που θα καθορίσουν το επίπεδο επιτυχίας του, ειδικά σε σύγκριση με άλλα δομικά υλικά όπως ο χάλυβας και το οπλισμένο σκυρόδεμα.¹¹⁰ Η επεξεργασία των πάνελ στο εργοστάσιο επιτρέπει υψηλό βαθμό προκατασκευής και κατά συνέπεια προεργασία ακριβείας για την εφαρμογή των συστημάτων στήριξης τα οποία προδιαγράφονται με λεπτομέρεια από την μελέτη. Παρόλα αυτά, η τεχνογνωσία και κατάρτιση των τεχνιτών για την σωστή εφαρμογή στο εργοτάξιο και τον χειρισμό των επιφανειών είναι καθοριστική.

Οι βασικότεροι τύποι μηχανικών συνδέσεων μεταξύ πάνελ γίνονται με τη χρήση μεταλλικών εξαρτημάτων. Μακριές αυτοδιάτρητες βίδες και ήλοι συναντώνται συχνότερα για συνδέσεις μεταξύ πάνελ ή με άλλα ξύλινα στοιχεία. Παράλληλα, ειδικές μεταλλικές γωνιές, πλάκες και ελάσματα εφαρμόζονται σε συνδέσεις τοίχων με δάπεδα, οροφές ή θεμελιώσεις και ανάλογα τον τύπο τους δρουν σε δυνάμεις εφελκυσμού ή διάτμησης.

Σημαντική εξέλιξη στις τεχνικές συνδεσμολογίας για τα υλικά αποτελεί η ψηφιακή κατεργασία προσφέροντας σπουδαίες λύσεις για αφανείς συνδέσεις με τρόπους που δεν ήταν δυνατοί μέχρι πριν από κάποια χρόνια. Τα προηγμένα μηχανήματα CNC πολλών αξόνων, είναι ολοένα και πιο διαδεδομένα στις βιομηχανίες και μπορούν να δώσουν σχήμα, να προτυπήσουν και να διαμορφώσουν περίπλοκες εσοχές στο πάχος του υλικού για την εγκατάσταση εσωτερικών κρυφών συνδέσμων. Επιπλέον, η κατεργασία υψηλής ακρίβειας δίνει τη δυνατότητα για την εξερεύνηση και ανάπτυξη συνδέσεων από το ίδιο το υλικό.¹¹¹



[5.21]



[5.22]

[5.19] Ενδεικτικοί τύποι συνδέσεων σε διάφορες θέσεις του κτιρίου

[5.20] Συνδέσεις με γλωττίδες και αυλακώσεις

[5.21] Τυπικές συνδέσεις μεταξύ τοίχου και πλάκας

[5.22] Τυπικές συνδέσεις μεταξύ δύο πάνελ στο πάχος του υλικού (δάπεδα ή τοίχοι)

5.3 Τελικές επεξεργασίες επιφανειών

Η προστασία των επιφανειών CLT κατά την διάρκεια της κατασκευής αλλά και αυτών που αφήνονται εμφανείς γίνεται μέσα από την εφαρμογή ειδικών επιστρώσεων από το εργοστάσιο. Ο τύπος επίστρωσης επιλέγεται ανάλογα με την θέση του κάθε στοιχείου (εσωτερική ή εξωτερική) και τις ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν. Τα πιο κοινά προβλήματα που προλαμβάνουν είναι η υγρασία (υδροφοβικές επιστρώσεις), η υπεριώδης ακτινοβολία (επιστρώσεις με προστασία UV), η προστασία των ακμών του ξύλου (end-grain sealers), η προσβολή από έντομα και μύκητες, ενώ προσφέρονται ακόμα και επιβραδυντικά φλόγας. Η σωστή επιλογή και εφαρμογή των παραπάνω συμβάλλει σημαντικά στην συμπεριφορά του ξύλου σε βάθος χρόνου και στην γήρανση του λόγω των εξωτερικών παραγόντων.¹¹²



[5.23]



[5.24]



[5.25]

[5.23] Ανεπεξέργαστη επιφάνεια / υδροφοβική επίστρωση

[5.24] Ανεπεξέργαστη επιφάνεια /1 εβδομάδα ηλιακής ακτινοβολίας /4 εβδομάδες ηλιακής ακτινοβολίας

[5.25] Ανεπεξέργαστη ακμή / στεγανωτική επίστρωση

112. Stora Enso, *Mass Timber Construction - Protect and Connect*, <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/sylva/protect-connect>

5.4 Θερμομόνωση και ηχομόνωση

Η θερμομόνωση αποτελεί πολύ βασικό παράγοντα για την άνεση και τη συνολική ενεργειακή απόδοση ενός κτιρίου κατά τη φάση χρήσης του. Το ξύλο σαν υλικό έχει πολύ καλή θερμική συμπεριφορά, δηλαδή αμελητέες μεταβολές στις διαστάσεις του λόγω της θερμοκρασίας, μικρή θερμοαγωγιμότητα και συνολικά παρουσιάζει συμπεριφορά σημαντικά καλύτερη σε σχέση με το οπλισμένο σκυρόδεμα ή τον χάλυβα.¹¹³ Παρότι σε δομικά μέλη μασίφ ξυλείας όπως το CLT οι παραπάνω ιδιότητες είναι σημαντικές, δεν αρκούν για την συνολική μόνωση κτιρίων, οπότε επιβάλλεται η προσθήκη επιπλέον υλικών για την εξασφάλιση σωστών επιπέδων μόνωσης βάσει των κανονισμών. Τέτοια υλικά μπορούν να είναι οικολογικά όπως ο φελλός, οι πλάκες με ίνες ξύλου, ή πιο συμβατικά όπως ο πετροβάμβακας που χρησιμοποιείται ήδη σε πολλές κατασκευές και προσφέρει επιπλέον πυροπροστατευτικές ιδιότητες λόγω της άκαυστης φύσης του.

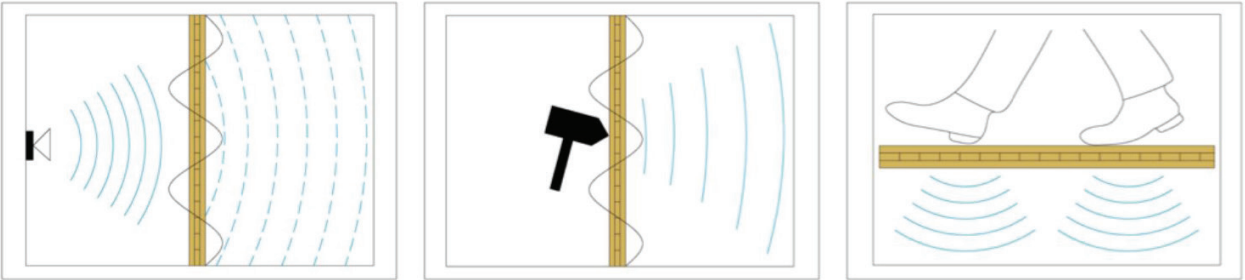
Σε ότι αφορά την ηχομόνωση, το ξύλο είναι γενικά κακός αγωγός για ήχους που παράγονται έξω από αυτό, όπως η περίπτωση μεταφοράς ήχων από ένα δωμάτιο στο διπλανό του, αλλά καλός αγωγός για ήχους που παράγονται μέσα στη μάζα του,¹¹⁴ όπως οι κτυπογενείς ήχοι σε πατώματα. Γενικά η ηχομόνωση είναι ένας από τους παράγοντες που πρέπει να υπολογίζονται από νωρίς στην διαδικασία σχεδιασμού και κατασκευής, ώστε να μην επηρεάζεται η άνεση και λειτουργικότητα των κτιρίων.



[5.26]

[5.26] Εξωτερική θερμομόνωση με πάνελ φελλού

[5.27] Κατηγορίες ήχων και η μεταφορά τους μέσα από τα πάνελ CLT: Αερόφερτος ήχος - Κτυπογενής ήχος σε τοίχο - Κτυπογενής ήχος σε δάπεδο



[5.27]

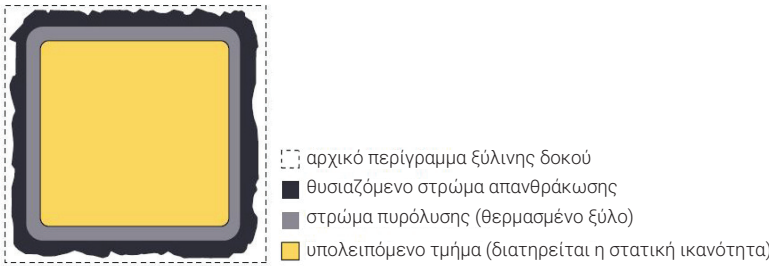
113. Τουλιάτος, Π., Κατσαραγάκης, Ε., Τσακανίκα, Ε., Κρεστενίτη, Ρ., 2003, Οδηγός Δομικών Υλικών - Ξύλο ως Δομικό Υλικό, ΤΕΕ
114. ο.π.

5.5 Πυροπροστασία

Οι κατασκευές από δομικά πάνελ CLT, μπορούν να ενταχθούν στους κανονισμούς πυρασφάλειας μέσα από την σωστή μελέτη και τον προσεκτικό σχεδιασμό τους. Ξεκινώντας από το ίδιο το υλικό, το ξύλο αναφλέγεται περίπου στους 300°C και αρχίζει η διαδικασία εξάτμισης της περιεχόμενης υγρασίας και ο σχηματισμός ενός στρώματος ξυλάνθρακα στην επιφάνεια του. Το απανθρακωμένο αυτό στρώμα, δρα μονωτικά προς την υπόλοιπη μάζα περιορίζοντας την καύση, μεταφέροντας αργά τη θερμότητα και διατηρώντας την εσωτερική δομή σχετικά ανεπηρέαστη σε αντοχή, χωρίς σημαντικές παραμορφώσεις και αλλοιώσεις. Η συμπεριφορά του συνεπώς, θεωρείται απόλυτα προβλέψιμη στην χρονική εξέλιξη της φωτιάς, όπως επίσης προβλέψιμη είναι αυτή των μεταλλικών συνδέσμων μεταξύ των ξύλινων μελών, οπότε ο υπολογισμός των απαραίτητων διατομών μπορεί να είναι ακριβής.¹¹⁵

Στα δομικά μέλη που έχουν προσβληθεί από φωτιά, η συνολική απώλεια αντοχής της κατασκευής είναι σταδιακή και ανάλογη της απομείωσης της διατομής του λόγω απανθράκωσης, δηλαδή περίπου 0.50-0.65mm/min.¹¹⁶ Οι κανονισμοί πυρασφάλειας, έχουν ως στόχο την εξασφάλιση ενός συγκεκριμένου χρόνου εκκένωσης πριν την κατάρρευση του κτιρίου λόγω φωτιάς. Σε ένα ξύλινο κτίριο, το ζήτημα της πυραντοχής προσεγγίζεται με δύο βασικούς τρόπους παθητικά: τις επενδύσεις με πυράντοχα υλικά και την υπερδιαστασιολόγηση των φερόντων διατομών για επίτευξη των χρόνων πυροπροστασίας. Δεν είναι σπάνιο επίσης, να χρησιμοποιείται κάποιο σύστημα καταιονισμού, συμπληρωματικά με τον σχεδιασμό πυροπροστασίας, για την καταστολή και κατάσβεση μιας εσωτερικής φωτιάς πριν εξαπλωθεί.

Συγκριτικά με την απότομη απώλεια αντοχής και την παραμόρφωση των στοιχείων από χάλυβα, η προβλέψιμη και σταδιακή συμπεριφορά του ξύλου σε περίπτωση φωτιάς, επιτρέπει να επιτυγχάνονται υψηλά επίπεδα πυροπροστασίας και ασφάλειας.



[5.29]

115. ο.π.
116. ο.π.



[5.28]

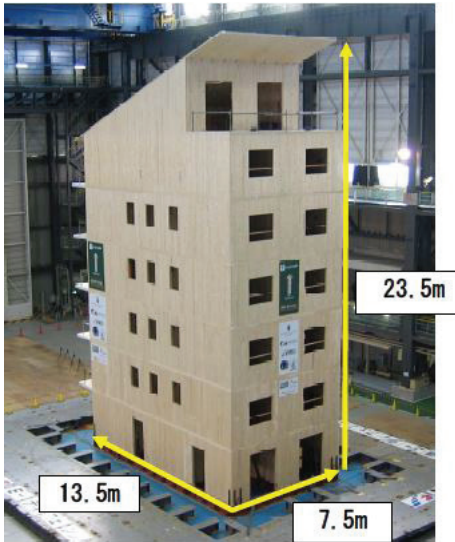
[5.28] Ένα από τα πέντε πλήρους κλίμακας διώροφα κτίρια από CLT που κατασκευάστηκαν για την έρευνα “Compartment Fire Testing of a Two-Storey Mass Timber Building” του USDA (2018), με στόχο την αξιολόγηση της πυραντοχής τους. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων, ακόμα και στα πλήρως εκτεθειμένα κτίρια, παρουσίασαν ικανοποιητική πυραντοχή και κάθε επιπλέον σύστημα πυροπροστασίας βοήθησε περαιτέρω στην κατάσβεση της φωτιάς. Συνολικά, η έρευνα συνέβαλλε στην αύξηση εμπιστοσύνης στα πολυώροφα ξύλινα κτίρια.

[5.29] Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου της απανθράκωσης στο ξύλο

[5.30] Η συμπεριφορά ενός πάνελ CLT μετά από δοκιμή σε φωτιά. Μετά την στρώση απανθράκωσης το ξύλο παραμένει ανεπηρέαστο.



[5.31]



[5.32]

[5.31, 5.32] Ένα τριώροφο και ένα επτάωροφο κτίριο από CLT, όπως κατασκευάστηκαν σε πραγματική κλίμακα για τις δοκιμές του SOFIE PROJECT. Οι κατασκευές βασίστηκαν σε μηχανικές πλατφόρμες που προσομοιώνουν πραγματικές σεισμικές δονήσεις.

5.6 Σεισμική συμπεριφορά

Τα ανθεκτικά στο σεισμό δομικά υλικά έχουν μια σημαντική κοινή ιδιότητα: υψηλή *ολκιμότητα*, δηλαδή μπορούν να παραμορφωθούν σε μεγάλο βαθμό πριν σπάσουν ή χάσουν στην αντοχή τους. Παραδοσιακά, ο χάλυβας και το ξύλο θεωρούνται τα καλύτερα κοινά υλικά με αυτό το χαρακτηριστικό.¹¹⁷ Οι σύγχρονες κατασκευές από ξύλο, έχουν το προτέρημα της κάμψης και της καλής αναλογίας βάρους - αντοχής, προσφέροντας λύσεις για ανθεκτικά στο σεισμό κτίρια. Συγκεκριμένα στις φορτίσεις ενός σεισμού, τα συμπαγή πάνελ CLT προσφέρουν ακαμψία, ενώ οι μεταλλικοί σύνδεσμοι κάμπτονται και απορροφούν την ενέργεια από τους κραδασμούς λειτουργώντας διαφραγματικά στο σύνολο. Αντιθέτως, μια κατασκευή από σκυρόδεμα, είναι πιο πιθανό να ραγίσει ή να υποχωρήσει σε τέτοιες δυνάμεις.¹¹⁸

Το ζήτημα της σεισμικής συμπεριφοράς ξύλινων κτιρίων έχει πυροδοτήσει πολλές έρευνες τα τελευταία χρόνια, όμως ενδεικτικά μπορεί να αναφερθεί το *SOFIE Project (CNR-IVALSA)* στην Ιταλία, μια χώρα με έντονες σεισμικές δονήσεις όπως η Ελλάδα, όπου τα κτίρια CLT κερδίζουν συνεχώς έδαφος. Στα πλαίσια της παραπάνω έρευνας, δοκιμάστηκαν ένα τριώροφο και ένα επτάωροφο κτίριο σε προσομοιώσεις έντονων σεισμών με επιτυχία, χωρίς σημαντικές ζημιές και μόνιμες παραμορφώσεις.¹¹⁹ Αποδεικνύεται λοιπόν έμπρακτα, ότι κτίρια από CLT μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια και να αποδώσουν εξαιρετικά σε σεισμικές περιοχές, με προβλέψιμη συμπεριφορά μετά από κατάλληλο σχεδιασμό.

117. UNECE, 2024, *Policy Guidelines - Low carbon construction in cities*, United Nations Publication, Geneva, σελ.9
118. Waugh Thistleton Architects, 2018, 100 Projects UK CLT, σελ.35
119. Ceccotti, A., Sandhaas, C., Yasumura, M., 2010, "Seismic performance of X-lam buildings: the Italian SOFIE project" εισήγηση στο συνέδριο: *9th U.S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering*, Toronto

5.7 Νέες τεχνικές και καινοτόμες εφαρμογές με πάνελ CLT

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, η νέα αυτή τεχνική σίγουρα παρουσιάζει άμεσες ευκαιρίες εφαρμογής σε απλά στατικά συστήματα και κτίρια μικρής κλίμακας όπως οι κατοικίες. Με το ολοένα αυξανόμενο όμως ενδιαφέρον για το υλικό και την ανάπτυξη της τεχνογνωσίας στην επεξεργασία του, το πεδίο δυνατοτήτων διευρύνεται συνεχώς. Παρακάτω παρουσιάζονται χαρακτηριστικά έργα με καινοτόμες εφαρμογές των πάνελ CLT, ως προϊόντα σημαντικής σύγχρονης έρευνας από ερευνητικά προγράμματα πανεπιστημίων αλλά και από μηχανικούς που ασχολούνται ενεργά με την προώθηση των δυνατοτήτων της σύνθετης ξυλείας.

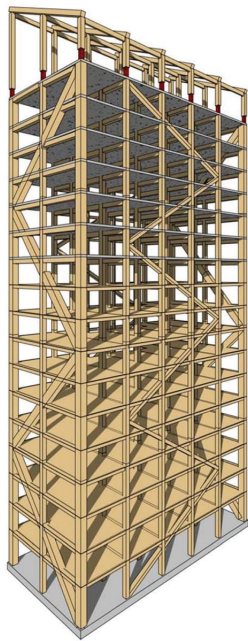


[5.33]

[5.33] *Chicago Horizon*, (2015), *Ultramoderne*. Το περίπτερο σχεδιάστηκε για την Biennale Αρχιτεκτονικής στο *Chicago* και κατασκευάστηκε σχεδόν αποκλειστικά από προϊόντα βιομηχανικής ξυλείας. Η εντυπωσιακή πλάκα CLT έχει το μεγαλύτερο μέγεθος πάνελ που μπορεί να κατασκευαστεί στην αγορά της Β. Αμερικής

5.7.1 Οικολογικά πολυώροφα κτίρια από ξύλο και υβριδικές κατασκευές

Η κατασκευή πολυώροφων ξύλινων κτιρίων υπήρξε καθοριστική για την εξέλιξη των τεχνικών συστημάτων. Στις περιπτώσεις αμιγώς ξύλινων κατασκευών, ο φέρων οργανισμός συνήθως απαρτίζεται από ένα συνδυασμό προϊόντων βιομηχανικής ξυλείας για να καλύπτει τις απαιτήσεις ευελιξίας και οικονομίας της κατασκευής. Οι δε υβριδικές κατασκευές συνδυάζουν σε κάποιο βαθμό το ξύλο, με οπλισμένο σκυρόδεμα ή χάλυβα επιτυγχάνοντας βελτιστοποιημένες λύσεις υψηλής απόδοσης. Τέτοιες μέθοδοι συνολικά διευρύνουν το φάσμα των εφαρμογών δομικής ξυλείας και αναμένεται να αποτελέσουν το μέλλον των ξύλινων κατασκευών.¹²⁰ Η υλοποίηση έργων μεγάλης κλίμακας αποδεικνύει ότι το ξύλο μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη εναλλακτική των συμβατικών υλικών κατασκευής, διατηρώντας πάντα υψηλό τεχνικό επίπεδο.



[5.34]

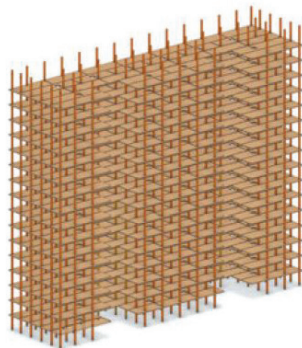
[5.34] *Mjøstårnet (2019), 3D μοντέλο του στατικού συστήματος*

[5.35] *Brock Commons Tallwood House (2016), 3D μοντέλο του στατικού συστήματος ανά υλικό κατασκευής*

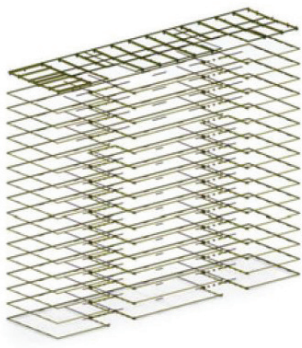


φ.ο. από οπλισμένο σκυρόδεμα

[5.35]



φ.ο. από ξυλεία



λοιπές εγκαταστάσεις στήριξης

120. Kaufmann, H., Huß, W., Krötsch, S., Winter, S., 2018, "Structures and support structures", στο βιβλίο: *Manual of Multi-Storey Timber Construction: Principles – Constructions – Examples*, DETAIL, Munich, σελ.41

Υβριδικό κτίριο: Brock Commons Tallwood House (2016), Βανκούβερ | Acton Ostry Architects & Hermann Kaufmann

Το 18 ορόφων κτίριο φοιτητικών εστιών στο Βανκούβερ ήταν το ψηλότερο ξύλινο κτίριο κατά τη χρονιά κατασκευής του με ύψος 55μ. Η υβριδική κατασκευή αποτελείται από έναν ισόγειο όροφο και δύο πυρήνες κλιμακοστασίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, και 17 ορόφους από πλάκες CLT πάχους 16.6εκ και κολώνες Glulam διάστασης 26x26εκ με ειδικές μεταλλικές συνδέσεις για τη μεταφορά των φορτίων στους πυρήνες από σκυρόδεμα. Οι προσόψεις δημιουργούνται από πλήρως προκατασκευασμένα πάνελ που αναρτήθηκαν επιτόπου κατά στη διάρκεια της κατασκευής. Αξιοποιώντας τις δυνατότητες της προκατασκευής με βιομηχανική ξυλεία και την αξιοπιστία των κατασκευών από σκυρόδεμα, η συνολική κατασκευή του παραπάνω έργου μπόρεσε να ολοκληρωθεί σε 17 μήνες, με την ανέγερση περίπου 2 ορόφων την εβδομάδα. Συγκριτικά με την αντίστοιχη συμβατική κατασκευή του, εξοικονομούνται 2.650μ³ σκυροδέματος και περίπου 500 τόνοι εκπομπών CO₂.¹²¹

Ξύλινο πολυώροφο κτίριο: Mjøstårnet (2019), Brumunddal, Νορβηγία | Voll Arkitekter

Ο πύργος Mjøstårnet το 2019, έγινε το ψηλότερο αποκλειστικά ξύλινο κτίριο στον κόσμο με ύψος 85.4μ και 18 ορόφους μεικτής χρήσης. Συμβολίζει μια πράσινη εναλλακτική δόμησης, μια απόδειξη ότι ψηλά κτίρια μπορούν να κατασκευαστούν από τοπικές πρώτες ύλες και προμηθευτές. Ο εντυπωσιακός φέρων οργανισμός αποτελείται από δικτυώματα, κολώνες και δοκούς glulam, ενώ δευτερευόντως, οι πυρήνες κλιμακοστασίων και ανελκυστήρων σχηματίζονται από τοίχους CLT. Οι προσόψεις συμπληρώνονται με μεγάλα προκατασκευασμένα πάνελ πλήρωσης.

«Το Mjøstårnet δεν είναι το πρότυπο ενός ψηλού ξύλινου κτιρίου. Η πιο σημαντική πτυχή του είναι οτι δείχνει ότι είναι δυνατόν να χτιστούν μεγάλα, πολύπλοκα ξύλινα κτίρια, και να εμπνεύσει και άλλους να κάνουν το ίδιο.»¹²²

121. Kaufmann, H., Krötsch, S., Winter, S., 2018, *Manual of Multi-Storey Timber Construction: Principles – Constructions – Examples*, DETAIL, Munich, σελ.166-169

122. https://vollark.no/portfolio_page/mjostarnet/

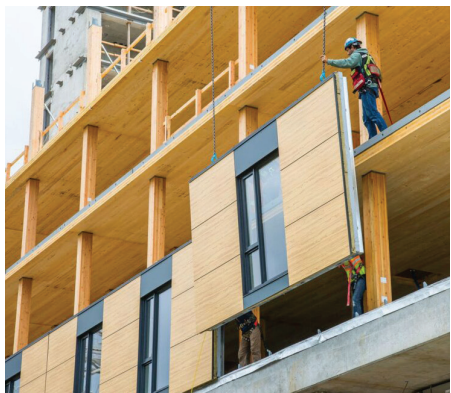
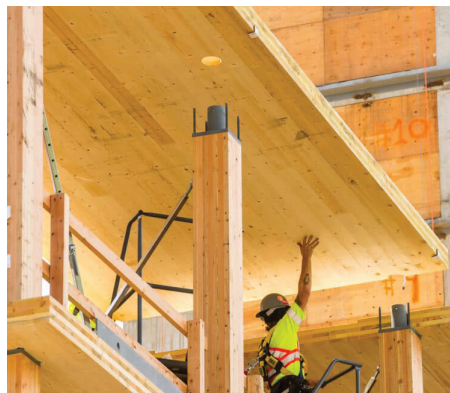
Brock Commons Tallwood House (2016)



[5.36]



[5.37]



[5.36] Οι φάσεις κατασκευής είναι διακριτές και η ανέγερση του ξύλινου τμήματος γίνεται σταδιακά και ανά οροφο

[5.37] Φωτογραφίες από τη διαδικασία κατασκευής, με προκατασκευασμένες ξύλινες κολώνες και πάνελ

Mjøstårnet (2019)



[5.38]



[5.39]



[5.40]



[5.41]



[5.42]



[5.43]

[5.38] Εξωτερική άποψη από τον δρόμο

[5.39] Η θέα προς την λίμνη Mjøsa

[5.40] Συνδεση μεταξύ κολώνας και δοκού από glulam

[5.41] Το επίπεδο του ισογείου, υπό κατασκευή

[5.42] Οι πυρήνες των κλιμακοστασίων, υπό κατασκευή

[5.43] Ανέγερση των πλαισίων από glulam, διακρίνονται οι κρυφοί μεταλλικοί σύνδεσμοι

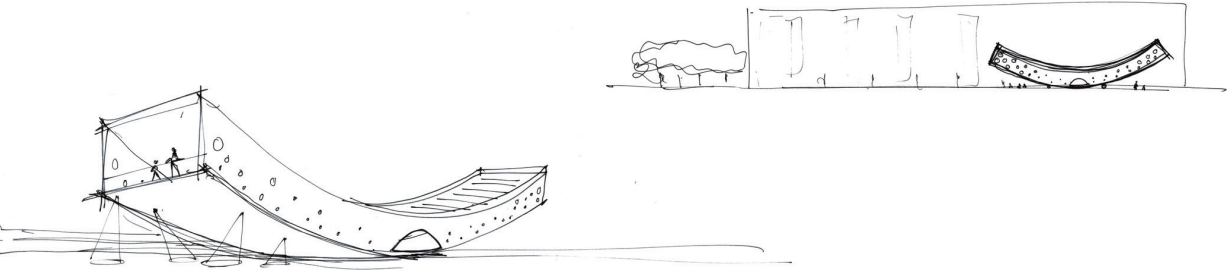
5.7.2 Μηχανική αντοχή

Οι μηχανικές ιδιότητες του CLT υπερβαίνουν αυτές των συμβατικών κατασκευών και επιτρέπουν την υλοποίηση τολμηρών μορφών, που σε κάθε άλλη περίπτωση θα ήταν αδύνατο να πραγματοποιηθούν από ξύλο. Αποτελεί ένα δομικό εργαλείο που συνδυάζει τον φέρων οργανισμό, τα στοιχεία πλήρωσης και την τελική επιφάνεια σε ένα μονολιθικό σώμα με ομοιόμορφη συμπεριφορά. Σε αυτό σημαντικό ρόλο έχει η αναλογία αντοχής – βάρους που το χαρακτηρίζει και η εύκολη επεξεργασία του με τη χρήση ψηφιακών μηχανημάτων.

The Smile (2016), Λονδίνο | Alison Brooks Architects

Το επίκεντρο του Φεστιβάλ Σχεδίου του Λονδίνου 2016 αποτέλεσε το περίπτερο Smile, μια κοίλη κατασκευή σαν σωλήνας με μήκος 34μ, πλάτος 4.5μ και 3.5μ ύψος. «Η μορφή του υποδηλώνει ότι η κατασκευή κουνιέται», δηλώνει η Brooks, «έτσι είναι μια πρόκληση για να δοκιμάσει κανείς αν το περίπτερο κινείται και να δει πως είναι να περπατάς σε καμπύλο δάπεδο»¹²³.

Κατασκευασμένο από μόνο 12 πάνελ CLT ειδικής διάστασης περίπου 14 x 4.5μ, ουσιαστικά δημιουργεί δύο προσβάσιμους προβόλους εκατέρωθεν της εισόδου, στους τοίχους των οποίων ανοίγονται τρύπες στις θέσεις που το υλικό λαμβάνει λιγότερες τάσεις. Τα πάνελ έχουν κατασκευαστεί εξ' ολοκλήρου στο εργοστάσιο και συναρμολογήθηκαν επιτόπου, επιτρέποντας τέλεια τοποθέτηση με ανοχή περίπου 1 χιλιοστό. Η κατασκευή επιδεικνύει εντυπωσιακά τις μηχανικές δυνατότητες και την αντοχή του CLT καθώς σύμφωνα με τον στατικό μηχανικό του έργου, ο πυρήνας του μπορεί να συγκριθεί με αυτόν ενός πενταώροφου κτιρίου, αντοχή που δεν έχει ξανά επιτευχθεί χρησιμοποιώντας ξύλο με τόσο λεπτές διατομές.¹²⁴



[5.44]

123. Frearson, Amy, 16-09-2016. Alison Brooks creates giant smile using cross-laminated tulipwood, Dezeen
124. ο.π.



[5.45]



[5.46]



[5.47]



[5.48]



5.7.3 Αναδίπλωση επιφάνειας (origami)

Η δομή που προκύπτει από μια αναδιπλωμένη επιφάνεια αποτελεί μια από τις στατικές επιλύσεις αυτοφερόμενης κατασκευής χωρίς κολώνες.¹²⁵ Στην περίπτωση τέτοιων κατασκευών από άκαμπτη επιφάνεια, στον 20^ο αιώνα χρησιμοποιούνταν ως επί το πλείστον οπλισμένο σκυρόδεμα μέσα από περίπλοκες και απαιτητικές κατασκευές επαναλαμβανόμενων καλουπιών, ικριωμάτων και επιτόπιων χυτεύσεων.¹²⁶

Ορόσημο της ψηφιακής εποχής που διανύουμε, αποτελεί η τάση προς εξατομίκευση και η βέλτιστη αξιοποίηση των υλικών και μέσων κατασκευής.¹²⁷ Κατ’ αυτό τον τρόπο, δομικά συστήματα σαν αυτό της ανδίπλωσης εφαρμόζονται και σε ξύλινες κατασκευές, χάρη στην τεχνολογική εξέλιξη των πάνελ ξυλείας.



[5.49]

[5.49] *Unesco Conference Building (1953), Marcel Breuer, Bernard Zehruss*



[5.50]

[5.50] *St. John's Abbey Church (1961), Marcel Breuer*



[5.51]

[5.51] *Miami Marine Stadium (1963), Hilario Candela*

Προσωρινό παρεκκλήσι St-Loup (2008), Pomaples, Ελβετία | Localarchitecture & Danilo Mondada

Σχεδιασμένο για να στεγάσει για λίγους μήνες τις διακόνισσες του St-Loup κατά τη διάρκεια ανακαινίσεων της εκκλησίας, το προσωρινό παρεκκλήσι στο St-Loup αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα κατασκευής από μια αναδιπλωμένη επιφάνεια. Η δομή εμπνέεται από την τεχνική origami και αναπτύσσεται με αντίστροφες αναδιπλώσεις¹²⁸ μιας φαινομενικά ενιαίας επιφάνειας σε όλη την κατασκευή. Αποτελείται από προκατασκευασμένα πάνελ CLT πάχους 40mm στους τοίχους και 60mm στην οροφή με άνοιγμα 9μ., ενώ λόγω του ακανόνιστου σχήματος, κάθε επιφάνεια έχει μοναδική γεωμετρία και σχηματίζει γωνίες μεταξύ 104° και 130° με την επόμενη. Ο λεπτομερής σχεδιασμός έγινε εξ’ ολοκλήρου σε 3D CAD λογισμικό, δηλαδή οι γεωμετρίες μπόρεσαν να εξαχθούν απευθείας προς κατασκευή χωρίς επιπλέον τροποποιήσεις.

Μεγαλύτερη πρόκληση για τέτοιες κατασκευές αποτελούν σίγουρα οι συνδέσεις μεταξύ των πάνελ, που γίνονται υπό κλίση στο πάχος ενός ήδη λεπτού υλικού. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, έχει χρησιμοποιηθεί ένας συνδυασμός κολλήσεων και εξωτερικών μεταλλικών συνδετήρων.¹²⁹ Το έργο αποτελεί την πρώτη πλήρους κλίμακας εφαρμογή μιας ψηφιακής μεθόδου παραγωγής μορφής από το εργαστήριο ξύλινων κατασκευών IBOIS, εργαστήριο που επίσπευσε σημαντικά τον χρόνο σχεδιασμού και κατασκευής σε συνολικά 6 μήνες, δύο από τους οποίους αφορούσαν την κατασκευή.¹³⁰

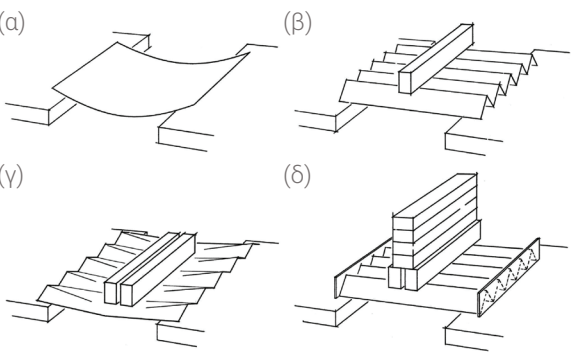
Στην αναζήτηση διαφορετικών υλικών το ξύλο έχει ξεχωρίσει για τις δυνατότητες εφαρμογής παρουσιάζει. Για ακόμα μια φορά αναδεικνύεται η σημασία της προκατασκευής και της αξιοποίησης των ψηφιακών τεχνολογιών, τόσο για τις κατασκευές όσο και για τον συνολικό πειραματισμό των μορφών στην αρχιτεκτονική.¹³¹

128. Η τεχνική της αντίστροφης αναδίπλωσης (reverse fold) στο origami αναφέρεται στην «αντίστροφή» της φοράς της πτυχής, σαν ένα χαρτί που διπλώνει προς την αντίθετη κατεύθυνση.

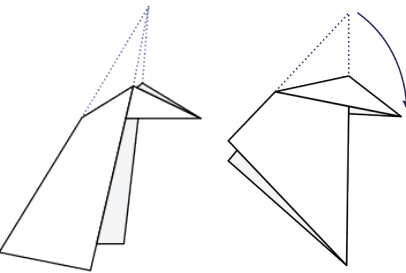
129. ο.π., σελ.13

130. <https://www.epfl.ch/labs/ibois/techtransfers/completed-projects/chapelle-saint-loup/>

131. Štitić, Andrea, 2017, Doctoral thesis: *Integrally Attached Timber Folded Surface Structures: Geometrical, Experimental and Numerical Study*, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, σελ.9



[5.52]



[5.53]

[5.52] Αναπαράσταση αναδίπλωσης σε χαρτί:
(α) ένα φύλλο χαρτιού κάμπτεται,
(β) όταν διπλωθεί μπορεί να υποστηρίξει φορτίο,
(γ) όταν υπερφορτωθεί οι πτυχές παραμορφώνονται,
(δ) η συγκράτηση των άκρων προσφέρει ακαμψία στις πτυχές και αυξάνει την αντοχή. (Štitić, 2017)

[5.53] Αντίστροφες αναδιπλώσεις επιφάνειας χαρτιού

Παρεκκλήσι St. Lour (2008)



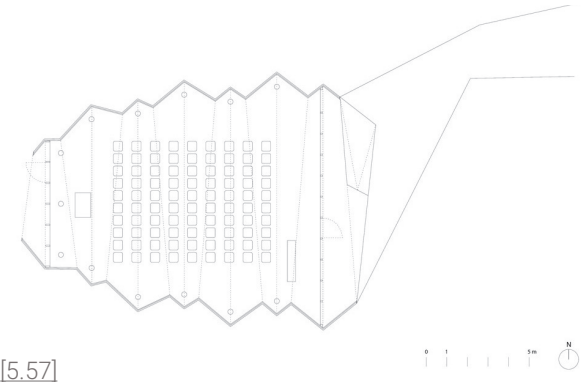
[5.54]



[5.55]



[5.56]



[5.57]

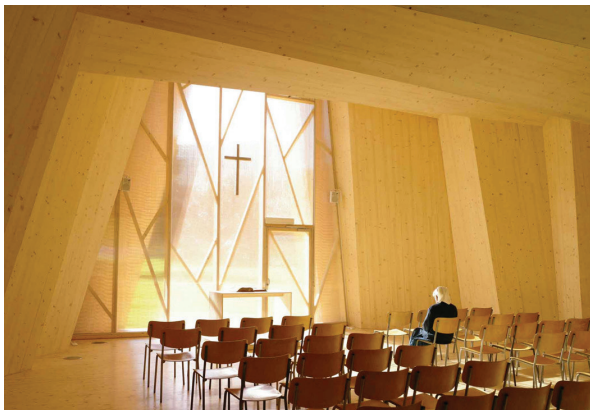
[5.54 - 5.56] Εξωτερικές φωτογραφίες από το παρεκκλήσι

[5.57] Κάτοψη του παρεκκλησιου

[5.58 - 5.59] Εσωτερικές φωτογραφίες με εμφανείς τις επιφάνειες CLT στον χώρο



[5.58]



[5.59]

Άλλα παραδείγματα της τεχνικής «αναδίπλωσης» σε επιφάνειες CLT



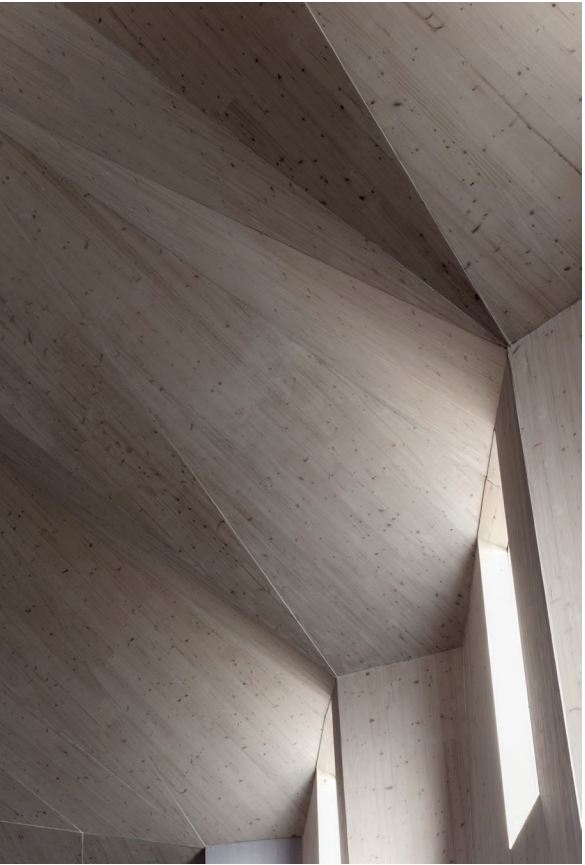
[5.60]



[5.62]



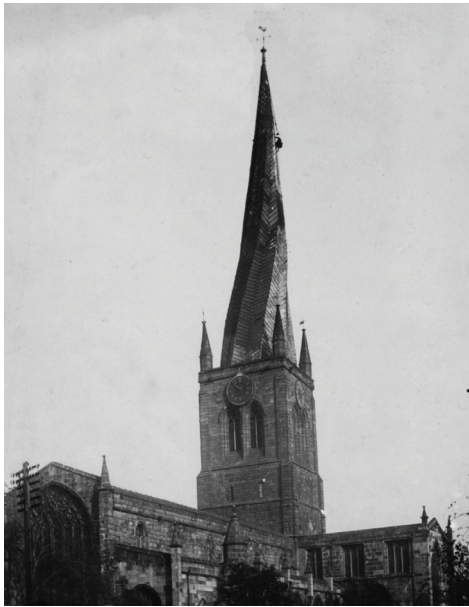
[5.61]



[5.63]

[5.60 - 5.61] Bellevue First Congregational Chuch (2016), Atelier Jones

[5.62 - 5.63] Christian Community Church (2020), Nicolas Pople Architects



[5.64]

[5.64] Ένα παράδειγμα της τάσης του ξύλου προς παραμόρφωση είναι το καμπαναριό μιας εκκλησίας στο Chesterfield, με τη σημερινή μορφή του να είναι κεκλιμένη και στριμμένη. Η πιθανότερη αιτία της στρέψης είναι τα νεαρά, με μεγάλο ποσοστό υγρασίας ξύλα που χρησιμοποιήθηκαν για τις εσωτερικές στηρίξεις. Όταν δεκαετίες αργότερα προστέθηκαν φύλλα μολύβδου σαν επικάλυψη, η ξήρανση τους επισπεύσθηκε ανομοιόμορφα από τον ήλιο, με αποτέλεσμα την στρέψη του ξύλινου σκελετού.

[5.65] Ενδεικτική παραμόρφωση ενός πάνελ ξύλου με 22% (πάνω) και με 12% (κάτω) περιεχόμενη υγρασία

[5.66] Σχηματική απεικόνιση του τρόπου κατασκευής των CLT με ελεγχόμενη ξήρανση των επιμέρους στρώσεων

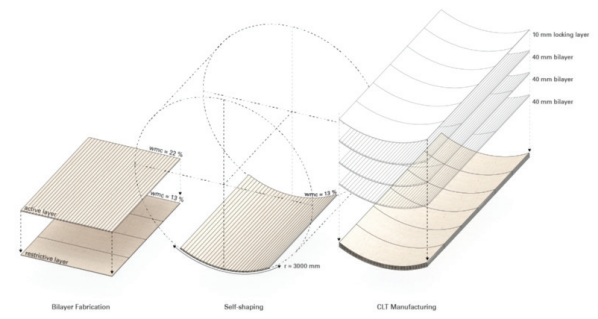
5.7.4 Αξιοποίηση της φυσικής συμπεριφοράς του ξύλου

Μια νέα προσέγγιση στις ξύλινες κατασκευές αποτελεί η αξιοποίηση των φυσικών ιδιοτήτων του ξύλου και η ανάδειξη τους σε καθοριστικό για τη μορφή παράγοντα, συμμετέχοντας ενεργά στον σχεδιασμό. Η υγροσκοπικότητα, η ελαστικότητα και η τάση προς καμπύλωση τυπικά αποτελούν προβλήματα του ξύλου προς αντιμετώπιση, όμως στις παρακάτω περιπτώσεις θεωρούνται χαρακτηριστικά του υλικού και χρησιμοποιούνται δημιουργικά.

Η παραμόρφωση αρχικά μοιάζει πολύ αντιφατική με την λογική του CLT, που κατασκευάστηκε για να είναι ένα ομοιόμορφο, ανθεκτικό στις παραμορφώσεις, μονολιθικό πάνελ, όμως αξιοποιεί άριστα τις δυνατότητες του σε αντοχή και σταθερότητα. Η κατασκευή περίπλοκων μορφών χωρίς μηχανική διαμόρφωση αναπτύσσει ένα νέο τρόπο σκέψης στο σχεδιασμό των σύγχρονων ξύλινων κατασκευών και την εξερεύνηση της μορφής μέσα από τις ίδιες τις ιδιότητες του υλικού.



[5.65]



[5.66]

Urbach Tower (2019), Urbach, Germany | Πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης

Το 2019, το Ινστιτούτο Υπολογιστικού Σχεδιασμού και Κατασκευής (ICD)¹³² και το Ινστιτούτο Δομικών Κατασκευών και Σχεδιασμού Δομών (ITKE)¹³³ του Πανεπιστημίου της Στουτγάρδης σχεδιάζουν για την έκθεση Remstal Gartenschau 2019 τον πύργο Urbach. Ο πύργος αποτελεί την πρώτη ξύλινη κατασκευή από αυτοδιαμορφούμενα φέροντα ξύλινα στοιχεία, ένα ορόσημο για την πόλη Urbach της Γερμανίας. Έχει ύψους 14μ. και αποτελείται από 12 στοιχεία CLT τα οποία έχουν κατασκευαστεί αξιοποιώντας τις φυσικές συμπεριφορές συρρίκνωσης και κύρτωσης του ξύλου κατά τη διαδικασία ξήρανσης, χωρίς τη χρήση επιπλέον μηχανικής κατεργασίας. Τα τμήματα σχεδιάζονται επίπεδα, κατασκευάζονται με μεγάλο ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας και καμπυλώνονται ανά στρώση σε θαλάμους ελεγχόμενης ξήρανσης μέχρι το επιθυμητό ποσοστό υγρασίας. Στη συνέχεια, οι στρώσεις συγκολλούνται μεταξύ τους με τη λογική του CLT και η μορφή κλειδώνει. Η τελική κατασκευή είναι εξαιρετικά λεπτή, τα ξύλινα στοιχεία έχουν πάχος μόλις 90χιλ., και συναρμολογήθηκε σε μια μέρα με τη χρήση γερανού. Προβάλλει τις δυνατότητες για αποτελεσματική, οικονομική, οικολογική και εκφραστική αρχιτεκτονική ξύλου που προκύπτει μέσα από την δεξιοτεχνία, την ψηφιακή καινοτομία και την επιστημονική έρευνα.¹³⁴

Wangen Tower (2024), Wangen im Allgäu, Germany | Πανεπιστήμιο της Στουτγάρδης

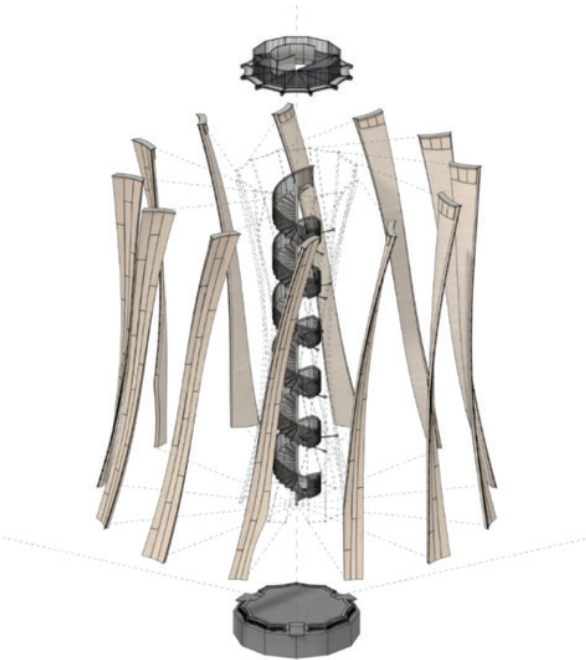
Λίγα χρόνια αργότερα, σχεδιάζεται ο πύργος Wangen σαν μια εξέλιξη του προγενέστερου Urbach. Η σπειροειδής μορφή ύψους 23μ. αποτελείται από 12 καμπύλα αυτοδιαμορφούμενα στοιχεία CLT κατασκευαστικής λογικής όμοιας με του Urbach Tower, προσθέτοντας ένα δεύτερο επίπεδο στην κορυφή του πύργου. Η προκατασκευή με ακρίβεια χιλιοστού και οι λεπτομέρειες σύνδεσης με φρεζαρίσματα ακριβείας επέτρεψαν την ανεμπόδιστη ενσωμάτωση της χαλύβδινης σκάλας, του γυάλινου φεγγίτη και της πλατφόρμας παρατήρησης με συνολικό χρόνο συναρμολόγησης τις τρεις μέρες.¹³⁵

132. Institute for Computational Design (ICD), επικεφαλής καθηγητής: A. Menges, <https://www.icd.uni-stuttgart.de/>

133. Institute of Building Structures and Structural Design (ITKE), επικεφαλής καθηγητής: J. Knippers, <https://www.itke.uni-stuttgart.de/>

134. <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/remstal-gartenschau-2019-urbach-turm/>

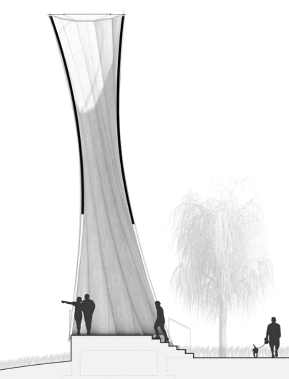
135. <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/wangen-tower/>



[5.67]

[5.67] Wangen tower (2024), αξονομετρικό σε έκρηξη που παρουσιάζει τα επιμέρους κομμάτια της κατασκευής

Urbach Tower (2019)



[5.68]



[5.69]



[6.70]



[5.71]



[5.72]

[5.68] Τομή κατασκευής

[5.69] Η κατασκευή των 12 τμημάτων CLT κατασκευάστηκε εξ' ολοκλήρου στο εργοστάσιο

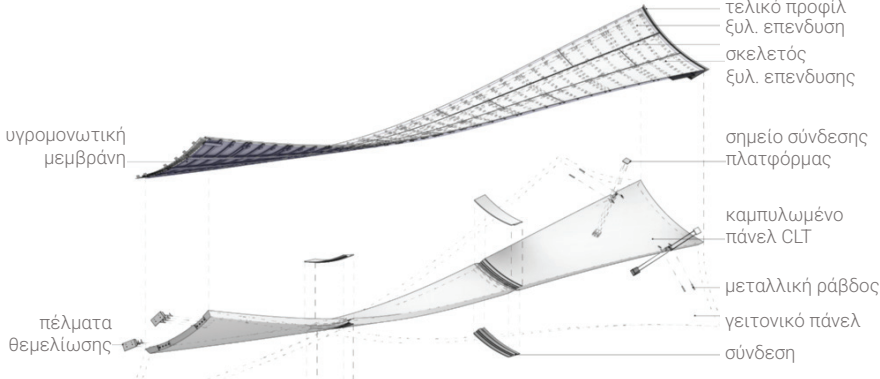
[5.70] Η διαδικασία εγκατάστασης των τμημάτων

[5.71 - 5.72] Εξωτερικές απόψεις της ολοκληρωμένης κατασκευής

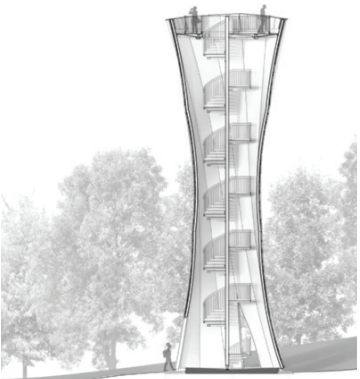
Wangen Tower (2024)



[5.73]



[5.74]



[5.75]



[5.76]



[5.77]



[5.78]

[5.73] Εσωτερική απόψη στη βάση της κατασκευής

[5.74] Κατασκευαστική λεπτομέρεια των τμημάτων

[5.75] Τομή κατασκευής

[5.76] Η εγκατάσταση της μεταλλικής σκάλας μετά την ολοκλήρωση του κελύφους

[5.77] Η διαδικασία καμπύλωσης των τμημάτων

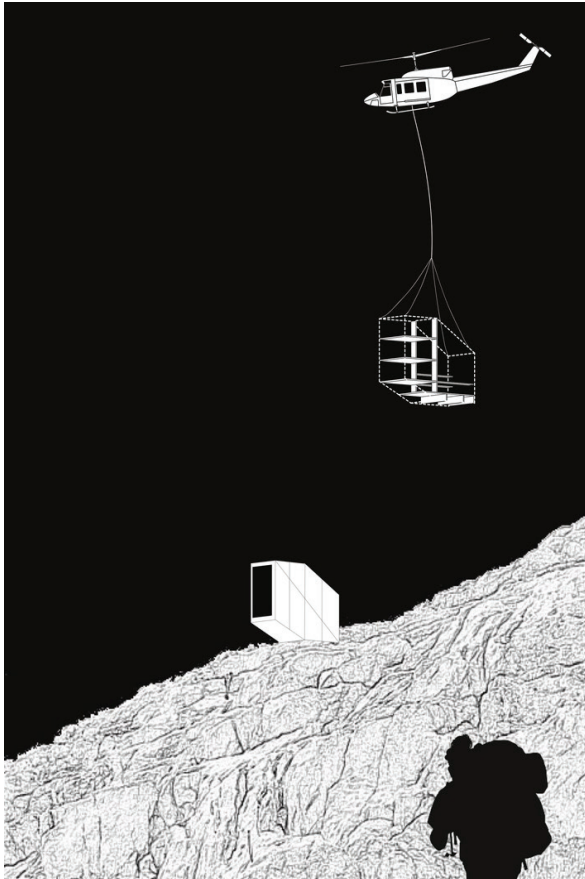
[5.78] Εξωτερική άποψη της κατασκευής

5.7.5 Προκατασκευή και μεταφορά σε δύσβατα μέρη

Κατασκευές μικρής κλίμακας από CLT όπως καταφύγια, καμπίνες και παρατηρητήρια, παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά τη μεταφορά και εγκατάσταση τους σε δύσβατες περιοχές ή σε τοπία όπου η επέμβαση της κατασκευής πρέπει να είναι ελάχιστη.

Χειμερινή καμπίνα στο Όρος Kanin (2016), Σλοβενία | OFIS Architects

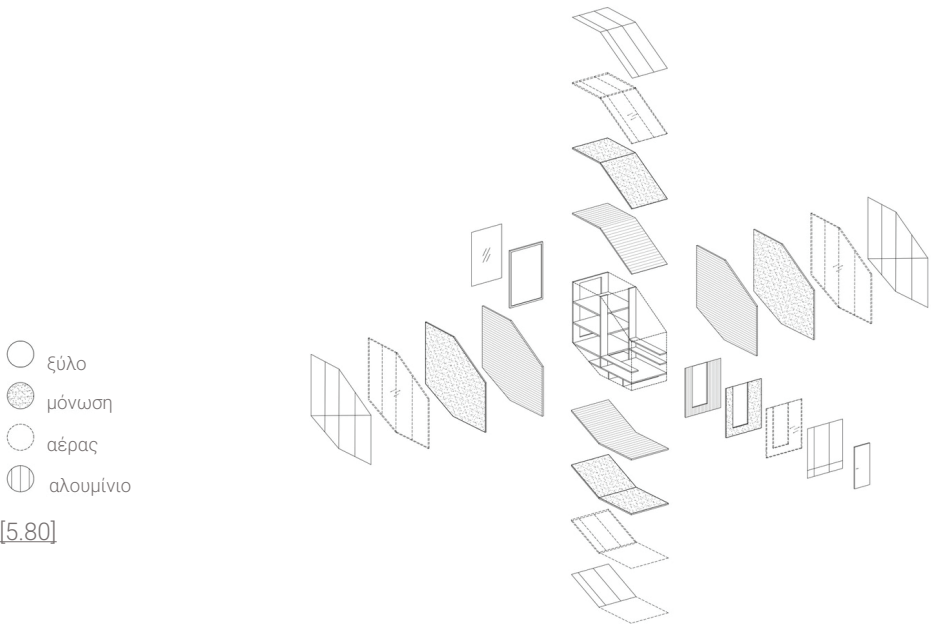
Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα ελαφριάς κατασκευής που μεταφέρεται στη θέση εγκατάστασης είναι η καμπίνα στο όρος Kanin της Σλοβενίας. Ένας συμπαγής ξύλινος όγκος σχεδιασμένος να αντέχει σε ακραίες καιρικές συνθήκες, μονώνεται και επενδύεται με αλουμίνιο για να αποτελέσει καταφύγιο και χώρο διαμονής για έως εννέα ορειβάτες. Η τοποθεσία επιβάλλει σεβασμό του φυσικού τοπίου οπότε η κατασκευή αναπτύσσεται σε πρόβολο με το μικρότερο δυνατό αποτύπωμα στο βράχο. Σύμφωνα με τους μελετητές το δυσκολότερο τμήμα του έργου ήταν η μεταφορά και εγκατάσταση που πραγματοποιήθηκε με ελικόπτερο.¹³⁶



[5.79]

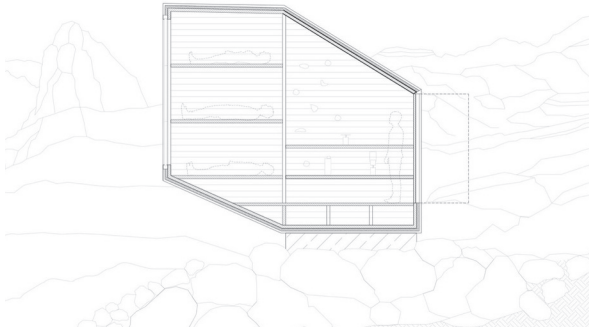
[5.79] Διαγραμμα της ιδέας μεταφοράς στη θέση εγκατάστασης

[5.80] Αξονομετρικό των υλικών κατασκευής



[5.80]

136. https://ofis.si/eng/projects/public/winter_cabin_mount_kanin.html



[5.81]



[5.82]

[5.81] Διαμήκης τομή

[5.82] Αποψη του καταφύγιου από το μονοπάτι



[5.83]



[5.84]

[5.83] Φωτογραφίες από τη διαδικασία συναρμολόγησης

[5.84] Εσωτερική άποψη του καταφύγιου

5.7.6 Συναρμολόγηση

Οι δυνατότητες του CLT δοκιμάζονται και σε πειραματικές κατασκευές με στόχο την γρήγορη ανέγερση, την προκατασκευή και την μεταφορά της σύγχρονης έννοιας του «*συσκευασμένου σπιτιού*» ως μια κατοικία *flat-pack*.¹³⁷

Πρωτότυπο *Naked House* (2006), Όσλο, Νορβηγία | dRMM studio

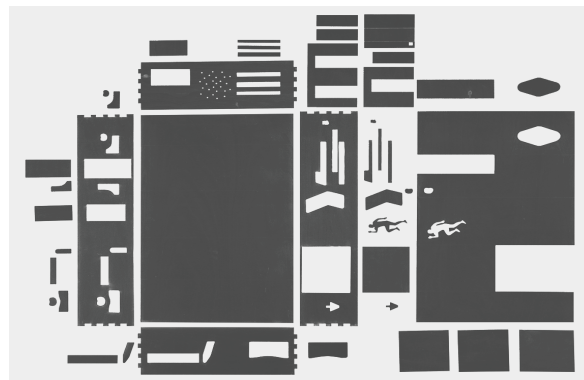
Το Studio dRMM πειραματίζεται με το Naked House και εξετάζει την δημιουργία ενός κιτ-κατοίκησης με βασικό υλικό το CLT. Το πρωτότυπο κατασκευάστηκε στα πλαίσια της έκθεσης *Foundation for Design and Architecture Exhibition* στο Όσλο το 2006. Στόχος ήταν η κατοικία των περίπου 100μ², με τον απαραίτητο εξοπλισμό της να συναρμολογείται γρήγορα, από ένα υλικό και με όσο το δυνατόν λιγότερα κομμάτια γίνεται. Η διαδικασία της μεταφοράς αποτελεί και αυτή κομμάτι του σχεδιασμού αφού το -τυποποιημένου μεγέθους- κοντέινερ γίνεται τμήμα της κατοικίας, χώρος αποθήκευσης, βάση έδρασης και αν υπάρξει η ανάγκη, το σπίτι απο-συναρμολογείται και μεταφέρεται ξανά μέσα στο ίδιο container. Όπως αναφέρει ο ίδιος ο αρχιτέκτονας, Alex de Rijke:

«Αποτελεί μια άσκηση στην επιλογή αυτών που πραγματικά χρειαζόμαστε στη ζωή.
Η προσωποποιημένη προκατασκευή προσαρμόζεται, δίνει χώρο στις επιθυμίες του χρήστη και ορίζει τη μορφή μέσα από αυτές.»¹³⁸



[5.86]

[5.86] Σχηματικές απεικονίσεις και κάτοψη της πρότασης



[5.87]



[5.90]

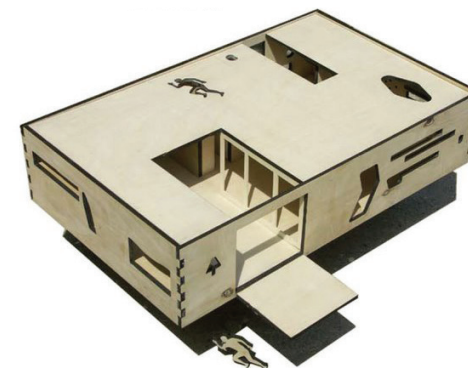


[5.88]



[5.91]

[5.87] Τα κομμάτια του κελυφους σχηματίζονται σε πάνελ CLT και μέσα από την κοπή αξιοποιούνται τα αρνητικά των ανοιγμάτων σαν σταθερά έπιπλα της κατοικίας βάσει των αναγκών του χρήστη



[5.89]



[5.92]

[5.88 - 5.89] Φωτογραφίες της μακέτας της πρότασης

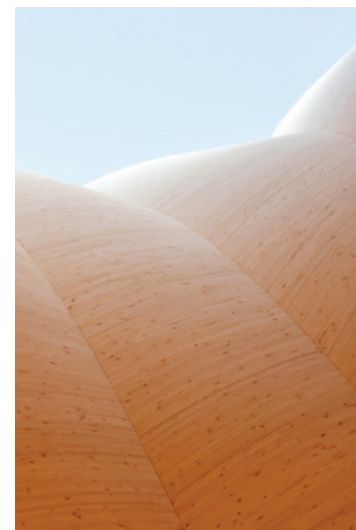
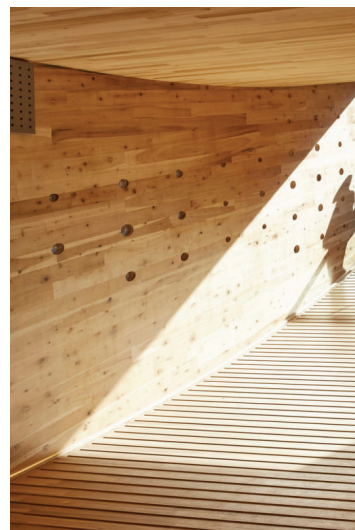
[5.90 - 5.92] Το επισκέψιμο πρωτότυπο σε κλίμακα 1:1

5.8 Συμπεράσματα Ενότητας

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των πάνελ CLT φαίνεται να είναι μια σύγχρονη, βιώσιμη πρόταση, καθοριστική για το μέλλον των ξύλινων κατασκευών, αφού προσφέρει ένα νέο τρόπο σκέψης στο σχεδιασμό τους. Ο παραδοσιακός ρόλος του ξύλου στην αρχιτεκτονική επαναπροσδιορίζεται μέσα από το πρίσμα της βιομηχανικής παραγωγής και της ψηφιακής τεχνολογίας, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί τα οικεία χαρακτηριστικά του υλικού. Ουσιαστικά, δεν πρόκειται απλά για ένα νέο υλικό, αλλά για μια ολοκληρωμένη τεχνική επεξεργασίας του ξύλου, ικανή να παράγει νέες μορφές, να επεκτείνει τις δυνατότητες του ξύλου και να αξιοποιήσει τις μεθόδους εργοστασιακής παραγωγής για την συνολική βελτίωση της αποδοτικότητας.



[5.93]

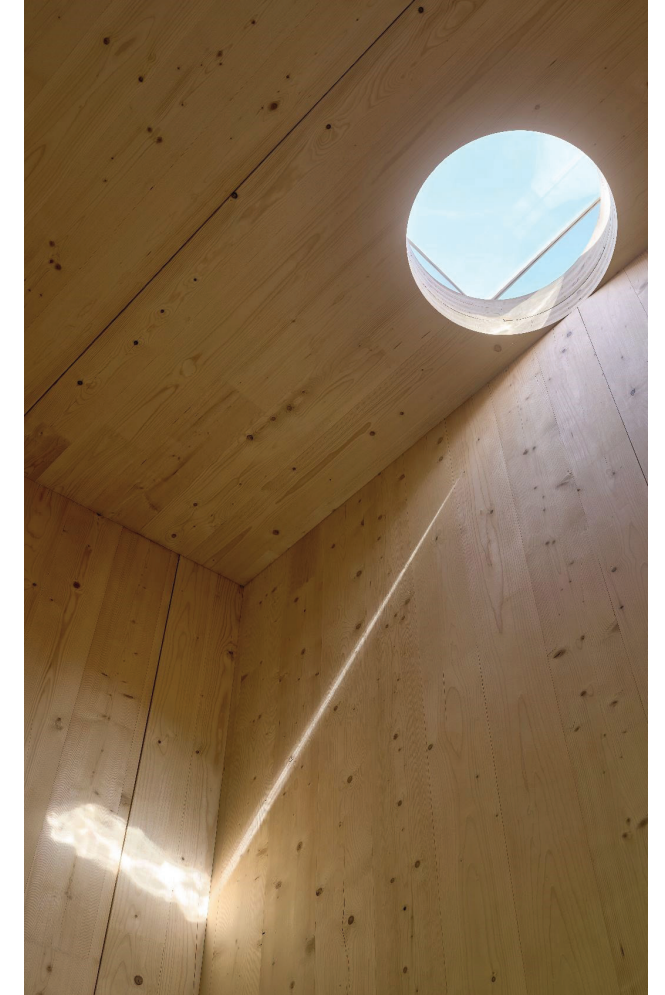


06. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΤΡΕΙΣ ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η παρούσα εργασία επιχείρησε ουσιαστικά να διερευνήσει γιατί η δόμηση με ξύλο παραμένει ακόμα και σήμερα εκτός της ελληνικής κατασκευαστικής πραγματικότητας, παρά την παγκόσμια άνοδο της και τα πλεονεκτήματα που φαίνεται να παρουσιάζει.

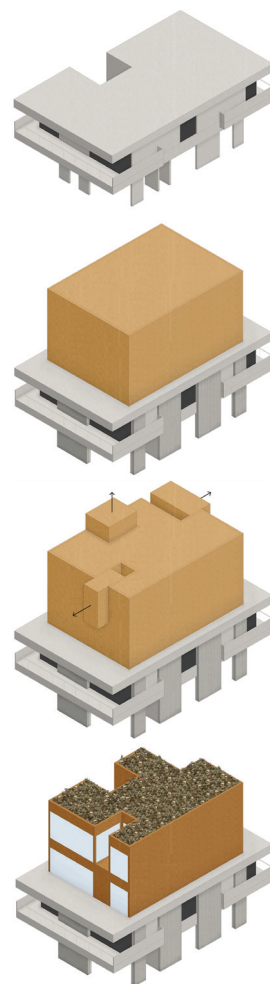
Μέσα από την ιστορική ανασκόπηση της προκατασκευής, συμπεραίνουμε ότι πρόκειται για μια μέθοδο που εξελίσσεται διαρκώς, συνδέεται στενά με τις ανάγκες της κάθε εποχής και τις κατακτήσεις της βιομηχανίας με στόχο την αποδοτικότερη δόμηση. Το ξύλο συγκεκριμένα, εντοπίζεται διαχρονικά σε τέτοιες χρήσεις λόγω των χαρακτηριστικών του. Η βιομηχανική του επεξεργασία το μετατρέπει σε ένα σύγχρονο υλικό κατασκευής, συγκρίσιμο με τα συμβατικά, ενώ ταυτόχρονα αντανakλά μια οικολογική προσέγγιση της αρχιτεκτονικής μέσα από τις εφαρμογές του. Η προσπάθεια ερμηνείας των προτιμώμενων υλικών κατασκευής στην Ελλάδα και κυρίως της περιορισμένης αποδοχής του ξύλου, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αυτή δεν οφείλεται αποκλειστικά σε τεχνικά ζητήματα, αλλά έχει κυρίως πολιτιστικές και κοινωνικές βάσεις. Σαν λογική εξέλιξη των ζητημάτων προκατασκευής και της οικολογικής δόμησης, τα πάνελ CLT εξετάζονται σαν το πιο πρόσφατο καινοτόμο προϊόν βιομηχανικής ξυλείας για δόμηση στα πλαίσια της προκατασκευής. Η ανάδειξη των ποιοτικών χαρακτηριστικών του και οι νέες προοπτικές αρχιτεκτονικής έκφρασης που προσφέρει, το καθιστούν ένα χρήσιμο εργαλείο για το μέλλον των ξύλινων κατασκευών. Η παρουσία πληθώρας υλοποιημένων παραδειγμάτων, επιβεβαιώνει ότι μια ώριμη σχεδιαστική γλώσσα έχει ήδη αναπτυχθεί εκμεταλλευόμενη της τεχνολογικές εξελίξεις.

Σαν συνέχεια της αναζήτησης απαντήσεων σχετικά με την δυνατότητα εφαρμογής τέτοιων πρακτικών στην Ελλάδα, έχουν εντοπιστεί και παρουσιάζονται τρεις ιδιαίτερες κατηγορίες εφαρμογών, που αξιοποιούν τις δυνατότητες του υλικού και μπορούν να εντάξουν την μέθοδο δόμησης με CLT στην ελληνική αρχιτεκτονική πρακτική.



[6.1]

- μειωμένο βάρος
- γρήγορη ανέγερση
- μειωμένα απόβλητα
- καλή συνεργασία με άλλα υλικά



[6.2]

6.1 Προσθήκη καθ' ύψος

Στην Ελλάδα, οι πυκνοκατοικημένοι αστικοί ιστοί περιορίζουν σημαντικά τους διαθέσιμους για κατασκευή ελεύθερους χώρους. Οι προσθήκες καθ' ύψος σε υφιστάμενα κτίρια, αποτελούν εδώ και χρόνια πάγια πρακτική, όπου αυτό επιτρέπεται από τους όρους δόμησης και την κατάσταση των κτιρίων. Η διατήρηση και επανάχρηση ενός κτιρίου, παρότι συχνά δυσκολότερη, παρουσιάζει πολλά οφέλη αντί της κατεδάφισης του, αφού αξιοποιεί τις ήδη υπάρχουσες δομές. Μέχρι σήμερα, οι δημοφιλέστερες επιλογές για τέτοιου τύπου προσθήκες είναι είτε η συνέχιση μιας συμβατικής κατασκευής από σκυρόδεμα, είτε ο μεταλλικός σκελετός. Η προσθήκη θα μπορούσε όμως, να αποτελέσει και μια συνειδητά βιώσιμη επιλογή μέσα από την χρήση σύγχρονων δομικών συστημάτων από ξυλεία. Η μειωμένη χρήση ενέργειας και πόρων, η μείωση των αποβλήτων κατασκευής, τα μικρότερα φορτία λόγω του βάρους του υλικού, η ταχύτητα ανέγερσης λόγω της προκατασκευής και η εξαιρετική συνεργασία με τα συμβατικά υλικά δόμησης κάνουν την προκατασκευασμένη δόμηση με ξύλο μια οικολογική εναλλακτική με εφαρμογή στα ελληνικά δεδομένα.

Παράδειγμα εφαρμογής: Bear (2024), Αθήνα | ΟΟΑΚ Architects ¹³⁹

Στο Bear του αρχιτεκτονικού γραφείου ΟΟΑΚ, μπορεί κανείς να παρατηρήσει όλα τα παραπάνω στοιχεία σε ένα έργο προσθήκης δύο ορόφων, σε υφιστάμενο διώροφο κτίριο της δεκαετίας του 1960. Πρώτο στάδιο ήταν η ενίσχυση και αποκατάσταση του φέροντος οργανισμού από οπλισμένο σκυρόδεμα, ώστε να αντέξει τα φορτία της νέας κατασκευής, μιας και αρχικά δεν υπήρχε πρόβλεψη για άλλους ορόφους. Για την προσθήκη, συνεχίστηκε ένας πυρήνας οπλισμένου σκυροδέματος για το κλιμακοστάσιο και τον ανελκυστήρα, ενώ η υπόλοιπη δομή σχηματίστηκε με πάνελ CLT, δοκούς και κολώνες επικολλητής ξυλείας και σε σημεία ενισχύθηκε με μεταλλικά μέλη.



[6.3]



[6.4]



[6.7]



[6.5]

[6.6]



[6.8]

[6.4] Κολάζ υφιστάμενης όψης και 3D απεικόνισης προσθήκης

[6.3 - 6.8] Φωτογραφίες κατά την φάση κατασκευής

[6.2] 3D διάγραμμα προσθήκης

139. <https://www.bearbyoak.com/>

- ευκολία συντονισμού
- οικονομία υλικών
- ταχύτητα συναρμολόγησης

6.2 Ανέγερση σε απομακρυσμένες περιοχές

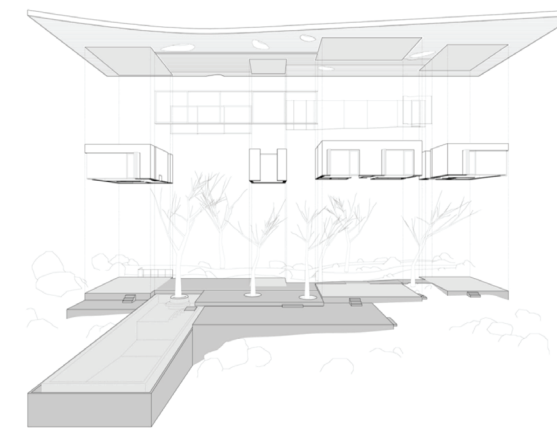
Όπως είδαμε και σε προηγούμενα παραδείγματα, η προκατασκευή μπορεί να αποτελέσει μια χρήσιμη λύση για δόμηση σε περιοχές απομακρυσμένες ή δυσπρόσιτες. Η ελαφριά φύση του υλικού και η δυνατότητα ελαχιστοποίησης των εργασιών εντός εργοταξίου, μειώνουν την ανάγκη απασχόλησης και συντονισμού πολλών τεχνικών συνεργείων, δύσκολων μεταφορών και μεγάλων μηχανημάτων. Κατ’ αυτό τον τρόπο, η κατασκευή μπορεί να ολοκληρωθεί γρηγορότερα, πιθανώς οικονομικότερα και με πρακτικές συνολικά πιο φιλικές προς το περιβάλλον.

Παράδειγμα εφαρμογής: House H (2012), Κέρκυρα | Buerger - Katsota Architects¹⁴⁰

Σε ένα έντονα επικλινές παραθαλάσσιο οικόπεδο της Κέρκυρας, οι αρχιτέκτονες Buerger – Katsota σχεδιάζουν μια ισόγεια εξοχική κατοικία μέσα σε έναν ελαιώνα. Τέσσερις ελεύθερα τοποθετημένοι όγκοι από CLT ενώνονται και σχηματίζουν τους χώρους της κατοικίας κάτω από ένα ενιαίο ξύλινο διάτρητο στέγαστρο από δοκούς glulam, επιτρέποντας έτσι μεγάλα ανοίγματα προς τη θέα. Η κατοικία εδράζεται σε μια πλατφόρμα από οπλισμένο σκυρόδεμα που περιλαμβάνει αποθήκη, τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις και δημιουργεί έναν τολμηρό πρόβολο με πισίνα προς τη θάλασσα. Η προκατασκευή των επιμέρους στοιχείων εκτός εργοταξίου και η γρήγορη συναρμολόγηση τους, επέτρεψαν την ολοκλήρωση του έργου σε μόλις 10 μήνες, προσφέροντας ένα έργο υψηλής ενεργειακής απόδοσης και πρωτοπόρας κατασκευής εναρμονισμένης στο περιβάλλον της.¹⁴¹



[6.9]



[6.10]

[6.9] Κάτοψη

[6.10] 3D διάγραμμα κατασκευής

140. <https://www.buerger-katsota.com/projects/house-h>

141. <https://www.iefimerida.gr/design/gyalini-bila-kerkyra-diatriti-stegi-elaiodentra>



[6.11]



[6.12]



[6.13]



[6.14]



[6.15]

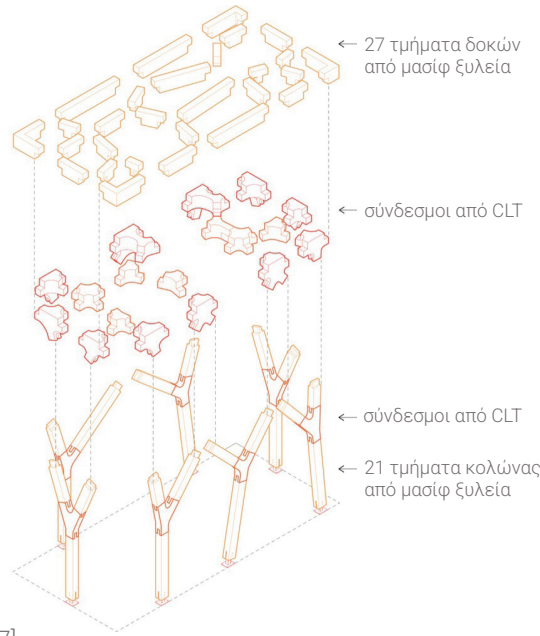


[6.16]

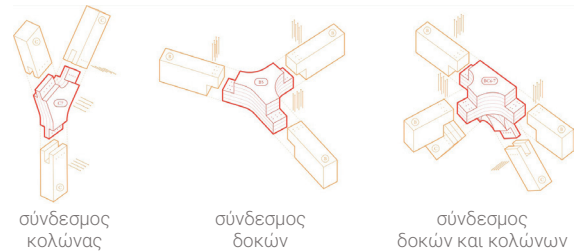
[6.11 - 6.13] Εξωτερικές λήψεις της κατοικίας και η ένταξη της στον περιβάλλοντα χώρο του οικοπέδου

[6.14 - 6.16] Φωτογραφίες κατά την φάση κατασκευής

- προκατασκευή ειδικών τεμαχίων
- υψηλή ακρίβεια
- οικολογικό υλικό



[6.17]



[6.18]

[6.17 - 6.18] Λεπτομέρειες των ειδικών τεμαχίων σύνδεσης από CLT μεταξύ των μασίφ δομικών μελών

6.3 Επέμβαση σε υφιστάμενο κέλυφος

Οι περιπτώσεις επεμβάσεων σε υφιστάμενα ή ιστορικά κελύφη απαιτούν μεγάλο βαθμό ακρίβειας και προσαρμοστικότητας στην προστιθέμενη δομή. Έτσι, το ξύλο σαν ένα υλικό που δεν προκαλεί φθορές (πχ. σκουριά) και δεν αντιδρά με το υπάρχον, μπορεί να αξιοποιηθεί μέσα από την ψηφιακή σχεδίαση και κατεργασία και να γίνει ένα χρήσιμο εργαλείο για μη επεμβατικές αναστρέψιμες προσθήκες, είτε ως το βασικό υλικό ή ακόμα και μέσα από στοχευμένα δομικά μέλη.

Παράδειγμα εφαρμογής: CORA Installation¹⁴² (2025), Cerdanyola del Vallès, Spain| IAAC¹⁴³

Μια ομάδα φοιτητών στο IAAC της Βαρκελώνης σχεδιάζει και κατασκευάζει ένα πλήρως λειτουργικό χώρο για να στεγαστεί ένα βιομηχανικό ρομπότ κατεργασίας ξύλου (CNC) 6 αξόνων. Το έργο αποτελεί μια βιώσιμη επανάχρηση ενός στάβλου του 19^{ου} αιώνα, καθώς συμπληρώνει την υφιστάμενη δομή από τούβλα με μια νέα διακριτή ξύλινη κατασκευή. Ο ξύλινος φέρων οργανισμός εσωτερικά προσομοιάζει ένα δέντρο από διακλαδώσεις μασίφ κολώνων και δοκών, συνδεδεμένες μεταξύ τους με ειδικά σχεδιασμένα τεμάχια από CLT, αντί για τους συνδέσμους που θα χρησιμοποιούνταν τυπικά. Ο φαινομενικά μασίφ σκελετός επενδύεται εξωτερικά από επεξεργασμένες επιφάνειες CLT και ολοκληρώνεται με τη δημιουργία φυτεμένου δώματος και ενός φεγγίτη πάνω από το μηχάνημα.

Η υψηλής ακρίβειας προκατασκευή και συναρμολόγηση με τη χρήση αφανών συνδέσεων από ξύλο αποδεικνύουν ότι οι παραδοσιακές ξυλουργικές τεχνικές μπορούν να συνδυαστούν καλά με τις νέες μεθόδους κατασκευής με εντυπωσιακά αποτελέσματα.

142. Το CORA (Cathedral Of Robotic Artisans) αποτελεί ένα από τα πολλά εγχειρήματα του πανεπιστημίου IAAC (Institute for Advanced Architecture of Catalonia) το οποίο μέσα από τα προγράμματα σπουδών εστιάζει σε καινοτόμους προσεγγίσεις και στην αξιοποίηση προηγμένων τεχνολογιών.

143. https://www.archdaily.com/1028395/cora-installation-iaac?ad_source=search&ad_medium=projects_tab



[6.19]



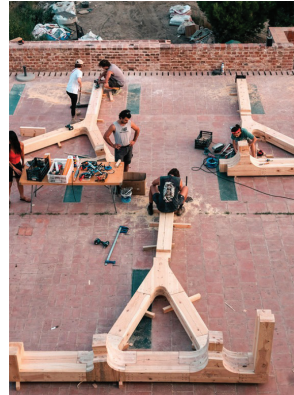
[6.20]



[6.21]



[6.22]



[6.23]



[6.24]



[6.25]



[6.26]

[6.22 - 6.23] Φωτογραφίες κατά τη φάση κατασκευής

[6.24 - 6.25] Το φυτεμένο δώμα και ο φεγγίτης

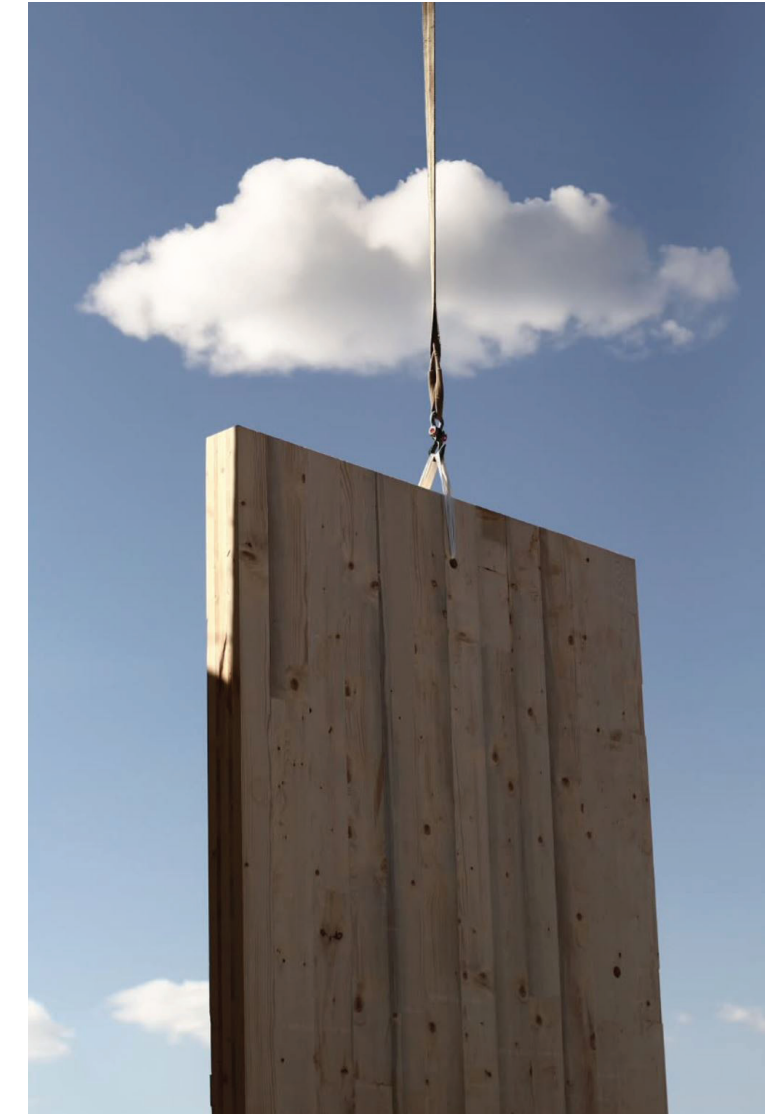
[6.26] Φωτογραφίες του ολοκληρωμένου εσωτερικού

[6.19] Το ξύλινο συνδετικό τμήμα από CLT

[6.20 - 6.21] Πλάγια και μπροστινή όψη

07. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η πρόοδος της τεχνολογίας στην δόμηση με ξύλο, απαιτεί ενέργειες σχετικά με την εκπαίδευση, την κατάρτιση, την κρατική και κοινωνική υποστήριξη για την ένταξη της στον σύγχρονο αρχιτεκτονικό λόγο της Ελλάδας. Κρισιμότερη είναι όμως η ανάγκη για περαιτέρω έρευνα πάνω στο ζήτημα. Η διερεύνηση των εμποδίων στην αγορά της Ελλάδας, της αποδοχής των ξύλινων κατασκευών και συγκριτικές μελέτες σχετικά με το κόστος, τον χρόνο και το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των ξύλινων κατασκευών σε σχέση με τις συμβατικές, θα δώσουν μια πιο ξεκάθαρη εικόνα για τις δυνατότητες εφαρμογής μεθόδων βιώσιμης προκατασκευής με CLT στην Ελλάδα.



[7.1]

08. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΗΣΗΣ

Ελληνική βιβλιογραφία

- ο Κωτσόπουλος, Σοφοκλής, 2022, «Χτίζοντας με ξύλο. Η αναβίωση μιας αειφόρου δόμησης» στο βιβλίο: *Το ξύλο στα κτίρια - Οδηγός σχεδιασμού και κατασκευής*, Εκδόσεις Κτίριο, Θεσσαλονίκη, σσ.8-17
- ο Μαντάνης, Γεώργιος, Κακαράς, Ιωάννης, 2022, «Δομή, χαρακτηριστικά και ιδιότητες του ξύλου» στο βιβλίο: *Το ξύλο στα κτίρια - Οδηγός σχεδιασμού και κατασκευής*, Εκδόσεις Κτίριο, Θεσσαλονίκη, σσ.168-185
- ο Μανωλίδης, Κώστας, 2017, *Εδαφολόγιο - Κείμενα για την ύλη της αρχιτεκτονικής*, Εκδόσεις Νήσος, Αθήνα
- ο Φιλιππίδης, Δημήτρης, 2019, *Ανώνυμη αρχιτεκτονική, Μια άρρητη παρουσία*, Πολιτιστικό Ίδρυμα Ομίλου Πειραιώς, Αθήνα

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- ο Arkemi, 2024, *How To CLT-Architectural Guidelines for Early Stages* [Ηλεκτρονικό, διαθέσιμο σε: https://arkemi.se/images/downloads/Arkemi_How-to-CLT_Handbook_30.pdf] (Πρόσβαση 12-05-25)
- ο CEI-Bois, 2011, *Tackle Climate Change: Use Wood*, CEI-Bois, Brussels [Ηλεκτρονικό, διαθέσιμο σε: <https://europanel.org/wp-content/uploads/2018/09/Tackle-Climat-Change-EN.pdf>] (Πρόσβαση 12-05-25)
- ο Dangel, Ulrich, 2016, *Turning Point in Timber Construction: A New Economy*, Birkhäuser, Basel
- ο Davies, Colin, 2005, *The Prefabricated Home*, Εκδόσεις Reaktion Books, London
- ο FPInnovations, 2019, *Canadian CLT Handbook, Volume 1-2*, FPInnovations, Pointe-Claire [Ηλεκτρονικό, διαθέσιμο σε: <https://web.fpinnovations.ca/clt/>] (Πρόσβαση 12-05-25)

- ο Gustafsson, Anders, 2019, *The CLT Handbook by Swedish Wood*, Föreningen Sveriges Skogsindustrier, Stockholm [Ηλεκτρονικό, διαθέσιμο σε: <https://www.swedishwood.com/siteassets/5-publikationer/pdfer/clt-handbook-2019-eng-m-svensk-standard-2019-2022.pdf>]
- ο Herbert, Gilbert, 1984, *The Dream of the Factory-Made House: Walter Gropius and Konrad Wachsmann*, MIT Press, [Ηλεκτρονικό, διαθέσιμο σε: <https://direct.mit.edu/books/oa-monograph/5065/The-Dream-of-the-Factory-Made-HouseWalter-Gropius>] (Πρόσβαση 12-05-25)
- ο Huß, Wolfgang, 2018, "Prefabrication", στο βιβλίο: *Manual of Multi-Storey Timber Construction: Principles – Constructions – Examples*, DETAIL, Munich, σσ.138-149
- ο Kaufmann, H., Huß, W., Krötsch, S., Winter, S., 2018, "Structures and support structures", στο βιβλίο: *Manual of Multi-Storey Timber Construction: Principles – Constructions – Examples*, DETAIL, Munich, σσ.38-49
- ο Kaufmann, H., Krötsch, S., Winter, S., 2018, *Manual of Multi-Storey Timber Construction: Principles – Constructions – Examples*, DETAIL, Munich
- ο Kellert, Stephen, Calabrese, Elizabeth, 2015, *The Practice of Biophilic Design* [Ηλεκτρονικό, διαθέσιμο σε: https://www.biophilic-design.com/_files/ugd/21459d_81ccb84caf6d4bee8195f9b5af92d8f4.pdf] (Πρόσβαση 12-05-25)
- ο Mayo, Joseph, 2015, *Solid wood: Case Studies in Mass Timber Architecture, Technology and Design*, Routledge, London
- ο Micheal Green Architecture, 2017, *TALL WOOD: The Case for Tall Wood Buildings*, 2η εκδ., Vancouver [Ηλεκτρονικό, διαθέσιμο σε: <https://cwc.ca/wp-content/uploads/2020/06/Second-Edition-The-Case-for-Tall-Wood-Buildings.pdf>] (Πρόσβαση 12-05-25)
- ο Smith, Ryan, 2010, *Prefab Architecture. A Guide to Modular Design and Construction*, Εκδόσεις John Wiley & Sons, New Jersey
- ο Waugh Thistleton Architects, 2018, *100 Projects UK CLT* [Ηλεκτρονικό, διαθέσιμο σε: <https://issuu.com/waughthistleton/docs/think-wood-publication-100-projects-uk-clt>] (Πρόσβαση 12-05-25)

Άρθρα και λοιπές δημοσιεύσεις (Πρόσβαση 12-05-25)

- ο ΕΛΣΤΑΤ, 2015, *Απογραφή κτιρίων 2011*, Ελληνική Στατιστική Αρχή, Πειραιάς, Διαθέσιμο σε: https://www.statistics.gr/documents/20181/1204362/A1601_SKT01_DT_DC_00_2011_01_F_GR.pdf/33bc3e1f-ea63-47ec-93b8-a96179b2ee59
- ο Κακαράς, Ιωάννης, 21-03-2020, *Τα δασικά προϊόντα των ελληνικών δασών και η ανάγκη για πιστοποίηση αειφορικής προέλευσης*, Διαθέσιμο σε: <https://dasarxeio.com/2020/03/21/77039/>

- ο Τουλιάτος, Π., Κατσαραγάκης, Ε., Τσακανίκας, Ε., Κρεστενίτη, Ρ., 2003, *Οδηγός Δομικών Υλικών - Ξύλο ως Δομικό Υλικό*, ΤΕΕ, Διαθέσιμο σε: http://portal.tee.gr/portal/page/portal/MATERIAL_GUIDES/KSILO/
- ο Augustin, Sally, Fell, David, 2015, *Wood as a restorative material in Healthcare environments*, FPInnovations, Quebec, Διαθέσιμο σε: https://www.glass.org/sites/default/files/2020-09/wood_as_a_restorative_material.pdf
- ο Fell, D., 2011, *Wood and Human Health*, FPInnovations, Διαθέσιμο σε: <https://library.fpinnovations.ca/viewer?file=%2Fmedia%2FWP%2F2862.pdf#page=1>
- ο Frearson, Amy, 09-11-2015, *Architects embrace “the beginning of the timber age”*, Dezeen, Διαθέσιμο σε: <https://www.dezeen.com/2015/11/09/cross-laminated-timber-construction-architecture-timber-age/>
- ο Frearson, Amy, 16-09-2016, *Alison Brooks creates giant smile using cross-laminated tulipwood*, Dezeen, Διαθέσιμο σε: <https://www.dezeen.com/2016/09/16/alison-brooks-architects-the-smile-cross-laminated-tulipwood-london-design-festival-2016/>
- ο Hurmekoski, Elias, 2017, *How can wood construction reduce environmental degradation?*, European Forest Institute, Διαθέσιμο σε: https://efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/efi_hurmekoski_wood_construction_2017_0.pdf
- ο Kotradyova, V., Vavrinsky, E., Kalinakova, B., Petro, D., Jansakova, K., Boles, M., Svobodova, H., 19-09-2019, *Wood and Its Impact on Humans and Environment Quality in Health Care Facilities*, International Journal of Environmental Research and Public Health, 16, 3496, Διαθέσιμο σε: https://www.researchgate.net/publication/335943350_Wood_and_Its_Impact_on_Humans_and_Environment_Quality_in_Health_Care_Facilities
- ο Pintos, Paula, 27-03-2025, *CORA Installation / IAAC*, Archdaily, Διαθέσιμο σε: <https://www.archdaily.com/1028395/cora-installation-iaac>
- ο UNECE, 2023, *Circularity Concepts in Wood Construction*, United Nations Publication, Geneva, Διαθέσιμο σε: https://unece.org/sites/default/files/2023-05/ECE_TIM_DP95E_web.pdf
- ο UNECE, 2024, *Policy Guidelines - Low carbon construction in cities*, United Nations Publication, Geneva, Διαθέσιμο σε: https://unece.org/sites/default/files/2025-02/2422489E_WEB.pdf
- ο Wainright, Oliver, 15-07-2013, *Richard Rogers: the world as it could be*, The Guardian, Διαθέσιμο σε: <https://www.theguardian.com/artanddesign/2013/jul/15/richard-rogers-architect-royal-academy>

Εισηγήσεις σε ημερίδες και συνέδρια (Πρόσβαση 12-05-25)

- ο Αλεξανδρή, Ελευθερία, 2012, «*Δόμηση με Πηλό και Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (KENAK)*», εισήγηση στην ημερίδα: Δόμηση με χώμα, ΤΕΕ Μαγνησίας, Βόλος, Διαθέσιμο σε: <https://www.teemag.gr/ftp/2012/Alexandri.pdf>
- ο Κακαράς, Ιωάννης, 2011, «*Εφαρμογές του ξύλου στην Ελλάδα από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα*», εισήγηση στο: 15^ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο, Καρδίτσα, Διαθέσιμο σε: http://www.wfdt.teilar.gr/15_th_Panhellenic_Forestry_CONFERENCE/Presentations/Kakaras.pdf
- ο Κακαράς, Ιωάννης, 2023, «*Συγκομιδή Ξύλου στην Ελλάδα: Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον*», εισήγηση σε ημερίδα του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών, Καρπενήσι, Διαθέσιμο σε: <https://dasarxeio.com/wp-content/uploads/2024/01/%CE%A3%CE%A5%CE%93%CE%9A%CE%9F%CE%9C%CE%99%CE%94%CE%97-%CE%9A%CE%91%CE%A1%CE%A0%CE%95%CE%9D%CE%97%CE%A3%CE%99-2023.pdf>
- ο Ceccotti, A., Sandhaas, C., Yasumura, M., 2010, “*Seismic performance of X-lam buildings: the Italian SOFIE project*” εισήγηση στο συνέδριο: 9th U.S. National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Toronto, Διαθέσιμο σε: <https://www.caee.ca/10CCEEpdf/2010EQConf-001700.pdf>
- ο Tsikaloudaki, K., Tsodosiou, T., Tsoka, S., Chastas, P., 2020, “*Conventional vs. Prefabricated Buildings: Pursuing the Goal of Sustainability*”, εισήγηση στο συνέδριο: 7th International Academic Conference: Places and Technologies, Διαθέσιμο σε: https://www.researchgate.net/publication/347615359_Conventional_vs_Prefabricated_Buildings_Pursuing_the_Goal_of_Sustainability

Διπλωματικές και διδακτορικές διατριβές

- ο Αγναντοπούλου, Ευαγγελία, 2020, Διδακτορική διατριβή: *Το ξύλο στην πολιτιστική κληρονομιά των Κυκλάδων: είδη, χρήσεις, προστασία*, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη
- ο Τζέλιου, Αγορίτσα Άννα, 2014, Διπλωματική εργασία: *Ανελαστική Ανάλυση Ξυλόπηκτων Τοιχοποιιών με απλή διαγώνια δικτύωση*, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη
- ο Τσακανίκας – Θεοχάρης, Ελευθερία, 2006, Διδακτορική διατριβή: *Ο δομικός ρόλος του ξύλου στην τοιχοποιία των ανακτόρου τύπου κτιρίων της μινωικής Κρήτης*, ΕΜΠ, Αθήνα
- ο Buri, Hans Ulrich, 2010, Doctoral thesis: *Origami - Folded Plate Structures*, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne
- ο Štitić, Andrea, 2017, Doctoral thesis: *Integrally Attached Timber Folded Surface Structures: Geometrical, Experimental and Numerical Study*, École Polytechnique Fédérale de Lausanne,

Ηλεκτρονικές Πηγές (Πρόσβαση 12-05-25)

- Alex de Rijke - Naked House, Διάλεξη 07-12-2006, Διαθέσιμο σε: https://www.youtube.com/watch?v=1jmXkGfVhEI&ab_channel=AASchoolofArchitecture
- Buerger-Katsota, House H, Διαθέσιμο σε: <https://www.buerger-katsota.com/projects/house-h>
- EPFL, Saint-Loup Chapel, Διαθέσιμο σε: <https://www.epfl.ch/labs/ibois/techtransfers/completed-projects/chapelle-saint-loup/>
- European Commission, Energy Performance of Buildings Directive, Διαθέσιμο σε: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en
- Forest Europe, Διαθέσιμο σε: <https://foresteurope.org>
- ICD, Urbach Tower, Διαθέσιμο σε: <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/remstal-gartenschau-2019-urbach-turm/>
- ICD, Wangen Tower, Διαθέσιμο σε: <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/wangen-tower/>
- Ofis Architects, Winter Cabin in Mount Kanin, Διαθέσιμο σε: https://ofis.si/eng/projects/public/winter_cabin_mount_kanin.html
- Stora Enso, 2020, Soundproofing for CLT, Διαθέσιμο σε: <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-specifications/wood-products/clt-technical/soundproofing/soundproofing-for-clt-by-stora-enso-sweden-en.pdf>
- Stora Enso, Mass Timber Construction - Protect and Connect, Διαθέσιμο σε: <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/sylva/protect-connect>
- Voll Arkitekter, Mjostarnet, Διαθέσιμο σε: https://vollark.no/portfolio_page/mjostarnet/
- WikiHouse, Διαθέσιμο σε: <https://www.wikihouse.cc/>
- OOAK, Bear by OOAK, Διαθέσιμο σε: <https://www.bearbyoak.com/>
- Ποια είναι τα παραγωγικά δάση και τι μπορούν να προσφέρουν, 25-11-2023, Διαθέσιμο σε: <https://dasarxeio.com/2023/11/25/130987/>
- Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας, Γνωσιακή Βάση: Τα Δάση της Ελλάδας, Διαθέσιμο σε: <https://forests-ypen.gr/gnosiaki-vasi/themata/94-ta-dasi-tis-elladas/169-ta-dasi-tis-elladas>
- ΕΜΠ: Αρχιτεκτονική Ανάλυση Παραδοσιακών κτιρίων και συνόλων: Πρόγραμμα Ψηφιοποίησης Διατομεακού Μαθήματος 5^{ου} Εξαμήνου, Διαθέσιμο σε: <http://5a.arch.ntua.gr/project/1001/1348>
- Ο.ΦΥ.ΠΕ.Κ.Α., Αειφόρος Ανάπτυξη και Κλιματική Αλλαγή, Διαθέσιμο σε: <https://necca.gov.gr/aksones-drasis/aeioforos-anptyxi-kai-klimatiki-allagi/>

Κατάλογος Εικόνων

- [2.1] Chrystal Palace, <https://www.britannica.com/topic/Crystal-Palace-building-London>
- [2.2] Dom-Ino house, 1914, <https://www.archidatum.com/gallery/?id=7528&node=7526>
- [2.3] Monol House, 1919, <https://arqalbara.blogspot.com/2011/02/la-boveda-catalana.html>
- [2.4] Citrohan House, 1920, <https://en.wikiarquitectura.com/building/maison-citroehan/>
- [2.5] Jackobs House, 1937, <https://en.wikiarquitectura.com/building/herbert-jacobs-house-1/#hj-11>, και <https://arquitecturaviva.com/works/casa-jacobs-madison>
- [2.6] 6x6 Demountable House, 1944, <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1944-6>
- [2.7] 6x6 Demountable House, 2014, <https://www.jeanprouve.com/en/fiche/1944-6>
- [2.8] The Packaged House, συναρμολόγηση πρωτοτύπου, <https://arch.bilkent.edu.tr/?p=4175>
- [2.9] The Packaged House, συναρμολόγηση πρωτοτύπου, (Herbert, 1984, σελ.297)
- [2.10] Walter Gropius & Konrad Wachsmann, (Herbert, 1984, σελ.281)
- [2.11] Packaged House, λεπτομέρειες συνδέσεων, <https://mitp-arch.mitpress.mit.edu/pub/039mb6ku/release/1>
- [2.12] Buckminster Fuller και το Dymaxion, <https://www.archdaily.com/401528/ad-classics-the-dymaxion-house-buckminster-fuller/51dee10ee8e44e6873000005-ad-classics-the-dymaxion-house-buckminster-fuller-image>
- [2.13] Wichita House, https://www.buckminsterfuller.net/images/images/shelter/17_142@2x.jpg

[2,14] Zip Up House, <https://marcelogardinetti.wordpress.com/2023/08/12/richard-rogers-zip-up-house/#jp-carousel-9000>

[2.15] Zip Up House, https://rshp.com/assets/uploads/0037_ZipUpHouse_JS_en.pdf

[2.16] Nakagin Capsule Tower, 1972, <https://www.archdaily.com/477882/le-corbusier-model-for-the-metabolists>

[2.17] Nakagin Capsule Tower, 1972, <https://divisare.com/projects/17032-kisho-kurokawa-architect-and-associates-fala-nakagin-capsule-tower-1972>

[2.18] Archigram Plug-in city capsule home, 1964, <https://proyectolinder4.home.blog/2020/05/21/archigrams-plug-in-city-shows-that-pre-fabrication-doesnt-have-to-be-boring-says-peter-cook/>

[2.19] Habitat, 1967, <https://archestudy.com/rethinking-modularity-a-case-study-of-habitat-67-safdie-architects/>

[2.20] Nakagin Capsule Tower, 1972, <https://www.domusweb.it/it/dall-archivio/2010/12/21/quando-kisho-kurokawa-debuttava-su-domus-con-la-nakagin-capsule-tower.html>

[2.21] Habitat, 1967, https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Habitat_panorama.jpg

[2.22] Balloon frame, <https://www.archdaily.com/937590/paul-andersen-and-paul-preissner-on-american-framing/5e95cbe5b35765caec000b07-paul-andersen-and-paul-preissner-on-american-framing-image>

[2.23] Manning portable cottage, <https://o.quizlet.com/EOzMQOA2IfVzizlm9-TWUQ.jpg>

[2.24] διαφημιστική εικόνα, Lustron House, <https://www.oldhousedreams.com/2017/12/21/1950-lustron-oak-park-mi/>

[2.25] διαφημιστική εικόνα, Sears Roebuck House Kit, <https://gr.pinterest.com/pin/526006431453175796/>

[2.26] Lustron House kit, https://www.researchgate.net/figure/A-Lustron-house-kit-spread-out-on-an-airport-runway-to-demonstrate-the-extensive_fig1_287100877

[2.27] AIROH house μεταφορά, <https://gr.pinterest.com/pin/526006431453175796/>

[2.28] κλίμακα προκατασκευής, (Smith, 2010, σελ.128)

[2.29] τυπολογίες σύγχρονης κατασκευής, (Kaufmann, 2018, σελ.143)

[2.30] LCT One, 2011, <https://www.buildinggreen.com/sites/default/files/articles/CREE.jpg>

[2.31] LCT One, 2011, <https://www.wooddays.eu/it/architecture/projekt/detail/lct-one/index.html>

[2.32] Brock Commons, 2016, <https://building.ca/feature/building-expectations/>

[2.33] Brock Commons, 2016, <https://www.archdaily.com/974772/using-bim-to-deliver-low-carbon-wood-buildings/620257333e4b31f33c0000b3-using-bim-to-deliver-low-carbon-wood-buildings-photo>

[2.34] Brock Commons, 2016, <https://www.archdaily.com/930422/timber-trends-7-to-watch-for-2020/5df24eb13312fdaa6a000161-timber-trends-7-to-watch-for-2020-photo>

[2.35] Sara Kulturhus Center, 2021, https://www.archdaily.com/967019/sara-kulturhus-center-white-arkitekter/611c4504f91c818e00000091-sara-kulturhus-center-white-arkitekter-photo?next_project=no

[2.36] Sara Kulturhus Center, 2021, https://www.archdaily.com/967019/sara-kulturhus-center-white-arkitekter/611c3efef91c818e00000070-sara-kulturhus-center-white-arkitekter-photo?next_project=no

[2.37] Sara Kulturhus Center, 2021, <https://www.archdaily.com/967019/sara-kulturhus-center-white-arkitekter/611c44c3f91c818e00000008f-sara-kulturhus-center-white-arkitekter-photo>

[2.38 - 2.40] Wiki House-Peaks Barn, 2022, <https://www.wikihouse.cc/featured-projects/peaks-barn>

[2.41] Packaged House, 1929, <https://harvardartmuseums.org/collections/object/167523>

[2.42] Προκατασκευασμένο κτίριο, 1961, https://www.researchgate.net/figure/Prefabricated-panel-construction-in-1961-and-1964-Darnytsia-neighborhood-Kyiv-Ukraine_fig1_344408655

[2.43] HoHo Wien, https://www.researchgate.net/figure/Wooden-facade-a-Hoho-Wien-25-b-SporX-29_fig1_376213575

[3.1] τομές ξύλου, <http://users.teilar.gr/~mantanis/Domi-Xylou.pdf>

[3.2] κορμος, <http://mantanis.users.uth.gr/wood.pdf>

[3.3] γράφημα υλικών, CEI-Bois, 2011, σελ.38

[3.4] Hurmekoski, 2017, σελ.7

[3.5] PEFC, https://en.wikipedia.org/wiki/Programme_for_the_Endorsement_of_Forest_Certificatio

[3.6] FSC, https://en.wikipedia.org/wiki/Forest_Stewardship_Council

[3.7] γράφημα πιστοποιήσεων, CEI-Bois, 2011, σελ.29

[3.8] πίνακας δασών, CEI-Bois, 2011, σελ.23

[3.9] γράφημα ενέργειας, CEI-Bois, 2011, σελ.35

[3.10] γράφημα σύγκρισης φ.ο., CEI-Bois, 2011, σελ.43

[3.11] Glulam, https://www.joostdevree.nl/bouwkunde2/jpgp/plaatmateriaal_glulam_lagen_in_zelfde%20richting_www_naturallywood_com.jpg

[3.12] LVL, https://www.pollmeier.com/wp-content/uploads/2024/05/Fichte_LVL_78_230_880_1-2100x1575-a49813d9-6a03-40c3-aa34-29cc7ee0571e_web.jpg

[3.13] CLT, <https://clt-greece.gr/clt-innovative-panels.php>

[3.14] NTL, https://thinkwood-wordpress.s3.amazonaws.com/wp-content/uploads/2020/08/22164149/Nail-Laminated-Timber_reThink-Wood-scaled-e1598132578120.jpg

[3.15] DLT, <https://www.naturallywood.com/products/dowel-laminated-timber-dlt/>

[3.16] adhesives, <https://katus.eu/learn/courses/cross-laminated-timber-faq>

[3.17, 3.18] CLT House, FMD architects, <https://www.archdaily.com/951116/clt-house-fmd-architects>

[3.19] CLT House, Unknown works <https://www.dezeen.com/2022/11/26/unknown-works-clt-house-yellow-extension/>

[4.1] Κνωσός, (Τσακανίκα, 2006, σελ.73)

[4.2] διπλός σκελετός Λευκάδα, (Τζέλιου, 2014, σελ.21)

[4.3] ξυλοδεσιά, http://morfologia.arch.duth.gr/3o_etos/3o_exam_VI/paradosiaka.pdf

[4.4] μπαγδατί- τσατμάς, <http://5a.arch.ntua.gr/project/1001/1348>

[4.5] κατοικία Λευκάδας, https://nikiana.wordpress.com/2009/07/24/%CE%BA%CE%AC%CF%80%CE%BF%CE%B9%CE%B1-%CE%B1%CF%80%CF%8C-%CF%84%CE%B1-%CF%80%CE%B1%CE%BB%CE%B9%CE%AC-%CF%83%CF%80%CE%AF%CF%84%CE%B9-%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CF%80%CF%8C%CE%BB%CE%B7-%CF%84%CE%B7/palio_spiti_lefkadas_04/

[4.6] κατοικία στο Πήλιο, <https://trikkipress.gr/%CE%B2%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%8D%CF%83%CE%B9-%CE%B7-%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B4%CE%BF%CF%83%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE-%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%BF%-CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CF%83%CF%85%CE%BD%CE%BF/>

[4.7] μπαγδατί, <https://trikkipress.gr/%CE%B2%CE%B1%CF%81%CE%BF%CF%8D%CF%83%CE%B9-%CE%B7-%CF%80%CE%B1%CF%81%CE%B1%CE%B4%CE%BF%CF%83%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE-%CE%B1%CF%81%CF%87%CE%BF%-CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CF%83%CF%85%CE%BD%CE%BF/>

[4.8] το αρχοντικό της Πούλκως, https://www.academia.edu/102291043/%CE%A4%CE%9F_%CE%91%CE%A1%CE%A7%CE%9F%CE%9D%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%9F_%CE%A4%CE%97%CE%A3_%CE%A0%CE%9F%CE%A5%CE%9B%CE%9A%CE%A9%CE%A3_%CE%94%CE%99%CE%91_%CE%A7%CE%95%CE%99%CE%A1%CE%9F%CE%A3_%CE%A0%CE%9F%CE%99%CE%97%CE%A3%CE%97

[4.9] τσατμάς, <http://5a.arch.ntua.gr/project/5305/5953>

[4.10] γράφημα υλικών κατασκευής, (ΕΛΣΤΑΤ, 2011, σελ.11)

[5.1] δομή CLT, <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/clt>

[5.3] Dalston works, 2017, Waugh Thistleton Architects, <https://find-an-architect.architecture.com/waugh-thistleton-architects/london/dalston-works>

[5.4] MK40 tower, 2007, dRMM, <https://drmmstudio.com/project/mk40-tower-2/>

[5.5] CLT balloon frame, <https://www.swedishwood.com/siteassets/5-publikationer/pdfer/guide-to-clt-in-the-early-stages-en.pdf>

[5.6] Brock Commons, 2017, HK architekten, <https://www.hkarchitekten.at/en/project/student-residence-at-brock-commons/#lightbox-50>

[5.7] CLT υποστυλώματα, δοκοί και πλάκες, <https://cdm-stravitec.com/en-us/news/test-campaign-stravifloor-solutions-clt-slab>

[5.8 – 5.11] διαγράμματα συστημάτων δόμησης, προσωπικό αρχείο

[5.12] ανοίγματα σε τοίχο CLT, [https://ascelibrary.org/cms/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001674/asset/eade1112-0229-4455-baf7-4bf360ccfb56/assets/images/large/figure1.jpg](https://ascelibrary.org/cms/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001674/asset/eade1112-0229-4455-baf7-4bf360ccfb56/assets/images/large/figure1.jpg)

[5.13] Λεπτομέρεια τοίχου – δαπέδου, (Gustafsson, 2019, σελ.105)

[5.14] Λεπτομέρεια στέγης, (Gustafsson, 2019, σελ.79)

[5.15] σκάλα CLT, <https://makman.co.uk/wp-content/uploads/2022/11/cltstairs-200x300.jpg>

[5.16] σκάλα CLT, <https://acetra.rs/wp-content/uploads/2021/07/Meninghetshus-10.jpg>

[5.17] κλιμακοστάσιο CLT, <https://www.archdaily.com/966766/the-green-house-office-building-waugh-thistleton-architects/611677fc2d2e4401652110c3-the-green-house-office-building-waugh-thistleton-architects-photo>

[5.18] πυρήνας ανελκυστήρα CLT, <https://acetra.rs/how-is-timber-changing-the-construction-industry/>

[5.19] Ενδεικτικοί σύνδεσμοι, <https://ewood.gr/clt-%CE%AD%CE%BD%CE%B1-%CE%BD%CE%AD%CE%BF-%CF%80%CF%81%CE%BF%CF%8A%CF%8C%CE%BD-%CE%BE%CF%8D%CE%BB%CE%BF%CF%85/>

[5.20] Timber Pavilion of the Vidy-Lausanne Theatre, Yves Weinand Architectes sarl + Atelier Cube, <https://www.archdaily.com/925521/timber-pavilion-of-the-vidy-lausanne-theatre-yves-weinand-architectes-sarl-plus-atelier-cube/5d8c598a284dd1d30f00058a-timber-pavilion-of-the-vidy-lausanne-theatre-yves-weinand-architectes-sarl-plus-atelier-cube-photo>

[5.21, 5.22] λεπτομέρεια τοίχου – δαπέδου, (Gustafsson, 2019, σελ.78-75)

[5.23 – 5.25] επιστρώσεις, <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/sylva/protect-connect>

[5.26] Θερμομόνωση, <https://www.fellos24.gr/shop/145-epektasi-fello973-prosopsis-md-gia-toichoy/875-thermiki-kai-akoystiki-diogkomeni-md-facade-monosis-toichoy-apo-fello-prosopsis-100x500x1000mm/>

[5.27] μεταφορά ήχου, <https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt-by-stora-enso-technical-brochure-en.pdf>

[5.28] CLT κτίριο σε δοκιμή φωτιάς, https://awc.org/wp-content/uploads/2022/02/fpl_gtr247.pdf

[5.29] απεικόνιση απανθράκωσης, (Waugh Thistleton Architects, 2018, 64)

[5.30] CLT φωτογραφία μετά από δοκιμή φωτιάς, <https://ifpmag.com/understanding-char-loss-and-fall-off-for-fire-safe-design-of-timber-structures/>

[5.31, 5.32] κτίρια SOFIE Project, https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fpl_gtr281.pdf

[5.33] Chicago Horizon, <https://www.archdaily.com/778301/lakefront-kiosk-ultramoderne>

[5.34] δομικό σύστημα Mjøstårnet, 2019, <https://dagensbyggeri.dk/byggeri-og-anlaeg/verdens-hojeste-traehus-opfores-i-norge/>

[5.35] δομικό σύστημα Brock Commons, (Kaufmann, 2018, σελ.168)

[5.36, 5.37] Brock Commons, 2016, (Kaufmann, 2018, σελ.167-169)

[5.38 - 5.43] Mjøstårnet, 2019, <https://www.archdaily.com/934374/mjostarnet-the-tower-of-lake-mjosa-voll-arkitekter>

[5.44] The Smile, 2016, <https://www.archdaily.com/987305/functionalism-rationalism-and-conceptualism-are-not-enough-in-conversation-with-alison-brooks/62fb2b1d2f2107016e3a3480-functionalism-rationalism-and-conceptualism-are-not-enough-in-conversation-with-alison-brooks-image>

[5.45 – 5.48] The Smile, 2016, <https://alisonbrooksarchitects.com/project/the-smile/>

[5.49] Unesco Conference Building, 1953, https://live.staticflickr.com/65535/50240636506_8c48098844_h.jpg

[5.50] St. John's Abbey Church, 1961, <https://www.architecturelab.net/st-johns-abbey-church-marcel-breuer/>

[5.51] Miami Marine Stadium, 1963, https://www.metalocus.es/sites/default/files/styles/mopis_news_carousel_item_desktop/public/metalocus-miamistadium-hcandelas-05.jpg?itok=NCqJ2NzL

[5.52] αναδιπλώσεις σε χαρτί, (Štitić, 2017, σελ.4)

[5.53] αναδιπλώσεις origami,

[5.54 - 5.59] Παρεκκλήσι St-Loup, 2008, <https://www.archdaily.com/9201/temporary-chapel-for-the-deaconesses-of-st-loup-localarchitecture>

[5.60 - 5.61] Bellevue First Congregational Church, 2016, <https://www.archdaily.com/795120/bellevue-first-congregational-church-atelierjones>

[5.62 - 5.63] Christian Community Church, 2020, <https://www.dezeen.com/2020/10/14/clt-church-stroud-nicolas-pople-architects/>

[5.65 – 5.72] Urbach Tower, 2019, <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/remstal-gartenschau-2019-urbach-turm/>

[5.73 - 5.78] Wangen Tower, 2024, <https://www.icd.uni-stuttgart.de/projects/wangen-tower/>

[5.79 – 5.84] Χειμερινή καμπίνα στο Όρος Kanin, 2016, https://ofis.si/eng/projects/public/winter_cabin_mount_kanin.html

[5.86 - 5.92] Naked House, 2006, <https://neocribs.blogspot.com/2011/01/prototype-house-naked-house-oslo-norway.html>, <https://ecocontainerhome.com/drmms-diy-eco-friendly-naked-house-built-on-a-container/>

[5.93] Εικόνες που προέρχονται από τις προηγούμενες πηγές για κάθε ένα από τα κτήρια που έχουν αναλυθεί

[6.1] <https://narchitects.com/work/clt-house/>

[6.2] ΟΟΑΚ, 3D διάγραμμα επέμβασης, <https://www.instagram.com/p/C4QbICHMkU1/>

[6.4] ΟΟΑΚ, όψη προσθήκης, <https://www.instagram.com/bearbyooak?igsh=ajFnMnAxa2piM2w4>

[6.3 - 6.8] ΟΟΑΚ, φωτογραφίες κατασκευής, <https://www.instagram.com/bearbyooak?igsh=ajFnMnAxa2piM2w4>

[6.9 - 13] House H, 2012, <https://www.buerger-katsota.com/projects/house-h>

[6.14 – 6.16] House H φωτογραφίες κατασκευής, <https://www.wands.gr/el/project/kerkira-pentati>

[6.17 – 6.26] CORA Installation, 2025, https://www.archdaily.com/1028395/cora-installation-iaac?ad_source=search&ad_

ΕΝΟΤΗΤΑ 07.

[7.1] https://www.instagram.com/p/DB0hz3fNIFB/?img_index=1

