

# Ενεργειακή Απόδοση Ξύλινων Κατασκευών Μικρής Κλίμακας

Θωμάς Α. Ψιλοβίκος<sup>1</sup>, Κοσμάς Γ. Δούκας<sup>2</sup>,  
Άγης Μ. Παπαδόπουλος<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών & Μηχανοργάνωσης, Α.Π.Θ.,  
Πανεπιστημιούπολη Α.Π.Θ., Τ.Κ. 54124, [tvikos@ad.auth.gr](mailto:tvikos@ad.auth.gr)

<sup>2</sup> Τμήμα Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ., Εργαστήριο Μηχανικών Επιστημών & Τοπογραφίας, Μουσχουντή 59 & Δημοκρίτου Φοίνικας, Καλαμαριά 55134.  
[adoucas@for.auth.gr](mailto:adoucas@for.auth.gr)

<sup>3</sup> Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Α.Π.Θ., Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών, Πανεπιστημιούπολη Α.Π.Θ. 54125, [agis@auth.gr](mailto:agis@auth.gr)

**Περίληψη:** Η προώθηση της χρήσης δομικής ξυλείας στην Ελλάδα εμποδίζεται κυρίως από την αναιμική παραγωγή, την διστακτικότητα των χρηστών αλλά και στην καχυποψία του οικολογικού κινήματος. Η δομική ξυλεία πληροί τις απαιτήσεις στατικής επάρκειας σε κατασκευές κατοικιών προσφέροντας υψηλές αναλογίες αντοχής/βάρους. Η εξασφάλιση της παραγωγής ξυλείας από πιστοποιημένα αειφορικά διαχειριζόμενα δάση έχει ως επακόλουθο την μικρή ενσωματωμένη ενέργεια και αντίστοιχα, τις μικρότερες εκπομπές άνθρακα κατά την παραγωγή της σε σχέση με τα υπόλοιπα δομικά υλικά. Στην παρούσα εργασία δίνεται έμφαση στην ενεργειακή επίδοση των ξύλινων κατασκευών μικρής κλίμακας. Οι συνήθεις ξύλινες κατασκευές με σκελετό ελαφρού τύπου και θερμομόνωση πάχους 10cm προσφέρουν τιμή θερμικής αντίστασης τοιχοποιίας ( $R$ ) = 2,976 m<sup>2</sup>·K/W και συντελεστή θερμοπερατότητας ( $U$ ) = 0,33 W/m<sup>2</sup>K που πληροί τις προδιαγραφές του Κ.εν.Α.Κ. για τη κλιματική ζώνη Δ ενώ τα κορμόσπιτα εμφανίζουν επίσης πολύ καλές επιδόσεις ακόμη και χωρίς θερμομόνωση. Οι νέες τεχνικές δόμησης όπως τα δομικά πλαίσια με ενσωματωμένη θερμομόνωση (SIPs) εξασφαλίζουν τιμές συντελεστή θερμικής αντίστασης μεταξύ 0,65-1,1 m<sup>2</sup>·K/W ανά 2,54 cm πάχους ανάλογα με το είδος του θερμομονωτικού αφρού και πολύ υψηλή αεροστεγανότητα, αυξάνοντας την ενεργειακή επίδοση. Τέλος η εφαρμογή της καινοτόμου θερμομόνωσης "Thermal 3Ht" εξασφαλίζει αυξημένη πραγματική επίδοση θερμικής αντίστασης σε πραγματικές συνθήκες που ξεπερνά το 115% της θεωρητικής τιμής του. Η ξυλεία ως φυσικό υλικό είναι υγροσκοπικό και ανισότροπο οπότε απαιτεί πιο επισταμένη συντήρηση και προστασία από την υγρασία και τους μικροοργανισμούς.

**Λέξεις κλειδιά:** ξύλινες κατασκευές, θερμομόνωση, θερμική αντίσταση, νέες τεχνικές.

## 1. Εισαγωγή

Στη χώρα μας κυριάρχησε το οπλισμένο σκυρόδεμα ως οικοδομικό υλικό λόγω

κυρίως της έντονης σεισμικότητας αλλά και της ανάγκης στέγασης του πληθυσμού στις πόλεις όπου προήχθη το μοντέλο της ανέγερσης πολυώροφων οικοδομών και εγκατάλειψη της ως τότε παραδοσιακής μονοκατοικίας από ξύλο και πέτρα. Μέχρι σήμερα η χρήση του ξύλου ως οικοδομικού υλικού περιορίζεται μόνο σε στέγες και πατώματα ή ως διακοσμητικά στοιχεία, ενώ τα τελευταία χρόνια σε δασικές και αγροτικές περιοχές εισάγονται προκατασκευασμένοι μικρού μεγέθους οικίσκοι ή τμήματα αυτών, τα οποία, συναρμολογούνται επιτόπου. Οι περιορισμοί στη χρήση του ξύλου στη χώρα μας ως εξ' ολοκλήρου οικοδομικού υλικού συνοψίζονται στα εξής:

1. Σεισμογενής χώρα - προώθηση του οπλισμένου σκυροδέματος και μορφή πολυώροφων κτιρίων ακόμα και σε μη αστικές περιοχές.
2. Αδυναμία έκδοσης άδειας δόμησης από την πολεοδομία για τα αμιγώς ξύλινα σπίτια λόγω έλλειψης εργαλείων ελέγχου του αντίστοιχου κανονισμού για ξύλινες κατασκευές (ευρωκώδικας).
3. Διστακτικότητα από τους χρήστες όσο αφορά τον κίνδυνο πυρκαγιάς και της στατικής επάρκειας.
4. Έλλειψη ικανής εγχώριας παραγωγής οικοδομικής ξυλείας.
5. Έλλειψη ενημέρωσης για τα χαρακτηριστικά της οικοδομικής ξυλείας στο ευρύ κοινό.
6. Καχυποψία του οικολογικού κινήματος στα προϊόντα ξυλείας εξαιτίας της μείωσης των εκτάσεων των δασών του πλανήτη λόγω αλόγιστης εκμετάλλευσης.

Η ξυλεία ως οικοδομικό υλικό έχει πολλαπλά οφέλη και μπορεί στην πράξη να χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στις κατασκευές, αντικαθιστώντας άλλα υλικά, ακόμα και σε αστικές περιοχές. Επιπρόσθετα δύναται να αποβεί ωφέλιμη για το περιβάλλον με την προϋπόθεση της πιστοποιημένης οικολογικής διαχείρισης των δασών σε συνδυασμό με την εφαρμογή των νέων τεχνικών κατασκευής που αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια βελτιώνοντας την ενεργειακή επίδοση.

## **2. Η προϋπόθεση της αειφόρου διαχείρισης των παραγωγικών δασών**

Η αειφορική διαχείριση των δασών είναι ο μόνος τρόπος ώστε να διασφαλιστεί ότι η παραγωγή προϊόντων ξυλείας να μην επηρεάζουν τόσο το μέγεθος των δασών όσο και τη ζωτικότητα τους. Ο σκοπός μπορεί να επιτευχθεί εάν οι πρακτικές κάρπωσης της πρώτης ύλης εκτελούνται με βάση τον χρόνο αναγέννησης και όχι το μέγεθος παραγωγής. Η ανάγκη διατήρησης των δασών αλλά και η ζήτηση προϊόντων ξυλείας οδήγησε στην ίδρυση προγραμμάτων πιστοποίησης της αειφορικής διαχείρισης των δασών, τα οποία αναπτύχθηκαν κυρίως στις ΗΠΑ και στην Ευρώπη και επεκτάθηκαν σε όλο τον κόσμο. Σήμερα υπάρχουν πάνω από 50 προγράμματα πιστοποίησης δασών με το κυριότερο το Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC). Στις ΗΠΑ το ένα τρίτο των δασών διαχειρίζονται σύμφωνα με κάποιο πρόγραμμα πιστοποίησης αειφορίας ενώ στην Ευρώπη (ΕΕ)

το 50%, αλλά στην Ασία και την Αφρική τα ποσοστά αγγίζουν μόλις το 0.1% (Eurostat, 2013).

Στην ΕΕ η έκταση των δασών τα τελευταία χρόνια αυξάνεται με βραδείς ρυθμούς σε αντίθεση με τις περισσότερες περιοχές του πλανήτη ως απόρροια των προγραμμάτων της Ευρωπαϊκής επιτροπής για την αειφορική διαχείριση των δασών. Το ενδιαφέρον της ενεργειακής ασφάλειας και της προώθησης των ΑΠΕ στην ΕΕ, σε ανώτατο πολιτικό επίπεδο λήψης αποφάσεων, οδήγησε τα τελευταία χρόνια στην αναθεώρηση των δυνατοτήτων χρήσης ξυλείας για ενεργειακούς σκοπούς και συνδέεται πλέον επίσημα με το μεγαλεπήβολο σχέδιο της ΕΕ με την ονομασία "Ορίζοντας 2020" (Horizon 2020). Η χρήση του ξύλου στις κατασκευές συνδέεται και με τους τρεις στόχους του προγράμματος Ορίζοντας 2020 (European Commission, 2013) που είναι:

1. 20% μείωση των αέριων ρύπων σε σχέση με τα επίπεδα ρύπων του 1990
2. Αύξηση της συμμετοχής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην συνολική κατανάλωση κατά 20%
3. Βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας (εξοικονόμηση ενέργειας) κατά 20%

Η ξυλεία θεωρείται ως ΑΠΕ με προϋπόθεση την αειφορική διαχείριση των δασών προέλευσης της ξυλείας, με τη λογική ότι το ξύλο είναι υλικό που το δημιουργεί η φύση μέσω της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης και με την προϋπόθεση της κάρπωσης του με ρυθμούς μικρότερους της φυσικής του αναπλήρωσης. Επιπρόσθετα σύμφωνα με τον καθηγητή Ι. Μπαρμπούτη (2009) απέραντες ποσότητες CO<sub>2</sub> είναι αποθηκευμένες στα δάση παγκοσμίως και υπολογίζονται σε 350 δισεκατομμύρια τόνους στο υπέργειο τμήμα των δασών και σε 800 δισ. τόνους στο έδαφος και υπέδαφος. Αυτές οι ποσότητες είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από την ποσότητα CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα (760 εκ. τόνοι). Κατά μέσο όρο ένα δένδρο απορροφά το ισοδύναμο 1 τόνου CO<sub>2</sub> για την αύξηση 1m<sup>3</sup> ξυλείας παράγοντας το ισοδύναμο των 727 kg οξυγόνου. Ο άνθρακας απελευθερώνεται όταν η ξυλεία καίγεται ή αποσυντίθεται. Τα παρθένα δάση που δεν διαχειρίζονται φτάνουν σε μια κατάσταση ισορροπίας περιέχοντας μόνο 165 τόνους άνθρακα ανά εκτάριο καθόσον η αύξηση αντισταθμίζεται από τις φυσικές απώλειες.

### **3. Η ξυλεία ως οικοδομικό υλικό**

Σύμφωνα με το καθηγητή Βουλγαρίδη Η. (2008) οι σημαντικότερες ιδιότητες του ξύλου είναι η υγροσκοπικότητα και ανισοτροπία του. Ως αποτέλεσμα, τόσο οι διαστάσεις, όσο και οι ιδιότητές του μεταβάλλονται από τις κλιματικές συνθήκες του περιβάλλοντος, ακόμα και μετά την ξήρασή του αλλά με διαφορετικό βαθμό ανά διεύθυνση (αξονική, ακτινική και εφαπτομενική). Οι μεγαλύτερες μεταβολές λαμβάνουν μέρος στην εφαπτομενική διεύθυνση. Παρόλα αυτά το ξύλο ανθίσταται

στο χρόνο έως και αρκετούς αιώνες με την κατάλληλη συντήρηση και προστασία. Σύμφωνα με το Forest Products Laboratory (2010) οι κλιματικοί παράγοντες με τη μεγαλύτερη επιρροή στις ιδιότητες του ξύλου είναι η υγρασία και δευτερευόντως η θερμοκρασία. Ως αποτέλεσμα της μεταβολής της σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας του αέρα το ξύλο υπόκειται σε ρίκνωση όταν αποβάλλει ποσοστό της υγρασίας του και διόγκωση όταν απορροφά υγρασία από το περιβάλλον. Η ρίκνωση και η διόγκωση περιορίζονται με τη ξήρανση του ξύλου μέχρι το ποσοστό υγρασίας του χώρου που θα τοποθετηθεί, δηλαδή 8% περίπου για εσωτερικούς χώρους, και 12-15% για εξωτερικούς χώρους (Μαντάνης Γ, 2003).

Όσο αφορά την άποψη του κοινού για μεγάλη επικινδυνότητα σε πυρκαγιά στην πραγματικότητα το ξύλο δεν αναφλέγεται εύκολα και τυχόν πυρκαγιά μεταδίδεται με αργό ρυθμό. Συγκεκριμένα για να αναφλεγεί ένα ξύλινο μέλος δομικής ξυλείας χρειάζεται 5-10 λεπτά σε θερμοκρασία πάνω από 250°C. Επιπλέον λόγω της θερμομονωτικής ικανότητας (μικρής θερμοαγωγιμότητας) του ξύλου η θερμοκρασία δεν μεταδίδεται σε όλη τη μάζα του. Για τις συνήθεις διατομές ξύλων προκύπτει ότι σε βάθος 25-30mm από την καιγόμενη επιφάνεια το ξύλο παραμένει ανεπηρέαστο τόσο ως προς την θερμοκρασία όσο και στα μηχανικά του χαρακτηριστικά (Κοντέας Ζ., 2007). Η ταχύτητα μετάδοσης είναι επίσης πολύ μικρή κατά μέσο όρο 0,65 mm/min.

Το ξύλο είναι ευάλωτο σε προσβολή από μύκητες, βακτήρια και έντομα ανάλογα πάλι με τις κλιματικές συνθήκες. Η υγρασία του ξύλου για να μπορεί να αναπτυχθεί ο μύκητας, πρέπει να είναι πάνω από 20% (Μαντάνης Γ., 2003). Ιδανικές είναι οι συνθήκες όταν η υγρασία είναι 25-35%. Τα κύρια μέτρα προστασίας είναι η επιλογή ξύλου με μεγάλη πυκνότητα και σωστή τεχνητή ξήρανση καθώς και ο εμπλουτισμός με εντομοκτόνες ουσίες. Γενικά, το ξύλο χρειάζεται πιο επιμελή συντήρηση από το σκυρόδεμα που αν εξασφαλισθεί διασφαλίζει την αντοχή του για αιώνες σε αντίθεση με τα υπόλοιπα δομικά υλικά.

### 3.1. Μηχανικές ιδιότητες δομικής ξυλείας

Οι χαρακτηριστικότερες μηχανικές ιδιότητες του ξύλου σε σχέση με άλλα δομικά υλικά είναι (Δούκας Κ, 2004):

- A. Το μικρό βάρος του, που συντελεί στην εύκολη μεταφορά του και στη μείωση του ίδιου βάρους της φέρουσας κατασκευής
- B. Η υψηλή του ελαστικότητα ( $E = 100.000 \text{ kg/cm}^2$ ). Η ιδιότητα αυτή δίνει τη δυνατότητα στον ξύλινο φορέα που επιπονείται σε κάμψη να επανέρχεται στην αρχική του θέση,
- Γ. Η υψηλή του αντοχή για αξονική φόρτιση κατά μήκος των ινών.
- Δ. Μειωμένη αντοχή σε διάτμηση.
- E. Ικανοποιητική αντοχή σε κάμψη. Το ξύλο στις περισσότερες κατασκευές του φορτίζεται κυρίως με δυνάμεις που προκαλούν κάμψη. Η διάρκεια φόρτισης

έχει σημαντική (αντιστρόφως ανάλογη) επίδραση στη μηχανική αντοχή του ξύλου διότι δημιουργεί σημαντικό ερπυσμό. Μόνιμη φόρτιση ελαττώνει την αντοχή του σε ποσοστό 50-75% (Μαντάνης Γ., 2003).

**Πίνακας 2.** Αντοχή σε κάμψη και αναλογία αντοχής/βάρους ξυλείας και άλλων υλικών (Δούκας Κ., 2004)

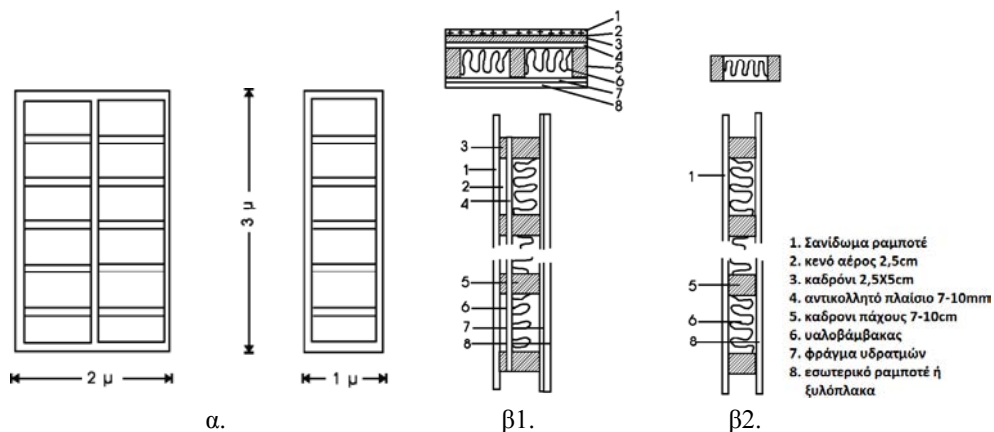
Υλικό	Επιτρεπόμενη αντοχή σε κάμψη kg/cm <sup>2</sup>	Αναλογία αντοχής με το ίδιο βάρος
Σύνθετο ξύλο	140	0,28
Στρογγυλή ξυλεία	100	0,20
Χάλυβας St <sub>37</sub>	1400	0,178
Σκυρόδεμα B <sub>225</sub>	90	0,037

- Στ. Η υψηλή αντοχή του ξύλου σε κρούση, δηλαδή σε απότομη δυναμική φόρτιση. Η τιμή της αντοχής σε κρούση είναι διπλάσια από τη στατική φόρτιση.
- Ζ. Καλή σεισμική συμπεριφορά λόγω μικρού βάρους και ελαστικότητας. Οι συνδέσεις στις ξύλινες κατασκευές διαδραματίζουν πρωτεύοντα ρόλο αφού πολλές φορές η κατασκευή αστοχεί στις περιοχές των συνδέσεων ειδικά κατά την κυκλική φόρτιση ή με εναλλασσόμενα φορτία. Σύμφωνα με έρευνα του εργαστηρίου μεταλλικών κατασκευών του ΕΜΠ (Αβδελάς Α., 2011) οι συνδέσεις πρέπει να είναι ημιάκαμπτες (καρφιά, κοχλίες, βλήτρα) ώστε να απελευθερώνεται ενέργεια σε περιπτώσεις κυκλικών φορτίσεων.

Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον ως δομικό στοιχείο παρουσιάζει το επικολλητό ξύλο (σύνθετο ξύλο, Glued Laminated Wood, Glulam). Είναι το ξύλο που παράγεται από τη συγκόλληση δύο ή περισσότερων στρώσεων ξύλου με ίνες πρακτικά παράλληλες. Με αυτό τον τρόπο παράγονται μεγάλων διαστάσεων δοκοί. Δευτερευόντως η κατεργασία του ξύλου είναι ευκολότερη και λιγότερο δαπανηρή σε σχέση με άλλα υλικά ενώ η αισθητική του είναι απόλυτα προσαρμοσμένη στη φύση (Δούκας Κ., 2004).

### 3.2. Σύγχρονες τυπικές ξύλινες κατασκευές ελαφρού τύπου

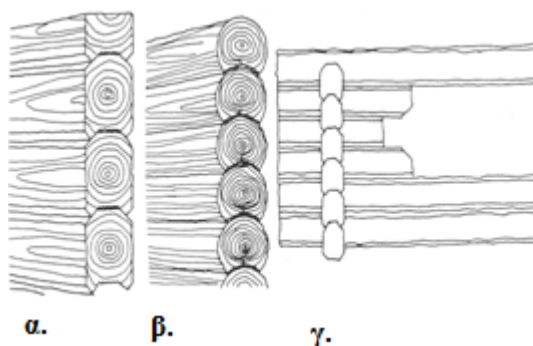
Με τον όρο ελαφρού τύπου ξύλινες κατασκευές εννοούμε τις κατασκευές με σκελετό δομικής ξυλείας και πλαίσια τοιχοπλήρωσης με ενδιάμεση θερμομόνωση και όχι τις παραδοσιακές που κατασκευάζονταν συνήθως με συνδυασμό πέτρας (τοιχοποιία) και ξύλου. Επίσης διαχωρίζονται από τις συμπαγείς κατασκευές ξυλείας όπως είναι τα κορμόσπιτα που συνηθίζονται σε χώρες που διαθέτουν μεγάλες δασικές εκτάσεις και αντίστοιχη βιομηχανία. Με αυτή την έννοια τις τελευταίες δεκαετίες τα τυπικά ξύλινα οικήματα αποτελούνται από προκατασκευασμένα τμήματα τοιχοποιίας από σκελετό δομικής ξυλείας και πλαίσια (Σχήμα 1)



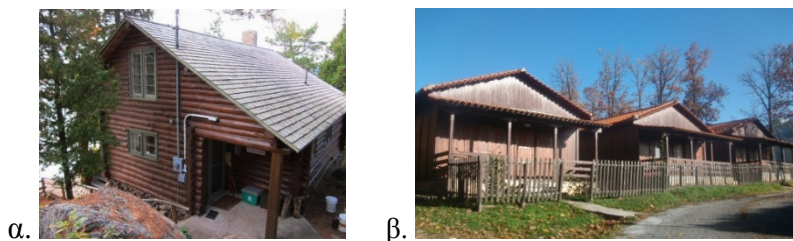
**Σχήμα 1.** α. Πλαίσια τοιχωμάτων και τομές ενισχυμένης β1. και απλής β2. διατομής  
 Πηγή :Δούκας Κ. (2004)

Η νέα μέθοδος της ελαφριάς ξύλινης κατασκευής απαιτεί την αύξηση του μονωτικού υλικού. Οι τοίχοι στα σύγχρονα ξύλινα σπίτια κατασκευάζονται από δύο στρώσεις ξύλινων πλαισίων (συνήθως συμπαγής ξυλεία ραμποτέ) και ενδιάμεσα μονωτικό υλικό με πάχος μεγαλύτερο των 5cm, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1β1.

Η απαίτηση για θερμομόνωση ισχύει και για τη στέγη αλλά και τα δάπεδα. Εάν η σοφίτα δεν προορίζεται για χρήση μπορεί να τοποθετηθεί η μόνωση στο δάπεδο και όχι στη στέγη. Η βελτίωση των παραγόμενων οικημάτων με τροποποίηση των πλαισίων τοιχωμάτων, έτσι ώστε να αυξηθεί η θερμομόνωση και η αντοχή τους είναι απαραίτητη για την καλύτερη ενεργειακή τους επίδοση και ιδιαίτερα στις συνθήκες που διαμορφώνονται σε δασικό περιβάλλον. Προτείνεται αύξηση τόσο του πλάτους των πλαισίων από 1,00 μ. σε 1,50 - 2,5 μ. και του συνολικού πάχους του πλαισίου από 11 εκ. σε 17 - 18 εκ. Ο νέος τύπος πλαισίου σημαντικά βελτιωμένος έχει συνολικό πάχος 17-18 εκ. πολύ καλές συνθήκες θερμοηχομόνωσης και αυξημένη αντοχή, σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές. Το είδος ξύλου που



**Σχήμα 2.** α, β. Τυπικές διατομές τοίχου κορμόσπιτου και γ. γωνία συνδέσεως τοιχοποιίας



**Εικόνα 1** α. Φιλανδικό κορμόσπιτο και β. Τυπικό ελαφρού τύπου ξύλινα οικήματα στο Παν/κό δάσος Ταξιάρχη-Βραστάμων. Πηγή: β. *loghouseKallias.gr* (2015)

μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι ελάτη ή Πεύκη ελληνικής προέλευσης καλής σχετικής ποιότητας. Δοκιμαστική παραγωγή τέτοιων στοιχείων στη Βιομηχανία είχε επιτυχία.

Στο εξωτερικό είναι κοινή η μορφή κατασκευής των κορμόσπιτων στα οποία τα κατασκευαστικά στοιχεία είναι λεπτή στρόγγυλη ξυλεία ελάτης Πεύκης διαμέτρου 12-20 cm, ή οποία κυλινδρομορφώνεται σε κατάλληλο μηχάνημα και στη συνέχεια δημιουργείται ελλειψοειδής εσοχή με σβούρα.

## 4. Η ενεργειακή συμπεριφορά ξύλινων οικημάτων

### 4.1. Ενσωματωμένη ενέργεια και παραγόμενοι ρύποι

Συνήθως στις κατασκευές υπολογίζουμε την ενεργειακή συμπεριφορά των υλικών κατά την διάρκεια χρήσης τους, χωρίς να υπολογίζουμε την ενέργεια που δαπανήθηκε για την παραγωγή τους, αλλά και τις αντίστοιχες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Μια έμμεση ενεργειακή παράμετρος είναι η ενσωματωμένη ενέργεια του ξύλου. Η ενσωματωμένη ενέργεια του ξύλου αναφέρεται στη κατανάλωση ενέργειας ανηγμένη σε λίτρα πετρελαίου που απαιτείται για την παραγωγή της πρώτης ύλης, καθώς και τη μεταφορά, την επεξεργασία και κατασκευή.

Η χρησιμοποίηση ξύλου, αντί άλλων υλικών, όπως αλουμίνιο, σίδηρο κ.λπ. σημαίνει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, διότι η πριστή ξυλεία απαιτεί πολύ λιγότερη ποσότητα ενέργειας για να παραχθεί από ότι χρειάζονται τα άλλα υλικά. Παρόλα αυτά η ενσωματωμένη ενέργεια του ξύλου εξαρτάται από την απόσταση μεταφοράς του προς χρήση. Η ενεργειακή κατανάλωση οφείλεται κυρίως στη διαδικασία της ξήρανσης σε φούρνους (Forest Products Laboratory, 2010) ενώ οι ενεργειακές απαιτήσεις αυξάνονται για την περαιτέρω επεξεργασμένη δομική ξυλεία όπως για παράδειγμα η επικολλητή.

Οι λόγοι για τους οποίους μια ξύλινη κατασκευή από σκελετό δομικής ξυλείας εμπεριέχει μικρότερη ενσωματωμένη καθώς και λιγότερες εκπομπές άνθρακα είναι οι εξής:

**Πίνακας 1.** Ενσωματωμένη ενέργεια διαφόρων οικοδομικών υλικών  
 Οι τιμές ανά περιοχή μπορεί να διαφέρουν.  
 Πηγή: Canadian Architect (2015)

Υλικό	Ενσωματωμένη ενέργεια MJ/m <sup>3</sup>
Ξύλο (φυσικό)	1380
Ξυλεία δομική* κατεργασμένη	5720
Σκυρόδεμα (30Mpa)	3180
Τούβλο	5170
Γυαλί	37550
Χάλυβας	251200
Αλουμίνιο	515700
PVC	93620

1. Αρκετά εργοστάσια παραγωγής δομικής ξυλείας χρησιμοποιούν ως καύσιμο για τους φούρνους ξήρανσης τα παραπροϊόντα της ξυλείας από την κάρπωση αλλά και το πριστήριο (Forest Products Laboratory, 2010)
2. Η δομική ξυλεία αποτελεί το μικρότερο μέρος του συνόλου της κατασκευής ενώ οι επικαλύψεις (π.χ. τοιχοποιίας) είναι συνήθως μη δομική ξυλεία.
3. Η ξυλεία αποτελεί αποθήκη άνθρακα καθ' όλη την διάρκεια ζωής της.
4. Τα απαιτούμενα κυβικά δομικής ξυλείας για το ίδιο μέγεθος κατασκευής είναι σαφώς λιγότερα σε σχέση με υλικά όπως π.χ. το σκυρόδεμα ενώ για τον χάλυβα η διαφορά στην ενσωματωμένη ενέργεια είναι πολύ μεγάλη.
5. Η ξυλεία μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί μετά την κατεδάφιση με πολύ μικρή δαπάνη ενέργειας.

Σύμφωνα με το Forest Products Laboratory (2010) οι παραγόμενες εκπομπές άνθρακα κατά την παραγωγή ενός τόνου ξυλείας είναι οι μικρότερες από όλα τα υπόλοιπα δομικά υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται στις κατασκευές

**Πίνακας 2.** Εκπομπές άνθρακα κατά την παραγωγή ενός τόνου οικοδομικών υλικών

\* Οι τιμές περιλαμβάνουν τον συνολικό κύκλο ζωής.

Υλικό	Καθαρή ποσότητα εκπομπών άνθρακα (kg C/t)*
Δομική ξυλεία	33
Τούβλο	88
Σκυρόδεμα	265
Χάλυβας	694
Γυαλί	154



## 4.2. Θερμοφυσικές ιδιότητες ξυλείας

Το ξύλο περιέχει κενά (κυτταρικές κοιλότητες, κοιλότητες βοθρίων, πόροι κ.λπ.) και ανομοιόμορφη δομή και ως επακόλουθο λειτουργεί ως θερμομονωτικό υλικό (Βουλγαρίδης Η, 2008). Ο κανονισμός (Κ.Εν.Α.Κ.) μέσω των αντίστοιχων Τεχνικών οδηγιών του ΤΕΕ (ΤΟΤΕΕ 20701-2, 2010) θέτει την θερμοπερατότητα ενός υλικού ή δομικού στοιχείου που αποτελείται από διαφορετικές στρώσεις υλικών ως τη βασική παράμετρο υπολογισμού που αφορά τις θερμικές απώλειες των κτιρίων. Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-2 (2010) οι θερμικές απώλειες προσδιορίζονται μέσω της θερμικής αντίστασης (R) που προβάλλει μία ομοιογενής στρώση ενός δομικού στοιχείου στη ροή θερμότητας:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W} \quad (1)$$

όπου: R (m<sup>2</sup>·K/W) η αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας μια ομοιογενής στρώση δομικού υλικού,  
d (m) το πάχος της στρώσης,  
λ (W/m·K) ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού της στρώσης

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου είναι το αντίστροφο της θερμικής αντίστασης (Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-2, 2010).

$$U = \frac{1}{R} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}), \quad (2)$$

όπου: U (W/(m<sup>2</sup>·K)) Ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,  
R (m<sup>2</sup>·K/W) η αντίσταση που προβάλλει στη ροή θερμότητας μια ομοιογενής στρώση δομικού υλικού

Οι απαιτήσεις του κανονισμού ικανοποιούνται όταν η μέση τιμή θερμοπερατότητας του εξεταζόμενου κτιρίου (U<sub>m</sub>) δεν υπερβαίνει τα όρια που θέτει ο κανονισμός για κάθε κτίριο (U<sub>m, max</sub>), εντασσομένου σε μια από τις κλιματικές ζώνες του ελλαδικού χώρου.

Παρατηρούμε την πολύ μικρότερη τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας της ξυλείας που οδηγεί και σε πολύ μεγαλύτερη τιμή συντελεστή θερμικής αντίστασης για το ίδιο πάχος υλικού σε σχέση με τα υπόλοιπα υλικά, όπως άλλωστε συμβαίνει και με τα θερμομονωτικά υλικά. Στον Πίνακα 4 υπολογίζεται ο συντελεστής θερμικής αντίστασης τυπικής διατομής ξύλινης τοιχοποιίας.

Αντίστοιχα ο συντελεστής θερμοπερατότητας είναι:

$$U_{\text{τοιχοποιίας}} = \frac{1}{R} \quad 0,34 \quad (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}) \quad (2)$$

**Πίνακας 3.** Τιμές συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ) και ειδικής θερμοχωρητικότητας δομικών υλικών.

Πρότυπο	Δομικό υλικό	Φαινόμενο ειδικό βάρος $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας $\lambda$ (W/(m·K))
TOTEE 20701-2 (2010)	Οπλισμένο σκυρόδεμα	2400	2,50
	Οπτοπλινθοδομή με διάτρητους οπτόπλινθους	1500	0,52
	Χάλυβας	7800	50,00
	Κωνοφόρα (Πεύκο, Έλατο)	600	0,14
TC 163 ISO 10456: (2007)	Ξυλεία (Μέσος όρος)	500	0,13
TOTEE 20701-2 (2010)	Πετροβάμβακας μη μορφοποιημένος	50	0,035-0,041
	Φύλλα και πλάκες από Φελλό	100-150	0,042-0,046
	Διογκωμένη πολυστερίνη σε πλάκες	12-30	0,035-0,040
	Υαλοβάμβακας	15-50	0,035-0,041

**Πίνακας 4.** Υπολογισμός Συντελεστή θερμικής αντίστασης ξύλινης τοιχοποιίας TOTEE 20701-2 (2010)

Υλικά τοιχοποιίας	Πάχος d (m)	Συντ. Θερμικής αγωγιμότητας $\lambda$ (W/mK)	Συντ. Θερμικής αντίστασης $R=d/\lambda$ (m <sup>2</sup> k/W)
Αντίσταση αέρα εσωτερικού χώρου ( $R_i$ )			0,13
Εσωτερικό σανίδωμα ραμποτέ	0,02	0,14	0,143
Θερμομόνωση υαλοβάμβακα	0,10	0,04	2,5
Εξωτερικό σανίδωμα ραμποτέ	0,02	0,14	0,143
Αντίσταση αέρα δομικού στοιχείου ( $R_a$ )			0,06
Σύνολο	0,14	Σύνολο (R) =	2,976

Είναι προφανές πως η αύξηση της θερμομόνωσης οδηγεί σε αύξηση του συντελεστή θερμικής αντίστασης της τοιχοποιίας και έτσι αποτελεί το βασικό μέτρο που συνήθως παίρνουμε για την βελτίωση της ενεργειακής επίδοσης της κατασκευής. Η επόμενη παράμετρος που επηρεάζει την απώλεια θερμότητας σε μια κατασκευή είναι η ύπαρξη θερμογεφυρών είτε λόγω ασυνέχειας της στρώσης θερμομόνωσης,

είτε λόγω διαφοροποίησης του υλικού κατά μήκος του δομικού στοιχείου, είτε λόγω αλλαγής της γεωμετρίας της διατομής. Από μελέτες έχει αποδειχθεί ότι οι θερμογέφυρες προσαυξάνουν κατά μέσο όρο την πραγματική ενεργειακή κατανάλωση του συνολικού κελύφους του κτιρίου συγκριτικά με τη θεωρητικά υπολογιζόμενη σε ποσοστό που κυμαίνεται μεταξύ 5% και 30% για κάθετα δομικά στοιχεία ΤΟΤΕΕ 20701-2 (2010).

Στις ξύλινες κατασκευές δεν υπάρχουν οι περιορισμοί που αναγκαστικά προκύπτουν στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, λόγω του καλουπώματος και της σκυροδέτησης όπου συνήθως υπάρχουν ασυνέχειες στη θερμομόνωση μεταξύ αλλαγών στη γεωμετρία και μεταξύ τοιχοποιίας και δομικών στοιχείων ως τις συνηθέστερες περιπτώσεις.

Τα κορμόσπιτα (Σχήμα 2) που σε βόρειες χώρες αποτελούν συχνά τις εκεί τυπικές ξύλινες κατασκευές παρουσιάζουν επίσης καλή ενεργειακή επίδοση. Αυτό οφείλεται στη μεγάλη θερμική αντίσταση της ξυλείας ικανού πάχους, ώστε το ίδιο το ξύλο να λειτουργεί και ως θερμομονωτικό υλικό. Σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1 (2010) οι μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για την εξωτερική τοιχοποιία  $U_{w}$  κυμαίνεται μεταξύ 0,6 (ζώνη Α) και 0,40 (ζώνη Δ). Μπορεί εκ πρώτης όψεως να φαίνεται πως τα κορμόσπιτα υστερούν σε σχέση με τα ξύλινα ελαφρού τύπου, όμως σύμφωνα με το NAHB Log Homes Council των ΗΠΑ ο βαθμός θερμικής προστασίας που παρέχουν τα τυπικά κορμόσπιτα στις ΗΠΑ χωρίς θερμομόνωση (Πίνακας 5) εμφανίζουν τιμές θερμικής αντίστασης και θερμοπερατότητας που είναι αποδεκτές για τη κλιματική ζώνη Γ και σε μια περίπτωση στη Δ.

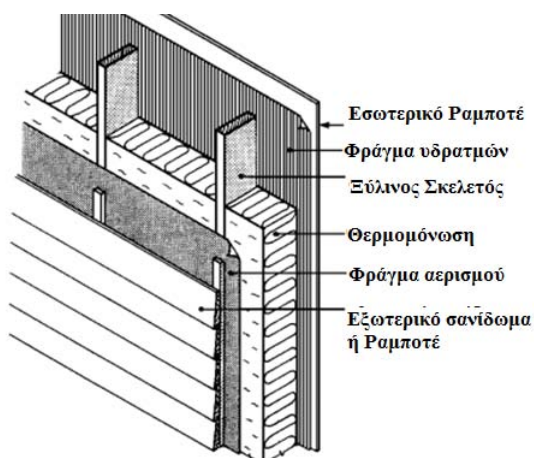
**Πίνακας 5.** Αντιπροσωπευτικά επίπεδα θερμικής προστασίας τυπικών κορμόσπιτων ανά κλιματική ζώνη στις ΗΠΑ. HDD: Βαθμοημέρες θέρμανσης

Τμήμα κελύφους	Ψυχρό-εύκρατο κλίμα > 3500 HDD	Εύκρατο κλίμα < 3500 HDD	Θερμό και υγρό κλίμα
Κορμόσπιτο (με διακύμανση πάχους cm)	20 - 17,5	15 - 10	15 - 10
Συντελεστής θερμικής αντίστασης (R, m <sup>2</sup> ·K/W)	2,64 - 2,29	2,29 - 1,94	2,29

Παρατηρούμε πως το πάχος 17,5 cm της συμπαγούς τοιχοποιίας προσφέρει μια αντιστοιχία στην τιμή θερμικής αντίστασης  $R = 2,29$  (m<sup>2</sup>·K)/W και αντίστοιχα τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας  $U = 0,44$  W/(m<sup>2</sup>K) που είναι αποδεκτή για τη κλιματική ζώνη Γ σύμφωνα με την ΤΟΤΕΕ 20701-1 (2010). Αυτό οφείλεται και στο γεγονός της αυξημένης θερμικής μάζας των κορμόσπιτων έναντι των ξύλινων κατασκευών ελαφρού τύπου. Τα κορμόσπιτα υστερούν στο βαθμό που επηρεάζονται από την θερμοκρασία και την υγρασία ιδίως σε περιπτώσεις χαμηλών τιμών σχετικής υγρασίας (30-25%), όπου συρρικνώνονται και δημιουργούνται ρωγμές οι οποίες ουσιαστικά προκαλούν ανεπιθύμητο αερισμό.

#### 4.2.1. Εξασφάλιση αποτροπής ανεπιθύμητου αερισμού

Η ακούσια ή εκούσια είσοδος και έξοδος αέρα συμβαίνει ακόμα και στα πιο αεροστεγή κτίρια. Οι τιμές για τις απαιτούμενες εναλλαγές αέρα (N) του εσωτερικού χώρου ανά ώρα ( $h^{-1}$ ) δίνονται στον πίνακα 8 του TOTEE 20701-2 (2010). Παρόλο που η θερμομόνωση θεωρείται η πιο αποδοτική μέθοδος εξοικονόμησης ενέργειας απαιτεί ταυτόχρονα την τοποθέτηση φράγμα αερισμού στην εξωτερική πλευρά της τοιχοποιίας και την τοποθέτηση φράγματος υδρατμών στην εσωτερική πλευρά για τη προστασία από την υγρασία (Σχήμα 3). Πολλές φορές η αεροστεγανότητα εξασφαλίζεται με απλές εφαρμογές όπως το σφράγισμα ρωγμών, οπών, σημείων συνδέσεων υλικών και των κουφωμάτων, που στην πραγματικότητα δεν έχουν μεγάλο κόστος (APA, 2003). Η αεροστεγανότητα, σε συνδυασμό με τη κατάλληλη θερμομόνωση, μπορεί να μειώσει το ενεργειακό κόστος θέρμανσης-ψύξης μέχρι και 30%. Η πολύ υψηλή αεροστεγανότητα σε ξύλινες κατασκευές οδηγεί στην απαίτηση εγκατάστασης μηχανικού συστήματος λόγω της υγροσκοπικότητας του ξύλου.



**Σχήμα 3.** Τομή ξύλινης τοιχοποιίας με εξασφάλιση αεροστεγανότητας και προστασία από υδρατμούς

Πηγή: University of Alaska Fairbanks (2000)

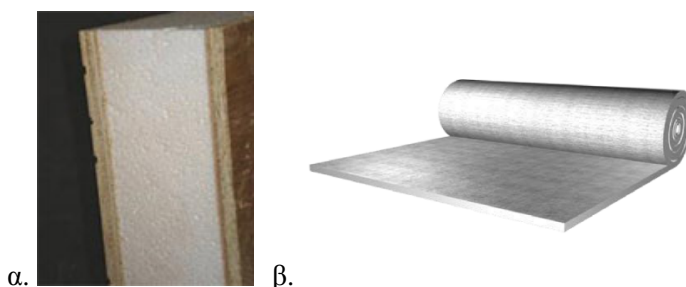
### 4.3. Μέθοδοι υψηλής ενεργειακής επίδοσης

Πέραν των βασικών μεθόδων της αύξησης του πάχους θερμομόνωσης και της εξάλειψης, στο μέτρο του δυνατού, των θερμογεφυρών και του ανεπιθύμητου αερισμού στις ξύλινες οικίες ελαφρού τύπου, έχουν αναπτυχθεί τεχνικές νέας τεχνολογίας που αυξάνουν σε μεγάλο βαθμό την ενεργειακή επίδοση αυτών των κατασκευών.

#### 4.3.1. Δομικά πλαίσια με ενσωματωμένη θερμομόνωση (SIPs)

Μια μέθοδος κατασκευής ξύλινης οικιών είναι τα προκατασκευασμένα δομικά

θερμομονωτικά πάνελ (Structural insulated panels (SIPs). Αυτά αποτελούνται από ξύλινα πάνελ (πλαίσια) από Μοριόπλακες (πεπιεσμένα συγκολλημένα τεμαχίδια ξυλείας) ή αντικολλητής ξυλείας (πεπιεσμένα συγκολλημένα ξυλόφυλλα (OSB)) που στο ενδιάμεσό τους τοποθετείται αφρώδες θερμομονωτικό υλικό σε άκαμπτη μορφή, συνήθως από εξηλασμένη πολυστερίνη (EPS) είτε διογκωμένη πολυστερίνη (XPS) ή αφρό πολουρεθάνης. Τα SIPs λειτουργούν ως ένα σώμα και διαθέτουν εκτός από αυξημένη θερμική αντίσταση και μεγαλύτερη αντοχή σε στατικά και δυναμικά φορτία αφού προσομοιάζουν σε δοκό τύπου I. Το πάχος των SIPs κυμαίνεται μεταξύ 12 και 30 cm με εξασφάλιση συντελεστή θερμικής αντίστασης 0,65-1,1 m<sup>2</sup>·K/W ανά 2,54 cm πάχους ανάλογα με το είδος του θερμομονωτικού αφρού με τις μεγαλύτερες τιμές όταν χρησιμοποιείται αφρός πολουρεθάνης (APA, 2008). Διαπιστώνουμε πως για τοιχοποιία πάχους 14cm ίσου με αυτή της ελαφριάς ξύλινης κατασκευής του Πίνακα 4 ο συντελεστής θερμικής αντίστασης είναι τουλάχιστον 3,59 m<sup>2</sup>·K/W εάν χρησιμοποιηθεί αφρός εξηλασμένης πολυστερίνης ενώ στην περίπτωση του αφρού πολουρεθάνης (PYR) φτάνει τα 3,96 m<sup>2</sup>·K/W



**Εικόνα** Τομή τοιχοποιίας α. SIPs από OSB και αφρό EPS και β. το θερμομονωτικό Thermal 3HT

**Πίνακας 6.** Σύγκριση θερμικής επίδοσης διαφορετικών ξύλινων τοιχοποιιών

Είδος ξύλινης τοιχοποιίας	Ξύλινη τοιχοποιία με σκελετό ελαφρού τύπου	Τοιχοποιία SIPs με αφρό εξηλασμένης πολυστερίνης (EPS)	Τοιχοποιία SIPs με αφρό πολουρεθάνης (PYR)
Πάχος cm	14	14	14
Συντελεστής θερμικής αντίστασης R (m <sup>2</sup> ·K/W)	2,976	3,59	6,06
Συντελεστής θερμοπερατότητας U W/m <sup>2</sup> K	0,33	0,28	0,17

Τα ξύλινα πλαίσια δεν αποκλείεται να αποτελούνται από συμπαγή ξυλεία με την προϋπόθεση μικρών κατασκευών χωρίς μεγάλα φορτία. Η μέθοδος εφαρμόζεται τόσο για τοιχοποιίες όσο και για δάπεδα και οροφές.

Τα SIPs προσφέρουν πολύ υψηλή αεροστεγανότητα σε σχέση με τη ξύλινη κατασκευή ελαφρού τύπου. Αποτελέσματα δοκιμών αεροστεγανότητας (blower door test) σε δωμάτιο με τοιχοποιία και οροφή από SIPs, με ένα παράθυρο και μια πόρτα, σε σχέση με το ίδιο δωμάτιο, από ελαφριά ξύλινη κατασκευή με θερμομόνωση υαλοβάμβακα έδειξε ότι το δωμάτιο από SIPs είχε 90% λιγότερη διαρροή αερισμού (Simon K et al., 2013). Το πρόβλημα με τα SIPs είναι ότι σε περίπτωση εισροής αέρα και υγρασίας από κάποιο σημείο σύνδεσης τότε τα ξύλινα πλαίσια σαπίζουν με πολύ γρήγορο ρυθμό διότι είναι ιδιαίτερα αεροστεγανά και έτσι παγιδεύουν την υγρασία. Με λίγα λόγια απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την τοποθέτησή τους. Τα SIPs που τοποθετούνται στις ΗΠΑ δεν περιέχουν πλέον φορμαλδεΐδη, αλλά ούτε και χλωροφθοράνθρακες καθιστώντας τα πλέον ακίνδυνα για το περιβάλλον.

#### 4.3.2. Το θερμομονωτικό *Thermal 3Ht*

Το "Thermal 3Ht" (2015) αποτελείται από Διογκωμένη πολυστερίνη (EPS) επικολλημένη σε μεταλλικές ανακλαστικές επιφάνειες πολυπροπυλενίου. Έχει την μορφή εύκαμπτου ρολού ή φύλλων τα οποία κόβονται σε επιθυμητές διαστάσεις και τοποθετούνται εύκολα στον ξύλινο σκελετό της τοιχοποιίας. Είναι ένα σύνθετο θερμομονωτικό προϊόν που επιτελεί ταυτόχρονα τρεις διαφορετικές λειτουργίες:

1. Θερμομονωτικό
2. Φράγμα υδρατμών
3. Φράγμα θερμική ακτινοβολίας

Το υλικό Mylar λειτουργεί ως φράγμα θερμικής ακτινοβολίας και πρωτοχρησιμοποιήθηκε από τη NASA. Το "Thermal 3Ht" διαθέτει ενεργειακή πιστοποίηση Energy Star των ΗΠΑ. Οι συμβατικές τιμές του συντελεστή θερμικής αντίστασης "R" που αποδίδονται σε δομικά υλικά προέρχονται από εργαστηριακές μετρήσεις που συνήθως απέχουν αρκετά από τις πραγματικές κλιματικές συνθήκες διότι δεν λαμβάνουν υπόψη την επίδραση παραμέτρων όπως θερμοκρασίες υπό του μηδενός, άνεμοι, θερμική ακτινοβολία. Ως αποτέλεσμα η συμβατική (θεωρητική) τιμή δεν αντιπροσωπεύει την πραγματική. Ύστερα από δοκιμή σε πραγματικές συνθήκες ξύλινης τοιχοποιίας ελαφρού τύπου με θερμομόνωση από υαλοβάμβακα και τοιχοποιίας ελαφρού τύπου με θερμομόνωση από "Thermal 3Ht" βάσει του προτύπου ASTM 1363-05 (American Society for Testing and Materials) διαπιστώθηκε πως το "Thermal 3Ht" εμφανίζει μεγαλύτερη πραγματική θερμική αντίσταση σε σχέση με τη θεωρητική σε αντίθεση με την συμβατική κατασκευή.

Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα στις ελαφρού τύπου ξύλινες κατασκευές αφού δεν αλλάζει τον τρόπο δόμησης και απλά συμπληρώνει την υφιστάμενη θερμομόνωση ή την αντικαθιστά.

**Πίνακας 7.** Αποτελέσματα υπολογισμού πραγματικού συντελεστή θερμικής αντίστασης (R) ξύλινων τοιχοποιιών σε πραγματικές συνθήκες ανάλογα με τη θερμομόνωση  
 Συνθήκες δοκιμών: Εσωτερική θερμοκρασία 21°C και εξωτερική -18°C

Είδος θερμομόνωσης	Τύπος τοιχοποιίας	Θεωρητική τιμή (R)	Πραγματική τιμή (R)	Μεταβολή από τη θεωρητική τιμή (R)
Υαλοβάμβακας 10,16 cm (4 ίντσες)	(2X4) σκελετός με ορθοστάτες ανά 40 cm	1,94	1,69	-13%
Υαλοβάμβακας 15,24 cm (6 ίντσες)	(2X6) σκελετός με ορθοστάτες ανά 60 cm	3,34	2,41	-28%
Thermal 3Ht 2,54 cm (1 ίντσα)	(2X4) σκελετός με ορθοστάτες ανά 40 cm	0,68	1,46	+115%
Thermal 3Ht 2,54 cm (1 ίντσα)	(2X4) σκελετός με ορθοστάτες ανά 40 cm με κενό αέρα 2 cm	0,68	1,86	+175%

Πηγή: US Department of Energy and ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers)

## 5. Συμπεράσματα

Το ξύλο ως δομικό υλικό πληροί τις απαιτήσεις στατικής επάρκειας σε κατασκευές κατοικιών με καλύτερες αναλογίες αντοχής/βάρους σε σχέση με άλλα συνήθη δομικά υλικά. Όσο αφορά τις ενεργειακές απαιτήσεις των σύγχρονων κανονισμών η ξυλεία διαθέτει μικρή ενσωματωμένη ενέργεια όταν παράγεται από πιστοποιημένα αειφορικά διαχειριζόμενα δάση και έχει τις μικρότερες εκπομπές άνθρακα κατά την παραγωγή της ως δομικό προϊόν σε σχέση με τα υπόλοιπα συνήθη δομικά υλικά. Η ξυλεία ως φυσικό υλικό περιέχει κενά (κυτταρικές κοιλότητες, κοιλότητες βοθρίων, πόροι κτλ) και ανομοιομορφη δομή οπότε λειτουργεί εν μέρει ως θερμομονωτικό με μέσο όρο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ) ίσο με 0,14. Οι συνήθεις ξύλινες κατασκευές με σκελετό ελαφρού τύπου και θερμομόνωση πάχους 10cm ανάμεσα στον σκελετό προσφέρουν τιμή θερμικής αντίστασης (R) = 2,976 m<sup>2</sup>·K/W και συντελεστή θερμοπερατότητας 0,33 W/m<sup>2</sup>K που πληροί τις προδιαγραφές του Κ.εν.Α.Κ. για τη κλιματική ζώνη Δ, ενώ όσο αφορά τα κορμόσπιτα πάχους 17,5 cm από συμπαγή τοιχοποιία χωρίς θερμομόνωση προσφέρουν τιμή (R) = 2,29 m<sup>2</sup>·K/W και τιμή συντελεστή θερμοπερατότητας U = 0,44 W/m<sup>2</sup>K που είναι αποδεκτή για τη κλιματική ζώνη Γ. Οι νέες τεχνικές δόμησης όπως τα δομικά πλαίσια ξυλείας με ενσωματωμένη θερμομόνωση (SIPs) εξασφαλίζουν τι-

μές συντελεστή θερμικής αντίστασης μεταξύ 0,65-1,1 m<sup>2</sup>·K/W ανά 2,54 cm πάχους ανάλογα με το είδος του θερμομονωτικού αφρού και υψηλή αεροστεγανότητα, αυξάνοντας κατακόρυφα την ενεργειακή επίδοση. Τέλος η εφαρμογή της καινοτόμου θερμομόνωσης "Thermal 3Ht" εξασφαλίζει αυξημένη πραγματική επίδοση θερμικής αντίστασης σε πραγματικές συνθήκες που ξεπερνά το 115% της θεωρητικής τιμής του κατασκευαστή σε σχέση με τα υπόλοιπα θερμομονωτικά υλικά με μεγάλη ευκολία εφαρμογής. Η ξυλεία ως φυσικό υλικό είναι υγροσκοπικό και ανισότροπο οπότε απαιτεί πιο επισταμένη συντήρηση και προστασία από την υγρασία και τους μικροοργανισμούς.

## Ευχαριστίες

- Η έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και Ελληνική εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) - Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Θαλής. Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.
- Ευχαριστούμε την φοιτήτρια Οικονόμου Εύη για την συμβολή της.

## Βιβλιογραφία

- Αβδελάς Β. Α. 2011. Ξύλινες Κατασκευές και Σεισμοί - Οι Συνδέσεις. Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Α.Π.Θ.  
<http://users.auth.gr/~avdelas/DIATMHMATIKO/E01-TIMBER/TIMBER4.pdf>
- Βουλγαρίδης Β. Ηλ. 2008. Ευρωπαϊκά και τροπικά ξύλα με εμπορική σημασία: Δομή, Ιδιότητες και Χρήσεις. Πανεπιστημιακές σημειώσεις. Τμήμα Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος. Α.Π.Θ.  
[users.auth.gr/evoulga/BOYΛΓAPIDHΣ - EYΡΩΠAIKΑ KAI TPONIKΑ ΞYΛA 2007.pdf](http://users.auth.gr/evoulga/BOYΛΓAPIDHΣ - EYΡΩΠAIKΑ KAI TPONIKΑ ΞYΛA 2007.pdf). (Απρίλιος 2015)
- Δούκας Γ. Κ-Α. 2004. Δασικές κατασκευές και φυσικό περιβάλλον. Εκδόσεις Γιαχούδη. 408 σ. ISBN 960-7425-78-2.
- Κοντέας Ζ. 2007. Το ξύλο ως δομικό υλικό σε σχέση με τη φωτιά: Φυσικές Ιδιότητες, Σχεδιασμός- Υπολογισμός.«Το ξύλο στη σύγχρονη κατασκευή» Δημερίδα 25-26 Μάιου, ΤΕΕ- Τμήμα Κέρκυρας.
- Μαντάνης Γ. 2003. Δομή και Ιδιότητες Ξύλου μέρος II. Ιδιότητες. ΥΠΕΠΘ, Ε.Π.Ε.Α.Ε.Κ. II. Τ.Ε.Ι. Λάρισα. [http://www.wfdt.teilar.gr/material/EDU\\_FILES/226\\_Didaktikes\\_simeivseis.pdf](http://www.wfdt.teilar.gr/material/EDU_FILES/226_Didaktikes_simeivseis.pdf). (Απρίλιος 2015)
- Μπαρμπούτης Ι. 2009α. "Πλιάτσικο" στο ελληνικό φυσικό περιβάλλον. 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο: Κλιματική αλλαγή Βιώσιμη ανάπτυξη και Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εκδόσεις Ζήτη. ISBN 978-960-456-179-7.  
<http://users.auth.gr/jbarb/Dimosieyseis/Barboutis-Perivalon-climate%20change.pdf>



- Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας 20701-2. (2010). Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων. Ανδρουτσόπουλος Α., Αραβαντινός Δ., Θεοδοσίου Θ., Λαμπροπούλου Ε. Λάσκος Κ., Τσικαλουδάκη Αικ. Υ.Π.Ε.Κ.Α. Ειδική Υπηρεσία Επιθεωρητών Ενέργειας. Ά έκδοση. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.
- APA - The Engineered Wood Association. 2008. Build Energy Efficient Walls. Form No. J440.2008/0200.  
<http://www.norbord.com/na/cms/wp-content/uploads/Build%20Energy%20Efficient%20Walls%20J440.pdf>
- Canadian Architect. 2015. Measures of Sustainability - Embodied Energy.  
[http://www.canadianarchitect.com/asf/perspectives\\_sustainability/measures\\_of\\_sustainability/measures\\_of\\_sustainability\\_embodied.htm](http://www.canadianarchitect.com/asf/perspectives_sustainability/measures_of_sustainability/measures_of_sustainability_embodied.htm) (Μάιος 2015)
- European Commission. (2013). Secure, clean and efficient energy. HORIZON 2020, WORK PROGRAMME 2014 - 2015. (European Commission Decision C (2013)8631 of 10.  
[http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014\\_2015/main/h2020-wp1415-energy\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/main/h2020-wp1415-energy_en.pdf). Σεπτέμβριος 2014.
- Eurostat. 2013. Agriculture, forestry and fishery statistics. eurostat pocketbooks. European Commission. ISSN 1977-2262.
- Forest Products Laboratory. 2010. Wood handbook—Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p.  
[http://www.woodweb.com/Resources/wood\\_eng\\_handbook/wood\\_handbook\\_fpl\\_2010.pdf](http://www.woodweb.com/Resources/wood_eng_handbook/wood_handbook_fpl_2010.pdf) (Απρίλιος 2015)
- Loghouse Kallias. 2015. Παλιά Κορμόσπιτα.  
<https://sites.google.com/site/loghousekallias/palaia-philandika> (Μάιος 2015)
- NAHB Log Houses Council. 2003. The Energy Performance of Log Homes. Documented Energy- efficiency and Thermal Mass Benefits. National Association of Home Builders.  
<http://www.loghomes.org/>
- PEFC - [Programme for the Endorsement of Forest Certification](#). 2015. Standards.  
<http://www.pefc.org/standards/overview> (Απρίλιος 2015)
- Simon K., Weinfeld M., Moore T., Robinson K., Weincek Ch. 2013. Structural Insulated Panels (SIPs). WBDG - National Institute of Building Services.  
[https://www.wbdg.org/resources/sips.php\\_08-05-2013](https://www.wbdg.org/resources/sips.php_08-05-2013).
- THERMAL 3Ht- Thermal Building Concepts. 2015. Thermal 3HT... Saving Energy, One Building at a Time.  
<http://www.thermalbuildingconcepts.com/technical/testing/testingWoodFrameBuildings.pdf>
- University of Alaska Fairbanks. 2000. Retrofit Insulation in Existing Wooden Walls. Alaska Building Research Series HCM-01554. Norwegian Building Research Institute (NBI), Byggforsh A523.311  
<http://www.buiditsolar.com/Projects/Conservation/RetrofitInsulationHCM-01554.pdf>