



Τ.Ε.Ι. Λάρισας  
Παράρτημα  
Καρδίτσας



Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# «ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙ- ΩΝ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ»



**ΣΙΑΤΙΤΣΑ ΘΕΟΔΩΡΑΣ**

Επιβλέπων

Δρ. Γεώργιος Μαντάνης  
Καθηγητής ΤΕΙ Λάρισας

ΚΑΡΔΙΤΣΑ – ΜΑΙΟΣ 2010

## Πρόλογος

Ο επιβλέπων καθηγητής της πτυχιακής μου εργασίας Δρ. Γεώργιος Μαντάνης, με παρότρυνε να μελετήσω επισταμένως και διεξοδικά το θέμα της θερμικής τροποποίησης του ξύλου, στην σκέψη ότι το κύριο θέμα της πτυχιακής είναι να καταγραφούν οι διάφορες τεχνολογίες θερμικής τροποποίησης ανά την Ευρώπη αλλά και να γίνει σύγκριση των διαφόρων ιδιοτήτων από είδη ξύλου θερμικά τροποποιημένα με είδη τα οποία δεν έχουν υποστεί καμία τροποποίηση. Επέλεξα να συντάξω έτσι την παρούσα πτυχιακή εργασία, με θέμα: *“Μελέτη των Υφιστάμενων Τεχνολογιών Θερμικής Τροποποίησης του Ξύλου στην Ευρώπη”*.

Το πρώτο μέρος περιλαμβάνει τα κεφάλαια 1, 2, 3 όπου παρουσιάζονται αναλυτικά οι τεχνολογίες θερμικής τροποποίησης, καθώς τα στάδια παραγωγής, ιδιότητες, χαρακτηριστικά και εφαρμογές, της τροποποιημένης ξυλείας.

Το δεύτερο μέρος περιλαμβάνει τα κεφάλαια 4 και 5 όπου γίνεται παρουσίαση των πειραμάτων (προσρόφησης, μέγιστης εφαπτομενικής διόγκωσης, μέγιστης αξονικής διόγκωσης, αξονικής διόγκωσης, αξονικής θλίψης και αντοχής σε κάμψη) που έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Ξύλου του ΤΕΙ Λάρισας – Παράρτημα Καρδίτσας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή του Τμήματος Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου & Επίπλου Δρ. Γεώργιο Μαντάνη, ο οποίος στάθηκε αρωγός στην προσπάθειά μου να πραγματοποιήσω το πειραματικό στάδιο της εργασίας, διδάσκοντας, επιβλέποντας και παρέχοντας μου πρόθυμα πολύτιμες γνώσεις, υπήρξε καταλύτης στη σύνταξη και στην σωστή υλοποίηση της εργασίας. Επίσης θέλω να ευχαριστήσω την κα. Αικατερίνη Ράμμου για το χρόνο που αφιέρωσε στο να με βοηθήσει στο πειραματικό στάδιο της παρούσας εργασίας.

Η σπουδάστρια  
**Σιατίτσα Θεοδώρα**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> Εισαγωγή</b> .....	5
1.1 Γενικά για τη θερμική τροποποίηση του ξύλου.....	5
1.2 Θερμική τροποποίηση του ξύλου - ιδέα παραγωγής.....	6
1.3 Εισαγωγή και χρήση θερμικά τροποποιημένου ξύλου στην Ελλάδα.....	7
<b>Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας</b> .....	9
2.1 Περιγραφή τεχνολογιών θερμικής τροποποίησης του ξύλου.....	9
2.2 Αναφορά τεχνολογιών .....	9
2.3 Καθορισμός της τροποποιημένης ξυλείας.....	10
<b>Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup> Περιγραφή τεχνολογιών</b> .....	12
3.1 ThermoWood.....	12
3.1.1 Περιγραφή τεχνολογίας.....	13
3.1.2 Ιδιότητες & χαρακτηριστικά.....	14
3.1.3 Εφαρμογές.....	18
3.2 PlatoWood.....	20
3.2.1 Περιγραφή τεχνολογίας.....	21
3.2.2 Ιδιότητες & χαρακτηριστικά.....	22
3.2.3 Εφαρμογές.....	24
3.3 Menz Holz.....	24
3.3.1 Περιγραφή τεχνολογίας.....	26
3.3.2 Ιδιότητες & χαρακτηριστικά.....	27
3.3.3 Εφαρμογές.....	28
3.4 Visor Wood.....	29
3.4.1 Περιγραφή τεχνολογίας.....	31
3.4.2 Ιδιότητες & χαρακτηριστικά.....	31
3.4.3 Εφαρμογές.....	33
3.5 WTT.....	33
3.5.1 Περιγραφή τεχνολογίας.....	33
3.5.2 Ιδιότητες & χαρακτηριστικά.....	34

3.5.3 Εφαρμογές.....	35
<b>Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup> Υλικά και μέθοδοι.....</b>	<b>37</b>
4.1 Υλικά .....	37
4.2 Μέθοδοι.....	40
<b>Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup> Αποτελέσματα και συμπεράσματα.....</b>	<b>42</b>
5.1 Προσρόφηση.....	42
5.2 Μέγιστη εφαπτομενική διόγκωση.....	44
5.3 Μέγιστη ακτινική διόγκωση.....	45
5.4 Αξονική διόγκωση.....	47
5.5 Αξονική θλίψη.....	49
5.6 Αντοχή σε κάμψη.....	52
5.7 Συμπεράσματα.....	54
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>55</b>
<b>Παράρτημα.....</b>	<b>60</b>

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Γενικά για τη θερμική τροποποίηση του ξύλου

Για πολλές δεκαετίες, οι βιομηχανίες επεξεργασίας ξύλου προσπάθησαν να αυξήσουν τη χρονική διάρκεια χρήσης του ξύλου σαν πρώτη υλη σε διάφορες κατασκευές. Παράλληλα θέλησαν να διερευνήσουν τρόπους για να αντιμετωπίσουν τα βασικά του μειονεκτήματα, όπως διαστασιακή σταθερότητα, σχετικά χαμηλή ανθεκτικότητα σε μικροοργανισμούς και μεταβλητότητα δομής (Kakaras and Philiprou 1996, Kakaras *et al.* 2002). Οι τρόποι αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως: ανακατανομή της μάζας του ξύλου και προστατευτικός εμποτισμός με κλασικές μεθόδους (Tsoumis 1992). Οι τρόποι αυτοί είναι περισσότερο ή λιγότερο τεχνικοί, αλλοιώνουν σε μεγάλο βαθμό το ξύλο και κυρίως βασίζονται στη χρήση τοξικών χημικών ουσιών, όπως το πισσέλαιο και τα υδατοδιαλυτά άλατα αρσενικού και χρωμίου. Βασικά μειονεκτήματα της χρήσης των παραπάνω ουσιών είναι τα ακόλουθα:

- ❖ Η αυξημένη τοξικότητα τους, γεγονός που οδήγησε πολλές Ευρωπαϊκές χώρες να απαγορεύσουν τη χρήση τους.
- ❖ Η περιορισμένη σταθερότητα και αντοχή τους στο χρόνο.
- ❖ Η δυσκολία ανακύκλωσης του εμποτισμένου ξύλου με αυτές τις ουσίες.

Η μεταβολή της δομής του ξύλου σε μοριακό επίπεδο μπορεί να επιφέρει πολύ καλύτερα αποτελέσματα στην αντιμετώπιση των παραπάνω βασικών μειονεκτημάτων του ξύλου. Το ξύλο δομείται από ένα μεγάλο αριθμό κυττάρων. Το κυτταρικό του τοίχωμα αποτελείται από ουσίες, όπως η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες και η λιγνίνη. Ένας μεγάλος αριθμός ιδιοτήτων του ξύλου προσδιορίζεται και εξαρτάται ταυτόχρονα από τη συμπεριφορά αυτών των ουσιών, όπως η υγροσκοπικότητα, η ρίκνωση - διόγκωση, οι προσβολές από μικροοργανισμούς και ο μεταχρωματισμός του ξύλου. Μεταβάλλοντας τη δομή του ξύλου σε μοριακό επίπεδο, μεταβάλλονται ταυτόχρονα και οι ιδιότητες του ξύλου. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για την επίτευξη αυτού του στόχου, οι οποίοι γενικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

**Χημική τροποποίηση** είναι η χημική διεργασία αντίδρασης των πολυμερών του ξύλου με ακίνδυνα χημικά αντιδραστήρια (οξικός ανυδρίτης, προπιονικός ανυδρίτης) κ.α. για την παραγωγή ξύλου με βελτιωμένες ιδιότητες. Στην εργασία αυτή δεν θα μελετηθεί αυτή η διεργασία.

**Θερμική τροποποίηση** ορίζουμε τη διεργασία κατά την οποία τροποποιούμε το ξύλο και παίρνουμε θερμικά τροποποιημένη ξυλεία με βελτιωμένες ιδιότητες κυρίως με τη χρήση θερμότητας. Παρακάτω θα αναλυθεί η θερμική τροποποίηση του ξύλου.

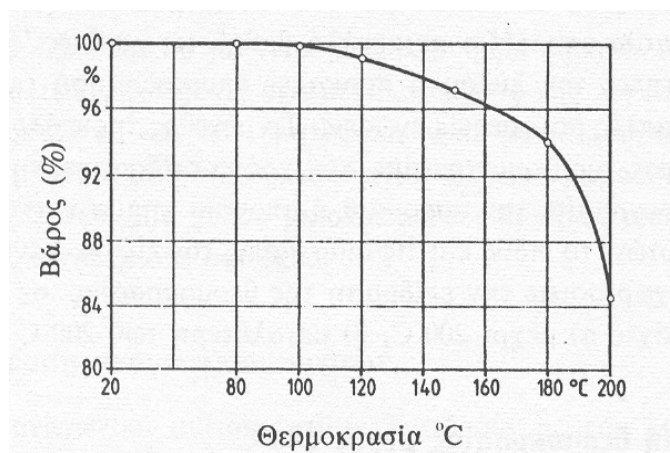
## 1.2 Θερμική τροποποίηση του ξύλου – ιδέα παραγωγής

Η θερμοκρασία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις χημικές, φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του ξύλου ή προκαλεί αποικοδόμηση των δομικών συστατικών του σε απλές μονομερείς ενώσεις. Το μέγεθος της επίδρασης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Οι σπουδαιότεροι από τους οποίους είναι το ύψος της θερμοκρασίας, ο χρόνος επίδρασης της, η υγρασία του ξύλου, η παρουσία καταλύτη, και τέλος το είδος και οι διαστάσεις του ξύλου (Fengel and Wegener 1983).

Το ξύλο στις διάφορες μορφές κατεργασίας και χρήσης του υπόκειται στην επίδραση θερμοκρασίας που δεν ξεπερνά τους 200°C. Η επίδρασή της αφορά κυρίως μείωση της υγρασκοπικότητας, της μηχανικής αντοχής και περιορισμένη αποικοδόμηση των συστατικών του (Φιλίππου 1986). Στις θερμοκρασίες αυτές διατηρείται η μακροσκοπική δομή του ξύλου. Θερμοκρασία μέχρι 100°C για παράδειγμα, μειώνει την ικανότητα προσρόφησης υγρασίας από το περιβάλλον αλλά η επίδραση δεν είναι μόνιμη, καθώς με μείωση της θερμοκρασίας το ξύλο αποκτά τις αρχικές του ιδιότητες. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 100°C, η επίδραση στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες είναι περισσότερο ή λιγότερο μόνιμη, ανάλογα με το ύψος και τη διάρκεια της θερμοκρασίας (Stamm 1964). Οι μόνιμες μεταβολές στις ιδιότητες του ξύλου είναι αποτέλεσμα χημικών αλλοιώσεων των πολυμερών συστατικών του (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη). Στην Εικόνα 1, φαίνεται ότι ξύλο ελάτης (*Abies alba*) σε μορφή πριονιδιού μετά από θέρμανση για 24 ώρες άρχισε να χάνει βάρος στους 100°C, η απώλεια βάρους στους 120°C ήταν 0,8%, ενώ στους 200°C έφτασε το 15%.

Η απώλεια βάρους είναι αποτέλεσμα αποικοδόμησης των πολυμερών συστατικών του ξύλου (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη), τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα μέχρι τους 100°C. Σε θερμοκρασίες μεταξύ 120-140°C, η κυτταρίνη και οι ημικυτταρίνες αρχίζουν να αποικοδομούνται, ενώ η λιγνίνη είναι περισσότερο ανθεκτική. Στη σταδιακή αποικοδόμηση – (κατακερματισμό) της κυτταρίνης και κυρίως των ημικυτταρινών είναι βασισμένη η ιδέα της θερμικής τροποποίησης του ξύλου, καθώς είναι γνωστό ότι τα συστατικά αυτά περιέχουν μεγάλες ποσότητες ελεύθερων υδροξυλίων (-OH) τα οποία είναι κυρίως υπεύθυνα για δυο βασικά μειονεκτήματα του ξύλου: περιορισμένη διαστασιακή σταθερότητα και σχετικά χαμηλή ανθεκτικότητα σε μικροοργανισμούς.

Ο σταδιακός κατακερματισμός των πολυμερών συστατικών του ξύλου με την αύξηση της θερμοκρασίας, έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλών μικρών νέων συστατικών. Αυτά παρουσιάζουν μια αυξημένη ενεργητικότητα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται νέα πολυμερή συστατικά μέσα στη μάζα του ξύλου, με διαφορετικές βελτιωμένες ιδιότητες (π.χ. απορρόφηση λιγότερης ποσότητας νερού).



*Εικόνα 1: Απώλεια βάρους του ξύλου ελάτης με την αύξηση της θερμοκρασίας.*

### 1.3 Εισαγωγή και χρήση του θερμικά τροποποιημένου ξύλου στην Ελλάδα

Η παραγωγή θερμικά τροποποιημένου ξύλου στην Ευρώπη συνεχώς αυξάνεται καθώς τα θερμικά τροποποιημένα προϊόντα ενδείκνυνται για πληθώρα εφαρμογών με κυριότερο χαρακτηριστικό ότι είναι οικολογικά υλικά, φιλικά προς τον άνθρωπο

και το περιβάλλον. Το θερμικά τροποποιημένο ξύλο χρησιμοποιείται στη χώρα μας περισσότερο σε πατώματα, κυρίως εξωτερικού χώρου, σε πισίνες (decking) και σε παραλίες, ορισμένες φορές με επιτυχία, δηλαδή έχει μεγάλη φυσική διάρκεια. Όμως δεν μπορούμε να μην αναφέρουμε και κάποια προβλήματα θραύσεως (σπασίματα) ειδικά όταν χρησιμοποιείται ξύλο ερυθρελάτης με πολλούς ρόζους (Κακαράς 2009, αδημοσίευτα στοιχεία).

Χρήση τροποποιημένης ξυλείας σε κουφώματα βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο (Σάλτας 2010, Μαντάνης 2010). Η εφαρμογή της είναι υπό δοκιμή, λόγω του ότι χρειάζονται 4-5 έτη για να κριθεί η καταλληλότητα της, η ανθεκτικότητά της και τα τυχόν σφάλματα που μπορεί να εμφανιστούν λόγω των ιδιαίτερων ελληνικών κλιματικών συνθηκών (ειδικά στα νησιά).

Το θερμικά τροποποιημένο ξύλο σε πείραμα που έγινε στο Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου του Τ.Ε.Ι. Λάρισας, Παράρτημα Καρδίτσας (Μαντάνης 2008, αδημοσίευτα στοιχεία) έδειξε προβλήματα πτώσης των ρόζων, κυρίως αποπίπτοντων, κατά την εργαστηριακή παραγωγή μικρής ξύλινης κατασκευής. Επίσης διαπιστώθηκαν προβλήματα κατά το πλάνισμα αυτής της ξυλείας (π.χ. ThermoWood) δηλαδή παραγωγή όχι αρκετά λείων επιφανειών.



## **2. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας**

### 2.1 Περιγραφή τεχνολογιών θερμικής τροποποίησης του ξύλου

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των μεθόδων παραγωγής του θερμικά τροποποιημένου ξύλου, είναι ότι ο χειρισμός του ξύλου πραγματοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες, που κυμαίνονται από 160°C μέχρι 260°C. Οι διαφορές του σχετίζονται με τους συντελεστές παραγωγής, όπως κατάσταση του ξύλου από άποψη υγρασίας (χλωρό, ξηρό), είδος πίεσης (ατμοσφαιρική, υδροθερμική), μέσο θέρμανσης (θερμός και υγρός αέρας, θερμός ατμός, έλαιο) και παρουσία ή απουσία οξυγόνου (EP/0018446 (1982), EP-0759137 (1995), US-5678324 (1997)). Οι κυριότερες μέθοδοι παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου, έχουν αναπτυχθεί σε διάφορες χώρες της Ευρώπης και έχουν κατοχυρωθεί διεθνώς με διπλώματα ευρεσιτεχνίας. Κάποιες από αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια.

### 2.2 Αναφορά τεχνολογιών

Διαφορετικές τεχνολογίες θερμικής τροποποίησης έχουν αναπτυχθεί στην Ευρώπη σήμερα. Αυτές είναι οι ακόλουθες:

**ThermoWood:** Η τεχνολογία ξεκίνησε από την Φινλανδία, βασίστηκε στη χρήση ατμού, χωρίς τη χρήση χημικών με αποτέλεσμα να δημιουργήσει βελτιωμένο ξύλο φιλικό προς το περιβάλλον.

**PlatoWood:** Η τεχνολογία αυτή εφαρμόστηκε στην Ολλανδία, βασίστηκε στη χρήση ατμού σε μικρότερες θερμοκρασίες (150-180°C), επηρεάζοντας λιγότερο τις μηχανικές του ιδιότητες.

**Oil Heat Treatment:** Ξεκίνησε στην Γερμανία, και αυτή βασίζεται στη χρήση καυτού ελαίου (λαδιού) και υψηλής θερμοκρασίας.

**Retification:** Η τεχνολογία αυτή αναπτύχθηκε στη Γαλλία, είναι κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, και βιομηχανοποιήθηκε το 1997. Είναι μια αναφορά στον το-

μέα της οικολογικής συντήρησης του ξύλου, χωρίς τη χρησιμοποίηση οποιουδήποτε χημικού, μόνο με τη θερμότητα, το ξύλο γίνεται πιο σταθερό, εξαιρετικά ανθεκτικό και 100% οικολογικό.

Οι διαφορές που μπορούμε να διακρίνουμε μεταξύ των τεχνολογιών από τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η θερμική τροποποίηση είναι:

- ❖ Παρουσία ή απουσία οξυγόνου στον υψηλής θερμοκρασίας κλίβανο.
- ❖ Χρήση ή μη από αέρια προϊόντα.
- ❖ Χρήση ατμού (υγρασία νερού) με αποτέλεσμα να συμβάλει στις δομικές μεταβολές του ξύλου.
- ❖ Κενό αέρα, ή προσρόφηση π.χ. ελαίου που γίνεται σε όλη τη μάζα του ξύλου.
- ❖ Χρήση ελαίων (φυτικά έλαια) με ίση μεταφορά θερμότητας στο ξύλο.

### 2.3 Καθορισμός της τροποποιημένης ξυλείας

Η ξυλεία που έχει υποστεί μια επεξεργασία κατά τη διάρκεια της οποίας το υλικό ξυλώδους ύλης (κυτταρικά τοιχώματα) έχει αλλάξει σε μοριακό επίπεδο, με τέτοιο τρόπο, ώστε οι ιδιότητες της ξυλείας να βελτιώνονται, όπως:

- ❖ Η διαστασιακή του σταθερότητα αυξάνεται
- ❖ Βελτίωση της διάρκειας της βιολογικής ζωής του
- ❖ Αύξηση της αντίστασης ενάντια στην προσβολή από μύκητες και έντομα
- ❖ Αλλαγή χρώματος σε πιο σκοτεινό
- ❖ Μειωμένη υγροσκοπικότητα
- ❖ Καλύτερες ακουστικές ιδιότητες
- ❖ Μικρότερη θερμική αγωγιμότητα
- ❖ Υψηλότερη ευθραυστότητα

Οι βελτιωμένες ιδιότητες της θερμικά τροποποιημένης ξυλείας εξαρτώνται από την τεχνολογία που εφαρμόζεται και βέβαια με την τελική εφαρμογή του παραγόμενου προϊόντος.

Οι μέθοδοι θερμικής τροποποίησης που έχουν σήμερα φτάσει σε βιομηχανικό (εμπορικό) επίπεδο και που θα αναλύσουμε στο επόμενο κεφάλαιο είναι οι εξής:

- ❖ ThermoWood – Φινλανδία
  
- ❖ PlatoWood – Ολλανδία
  
- ❖ Menz Holz – Γερμανία
  
- ❖ VisorWood – Νορβηγία
  
- ❖ WTT – Δανία

### 3. Περιγραφή τεχνολογιών

#### 3.1 ThermoWood®

Ερευνητικές προσπάθειες πολλών ετών στον τομέα της θερμικής τροποποίησης του ξύλου από το τεχνολογικό ερευνητικό κέντρο της Φινλανδίας VVT (Technical Research Centre of Finland) και τη βιομηχανία ξύλου της Φινλανδίας, είχαν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη της μεθόδου θερμικής τροποποίησης. Το θερμικά τροποποιημένο ξύλο παράγεται πλέον σε βιομηχανική κλίμακα με το εμπορικό όνομα ThermoWood. Πρόκειται για θερμικά επεξεργασμένη ξυλεία. Το ξύλο θερμαίνεται πάνω από τους 180 βαθμούς Κελσίου, μέσα σε προστατευμένο από ατμό περιβάλλον. Η θερμική αυτή επεξεργασία γίνεται χωρίς χημικά ή άλλες βλαβερές ουσίες για τον άνθρωπο και το περιβάλλον.

Ο ατμός εκτός από το να προστατεύει το ξύλο από τη μεγάλη θερμοκρασία, ενεργεί θετικά στις χημικές μεταβολές του ξύλου, που λαμβάνουν μέρος στην όλη διαδικασία. Ως αποτέλεσμα δημιουργείται το φιλικό προς το περιβάλλον ThermoWood· το οποίο είναι απολύτως οικολογικό προϊόν μιας και κατά την επεξεργασία του χρησιμοποιείται μόνο ατμός. Επίσης μέσα από αυτή την επεξεργασία επιτυγχάνεται σημαντική βελτίωση στη θερμική αγωγιμότητα του ξύλου. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, που εφαρμόζονται κατά την θερμική τροποποίηση, το ξύλο αποκτά ένα ομοιόμορφο καφέ χρώμα.

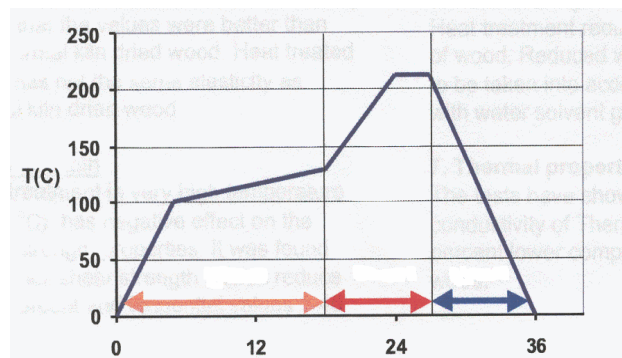


Εικόνα 2: ThermoWood για χρήση σε πατώματα..

Η θερμική κατεργασία και το όνομα αυτού είναι νομικά κατοχυρωμένα από τη *Thermowood Finnish Association*, και έχει κατοχυρωθεί διεθνώς ως δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Η άδεια χρήσης του διπλώματος ανήκει στον Φινλανδικό συνεταιρισμό θερμικά τροποποιημένου ξύλου (Finnish ThermoWood Association, 2002).

### 3.1.1 Περιγραφή τεχνολογίας

Η όλη διαδικασία παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου, η οποία παρουσιάζεται στην Εικόνα 3, μπορεί να ταξινομηθεί ως εξής (Militz 2002):



Εικόνα 3:

Διαδικασία παραγωγής ThermoWood

**Φάση 1<sup>η</sup>**, περιλαμβάνει 2 στάδια:

- ❖ Στάδιο θέρμανσης, όπου το ξύλο θερμαίνεται ραγδαία σε θερμοκρασία που δεν ξεπερνά τους 100°C. Η χρονική διάρκεια του σταδίου κυμαίνεται από 2 μέχρι 4 ώρες.
- ❖ Στάδιο ξήρανσης, όπου επιδιώκεται μείωση της υγρασίας του ξύλου σε ποσοστό 3-4%, η οποία μπορεί να φτάσει και το 0%. Η θερμοκρασία φτάνει και διατηρείται σταθερή στους 130°C. Η χρονική διάρκεια του σταδίου κυμαίνεται από 6 μέχρι 16 ώρες.

**Φάση 2<sup>η</sup>**, πραγματοποιείται η θερμική τροποποίηση του ξύλου.

- ❖ Στάδιο θερμικής τροποποίησης. Η θερμοκρασία ανεβαίνει στους 180°C- 220°C και ο αέρας στο θάλαμο χειρισμού αντικαθίσταται σταδιακά με ατμό για να αποφευχθεί πιθανή υπερθέρμανση του ξύλου. Όταν επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή για 2 με 3 ώρες. Η χρονική διάρκεια του σταδίου αυτού και του επόμενου κυμαίνεται από 6 μέχρι 10 ώρες.

**Φάση 3<sup>η</sup>**, περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- ❖ Στάδιο μερικού κλιματισμού, όπου η θερμοκρασία ελαττώνεται σταδιακά.
- ❖ Στάδιο σταθεροποίησης, όπου η απολεσθείσα υγρασία επιστρέφει στο ξύλο (ψεκασμός νερού) σε ποσοστό 4-8%, ανάλογα με την τελική επιθυμητή χρήση. Η χρονική διάρκεια του σταδίου κυμαίνεται από 6 μέχρι 10 ώρες.
- ❖ Στάδιο τελικού κλιματισμού. Η χρονική διάρκεια του σταδίου κυμαίνεται από 4 μέχρι 6 ώρες.

Η όλη διαδικασία θερμικής τροποποίησης έχει συνολική διάρκεια που κυμαίνεται από 24 μέχρι 48 ώρες. Η συνολική ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή ThermoWood® είναι περίπου 25% μεγαλύτερη από την ενέργεια που καταναλώνεται κατά την τεχνητή ξήρανση κανονικού ξύλου. Η μέθοδος είναι γενικά κατάλληλη για όλα τα είδη ξύλου, αλλά μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες κάθε είδους.

### 3.1.2 Ιδιότητες & χαρακτηριστικά

Η μεταβολή των μηχανικών, φυσικών και βιολογικών ιδιοτήτων του ξύλου εξαρτάται κυρίως από το δασοπονικό είδος που χρησιμοποιείται και από τους συντελεστές παραγωγής, σημαντικότεροι εκ των οποίων είναι το επίπεδο της θερμοκρασίας και η παρουσία οξυγόνου. Οι επιδράσεις στις ιδιότητες του ThermoWood® είναι οι ακόλουθες:

## Μηχανικές ιδιότητες

- ❖ Στατική κάμψη: Τροποποίηση σε θερμοκρασίες μικρότερες των 220°C δεν επηρεάζουν σημαντικά την αντοχή του ξύλου σε στατική κάμψη, με την προϋπόθεση ότι το ξύλο δεν περιέχει ρόζους (Militz 2002). Δεν συνιστάται όμως η χρήση του σε κατασκευές που θα δεχθούν ισχυρά φορτία.
- ❖ Θλίψη: Η αντοχή σε θλίψη εξαρτάται από την πυκνότητα. Γενικά, η αντοχή σε θλίψη δεν επηρεάζεται από τη θερμική τροποποίηση του ξύλου.
- ❖ Ικανότητα συγκράτησης καρφιού και ξυλόβιδας: Μεγαλύτερη επίδραση στην ικανότητα συγκράτησης καρφιού και ξυλόβιδας έχει η διακύμανση της πυκνότητας του ίδιου του ξύλου παρά η ίδια η διαδικασία θερμικής τροποποίησης.
- ❖ Επεξεργασία επιφανειών – φινίρισμα: Η εφαρμογή ελαιοδιαλυτών ουσιών γίνεται όπως στο κανονικό ξύλο. Σχετικά με τη χρήση υδατοδιαλυτών ουσιών, το ThermoWood® απορροφά υγρασία, και συνεπώς υδατοδιαλυτές ουσίες, με βραδύτερο ρυθμό.
- ❖ Συγκόλληση: Το ThermoWood® απορροφά υγρασία και κόλλες που περιέχουν νερό, όπως το οξικό πολυβινύλιο, με βραδύτερο ρυθμό. Απαιτείται συνεπώς η εφαρμογή πιο εκτεταμένου κύκλου πρεσαρίσματος. Τέτοιο πρόβλημα δεν υπάρχει, όταν χρησιμοποιούνται ρητίνες πολυουρεθάνης.

## Φυσικές ιδιότητες

Η θερμική τροποποίηση ελαττώνει σημαντικά την ισοδύναμη υγρασία ισοροπίας του ξύλου. Θερμικά τροποποιημένο ξύλο παρουσιάζει τιμές ισοδύναμης υγρασίας 40%-50% μικρότερες σε σχέση με το μη τροποποιημένο ξύλο (Tjeerdsma *et al.* 1998). Εξαιτίας της μειωμένης ισοδύναμης υγρασίας, το θερμικά τροποποιημένο ξύλο παρουσιάζει σημαντικά βελτιωμένη σταθερότητα κατά την ακτινική και εφαιπτομενική διάσταση του.

## Βιολογική ανθεκτικότητα

Η θερμική τροποποίηση βελτιώνει σημαντικά τη βιολογική ανθεκτικότητα του ξύλου, χωρίς όμως να ανταποκρίνεται στις ευρωπαϊκές προδιαγραφές *EN 113* και *ENV 807*. Προς το παρόν, δεν συνιστάται η χρήση του σε κατασκευές που έρχονται σε επαφή με το έδαφος. Η βιολογική ανθεκτικότητα μη ανθεκτικών δασοπονικών ειδών, π.χ. δασική πεύκη (*Pinus sylvestris*), ερυθρελάτη (*Picea abies*), οξιά (*Fagus sylvatica*) με κλάση ανθεκτικότητας 4 ή 5 βελτιώνεται σημαντικά (π.χ. κλάση ανθεκτικότητας 2-3). Η βελτίωση εξαρτάται κυρίως από το ύψος και τη διάρκεια εφαρμογής της θερμοκρασίας και είναι υψηλότερη όταν η ξυλεία εκτίθεται σε μύκητες καστανής σήψης παρά σε μύκητες λευκής και μαλακής σήψης (Leithoff and Peek 1998).

Η ανθεκτικότητα του ξύλου απέναντι σε προσβολή από έντομα, όπως το έντομο επίπλου *Annobium punctatum* και το παρκέντομο *Lyctus brunneus*, βελτιώνεται σημαντικά με τη θερμική τροποποίηση (Mayes and Oksanen 2002). Αντίθετα, δε βελτιώνεται σημαντικά η ανθεκτικότητα του ξύλου σε προσβολή από θαλάσσιους οργανισμούς (Rapp and Sailer 2000).

## Λοιπές ιδιότητες

Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, που εφαρμόζονται κατά τη θερμική τροποποίηση, το ξύλο αποκτά καφέ χρώμα. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο πιο σκούρο είναι το χρώμα που αποκτά το ξύλο (Kamdem *et al.* 1999, Kotilainen 2000). Μετά το πέρας της τροποποίησης, το ξύλο αποκτά μια χαρακτηριστική οσμή μυρωδιά «καραμέλας» κατά Kotilainen (2000).

Η θερμική αγωγιμότητα του θερμικά τροποποιημένου ξύλου είναι 20 – 25% μικρότερη σε σχέση με το μη τροποποιημένο (Jamsa and Viitaniemi 1998).

Η ανθεκτικότητα του θερμικά τροποποιημένου ξύλου στην υπεριώδη ακτινοβολία δε διαφέρει σημαντικά από αυτή του μη τροποποιημένου ξύλου στη υπεριώδη ακτινοβολία (Rapp *et al.* 2000).





*Εικόνα 4: Εξωτερική επένδυση τοίχου από ThermoWood .*

Επίσης το ξύλο ThermoWood παρουσιάζει και τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ❖ Εξαιτίας της επίδρασης υψηλών θερμοκρασιών, το ξύλο ThermoWood® έχει χρώμα ανοιχτό καφέ έως σκούρο καφέ, ενώ φέρει και μία χαρακτηριστική μυρωδιά «καραμέλας», ενώ ταυτόχρονα είναι ευχάριστο στην αφή.
- ❖ Λόγω της χρήσης υψηλών θερμοκρασιών, αποβάλλεται η ρητίνη του ξύλου, όταν είναι ξυλεία πεύκης.
- ❖ Επεξεργασμένο μόνο με ατμό και υψηλή θερμοκρασία που το καθιστά υγιεινό και οικολογικό προϊόν.
- ❖ Βελτίωση του ξύλου ως προς την ανθεκτικότητα σε αλλοιώσεις από μύκητες και άλλους μικροοργανισμούς.
- ❖ Η υψηλή θερμοκρασία μεταβάλλει όλη τη δομή του.
- ❖ Παρόλο που είναι επεξεργασμένο δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα στην κατεργασία του με μηχανήματα.
- ❖ Η αποικοδόμηση των δομικών συστατικών (π.χ. ημικυτταρινών) το καθιστά ελαφρύτερο.

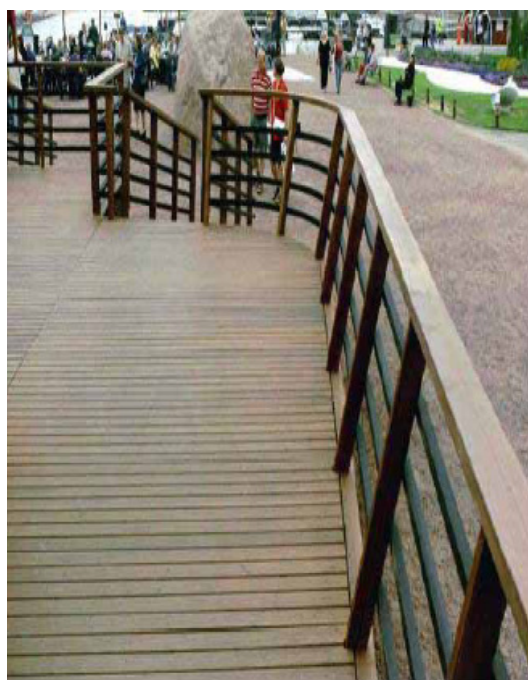
- ❖ Ένα μειονέκτημα της όλης τεχνολογίας είναι ότι δημιουργεί ευθραυστότητα στις ίνες του.

### 3.1.4 Εφαρμογές

Το θερμικά τροποποιημένο ξύλο ThermoWood®, που παράγουν τα μέλη του Finnish ThermoWood Association μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο κλάσεις οι οποίες ονομάζονται Thermo-S και Thermo-D.

Οι κλάσεις αυτές, μαζί με τις προτεινόμενες χρήσεις τους δίνονται στους Πίνακες 1 και 2, για κωνοφόρα και πλατύφυλλα είδη αντίστοιχα. Στα κωνοφόρα, η κλάση Thermo-S συνιστάται για εφαρμογές εσωτερικού χώρου, ενώ η κλάση Thermo-D για εφαρμογές εξωτερικού χώρου. Στα πλατύφυλλα, και οι δύο κλάσεις συνιστώνται κυρίως για εφαρμογές εσωτερικού χώρου, με τη διαφορά ότι το χρώμα του Thermo-D είναι σκοτεινότερο.

Ανάλογες είναι και οι χρήσεις θερμικά τροποποιημένου ξύλου που παράγεται με τις άλλες μεθόδους που περιγράφηκαν.



*Πίνακας 1. Κλάσεις και προτεινόμενες χρήσεις ThermoWood® κωνοφόρων ειδών.*

---

#### **ΚΩΝΟΦΟΡΑ (ΠΕΥΚΗ, ΕΛΑΤΗ)**

**Thermo-S**

**Thermo-D**

---

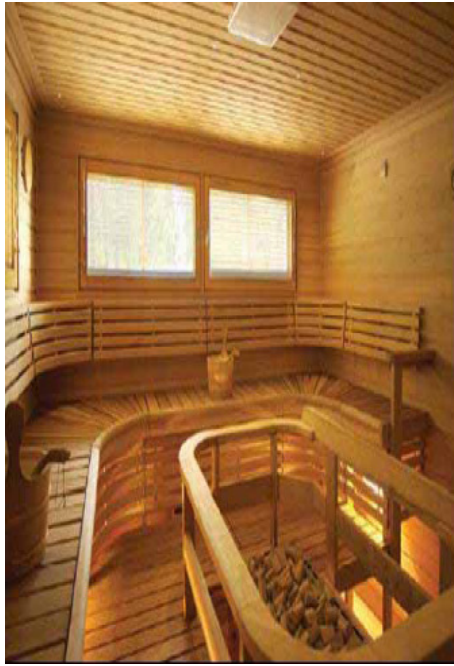
Κατασκευή στοιχείων σπιτιού	Προστατευτικά καλύμματα
Κατασκευή επίπλων κήπου	Εξωτερικές πόρτες
Πόρτες και παράθυρα	Παντζούρια
Δομικά στοιχεία	Πατώματα
Κατασκευή σάουνας	Κατασκευή επίπλων κήπου
	Κατασκευή σάουνας
	Κατασκευή στοιχείων μπάνιου

Πίνακας 2. Κλάσεις και προτεινόμενες χρήσεις ThermoWood® πλατύφυλλων ειδών

**ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ (ΣΗΜΥΔΑ, ΛΕΥΚΗ)**

<b>Thermo-S</b>	<b>Thermo-D</b>
Κατασκευή στοιχείων σπιτιού	Κατασκευή επίπλων σπιτιού
Κατασκευή επίπλων κήπου	Κατασκευή επίπλων κήπου
Πατώματα	Πατώματα
Κατασκευή σάουνας	Κατασκευή σάουνας

Συνιστάται, ειδικά για τη χώρα μας, ότι ένα τέτοιο προϊόν θα μπορούσε να δοκιμασθεί από τους κατασκευαστές επίπλου και ξυλοκατασκευών σε εφαρμογές, όπου υπάρχουν σήμερα προβλήματα ρίκνωσης και διόγκωσης, όπως π.χ. εξωτερικές πόρτες ή κουφώματα, παντζούρια, έπιπλα κήπων, πέργκολες, προστατευτικά καλύμματα, πατώματα εξωτερικού χώρου, σκάλες, επενδύσεις τοίχων, ξύλινα κιγκλιδώματα.



Εικόνα 6: Σάουνα κατασκευασμένη από ξυλεία Thermo-S

### 3.2 PlatoWood

Μια νέα καινοτόμος τεχνολογία που κλιμακώθηκε σε βιομηχανική κλίμακα στην πόλη Άρνεμ της Ολλανδίας είναι η τεχνολογία Plato® από τους ερευνητές A. Pizzi, M. Boonstra, B. Tieerdsma, H. Militz, και κατοχυρώθηκε με παγκόσμιο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας με το εμπορικό όνομα PlatoWood. Τα δικαιώματα χρήσης και προώθησης ανήκουν στην εταιρία *Plato International Technology BV*, ενώ η ετήσια παραγωγή είναι 24.000 m<sup>3</sup>. Με αυτή την μέθοδο η παραγόμενη ξυλεία είναι οικολογική και έχει εξαιρετική ποιότητα επειδή τροποποιείται το ξύλο θερμικά μόνο, με θερμότητα και ατμό. Η διαφοροποίηση της σε σχέση με αυτή, που αναπτύχθηκε και εφαρμόζεται στην Φινλανδία, έγκειται στη παρουσία ενός υδροθερμικού σταδίου κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της μεθόδου, το οποίο προκαλεί πολλές χημικές τροποποιήσεις.

Συγκεκριμένα, η παρουσία μεγάλης ποσότητας υγρασίας μέσα στο κυτταρικό τοίχωμα του ξύλου κατά τη διάρκεια του υδροθερμικού σταδίου, προκαλεί αυξημένη αντιδραστικότητα στα συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος, κάτω από σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Έτσι προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, εφαρμόζονται πιο ήπιες συνθήκες τροποποίησης με αποτέλεσμα οι δυσμενείς επιπτώ-

σεις στις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου να ελαχιστοποιούνται (Tjeerdsma *et al.* 1998).



*Εικόνα 7: Ξύλινη τάβλα από ξυλεία PlatoWood για δομική χρήση*

### 3.2.1 Περιγραφή τεχνολογίας

Η τεχνολογία παραγωγής του PlatoWood βασίζεται σε τέσσερα στάδια παραγωγής:

❖ Στάδιο υδροθερμόλυσης: η ξυλεία θερμαίνεται στους 150-180°C υπό ατμό και σε αυξανόμενη πίεση (6 έως 8 atm) για διάστημα 5 ωρών. Το στάδιο αυτό απαιτεί ξυλεία ελαφρώς ξηραμένη στον αέρα, δηλαδή με υγρασία περίπου 15-20%. Οι ημι-κυτταρίνες του ξύλου στο στάδιο αυτό αποικοδομούνται μερικώς και η λιγνίνη «ενεργοποιείται». Ωστόσο, η κυτταρίνη παραμένει ανέπαφη, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για τη διατήρηση των μηχανικών ιδιοτήτων του Plato<sup>®</sup>Wood σε υψηλό επίπεδο.

❖ Στάδιο ξήρανσης: γίνεται σε κοινό βιομηχανικό ξηραντήριο. Η ξυλεία ξηραίνεται μέχρι ένα επίπεδο υγρασίας 8-10%. Η διαδικασία αυτή διαρκεί από 5 μέρες έως και 3 εβδομάδες.

❖ Στάδιο τροποποίησης: η ξυλεία τροποποιείται θερμικά στους 150-190°C σε ένα ξηρό περιβάλλον για χρονικό διάστημα 12-16 ωρών. Χημικές αντιδράσεις συμβαίνουν μέσα στο ξύλο, οι αλδεϋδες που σχηματίστηκαν κατά το πρώτο στάδιο αντιδρούν με την ήδη «ενεργοποιημένη» λιγνίνη με αποτέλεσμα την δημιουργία νέων,

δυνατών χημικών δεσμών. Το στάδιο αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας του ξύλου και δίνει στο τέλος ξυλεία με ποσοστό υγρασίας περίπου 1%.

❖ Στάδιο κλιματισμού: στο τελευταίο στάδιο της τεχνολογίας PlatoWood γίνεται ο κλιματισμός. Η διαδικασία είναι όμοια με αυτή που χρησιμοποιείται για την απλή ξυλεία, μέχρι η υγρασία της ξυλείας να κυμανθεί από το 10 έως το 16%. Η διάρκεια του σταδίου αυτού διαρκεί περίπου 3 μέρες.



*Εικόνα 8: Μορφοποιημένο δάπεδο PlatoWood για εξωτερική χρήση.*

### 3.2.2 Ιδιότητες & χαρακτηριστικά

❖ Ελάχιστη μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου λόγω του ότι εφαρμόζονται ήπιες μορφές τροποποίησης.

- ❖ 10% μικρότερη πυκνότητα από την αντίστοιχη, μη τροποποιημένη ξυλεία λόγω της υδρόλυσης των συστατικών του κατά τα στάδια παραγωγής του αλλά και στην «εξάτμιση» των εκχυλισμάτων του.
- ❖ Η υγροσκοπικότητα του Plato<sup>®</sup>Wood (ρίκνωση & διόγκωση) μειώνεται, με συνέπεια τη βελτίωση της διαστασιακής του σταθερότητας. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ξύλο Plato<sup>®</sup>Wood πεύκης έχει σημείο ινοκόρου περίπου 15%, ενώ το ίδιο μη τροποποιημένο ξύλο έχει 27-30%.
- ❖ Το Plato<sup>®</sup>Wood έχει χαμηλότερο συντελεστή ανισοτροπίας, καθώς η διαφορά μεταξύ εφαπτομενικής και ακτινικής ρίκνωσης και διόγκωσης είναι σημαντικά μικρότερη.
- ❖ Οι μηχανικές του ιδιότητες σε αξονική θλίψη αυξάνονται περίπου 5% και σε κάμψη δεν επηρεάζονται σημαντικά· το μέτρο θραύσης του μειώνεται σε ποσοστό 10% ενώ το μέτρο ελαστικότητας αυξάνεται κατά 5%. Η αντοχή σε αξονική σκληρότητα και σε θλίψη αυξάνονται κατά 5%, ενώ η ικανότητα συγκράτησης καρφιών παρουσιάζει ελάχιστη μείωση.
- ❖ Η ανθεκτικότητα σε βιολογικούς εχθρούς, αυξάνεται 6 έως 7 φορές σε σχέση με το μη τροποποιημένο ξύλο. Είναι χαρακτηριστικό ότι Plato<sup>®</sup>Wood ερυθρελάτης προσφέρεται με εγγύηση 15 ετών όσον αφορά τη βιολογική του ανθεκτικότητα και τη διαστασιακή του σταθερότητα.
- ❖ Η συμπεριφορά του PlatoWood κατά την κατεργασία είναι εξαιρετική και δεν διαφέρει σε σχέση με το μη τροποποιημένο ξύλο. Η συγκόλλησή του με τις συμβατικές ρητίνες (πολυβινυλικές, πολυουρεθάνης) έχει αναφερθεί να είναι καλύτερη λόγω της χαμηλής ισοδύναμης υγρασίας. Όσο για το φινίρισμά του είναι τουλάχιστον ανάλογο με αυτό του μη τροποποιημένου ξύλου.
- ❖ Είναι οικολογικό προϊόν ξύλου γιατί, η διαδικασία τροποποίησης του δεν απαιτεί χρήση χημικών. Μετά το τέλος του κύκλου ζωής του μπορεί να ανακυκλωθεί όπως το μη τροποποιημένο ξύλο.

### 3.2.3 Εφαρμογές

Η ξυλεία PlatoWood επειδή παρουσιάζει σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα και συγχρόνως βελτιωμένη διαστασιακή σταθερότητα και ελάχιστη μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων, χρησιμοποιείται κυρίως σε κατασκευές εξωτερικού χώρου, όπως: έπιπλα κήπου, επενδύσεις σε κτίρια, δάπεδα τύπου decking, κουφώματα, υπόστεγα, φράχτες.



*Εικόνα 9: Ξύλινο τοίχιο συγκράτησης εδάφους από PlatoWood.*



*Εικόνα 10: Decking και πέργκολα από PlatoWood.*

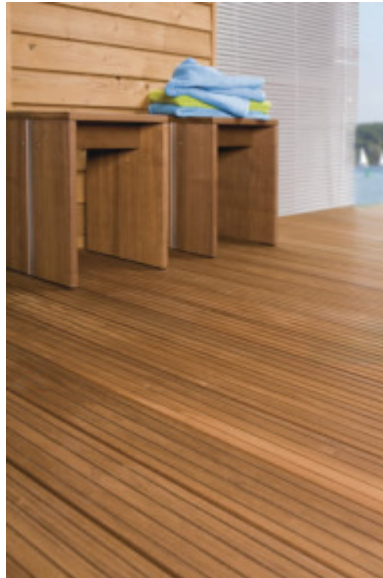
### 3.3 Menz Holz

Η Menz Holz είναι τεχνολογία παραγωγής η οποία αναπτύχθηκε στη Γερμανία. Ο Stamm (1964) ήταν ο πρώτος που έκανε συστηματικές προσπάθειες να αυξηθεί η αντίσταση του ξύλου ενάντια στην καταστροφή του από μύκητες και ξυλοφάγα έντομα μέσα σε ένα καυτό λουτρό ελαίου. Ο Buro (1955) μελέτησε τη θερμική επεξεργασία του ξύλου στις διαφορετικές αεριώδεις ατμόσφαιρες και σε λουτρά ελαίου. Και άλλες διαδικασίες θερμικής επεξεργασίας του ξύλου ακολούθησαν στα επόμενα έτη (Schneider 1963, Burmester 1973).

Το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε συχνά στα χαρακτηριστικά της ξήρανσης (Schneider 1973) και στις χημικές αλλαγές του κατεργαζόμενου θερμικά ξύλου (Sandermann, Augustin 1963, Kollman, Fengel 1965, Topf 1971, Tjeerdsma *et al.* 1998) καθώς επίσης στην ρίκνωση και την διόγκωση (Kollmann και Schneider 1963)



και τις άλλες μηχανικές ιδιότητες (Schneider 1971, Rusche 1973). Ο Burmester (1973) ανακάλυψε τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά του τροποποιημένου ξύλου στην εφαρμογή μιας θερμικής επεξεργασίας υπό πίεση. Αυτή η διαδικασία αναπτύχθηκε περαιτέρω από τον Geibeler (1983). Στις περισσότερες διαδικασίες θερμικής τροποποίησης του ξύλου, γίνεται αναφορά στη βελτιωμένη διαστασιακή σταθερότητα και την αυξανόμενη αντίσταση στους μύκητες, επίσης στις αρνητικές αλλαγές στα χαρακτηριστικά του ξύλου και κυρίως στις μειωμένες μηχανικές αντοχές. Οι υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας αυξάνουν την ευθραυστότητα και το σχηματισμό των ραγάδων. Η έκκριση των ρητινικών συστατικών και η χαμηλή προστασία έναντι της υπερϊώδους ακτινοβολίας (UV) του θερμικά τροποποιημένου ξύλου αποδεικνύονται επίσης προβληματικές κατά τη διάρκεια της πρακτικής χρήσης του ξύλου.



*Εικόνα 11: Decking εξωτερικού χώρου από τροποποιημένη ξυλεία Menz Holz.*

Στόχος της διαδικασίας Menz Holz είναι να βελτιώσει μερικώς αυτά τα κρίσιμα χαρακτηριστικά θερμαίνοντας το ξύλο μέσα σε καυτό έλαιο. Τα σημεία βρασμού πολλών φυσικών ελαίων και ρητινών είναι υψηλότερα από τη θερμοκρασία που απαιτείται για τη θερμική επεξεργασία του ξύλου. Οι βελτιώσεις στα διάφορα χαρακτηριστικά του ξύλου είναι συγκριτικά καλύτερες από τις τεχνολογίες θερμικής τροποποί-

ησης σε μια αεριώδη ατμόσφαιρα, λόγω της συμπεριφοράς των ελαίων με την από κοινού επίδραση της θερμότητας.

### 3.3.1 Περιγραφή τεχνολογίας

Η διαδικασία εκτελείται σε ένα κλειστό φούρνο επεξεργασίας. Μετά από τη φόρτωση της ξυλείας στο φούρνο θερμικής τροποποίησης το καυτό έλαιο αντλείται από την δεξαμενή αποθεμάτων στο φούρνο· όπου το καυτό έλαιο κρατιέται σε υψηλές θερμοκρασίες κυκλοφορώντας γύρω από το ξύλο. Το καυτό έλαιο αντλείται πίσω στη δεξαμενή αποθεμάτων και ακολουθεί η διαδικασία της ξεφόρτωσης της ξυλείας από το φούρνο επεξεργασίας.

Θερμοκρασίες που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας είναι διαφορετικοί βαθμοί διαβάθμισης, γι' αυτό χρησιμοποιούνται διαφορετικές θερμοκρασίες. Για να λάβει το ξύλο τη μέγιστη διάρκεια και την ελάχιστη κατανάλωση ελαίου, η θερμοκρασία που χρησιμοποιείται είναι 220°C. Για να λάβει τη μέγιστη διάρκεια και τη μέγιστη δύναμη οι θερμοκρασίες κυμαίνονται μεταξύ 180°C και 200°C και χρησιμοποιείται μια ελεγχόμενη λήψη ελαίου.

Αποδείχθηκε απαραίτητο να κρατηθεί η επιθυμητή διαδικασία θερμοκρασίας (παραδείγματος χάριν 220°C) για 2 - 4 ώρες, και να γίνει ο εμποτισμός του ελαίου σε βάθος της ξυλώδους επιφάνειας που επεξεργάζεται. Ο πρόσθετος χρόνος για να θερμανθεί και να κρυώσει το ξύλο είναι απαραίτητος, ανάλογα με τη διάσταση του.

Το μέσο θερμικής τροποποίησης είναι ακατέργαστο φυτικό έλαιο, παραδείγματος χάριν έλαιο από σπόρους ελαιοκάμβης, έλαιο λιναρόσπορου ή έλαιο ηλίανθου. Το έλαιο εξυπηρετεί για τη γρήγορη και ίση μεταφορά της θερμότητας στο ξύλο, που παρέχει τις ίδιες συνθήκες θερμότητας σε ολόκληρο το φούρνο καθώς και τον τέλειο διαχωρισμό του οξυγόνου από το ξύλο. Το έλαιο λιναρόσπορου αποδείχθηκε αποτελεσματικό αν και η μυρωδιά που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας μπορεί να είναι ένα μειονέκτημα. Το σημείο αεριοποίησης και η τάση στον πολυμερισμό είναι επίσης σημαντικά για την ξήρανση του ελαίου στο ξύλο και για τη σταθερότητα της αντίστοιχης ομάδας ελαίου. Η δυνατότητα του ελαίου να αντισταθεί στη θέρμανση σε μια ελάχιστη θερμοκρασία 230°C είναι μια προϋπόθεση. Το χρώμα

του ελαίου αλλάζει κατά τη διάρκεια της θερμικής επεξεργασίας, γίνεται σκουρότερο επειδή τα πτητικά συστατικά του εξατμίζονται, οι ουσίες που προκύπτουν από την αποσύνθεση του ξύλου συσσωρεύονται στο έλαιο και αλλάζουν τη σύνθεσή του, αυτό οδηγεί προφανώς στη βελτιωμένη ρύθμιση των ελαίων.

### 3.3.2 Ιδιότητες & χαρακτηριστικά

- ❖ Μεγαλύτερα ποσοστά αντοχής σε αξονική θλίψη σε σχέση με άλλες κατηγορίες θερμικής τροποποίησης.
- ❖ Σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους θερμικής τροποποίησης που χρησιμοποιούν ατμό η παραγόμενη ξυλεία από Menz Holz δεν παρουσιάζει μειωμένη ελαστικότητα σε δοκιμές κάμψης.
- ❖ Όπως όλα τα θερμικά τροποποιημένα προϊόντα, έτσι και αυτό έχει χαρακτηριστική οσμή. Και μπορεί να χαρακτηριστεί ως περιορισμός για την χρήση του σε εσωτερικούς χώρους (αν και αυτή η οσμή μετά από κάποιο χρονικό διάστημα εξατμίζεται).
- ❖ Η δυνατότητα βαψίματος ακόμα και με ακρυλικά χρώματα που βασίζονται στο νερό, είναι εξαιρετική.
- ❖ Η αντοχή του στην ρίκνωση & διόγκωση βελτιώνεται κατά 40% περίπου.
- ❖ Το χρώμα του Menz Holz είναι ανοιχτό καφέ όταν τροποποιείται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ είναι σκοτεινό καφέ όταν επεξεργάζεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες.
- ❖ Η δυνατότητα συγκόλλησης της επεξεργασμένης ξυλείας είναι εξαιρετική, μόνο η ξυλεία που περιέχει μεγαλύτερα ποσοστά ελαίου απαιτεί να γίνεται με αρκετά ισχυρές κόλλες ώστε να επιτευχθούν τα καλύτερα αποτελέσματα.

- ❖ Η λήψη ελαίου ποικίλει ανάλογα με την πυκνότητα του σομού και του εγκάρδιου ξύλου. Η ελάχιστη συγκράτηση ελαίου είναι 20 έως 60 kg/m<sup>3</sup>. Αν επιδιώκεται υψηλή βιολογική διάρκεια καθώς και εξαιρετικές ιδιότητες αντοχής, χρησιμοποιούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες αλλά με υψηλότερες συγκεντρώσεις ελαίου. Επίσης με την εφαρμογή πίεσης στη διαδικασία η επιθυμητή πρόσληψη μπορεί εύκολα να ρυθμιστεί.
- ❖ Το έλαιο επεκτείνει την φυσική διάρκεια του ξύλου, αλλά δεν το προστατεύει και δεν το καθιστά πιο ανθεκτικό στους θαλάσσιους μικροοργανισμούς.
- ❖ Η ανάπτυξη αυτής της μεθόδου στη Γερμανία έγινε κυρίως σε ξυλεία ερυθρελάτης, η οποία είναι διαθέσιμη σε μεγάλες ποσότητες και σε χαμηλές τιμές, σχεδόν όλη η βασική έρευνα έγινε σε ερυθρελάτη (*Picea abies*) και δασική πεύκη (*Pinus sylvestris*).

### **3.3.3 Εφαρμογές**

Η παραγόμενη ξυλεία με τη μέθοδο Menz Holz βρίσκει σήμερα εφαρμογές σε:

- ❖ Επενδύσεις
- ❖ Πέργκολες
- ❖ Εξωτερικές ξυλοκατασκευές
- ❖ Έπιπλα κήπου
- ❖ Γέφυρες
- ❖ Περιφράξεις
- ❖ Ηχομονώσεις (ηχοπετάσματα)

- ❖ Κατασκευές που απαιτείται το ξύλο να είναι σε επαφή με το έδαφος (αντιμετωπίζοντας τις υψηλές θερμοκρασίες του εδάφους).



*Εικόνα 12: Πέργκολες, περιφράξεις εξωτερικού χώρου από τροποποιημένη ξυλεία Menz Holz.*

### **3.4 VisorWood**

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια, τα νέα προϊόντα και οι τεχνολογίες που έχουν εμφανιστεί παρουσιάζουν επιστημονικό και εμπορικό ενδιαφέρον. Τα προϊόντα ξύλου, που παράγονται έχουν πολύ βελτιωμένες φυσικές ιδιότητες και μεγαλύτερη φυσική διάρκεια. Αυτές μπορεί να βασίζονται είτε σε «καθαρή» θερμική τροποποίηση της δομής του ξύλου χωρίς χημικά πρόσθετα, είτε στον εμποτισμό του ξύλου με ουσίες εξαιρετικά φιλικές προς το περιβάλλον, π.χ. λινέλαιο. Έχουν μάλιστα αποφέρει θετικά αποτελέσματα και σίγουρα δείχνουν το δρόμο για το μέλλον. Ιδιαίτερα τώρα που οι συνήθειες μέχρι σήμερα τρόποι προστασίας του με εμποτισμό ή εμφάνιση αλλάζουν δραστικά μετά την απαγόρευση της χρήσης των αλάτων χρωμίου και αρσενικού (π.χ. CCA) στις περισσότερες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και στις περισσότερες εφαρμογές.

Το VisorWood είναι μοναδική, φιλική προς το περιβάλλον τεχνολογία για την τροποποίηση του ξύλου. Μετά από εννέα ετών δοκιμές και τεκμηρίωση της τεχνολογίας, τα πρώτα υλικά VisorWood δοκιμάστηκαν στη Νορβηγική αγορά όπου και πα-

ράγονται. Στην Νορβηγία έχουν γίνει τα περισσότερα πειράματα και δοκιμές με τεχνολογία VisorWood. Το VisorWood είναι συμβατό με όλα τα περιβαλλοντικά πρότυπα και τις απαιτήσεις, έχει μοναδικά και εξαιρετικά χαρακτηριστικά όσον αφορά την απόδοση και τη σταθερότητα του. Είναι ένα προϊόν που έχει κατακτήσει μεγάλο μερίδιο αγοράς του ξύλου στη Νορβηγία.



*Εικόνα 13: Κατασκευή εξωτερικού πατώματος από VisorWood*

### 3.4.1 Περιγραφή τεχνολογίας

Η επιτυχημένη τεχνολογία τροποποίησης και βελτίωσης του ξύλου VisorWood, έχει προέλθει από χημική τροποποίηση του ξύλου με φουρφουρυλική αλκοόλη ( $C_5H_6O_2$ ), η τεχνολογία ανακαλύφθηκε τη δεκαετία του '40 αλλά δεν έφτασε σε βιομηχανικό επίπεδο εξαιτίας τεχνικών δυσκολιών. Η αλκοόλη αυτή είναι χημικώς ακίνδυνη, προέρχεται από καταλυτική αναγωγή της φουρφουράλης από υπολείμματα ζαχαροκάλαμου (bagasse) και καλαμποκιού. Δύο είναι τα διακριτά στάδια παραγωγής: ο εμποτισμός του ξύλου σε κλίβανο και η μετέπειτα «σκλήρυνσή» του σε συμβατικό ξηραντήριο.

### 3.4.2 Ιδιότητες & χαρακτηριστικά

- ❖ Εξαιτίας της διαδικασίας τροποποίησης που υφίσταται, το VisorWood έχει χρώμα καφέ το οποίο μετατρέπεται σε ασημί-γκρι, όταν αυτό εκτεθεί στον ήλιο.
- ❖ Το προϊόν αυτό, όπως αποδεικνύουν πρόσφατες έρευνες (Jones 2005) χαρακτηρίζεται από εξαιρετική σταθερότητα που είναι καλύτερη κι από αυτή του εμποτισμένου με άλατα ξύλου. Το ξύλο ρικνώνεται και διογκώνεται σε πολύ μικρότερο βαθμό με τις μεταβολές της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα και δεν παρουσιάζει επιφανειακές ραγιδώσεις. Συνιστάται ωστόσο η επάλειψη της επιφάνειάς του με έλαια για διατήρηση τόσο του καφετί χρώματός του, όσο και για λόγους καλύτερης συντήρησής του.
- ❖ Η κατάταξη του VisorWood από άποψη φυσικής διάρκειας έχει επιτευχθεί με βάση το Ευρωπαϊκό πρότυπο *EN 350-1* που έδειξε ότι αυτό υπάγεται στην κλάση 1: «πολύ ανθεκτικά», κλάση στην οποία κατατάσσονται και τα εξαιρετικά τροπικά είδη Teak, Iroko, Merbau και Afzelia (Doussie) που ως γνωστό το εγκάρδιο ξύλο τους έχει φυσική διάρκεια μεγαλύτερη και από 25 χρόνια.

- ❖ Μεγάλη ανθεκτικότητα σε έντομα, μύκητες, τερμίτες και άλλους μικροοργανισμούς.
- ❖ Το VisorWood είναι ένα καινοτόμο προϊόν ξύλου, που παράγεται με χρήση νέας τεχνολογίας τροποποίησης η οποία είναι εξαιρετικά φιλική προς το περιβάλλον.
- ❖ Το προϊόν αυτό έχει εξαιρετική διαστασιακή σταθερότητα και υψηλή ανθεκτικότητα στους περιβαλλοντικούς παράγοντες.
- ❖ Η κατεργασία του γίνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, όπως και για τα τροπικά είδη.
- ❖ Δεν περιέχει τοξικές ουσίες και αποσυντίθεται όπως και το φυσικό ξύλο.



*Εικόνα 14: Διαμερίσματα με επένδυση VisorWood*



### 3.4.3 Εφαρμογές

Το νέο προϊόν VisorWood είναι ιδανικό για να χρησιμοποιηθεί σε κατασκευές εξωτερικού χώρου. Οι προτεινόμενες χρήσεις του είναι κυρίως σε πατώματα εξωτερικού χώρου, decking σε πισίνες, εξωτερικές επενδύσεις τοίχων, έπιπλα κήπου ακόμη σε στύλους και εξωτερικές ξύλινες δομικές κατασκευές.



*Εικόνα 15: Οικία όπου η επένδυση των τοίχων, η στέγη και το πάτωμα είναι από VisorWood*

## 3.5 WTT

### 3.5.1 Περιγραφή τεχνολογίας

Η νέα τεχνολογία WTT για τροποποίηση του ξύλου γίνεται σε μια θερμαινόμενη δεξαμενή πλήρως μονωμένη από ανοξείδωτο χάλυβα, με αυτόματη διαδικασία έλεγχου, ανακύκλωσης του νερού μετά τον εμποτισμό, με αυτόματο σύστημα καθαρισμού και αυτόματη μεταφορά της ξυλείας, τοποθετείται η ξυλεία, τίθεται υπό κενό αέρα και γεμίζει με έλαιο λιναρόσπορου, καθώς κυκλοφορεί στη δεξαμενή απορροφάται από την ξυλεία.

Κατά τη διαδικασία εφαρμόζεται πίεση μέχρι 20 ατμόσφαιρες (bars) και αναπτύσσονται θερμοκρασίες 160 - 210°C. Η ξήρανση του ξύλου μπορεί να αποφευχθεί,

δεν γίνεται χρήση αερίων ή χημικών πρόσθετων ουσιών. Οι δαπάνες της διαδικασίας κυμαίνονται από 15 - 30 €/m<sup>3</sup>.



*Εικόνα 16: Φόρτωση σανιδιών πεύκου σε θερμαινόμενη δεξαμενή.*

### 3.5.2 Ιδιότητες & χαρακτηριστικά

- ❖ Το καυτό έλαιο προσφέρει στο ξύλο βελτιωμένα χαρακτηριστικά.
- ❖ Καλύτερη διαστασιακή σταθερότητα στο ξύλο.
- ❖ Βελτιωμένη σύνθεση και προστασία από την υπεριώδη ακτινοβολία (UV).
- ❖ Μακροχρόνια φυσική διάρκεια και σταθερότητα χρώματος.
- ❖ Η επεξεργασία με το έλαιο, ο χρωματισμός και η τελική ξήρανση του ξύλου γίνεται σε ένα στάδιο επεξεργασίας.
- ❖ Βελτιωμένη προστασία για το ξύλο ακόμα και σε εφαρμογές σε επαφή με το έδαφος.
- ❖ Προστιθέμενη αξία εξαιτίας του καφετί χρωματισμού στα κωνοφόρα ξύλα.



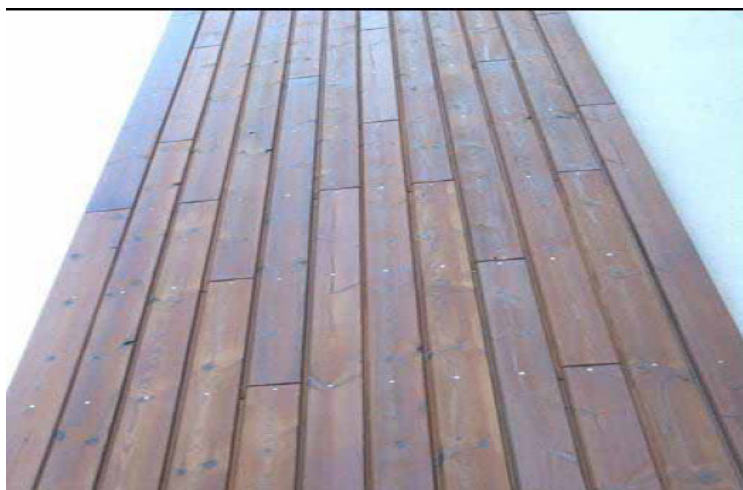
*Εικόνα 17: Παραγόμενη ζυλεία WTT*

### 3.5.3 Εφαρμογές

Η μέθοδος WTT δημιουργεί ένα τροποποιημένο προϊόν ξύλου με βελτιωμένα χαρακτηριστικά όπως αντοχή σε χρήσεις επαφής με το έδαφος και γι' αυτό εφαρμόζεται σε εξωτερικές κατασκευές. Χρησιμοποιείται για περιφράξεις, εξοπλισμό παιδικών χαρών, ηχομονώσεις και ηχοπετάσματα, decking σε πισίνες, παρκέτα, έπιπλα κήπων και επενδύσεις εξωτερικών και εσωτερικών χώρων.



*Εικόνα 18: Ξυλοκατασκευή με εξωτερική επένδυση τοίχων από WTT*



*Εικόνα 19: Πάτωμα εξωτερικού χώρου από WTT*

## 4. Υλικά & μέθοδοι

Η μελέτη ενός θερμικά τροποποιημένου προϊόντος ξύλου (ThermoWood) πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Ξύλου του ΤΕΙ Λάρισας – Παράρτημα Καρδίτσας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου, με ημερομηνία έναρξης των πειραμάτων την 29-5-2008 και ημερομηνία λήξης την 13-9-2008.

### 4.1 Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα της προσρόφησης, της μέγιστης εφαπτομενικής διόγκωσης, της μέγιστης ακτινικής διόγκωσης και της αξονικής διόγκωσης είναι αποσταγμένο νερό ( $H_2O$ ), έξι (6) γυάλινα δοχεία για την τοποθέτηση των δοκιμίων μέσα σε νερό. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πεύκη ThermoWood και μη τροποποιημένη δασική πεύκη (*Pinus sylvestris*) που περιελάμβαναν τουλάχιστον 5 ετήσιους αυξητικούς δακτυλίους σε κάθε δοκίμιο (ανά cm).



Εικόνα 20: Πείραμα διόγκωσης δειγμάτων σε νερό.

Τα δείγματα για την προσρόφηση κόπηκαν σε διαστάσεις 20x20 mm. Χρησιμοποιήθηκαν 5 δοκίμια από μη τροποποιημένη πεύκη (*Pinus sylvestris*) και 5 δοκίμια από πεύκη ThermoWood.



Εικόνα 21: Δείγματα ξύλου όλων των πειραμάτων.

Για την μέγιστη εφαπτομενική και ακτινική διόγκωση οι διαστάσεις στις 3 τομές του ξύλου ήταν οι εξής: 5 mm (αξονική διάσταση) x 20 mm (ακτινική διάσταση) x 20 mm (εφαπτομενική διάσταση). Χρησιμοποιήθηκαν 16 δείγματα από πεύκη ThermoWood και 16 από μη τροποποιημένη πεύκη (*Pinus sylvestris*).

Ενώ οι διαστάσεις των δειγμάτων για την αξονική διόγκωση ήταν διατομής 20 mm x 20 mm και μήκος 100 mm (αξονικά). Χρησιμοποιήθηκαν 9 δείγματα από πεύκη ThermoWood και 10 από δασική πεύκη (*Pinus sylvestris*).

Ως αναφορά την αντοχή σε αξονική θλίψη χρησιμοποιήθηκαν δείγματα διατομής 20 mm x 20 mm και μήκος 60 mm (αξονικά) επίσης 20 δοκίμια αντίστοιχα από πεύκη ThermoWood και από μη τροποποιημένη πεύκη (*Pinus sylvestris*).

Για την διεξαγωγή του πειράματος, αντοχή σε κάμψη, χρησιμοποιήθηκαν δείγματα διαστάσεων μήκους 350 mm και διατομής 20 mm x 20 mm, ο αριθμός των δειγμάτων ήταν 8 για το κάθε είδος.

Για τα πειράματα της θλίψης και της κάμψης του ξύλου, τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε ειδική συσκευή μηχανικών αντοχών.

Οι διαστάσεις των δοκιμίων ανά πείραμα είναι ίδιες για όλα τα δείγματα ThermoWood και κανονικής δασικής πεύκης (*Pinus sylvestris*), απαλλαγμένα σφαλμάτων και τετραγωνικής διατομής.



Εικόνα 22: Δείγματα ThermoWood και μη τροποποιημένη πεύκη, προετοιμασμένα για αξονική θλίψη.

Επίσης όλα τα δείγματα κλιματίστηκαν σε κανονικές συνθήκες (20°C, 65% σχετική υγρασία του αέρα) για δυο εβδομάδες Εικ. 23. Χρησιμοποιήθηκε ακόμα ζυγός ακριβείας και ηλεκτρονικό παχύμετρο με ακρίβεια 0,01mm.



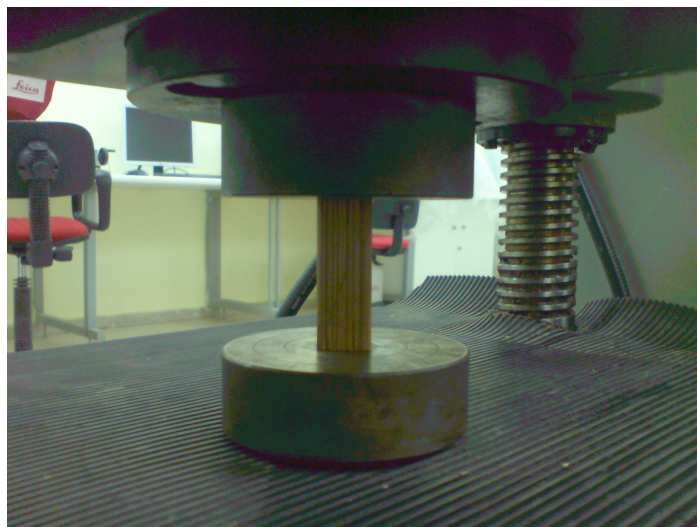
Εικόνα 23: Δείγματα ThermoWood και μη τροποποιημένη πεύκη, κλιματίζονται σε θάλαμο κλιματισμού σε κανονικές συνθήκες (20°C, 65% σχετική υγρασία)

## 4.2 Μέθοδοι

Τα δοκίμια για τα πειράματα της προσρόφησης, της μέγιστης διόγκωσης και της αξονικής διόγκωσης τοποθετήθηκαν μέσα σε νερό και διογκώθηκαν σε θερμοκρασία δωματίου.

Αρχικά όλα τα δείγματα κλιματίστηκαν για δυο εβδομάδες σε κανονικές συνθήκες (20°C, 65% σχετική υγρασία του αέρα), μετρήθηκαν οι αρχικές τους διαστάσεις (εφαπτομενικά και ακτινικά με ακρίβεια 0,01 mm), και εισήχθησαν σε φιάλες όπου σφραγίσθηκαν αεροστεγώς. Όλες οι μετρήσεις έγιναν με ηλεκτρονικό παχύμετρο ακρίβειας 0,01 mm. Οι μετρήσεις σε κάποια πειράματα μετά την εμβάπτιση των δειγμάτων στο νερό έγιναν κάθε 6 ώρες και 12 ώρες και μετά μετριούνταν κάθε μέρα για επτά ημέρες. Έγινε μέτρηση μετά από ένα μήνα και η τελική μέτρηση έγινε μετά από 100 μέρες. Μετά το πέρας των 100 ημερών, οι φιάλες ανοίχθηκαν μια προς μια, και τα δείγματα μετρήθηκαν αμέσως, για να υπάρξει ακριβής μέτρηση της διόγκωσης.

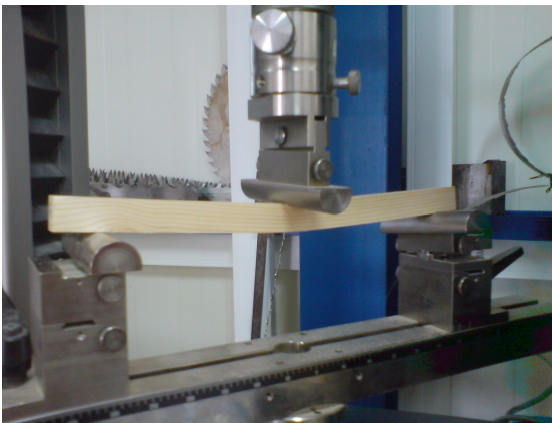
Για το πείραμα τις αξονικής θλίψης, κλιματίστηκαν όλα τα δείγματα για δυο εβδομάδες σε κανονικές συνθήκες (20°C, 65% σχετική υγρασία του αέρα), μετρήθηκαν οι αρχικές τους διαστάσεις (εφαπτομενικά και ακτινικά με ακρίβεια 0,01 mm), και τοποθετήθηκαν στην μηχανή αντοχών, στο κέντρο δυο πλακών που φέρουν ομόκεντρους κύκλους και το δείγμα είναι απόλυτα παράλληλο με την κατεύθυνση εφαρμογής του φορτιού, που φορτίζεται μέχρι την επίτευξη της μέγιστης αντοχής του δοκιμίου σε θλίψη.



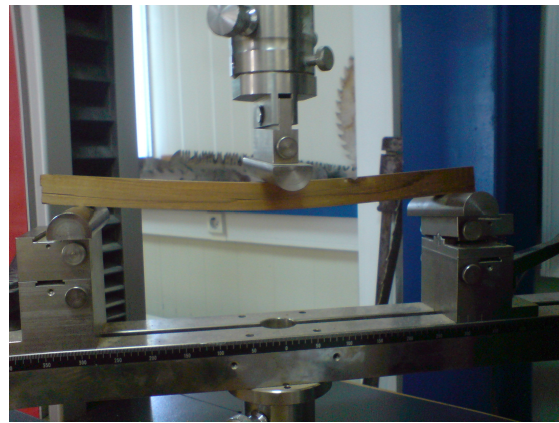
*Εικόνα 24: Διεξαγωγή πειράματος (αντοχή σε θλίψη).*



Η αντοχή σε κάμψη έγινε σε δείγματα τετραγωνικής διατομής, τα οποία κλιματίστηκαν για δυο εβδομάδες σε κανονικές συνθήκες (20°C, 65% σχετική υγρασία του αέρα), μετρήθηκαν οι αρχικές τους διαστάσεις (εφαπτομενικά και ακτινικά με ακρίβεια 0,01 mm), και εισήχθησαν στη μηχανή αντοχών, ώστε να εφαρμοστεί μια δύναμη  $F$  ομοιόμορφα στο μέσο του δοκιμίου, ώστε να πραγματοποιηθεί η θραύση (σπάσιμο) του κάθε δοκιμίου και να υπολογιστεί το  $M\Theta$  (μέτρο θραύσης). Από τα αποτελέσματα στατικής κάμψης (αρχικές καμπύλες) υπολογίστηκε και το μέτρο ελαστικότητας ( $ME$ ) του κάθε δείγματος.



*Εικόνα 25: Δείγμα μη τροποποιημένης πεύκης, δοκιμή σε κάμψη.*



*Εικόνα 26: Δείγμα πεύκης ThermoWood, δοκιμή σε κάμψη.*

## 5. Αποτελέσματα και συμπεράσματα

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα 6 πειράματα που διεξήχθησαν (προσρόφηση, μέγιστη εφαπτομενική διόγκωση, μέγιστη ακτινική διόγκωση, αξονική διόγκωση, αξονική θλίψη και κάμψη) περιλαμβάνοντας τις αρχικές διαστάσεις των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην ακτινική, αξονική και εφαπτομενική τομή, την διόγκωση που υπέστησαν σε μερικές ώρες και τις τελικές διαστάσεις μετά από 100 ημέρες. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες για κάθε πείραμα.

Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε πίνακες στο Παράρτημα.

### 5.1 Προσρόφηση

Πίνακας 1. Προσρόφηση πεύκης *Thermowood* (%) σε νερό.

Thermowood				
A/A	Βάρος Αρχικό	Βάρος Τελικό	Διαφορά βάρους	ποσοστό προσρόφησης (%)
1	3,77	10,97	7,20	191,0%
2	3,55	10,80	7,25	204,2%
3	3,52	10,75	7,23	205,4%
4	3,55	10,84	7,29	205,4%
5	3,49	10,69	7,20	206,3%

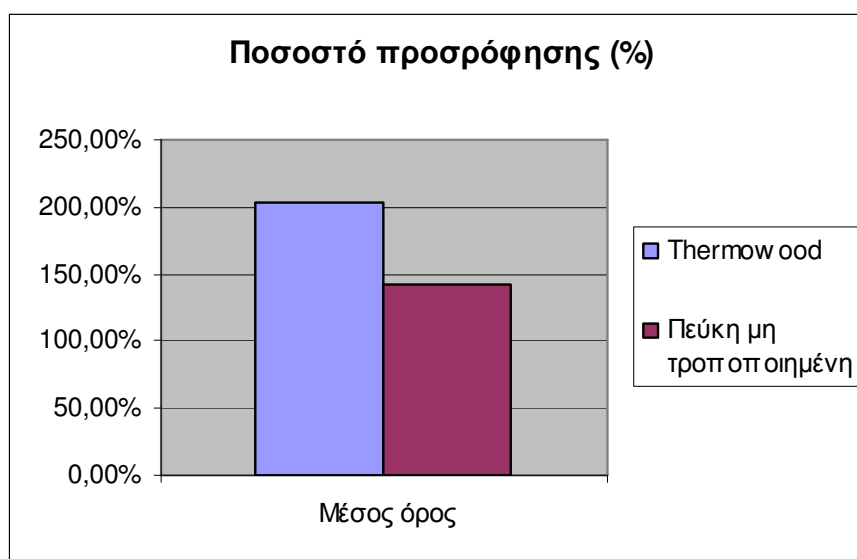
\* Μέσος όρος: 202,5% προσρόφηση

Πίνακας 2. Προσρόφηση μη τροποποιημένης πεύκης (%) σε νερό.

Πεύκη μη τροποποιημένη				
A/A	Βάρος Αρχικό	Βάρος Τελικό	Διαφορά βάρους	Ποσοστό προσρόφησης (%)
1	4,74	11,39	6,65	140,3%
2	4,81	11,48	6,67	138,7%
3	4,66	11,57	6,91	148,3%
4	4,76	11,59	6,83	143,5%
5	4,78	11,62	6,84	143,1%

\* Μέσος όρος: 142,8% προσρόφηση

Γράφημα 1. Ποσοστό προσρόφησης, σύγκριση μέσου όρου των δειγμάτων ThermoWood και μη τροποποιημένης πεύκης.



Στους παρακάτω Πίνακες 1 και 2 δίνονται τα αποτελέσματα (%) της διόγκωσης σε νερό για τα δοκίμια της μη τροποποιημένης πεύκης και της πεύκης ThermoWood. Παρατηρήθηκε πως το ποσοστό διόγκωσης του ThermoWood ήταν πολύ μικρότερο από την κοινή πεύκη, αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός πως τα δείγματα του ThermoWood λόγω της θερμικής τροποποίησης που είχαν υποστεί ήταν πολύ ελαφρύτερα αλλά και διότι παρουσιάζει επίσης υψηλή διαστασιακή σταθερότητα (δηλαδή μικρότερη ρίκνωση και διόγκωση).

## 5.2 Μέγιστη εφαπτομενική διόγκωση

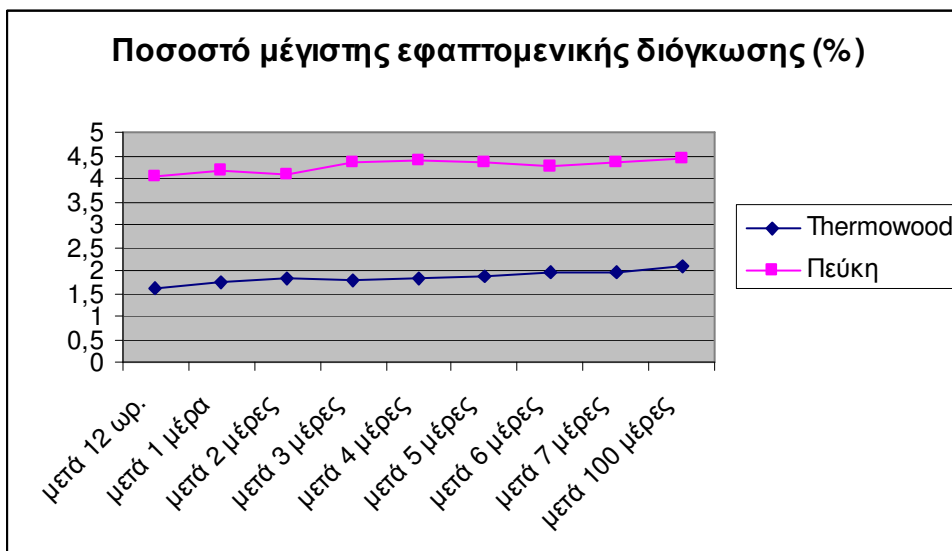
Πίνακας 3. Ποσοστό της μέγιστης εφαπτομενικής διόγκωσης πεύκης ThermoWood  
(%) σε νερό.

Thermowood										
A/A	αρχική εφαπτομ.	μετά 12 ώρες	μετά 1 μέρα	μετά 2 μέρες	μετά 3 μέρες	μετά 4 μέρες	μετά 5 μέρες	μετά 6 μέρες	μετά 7 μέρες	μετά 100 μέρες
1	21,67	1,98	1,98	2,08	2,12	2,22	2,22	2,22	2,22	2,35
2	21,65	1,85	1,89	2,17	2,12	2,26	2,08	2,12	2,12	2,22
3	21,66	1,80	1,85	2,03	1,99	2,17	2,08	2,08	2,08	2,12
4	21,67	1,89	1,94	2,08	2,03	2,22	2,22	2,08	2,17	2,26
5	21,66	1,80	1,80	2,03	2,08	2,31	2,03	2,45	2,12	2,17
6	21,67	2,03	2,03	2,22	2,12	2,35	2,12	2,26	2,31	2,40
7	21,66	1,80	1,80	1,99	1,99	2,08	1,99	2,08	2,08	2,22
8	21,69	2,07	2,12	2,26	2,17	2,26	2,17	2,26	2,26	2,40
9	21,65	1,85	1,85	1,99	2,03	2,22	2,03	2,17	2,17	2,17
10	21,67	1,85	1,80	2,35	2,08	2,31	2,08	2,08	2,08	2,17
*11	21,70	1,61	1,75	1,84	1,80	1,84	1,89	1,94	1,94	2,07
12	21,68	1,75	1,75	1,94	1,98	2,08	2,03	2,03	2,03	2,08
13	21,67	1,89	1,89	1,98	2,03	2,17	2,08	2,12	2,12	2,17
14	21,68	1,75	1,80	1,94	1,94	2,08	2,03	2,03	2,03	2,03
15	21,66	2,03	2,03	2,22	2,35	2,45	2,31	2,31	2,31	2,40
16	21,65	1,99	2,03	2,22	2,22	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45

Πίνακας 4. Ποσοστό (%) της μέγιστης εφαπτομενικής διόγκωσης πεύκης μη τροποποιημένης σε νερό.

Πεύκη μη τροποποιημένη										
A/A	αρχική εφαπτομ.	μετά 12 ώρες	μετά 1 μέρα	μετά 2 μέρες	μετά 3 μέρες	μετά 4 μέρες	μετά 5 μέρες	μετά 6 μέρες	μετά 7 μέρες	μετά 100 μέρες
1	21,72	3,50	3,82	3,82	3,73	3,96	3,73	3,78	3,91	3,96
2	21,7	3,41	3,69	3,55	3,59	4,06	2,30	3,69	3,82	3,92
3	21,64	3,88	4,30	4,16	4,16	4,25	4,39	4,39	4,39	4,39
4	21,58	3,80	4,31	3,94	4,17	4,49	4,08	4,08	4,08	4,12
*5	21,58	4,03	4,17	4,08	4,36	4,40	4,36	4,26	4,36	4,45
6	21,73	3,36	3,68	3,50	3,59	3,77	3,64	3,64	3,77	3,77
7	21,56	4,22	4,50	4,36	4,50	4,59	4,45	4,55	4,59	4,68
8	21,64	3,88	4,11	3,93	4,25	4,44	4,25	4,16	4,16	4,34
9	21,59	3,98	3,98	3,98	4,12	4,26	3,98	4,12	4,17	4,40
10	21,63	3,93	4,07	3,93	4,11	4,35	4,21	4,21	4,21	4,25
11	21,59	4,08	4,08	4,03	4,08	4,26	4,31	4,31	4,31	4,40
12	21,59	4,26	4,26	4,35	4,35	4,63	4,49	4,49	4,49	4,77
13	21,59	4,45	4,49	4,31	4,54	4,63	4,68	4,72	4,72	4,28
14	21,64	3,84	4,07	3,97	4,11	4,34	4,16	4,30	4,30	4,34
15	21,58	4,31	4,31	4,31	4,40	4,68	4,59	4,63	4,63	4,63
16	21,59	4,35	4,35	4,31	4,49	4,31	4,59	4,63	4,72	4,68

Γράφημα 2. Σύγκριση ποσοστών (%) της μέγιστης εφαπτομενικής διόγκωσης των δειγμάτων ThermoWood και μη τροποποιημένης πεύκης.



### 5.3 Μέγιστη ακτινική διόγκωση

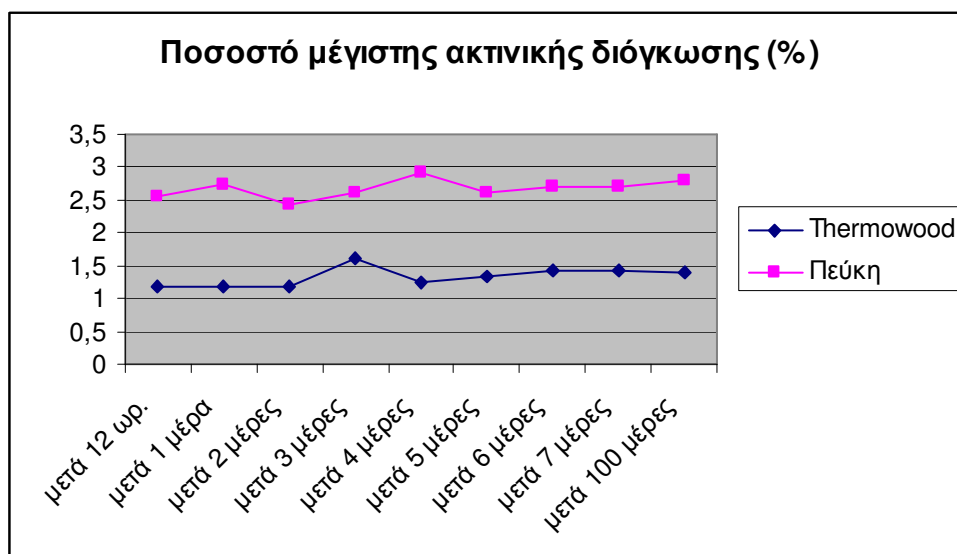
Πίνακας 5. Ποσοστό (%) της μέγιστης ακτινικής διόγκωσης ThermoWood σε νερό.

Thermowood										
A/A	αρχική ακτινική	μετά 12 ώρες	μετά 1 μέρα	μετά 2 μέρες	μετά 3 μέρες	μετά 4 μέρες	μετά 5 μέρες	μετά 6 μέρες	μετά 7 μέρες	μετά 100 μέρες
1	21,12	1,04	1,18	1,18	1,23	1,23	1,37	1,47	1,56	1,33
2	21,63	1,02	1,16	1,39	1,34	1,34	1,34	1,39	1,39	1,48
*3	21,63	1,20	1,20	1,20	1,62	1,25	1,34	1,43	1,43	1,39
4	21,26	1,08	1,08	1,18	1,60	1,60	1,32	1,36	0,47	1,32
5	21,66	1,15	1,15	1,52	1,25	1,75	1,43	1,43	1,48	1,34
6	21,08	0,81	0,85	1,09	1,04	1,33	1,09	1,14	1,14	1,14
7	21,64	1,06	1,11	1,62	1,25	1,25	1,29	1,39	1,39	1,66
8	21,53	1,49	1,76	1,76	1,67	1,95	1,58	1,81	1,86	1,72
9	21,65	0,97	0,97	1,15	1,25	1,48	1,15	1,39	1,34	1,34
10	21,64	1,25	1,25	1,39	1,34	1,52	1,43	1,48	1,48	1,57
11	21,65	1,06	1,06	1,25	1,20	1,43	1,20	1,34	1,48	1,39
12	21,66	1,11	1,11	1,34	1,25	1,39	1,25	1,43	1,48	1,48
13	21,7	1,15	1,15	0,97	1,43	1,61	1,24	1,24	1,29	1,20
14	21,66	1,11	1,15	1,25	1,20	1,57	1,39	1,43	1,43	1,15
15	21,6	0,93	1,25	1,25	1,76	1,76	1,25	1,25	1,53	1,34
16	21,37	1,22	1,31	1,31	1,12	1,36	1,08	1,22	1,22	1,26

Πίνακας 6. Ποσοστό (%) της μέγιστης ακτινικής διόγκωσης πεύκης μη τροποποιημένης σε νερό.

Πεύκη μη τροποποιημένη										
A/A	αρχική ακτινική	μετά 12 ώρες	μετά 1 μέρα	μετά 2 μέρες	μετά 3 μέρες	μετά 4 μέρες	μετά 5 μέρες	μετά 6 μέρες	μετά 7 μέρες	μετά 100 μέρες
1	21,6	2,78	2,87	2,87	2,87	3,06	3,01	3,01	3,01	3,01
2	21,59	2,78	2,83	2,78	2,87	3,01	2,83	2,96	2,96	3,01
3	21,32	2,58	2,67	2,53	2,58	2,81	2,67	2,63	2,72	2,77
4	21,56	2,41	2,60	2,27	2,50	2,64	2,50	2,74	2,78	2,41
5	21,55	2,74	2,78	2,74	2,55	3,02	2,92	2,83	2,92	2,88
6	21,59	2,87	3,10	2,96	3,10	3,29	3,06	3,15	3,15	3,15
7	21,22	2,54	2,73	2,59	2,69	2,97	2,69	2,73	2,87	2,73
8	21,59	2,69	3,01	2,69	5,56	3,15	2,87	2,87	2,92	3,06
9	21,54	2,51	2,51	2,51	3,06	2,79	2,60	2,60	2,69	2,65
10	21,57	2,69	2,83	2,74	2,78	3,11	2,92	2,87	2,92	2,78
11	21,57	2,46	2,55	2,36	2,41	2,69	2,60	2,60	2,60	2,64
*12	21,47	2,56	2,75	2,42	2,61	2,93	2,61	2,70	2,70	2,79
13	21,07	2,37	2,47	2,33	2,56	2,75	2,56	2,56	2,71	2,31
14	21,62	2,54	2,87	2,64	2,59	2,82	2,64	2,68	2,78	2,68
15	21,43	2,52	2,57	2,47	2,66	2,89	2,52	2,66	2,66	2,66
16	21,13	2,37	2,60	2,51	2,46	2,65	2,65	2,65	2,65	2,60

Γράφημα 3. Σύγκριση ποσοστών (%) της μέγιστης εφαπτομενικής διόγκωσης των δειγμάτων ThermoWood και μη τροποποιημένης πεύκης.



## 5.4 Αξονική διόγκωση

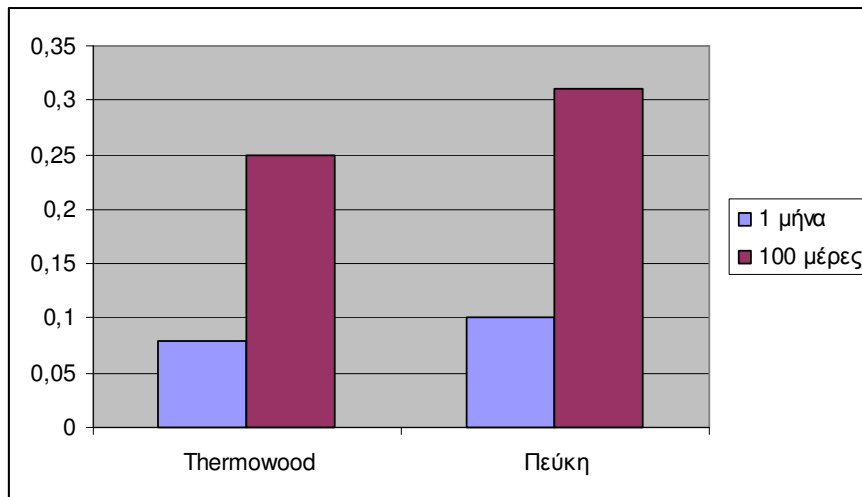
Πίνακας 7. Ποσοστό (%) αξονικής διόγκωσης ThermoWood σε νερό.

ThermoWood					
A/A	Ξηρή διάσταση	1 μήνα μετά	100 μέρες μετά	Ποσοστό (%) διόγκωσης (1 μήνα)	Ποσοστό (%) διόγκωσης (100 μ.)
*1	100,07	100,14	100,29	0,07	0,22
2	100,13	100,15	100,20	0,02	0,07
3	100,15	100,21	100,21	0,06	0,06
4	100,07	100,10	100,10	0,03	0,03
5	100,14	100,15	100,17	0,01	0,03
6	100,22	100,23	100,25	0,01	0,03
7	100,11	100,21	100,24	0,10	0,13
8	100,08	100,09	100,21	0,01	0,13
9	100,15	100,23	100,25	0,08	0,10
Μέσος όρος				0,04	0,09

Πίνακας 8. Ποσοστό (%) αξονικής διόγκωσης πεύκης σε νερό.

Πεύκη μη τροποποιημένη					
A/A	Ξηρή διάσταση	1 μήνα μετά	100 μέρες μετά	Ποσοστό (%) διόγκωσης (1 μήνα)	Ποσοστό (%) διόγκωσης (100 μ.)
*1	100,05	100,07	100,37	0,02	0,32
2	100,09	100,15	100,44	0,06	0,35
3	100,04	100,29	100,35	0,25	0,31
4	100,12	100,18	100,37	0,06	0,25
5	99,99	100,33	100,49	0,34	0,50
6	100,28	100,49	100,59	0,21	0,31
7	100	100,14	100,2	0,14	0,20
8	100,1	100,29	100,36	0,19	0,26
9	100,09	100,26	100,3	0,17	0,21
10	100,01	100,21	100,22	0,20	0,21
Μέσος όρος				0,16	0,29

Γράφημα 4. Ποσοστό (%) αζονικής διόγκωσης πεύκης σε νερό.



Στους παραπάνω πίνακες 7 και 8 δίνονται τα αποτελέσματα (%) της αζονικής διόγκωσης σε νερό. Τα είδη της πεύκης παρουσίασαν τα μεγαλύτερα ποσοστά αζονικής διόγκωσης με ποσοστό μέσου όρου διόγκωσης για τον 1 μήνα 0,16% και για τις 100 ημέρες 0,29% ενώ το Thermowood είχε την μικρότερη αζονική διόγκωση, με ποσοστό μέσου όρου διόγκωσης για τον 1 μήνα 0,04% και για τις 100 ημέρες 0,09%.

---

Όπου \* σημαίνει ότι έχω χρησιμοποιήσει το ανάλογο δείγμα για τα συγκριτικά γραφήματα, διότι αυτά τα δείγματα ήταν τα ποιο αντιπροσωπευτικά, και η διογκωτική τους πορεία διαγράφεται σταθερή αλλά και κυμαινόμενη κατά το πέρασ των 100 ημερών.



## 5.5 Αξονική θλίψη

DIN 52184/1976: ANTOXH ΣΕ ΘΛΙΨΗ

Πίνακας 9. Προσδιορισμός αντοχής ThermoWood σε αξονική θλίψη

ThermoWood							
Διαστάσεις (mm)				Μέγιστη δύναμη	Αντοχή σε Θλίψη	Ποικνότητα	Αξονική Θλίψη
Μήκος	Πλάτος	Πάχος	Βάρος	Fmax (N)	$\sigma=F/\alpha\beta$ (N/mm <sup>2</sup> )		
59,95	21,93	21,74	11,160	2401	50,36	0,390	50,4
59,95	21,82	21,76	11,070	2349	49,47	0,389	49,5
59,93	21,75	21,86	11,000	2327	48,94	0,386	48,9
59,85	21,82	21,73	10,270	2088	44,04	0,362	44,0
59,96	21,76	21,69	10,260	2177	46,13	0,363	46,1
59,90	21,75	21,77	10,360	2276	48,07	0,365	48,1
59,91	21,85	21,75	11,010	2313	48,67	0,387	48,7
59,89	21,79	21,75	10,260	2289	48,30	0,361	48,3
59,89	21,73	21,78	10,270	2182	46,10	0,362	46,1
59,96	21,71	21,82	10,23	2142	45,22	0,360	45,2
60,04	21,78	21,75	10,44	2287	48,28	0,367	48,3
59,54	21,83	21,76	10,27	2263	47,64	0,363	47,6
59,92	21,86	21,93	11,95	2274	47,44	0,416	47,4
59,90	21,85	21,83	10,95	2293	48,07	0,383	48,1
59,88	21,84	21,78	10,37	2285	48,04	0,364	48,0
59,85	21,93	21,76	10,41	2363	49,52	0,364	49,5
59,91	21,64	21,80	10,89	1986	42,10	0,385	42,1
59,87	21,78	21,77	10,39	2307	48,66	0,366	48,7
59,91	21,83	21,78	10,4	2232	46,94	0,365	46,9
60,01	21,77	21,88	10,37	2286	47,99	0,363	48,0
					Min	0,36	42,1
					Max	0,42	50,4
					<b>Average</b>	<b>0,37</b>	<b>47,5</b>
					Avedev	0,01	2,0

Πίνακας 10. Προσδιορισμός αντοχής μη τροποποιημένης πεύκης σε αξονική θλίψη.

Πεύκη							
Μήκος	Διαστάσεις (mm)			Μέγιστη δύναμη	Αντοχή σε Θλίψη	Πυκνότητα	Αξ. Θλίψη
	Πλάτος	Πάχος	Βάρος	Fmax (N)	$\sigma=F/\alpha\beta$ (N/mm <sup>2</sup> )		
59,79	21,74	21,74	14,080	1875	39,67	0,498	39,7
59,65	21,69	21,70	14,170	1941	41,24	0,505	41,2
59,64	21,67	21,74	13,290	1680	35,66	0,473	35,7
59,78	21,69	21,71	13,130	1658	35,21	0,466	35,2
59,72	21,70	21,67	13,070	1647	35,02	0,465	35,0
59,74	21,65	21,67	13,400	1781	37,96	0,478	38,0
59,78	21,69	21,76	14,260	1885	39,94	0,505	39,9
59,81	21,67	21,63	13,240	1692	36,10	0,472	36,1
59,80	21,74	21,74	14,030	1984	41,98	0,496	42,0
59,85	21,69	21,83	13,47	1835	38,75	0,475	38,8
60,82	21,73	21,73	13,37	1821	38,56	0,466	38,6
59,90	21,70	21,75	13,73	1818	38,52	0,486	38,5
59,74	21,72	21,74	13,92	2036	43,12	0,493	43,1
59,93	21,68	21,70	13,08	1753	37,26	0,464	37,3
60,03	21,69	21,72	14,51	1644	34,90	0,513	34,9
59,94	21,61	21,69	13,33	1740	37,12	0,474	37,1
59,37	21,67	21,72	13,08	1929	40,98	0,468	41,0
59,81	21,70	21,66	13,18	1878	39,96	0,469	40,0
59,42	21,82	21,66	13,14	1865	39,46	0,468	39,5
59,78	21,71	21,70	13,27	1857	39,42	0,471	39,4
					Min	0,46	34,9
					Max	0,51	43,1
					<b>Average</b>	<b>0,48</b>	<b>38,5</b>
					Avedev	0,02	2,3

Στους παραπάνω πίνακες 9 και 10 δίνονται τα αποτελέσματα της αξονικής θλίψης, η αντοχή της πεύκης ThermoWood δεν επηρεάζεται από τη θερμική τροποποίηση του ξύλου, καθώς η μικρότερη τιμή της είναι 42,1 (N/mm<sup>2</sup>) ενώ η μεγαλύτερη 50,4 (N/mm<sup>2</sup>), η απόδοση του μέσου όρου των τιμών του είναι 47,5 (N/mm<sup>2</sup>), όσο για την τυπική του απόκλιση κυμαίνεται στο 2,0 (N/mm<sup>2</sup>). Δεν παρουσιάζει καμιά μεταβολή στην αντοχή του σε θλίψη, σε σχέση με την μη τροποποιημένη πεύκη (*Pinus sylvestris*), αντίθετα τα ποσοστά της είναι υψηλότερα.

## 5.6 Αντοχή Κάμψη

DIN 52168/1978: ANTOXH SE KAMΨH

Πίνακας 11. Προσδιορισμός αντοχής ThermoWood σε κάμψη.

ThermoWood												
A/A	Διαστάσεις (mm)			Μέγιστη δύναμη	Αντοχή σε Κάμψη	F10	F30	ΔF	L10	L30	Δl	Μέτρο Ελαστικότητας
	Πλάτος(b)	Πάχος(h)	Μήκος(l)	Fmax (N)	$\sigma=3Fl / 2bh^2$ (N/mm <sup>2</sup> )	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm)	$E=13*\Delta F/4bh^3*\Delta l$ (N/mm <sup>2</sup> )
M1	21,82	21,72	350	1354,53	69,1	135,45	406,36	270,91	0,55	1,72	1,17	11100,7
M2	21,74	21,73	350	1197,87	61,3	119,79	359,36	239,57	0,56	1,44	0,88	13081,4
M3	21,72	21,93	350	1233,67	62,0	123,37	370,10	246,73	0,44	1,24	0,80	14431,1
M4	21,71	21,75	350	1155,72	59,1	115,37	346,12	230,75	0,67	1,67	1,00	11072,6
M5	21,78	21,74	350	1041,30	53,1	104,13	312,39	208,26	0,52	1,72	1,20	8312,5
M6	21,75	21,74	350	1243,81	63,5	124,38	373,14	248,76	0,49	1,41	0,92	12968,8
M7	21,73	21,72	350	826,86	42,3	82,69	248,06	165,37	0,36	0,93	0,57	13966,5
M8	21,72	22,94	350	1474,56	67,7	147,46	442,37	294,91	0,60	1,52	0,92	13104,1
				MIN	42,3						MIN	8312,5
				MAX	69,1						MAX	14431,1
				<b>Average</b>	<b>59,8</b>						<b>Average</b>	<b>12254,7</b>
				Avedev	6,2						Avedev	1569,6

Πίνακας 12 : Αντοχή σε κάμψη, Πεύκη μη τροποποιημένη.

Πεύκη μη τροποποιημένη												
A/A	Διαστάσεις (mm)			Μέγιστη δύναμη	Αντοχή σε Κάμψη	F10	F30	ΔF	L10	L30	Δl	Μέτρο Ελαστικότητας
	Πλάτος(b)	Πάχος(h)	Μήκος(l)	Fmax (N)	$\sigma=3Fl / 2bh^2$ (N/mm <sup>2</sup> )	(N)	(N)	(N)	(mm)	(mm)	(mm)	$E=I3*\Delta F/4bh^3*\Delta l$ (N/mm <sup>2</sup> )
M1	21,74	21,70	350	1680,28	86,2	168,03	504,08	336,05	0,55	1,57	1,02	15896,8
M2	21,65	21,77	350	1505,38	77,0	150,54	451,61	301,07	0,56	1,74	1,18	12243,2
M3	21,65	21,61	350	1529,27	79,4	152,93	458,78	305,85	0,81	2,40	1,59	9437,0
M4	21,66	21,63	350	1662,03	86,1	166,20	448,61	282,41	0,56	1,60	1,04	13278,9
M5	21,67	21,89	350	1506,30	76,2	153,63	451,89	298,26	0,63	1,73	1,10	12786,5
M6	21,65	21,81	350	1457,17	74,3	145,72	437,15	291,43	0,55	1,56	1,01	13769,9
M7	21,65	21,63	350	1609,70	83,4	160,97	482,91	321,94	0,53	1,58	1,05	15000,4
M8	21,66	21,64	350	1513,57	78,3	150,36	456,07	305,71	0,62	1,61	0,99	15079,5
				MIN	74,3						MIN	9437,0
				MAX	86,2						MAX	15896,8
				<b>Average</b>	<b>80,1</b>						<b>Average</b>	<b>13436,5</b>
				Avedev	3,8						Avedev	1500,1

Στους παραπάνω πίνακες 11 και 12 δίνονται τα αποτελέσματα του πειράματος αντοχή σε κάμψη, για τα δείγματα πεύκης (*Pinus sylvestris*) και πεύκης ThermoWood. Προκύπτει ότι κατά την φόρτιση το ThermoWood επηρεάζεται αρνητικά, έτσι το μέτρο θραύσης μειώνεται καθώς η μικρότερη τιμή του είναι 42,3 (N/mm<sup>2</sup>) ενώ η μεγαλύτερη 69,1 (N/mm<sup>2</sup>), η απόδοση του μέσου όρου των τιμών του είναι 59,8 (N/mm<sup>2</sup>), και η τυπική του απόκλιση κυμαίνεται στο 6,2 (N/mm<sup>2</sup>), το μέτρο ελαστικότητας επίσης επηρεάζεται αρνητικά καθώς η μικρότερη τιμή του είναι 8312,5 (N/mm<sup>2</sup>) ενώ η μεγαλύτερη 14431,1 (N/mm<sup>2</sup>), η απόδοση του μέσου όρου των τιμών του είναι 12254,7 (N/mm<sup>2</sup>), και η τυπική του απόκλιση κυμαίνεται στο 1569,6 (N/mm<sup>2</sup>).

## 5.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το πειραματικό στάδιο για την σύγκριση ανάμεσα στο ThermoWood (πεύκη) και την κοινή δασική πεύκη (*Pinus sylvestris*) ως προς την ικανότητα διόγκωσης, και εκτίμησης των μηχανικών του ιδιοτήτων είναι τα εξής:

Γενικά προκύπτει ότι το ThermoWood έχει μικρότερη διογκωτική ικανότητα στο νερό από την μη τροποποιημένη ξυλεία. Εξαιτίας της ανάπτυξης τόσο μεγάλων θερμοκρασιών που υπέστη, οι ημικυτταρίνες καταστρέφονται και η λιγνίνη του αποικοδομείται δημιουργώντας στα κύτταρα του ισχυρότερους δεσμούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάζει μικρότερη υγροσκοπικότητα.

Οι μηχανικές του αντοχές μεταβάλλονται αρκετά: η αντοχή του ThermoWood σε αξονική θλίψη αυξάνεται περισσότερο από την κοινή ξυλεία, αν και πολλά δείγματα κατά τη φόρτιση δημιούργησαν ολίσθηση κατά 45°, και μεγάλη ευθραυστότητα στις ίνες τους. Ωστόσο η αντοχή του σε κάμψη επηρεάζεται αρνητικά, καθώς μειώνεται το μέτρο θραύσης του και το μέτρο ελαστικότητας. Αυτό είναι αρνητικό συμπέρασμα για αυτή την τροποποιημένη ξυλεία ThermoWood.



Εικόνα 27: Δείγμα ThermoWood: παρουσιάζει ευθραυστότητα στις ίνες του.



Εικόνα 28: Δείγμα ThermoWood: ολίσθαινει κατά 45°.

## Βιβλιογραφία

1. Παπαδόπουλος, Α., Καραστεργίου, Σ., Νταλός, Γ., Μαντάνης, Γ. (2004). Θερμική τροποποίηση ξύλου: μια νέα τεχνική για το ξύλο με βελτιωμένες ιδιότητες. *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, σειρά II, τόμος 15, τεύχ. 1/2004.
2. Μαντάνης, Γ., Παπαδόπουλος, Α. (2009) PlatoWood: Καινοτόμος τεχνολογία για βελτιωμένη ξυλεία. *Περιοδικό "Επιπλέον"*, τεύχος 41, 8/2009.
3. Μαντάνης, Γ. (2007) VisorWood: τροποποιημένη ξυλεία με εξαιρετικές ιδιότητες. *Περιοδικό "Επιπλέον"*, τεύχος 30, 9/2007.
4. Μαντάνης, Γ., Παπαδόπουλος, Α. (2005) ThermoWood: θερμικά τροποποιημένο ξύλο. *Περιοδικό "Επιπλέον"*, τεύχος 19, 2005.
5. Μαντάνης, Γ. (2005) Εισαγωγή στις ιδιότητες του ξύλου. Διδακτικές σημειώσεις. Τ.Ε.Ι. Λάρισας.
6. Μαντάνης Γ. (2010) Χημικά τροποποιημένη ξυλεία: Τεχνολογία, ιδιότητες και εφαρμογές στη χώρα μας. Ημερίδα έκθεσης MEDWOOD, 23-4-2010, εκθεσιακό κέντρο Metropolitan, Αθήνα.
7. Σάλτας Γ. (2010). Μελέτη και κατασκευή κουφώματος από θερμικά τροποποιημένη ξυλεία. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Σχεδιασμού κ' Τεχνολογίας Ξύλου κ' Επίπλου (Μάιος 2010). Τ.Ε.Ι. Λάρισας.
8. Φιλίππου, Ι. (1986). Χημεία και Χημική Τεχνολογία του Ξύλου. Εκδόσεις Γιαχούδη & Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
9. Τσουμής, Γ.Θ. (1983). *Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου*, ΑΠΘ.
10. Burmaster, A. (1973). Einfluß einer Warme-Druck-Behandlung halbtrockenen. *Holzes auf seine Formbestandigkeit* 12: 297- 304.
11. Callum Hill (2004). Commercial Aspects of Thermal Modification. University of Wales Blangor.
12. Fengel, D., Wegener, G. (1983). Wood: Chemistry, ultrastructure and reactions. New York: de Gruyter.
13. Finnish ThermoWood association. c/o wood Oy.(2002) P.O. Helsinki, Finland. ThermoWood® Handbook
14. Hill, C.A.S., Hale, M.D., Fajarani, M.R., Forster, S., Suttie, E.D., Jones, D.L., Papadopoulos, A.N. (2003). Decay of anhydride modified wood. *Proc. of the 1<sup>st</sup> European Conference on Wood Modification*. Gent, Belgium, p. 212-218.

15. Jamsa, S., Viitaniemi, P. (1998). Heat treatment of wood. Better durability without chemicals. *Nordiske Trebeskyttelsesdager*: 45-51.
16. Kakaras, J.A., Philippou, J.L. (1996). Treatability of several Greek wood species with the water soluble preservative CCB. *Holz als Roh-und Werkstoff* 54: 407-410.
17. Kakaras, J.A, Goroyias, G., Papadopoulos A.N. and Hale, M.D. (2002). Observation on the performance of CCB and creosote treated fence posts after 18 years of exposure in Greece. International Research Group on Wood Preservation. Cardiff, Wales, U.K. (Document No. IRG/WP 02-30288).
18. Kamdem, D.P., Pizzi, A., Guyonnet, R. and Jermannaud, A. (1999). Durability of heat treated wood. *International Research Group on Wood Preservation*. Document no. IRG/WP 99-40145.
19. Kollmann, F., Schneider, A. (1963). Über das Sptionsverhalten warmebehandelter Holzer. *Holz Roh- Werkstoff* 21: 77-85.
20. Kollmann, F., Fengel, D. (1965). Änderungen der chemischen Zusammensetzung von Holz durch thermische Behandlung. *Holz Roh – Werkstoff* 23: 461 – 468.
21. Kotilainen, R. (2000). Chemical changes in wood during heating at 150 – 260 °C. Ph.D Thesis, Jyväskylä University. Research report 80, Finland.
22. Leithoff, H., and Peek, R.D. (1998). Hitzebehandlung eine Alternative zum chemischen holzschutz. Tagungsband zur 21. *Holzschutz – Tagung der DGFH in Rosenheim* 97-108.
23. Mayes, D., and Oksanen, O. (2002). Thermowood Handbook. Thermowood, Finnforest Stora.
24. Militz, H. (2002). Thermal treatment of wood: European Processes and their background. *International Research Group on Wood Preservation*. Document no. IRG/WP 02-40241.
25. Plato International BV. (2007) The Plato technology - “A novel wood upgrading technology”.
26. Rapp, A.O., and Sailer, M. (2000). Heat treatment in Germany. Proceedings of Seminar ‘Production and development of heat treated wood in Europe’. Helsinki, Stockholm, Oslo.

27. Rapp, A.O., Sailer, M., and Westin, M. (2000). Innovative Holzvergütung neue Einsatzbereiche für Holz. Proceedings of the Dreiländer – Holztagung. Luzern, Switzerland.
28. Rapp, O., and Sailer, M. (2002). BFH, Review on heat treatments of wood Hamburg, Germany.
29. Sandermann, W., Augustin, H. (1963). Chemische Untersuchungen über die thermische Zersetzung von Holz. *Holz Roh- Werkstoff* 21: 256- 265.
30. Stamm, A.J. (1964). Wood and Cellulose Science. *New York: Roland Press*.
31. Schneider, A. (1971) Untersuchungen über den Einfluss von Wärmebehandlung im Temperaturbereich von 100°C bis 200°C auf elasticitätsmodul, Druckfestigkeit und Bruchschlagarbeit von Kiefern- Splint und Buchenholz. *Holz Roh-Werkstoff* 29:431 – 440.
32. Schneider, A., (1973) Zur Konvektionstrocknung von Schnittholz bei extreme hohen Temperaturen. *Holz Roh-Werkstoff* 31: 198- 206.
33. Syrjanen, T., Jamsa, S., and Viitaniemi, P. (2000). Heat treatment of wood in Finland. Proceedings of Seminar ‘Production and development of heat treated wood in Europe’. Helsinki, Oslo, Stockholm.
34. Tjeerdsma, B.F., Boonstra, M., and Militz, H. (1998). Thermal modification of non-durable wood species. Part II. Improved wood properties of thermally treated wood. *International Research Group on Wood Preservation*. Document no. IRG/WP 98-40124.
35. Tjeerdsma, B.F., Stevens, M., and Militz, H. (2000). Durability aspects of hydrothermal treated wood. *International Research Group on Wood Preservation*. Document no. IRG/WP 00-4.

Φωτογραφίες: Αρκετές φωτογραφίες πάρθηκαν από την ακόλουθη πηγή:

Jones, D. (2005). Examples of thermally modified wood. In: Workshop “*Wood modification: Opportunities and threats*”. COST Action E37.



Δικτυακοί τόποι

Building & Landscape Products, PlatoWood sustainable inspiration –  
[www.ecochoice.co.uk/UserFiles/Plato%20knotty%20Spruse.pdf](http://www.ecochoice.co.uk/UserFiles/Plato%20knotty%20Spruse.pdf)

<http://www.wtt.dk/Forsøgsanlæg.asp>

<http://www.platowood.nl>

<http://www.perdure.com/PERDUREPORTAL/Desktop.aspx?tabindex=2&tadid=27>

<http://www.retiwood.com/en/products.html>

<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00008216/en/>

<http://images.google.gr/images?um=1&hl=el&tbs=isch:1&q=menzholz&sa=N&start=42&ndsp=21>

Patents:

EP/0018446 1982: Verfahren zur Vergütung von Holz, 5p

EP/0759137 1995: Method for processing of wood at elevated temperatures. 12p

US/5678324 1997: Method for improving biodegradation resistance and dimensional stability of cellulosic products. 12 p

Προδιαγραφές:

EN 113 /1997: Wood preservatives - Test method for determining the protective effectiveness against wood destroying basidiomycetes - Determination of the toxic values.

ENV 807 /2001: Wood preservatives - Determination of the effectiveness against soft rotting micro-fungi and other soil inhabiting micro-organisms.

## Παράρτημα

**ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΙΟ:** ΝΕΡΟ, Η<sub>2</sub>Ο

**Έναρξη πειραμάτων:** 29-5-2008

**Λήξη πειραμάτων:** 13-9-2008

### Πείραμα προσρόφησης

Πίνακας Π. 1

Thermowood									
A/A	Βάρος αρχικό	6 ώρες αργότερα	12 ώρες αργότερα	1 μέρα μετά	2 μέρα μετά	3 μέρα μετά	7 μέρα μετά	1 μήνα μετά	100 μέρες μετά
1	3,77	4,64	4,91	5,32	5,72	6,14	7,04	8,9	10,97
2	3,55	4,45	4,65	5,07	5,39	5,81	6,77	8,62	10,8
3	3,52	4,45	4,66	5,06	5,38	5,78	6,7	8,71	10,75
4	3,55	4,18	4,33	4,75	5,09	5,48	6,76	8,88	10,84
5	3,49	4,07	4,3	4,71	5,03	5,47	6,58	8,83	10,69
MIN	3,49	4,07	4,3	4,71	5,03	5,47	6,58	8,62	10,69
MAX	3,77	4,64	4,91	5,32	5,72	6,14	7,04	8,9	10,97
AVERAGE	3,576	4,358	4,57	4,982	5,322	5,736	6,77	8,788	10,81
AVEDEV	0,0776	0,1864	0,204	0,2016	0,2096	0,2088	0,108	0,0984	0,076

Πίνακας Π.2

A/A	ΒΑΡΟΣ Αρχικό	ΒΑΡΟΣ Τελικό	Διαφορά βάρους	Ποσοστό προσρόφησης (%)
1	3,77	10,97	7,20	191,0%
2	3,55	10,80	7,25	204,2%
3	3,52	10,75	7,23	205,4%
4	3,55	10,84	7,29	205,4%
5	3,49	10,69	7,20	206,3%

Πίνακας Π.3

Πεύκη μη τροποποιημένη									
A/A	Βάρος αρχικό	6 ώρες αργότερα	12 ώρες αργότερα	1 μέρα μετά	2 μέρες μετά	3 μέρες μετά	7 μέρες μετά	1 μήνα μετά	100 μέρες μετά
1	4,74	6,27	6,4	6,75	7,3	7,88	8,43	9,91	11,39
2	4,81	6,19	6,31	6,64	7,17	7,74	8,27	9,83	11,48
3	4,66	6,37	6,47	6,86	7,44	7,98	8,67	9,71	11,57
4	4,76	6,45	6,6	6,95	7,63	8,11	8,67	9,76	11,59
5	4,78	6,72	6,79	7,22	7,82	8,32	8,88	9,84	11,62
MIN	4,66	6,19	6,31	6,64	7,17	7,74	8,27	9,71	11,39
MAX	4,81	6,72	6,79	6,79	7,82	8,32	8,88	9,91	11,62
AVERAGE	4,75	6,4	6,514	6,884	7,472	8,006	8,584	9,81	11,53
AVEDEV	0,04	0,148	0,1448	0,1608	0,2024	0,1672	0,1872	0,06	0,076

Πίνακας Π.4

Πεύκη μη τροποποιημένη				
A/A	ΒΑΡΟΣ Αρχικό	ΒΑΡΟΣ Τελικό	Διαφορά βάρους	ποσοστό προσρόφησης (%)
1	4,74	11,39	6,65	140,3%
2	4,81	11,48	6,67	138,7%
3	4,66	11,57	6,91	148,3%
4	4,76	11,59	6,83	143,5%
5	4,78	11,62	6,84	143,1%

Πείραμα μέγιστης εφαιτομενικής διόγκωσης

Πίνακας Π.5

Thermowood										
A/A	αρχική εφαιτομ.	μετά 12 ώρες	μετά 1 μέρα	μετά 2 μέρες	μετά 3 μέρες	μετά 4 μέρες	μετά 5 μέρες	μετά 6 μέρες	μετά 7 μέρες	μετά 100 μέρες
1	21,67	22,10	22,10	22,12	22,13	22,15	22,15	22,15	22,15	22,18
2	21,65	22,05	22,06	22,12	22,11	22,14	22,10	22,11	22,11	22,13
3	21,66	22,05	22,06	22,10	22,09	22,13	22,11	22,11	22,11	22,12
4	21,67	22,08	22,09	22,12	22,11	22,15	22,15	22,12	22,14	22,16
5	21,66	22,05	22,05	22,10	22,11	22,16	22,10	22,19	22,12	22,13
6	21,67	22,11	22,11	22,15	22,13	22,18	22,13	22,16	22,17	22,19
7	21,66	22,05	22,05	22,09	22,09	22,11	22,09	22,11	22,11	22,14
8	21,69	22,14	22,15	22,18	22,16	22,18	22,16	22,18	22,18	22,21
9	21,65	22,05	22,05	22,08	22,09	22,13	22,09	22,12	22,12	22,12
10	21,67	22,07	22,06	22,18	22,12	22,17	22,12	22,12	22,12	22,14
11	21,70	22,05	22,08	22,10	22,09	22,10	22,11	22,12	22,12	22,15
12	21,68	22,06	22,06	22,10	22,11	22,13	22,12	22,12	22,12	22,13
13	21,67	22,08	22,08	22,10	22,11	22,14	22,12	22,13	22,13	22,14
14	21,68	22,06	22,07	22,10	22,10	22,13	22,12	22,12	22,12	22,12
15	21,66	22,10	22,10	22,14	22,17	22,19	22,16	22,16	22,16	22,18
16	21,65	22,08	22,09	22,13	22,13	22,18	22,18	22,18	22,18	22,18

Πίνακας Π.6

Thermowood										
	αρχική εφαιτομ.	μετά 12 ώρες	μετά 1 μέρα	μετά 2 μέρες	μετά 3 μέρες	μετά 4 μέρες	μετά 5 μέρες	μετά 6 μέρες	μετά 7 μέρες	μετά 100 μέρες
1	21,67	1,98	1,98	2,08	2,12	2,22	2,22	2,22	2,22	2,35
2	21,65	1,85	1,89	2,17	2,12	2,26	2,08	2,12	2,12	2,22
3	21,66	1,80	1,85	2,03	1,99	2,17	2,08	2,08	2,08	2,12
4	21,67	1,89	1,94	2,08	2,03	2,22	2,22	2,08	2,17	2,26
5	21,66	1,80	1,80	2,03	2,08	2,31	2,03	2,45	2,12	2,17
6	21,67	2,03	2,03	2,22	2,12	2,35	2,12	2,26	2,31	2,40
7	21,66	1,80	1,80	1,99	1,99	2,08	1,99	2,08	2,08	2,22
8	21,69	2,07	2,12	2,26	2,17	2,26	2,17	2,26	2,26	2,40
9	21,65	1,85	1,85	1,99	2,03	2,22	2,03	2,17	2,17	2,17
10	21,67	1,85	1,80	2,35	2,08	2,31	2,08	2,08	2,08	2,17
11	21,70	1,61	1,75	1,84	1,80	1,84	1,89	1,94	1,94	2,07
12	21,68	1,75	1,75	1,94	1,98	2,08	2,03	2,03	2,03	2,08
13	21,67	1,89	1,89	1,98	2,03	2,17	2,08	2,12	2,12	2,17
14	21,68	1,75	1,80	1,94	1,94	2,08	2,03	2,03	2,03	2,03
15	21,66	2,03	2,03	2,22	2,35	2,45	2,31	2,31	2,31	2,40
16	21,65	1,99	2,03	2,22	2,22	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45

Πίνακας Π.7

Πεύκη μη τροποποιημένη										
A/A	αρχική εφα- πτομ.	μετά 12 ώρες	μετά 1 μέρα	μετά 2 μέρες	μετά 3 μέρες	μετά 4 μέρες	μετά 5 μέρες	μετά 6 μέρες	μετά 7 μέρες	μετά 100 μέ- ρες
1	21,72	22,48	22,55	22,55	22,53	22,58	22,53	22,54	22,57	22,58
2	21,7	22,44	22,5	22,47	22,48	22,58	22,2	22,5	22,53	22,55
3	21,64	22,48	22,57	22,54	22,54	22,56	22,59	22,59	22,59	22,59
4	21,58	22,4	22,51	22,43	22,48	22,55	22,46	22,46	22,46	22,47
5	21,58	22,45	22,48	22,46	22,52	22,53	22,52	22,5	22,52	22,54
6	21,73	22,46	22,53	22,49	22,51	22,55	22,52	22,52	22,55	22,55
7	21,56	22,47	22,53	22,5	22,53	22,55	22,52	22,54	22,55	22,57
8	21,64	22,48	22,53	22,49	22,56	22,6	22,56	22,54	22,54	22,58
9	21,59	22,45	22,45	22,45	22,48	22,51	22,45	22,48	22,49	22,54
10	21,63	22,48	22,51	22,48	22,52	22,57	22,54	22,54	22,54	22,55
11	21,59	22,47	22,47	22,46	22,47	22,51	22,52	22,52	22,52	22,54
12	21,59	22,51	22,51	22,53	22,53	22,59	22,56	22,56	22,56	22,62
13	21,59	22,55	22,56	22,52	22,57	22,59	22,6	22,61	22,61	21,65
14	21,64	22,47	22,52	22,5	22,53	22,58	22,54	22,57	22,57	22,58
15	21,58	22,51	22,51	22,51	22,53	22,59	22,57	22,58	22,58	22,58
16	21,59	22,53	22,53	22,52	22,56	22,52	22,58	22,59	22,61	22,6

Πίνακας Π.8

Πεύκη μη τροποποιημένη										
A/A	αρχική εφα- πτομ.	μετά 12 ώρες	μετά 1 μέρα	μετά 2 μέρες	μετά 3 μέρες	μετά 4 μέρες	μετά 5 μέρες	μετά 6 μέρες	μετά 7 μέρες	μετά 100 μέρες
1	21,72	3,50	3,82	3,82	3,73	3,96	3,73	3,78	3,91	3,96
2	21,7	3,41	3,69	3,55	3,59	4,06	2,30	3,69	3,82	3,92
3	21,64	3,88	4,30	4,16	4,16	4,25	4,39	4,39	4,39	4,39
4	21,58	3,80	4,31	3,94	4,17	4,49	4,08	4,08	4,08	4,12
5	21,58	4,03	4,17	4,08	4,36	4,40	4,36	4,26	4,36	4,45
6	21,73	3,36	3,68	3,50	3,59	3,77	3,64	3,64	3,77	3,77
7	21,56	4,22	4,50	4,36	4,50	4,59	4,45	4,55	4,59	4,68
8	21,64	3,88	4,11	3,93	4,25	4,44	4,25	4,16	4,16	4,34
9	21,59	3,98	3,98	3,98	4,12	4,26	3,98	4,12	4,17	4,40
10	21,63	3,93	4,07	3,93	4,11	4,35	4,21	4,21	4,21	4,25
11	21,59	4,08	4,08	4,03	4,08	4,26	4,31	4,31	4,31	4,40
12	21,59	4,26	4,26	4,35	4,35	4,63	4,49	4,49	4,49	4,77
13	21,59	4,45	4,49	4,31	4,54	4,63	4,68	4,72	4,72	0,28
14	21,64	3,84	4,07	3,97	4,11	4,34	4,16	4,30	4,30	4,34
15	21,58	4,31	4,31	4,31	4,40	4,68	4,59	4,63	4,63	4,63
16	21,59	4,35	4,35	4,31	4,49	4,31	4,59	4,63	4,72	4,68

## Πείραμα μέγιστης ακτινικής διόγκωσης

Πίνακας Π.9

Thermowood										
A/A	αρχική ακτινική	μετά 12 ώρες	μετά 1 μέρα	μετά 2 μέρες	μετά 3 μέρες	μετά 4 μέρες	μετά 5 μέρες	μετά 6 μέρες	μετά 7 μέρες	μετά 100 μέρες
1	21,12	21,34	21,37	21,37	21,38	21,38	21,41	21,43	21,45	21,4
2	21,63	21,85	21,88	21,93	21,92	21,92	21,92	21,93	21,93	21,95
3	21,63	21,89	21,89	21,89	21,98	21,9	21,92	21,94	21,94	21,93
4	21,26	21,49	21,49	21,51	21,6	21,6	21,54	21,55	21,36	21,54
5	21,66	21,91	21,91	21,99	21,93	22,04	21,97	21,97	21,98	21,95
6	21,08	21,25	21,26	21,31	21,3	21,36	21,31	21,32	21,32	21,32
7	21,64	21,87	21,88	21,99	21,91	21,91	21,92	21,94	21,94	22
8	21,53	21,85	21,91	21,91	21,89	21,95	21,87	21,92	21,93	21,9
9	21,65	21,86	21,86	21,9	21,92	21,97	21,9	21,95	21,94	21,94
10	21,64	21,91	21,91	21,94	21,93	21,97	21,95	21,96	21,96	21,98
11	21,65	21,88	21,88	21,92	21,91	21,96	21,91	21,94	21,97	21,95
12	21,66	21,9	21,9	21,95	21,93	21,96	21,93	21,97	21,98	21,98
13	21,7	21,95	21,95	21,91	22,01	22,05	21,97	21,97	21,98	21,96
14	21,66	21,9	21,91	21,93	21,92	22	21,96	21,97	21,97	21,91
15	21,6	21,8	21,87	21,87	21,98	21,98	21,87	21,87	21,93	21,89
16	21,37	21,63	21,65	21,65	21,61	21,66	21,6	21,63	21,63	21,64

Πίνακας Π.10

Πεύκη μη τροποποιημένη										
A/A	αρχική ακτινική	μετά 12 ωρ.	μετά 1 μέρα	μετά 2 μέρες	μετά 3 μέρες	μετά 4 μέρες	μετά 5 μέρες	μετά 6 μέρες	μετά 7 μέρες	μετά 100 μέρες
1	21,6	2,78	2,87	2,87	2,87	3,06	3,01	3,01	3,01	3,01
2	21,59	2,78	2,83	2,78	2,87	3,01	2,83	2,96	2,96	3,01
3	21,32	2,58	2,67	2,53	2,58	2,81	2,67	2,63	2,72	2,77
4	21,56	2,41	2,60	2,27	2,50	2,64	2,50	2,74	2,78	2,41
5	21,55	2,74	2,78	2,74	2,55	3,02	2,92	2,83	2,92	2,88
6	21,59	2,87	3,10	2,96	3,10	3,29	3,06	3,15	3,15	3,15
7	21,22	2,54	2,73	2,59	2,69	2,97	2,69	2,73	2,87	2,73
8	21,59	2,69	3,01	2,69	5,56	3,15	2,87	2,87	2,92	3,06
9	21,54	2,51	2,51	2,51	3,06	2,79	2,60	2,60	2,69	2,65
10	21,57	2,69	2,83	2,74	2,78	3,11	2,92	2,87	2,92	2,78
11	21,57	2,46	2,55	2,36	2,41	2,69	2,60	2,60	2,60	2,64
12	21,47	2,56	2,75	2,42	2,61	2,93	2,61	2,70	2,70	2,79
13	21,07	2,37	2,47	2,33	2,56	2,75	2,56	2,56	2,71	7,31
14	21,62	2,54	2,87	2,64	2,59	2,82	2,64	2,68	2,78	2,68
15	21,43	2,52	2,57	2,47	2,66	2,89	2,52	2,66	2,66	2,66
16	21,13	2,37	2,60	2,51	2,46	2,65	2,65	2,65	2,65	2,60

## Αξονική διόγκωση

Πίνακας Π.11

Thermowood					
A/A	Ξηρή διά- σταση	1 μήνα μετά	100 μέ- ρες μετά	Ποσοστό (%) διό- γκωσης (1 μήνα)	Ποσοστό (%) διό- γκωσης (100 μ.)
1	100,07	100,14	100,29	0,07	0,22
2	100,13	100,15	100,20	0,02	0,07
3	100,15	100,21	100,21	0,06	0,06
4	100,07	100,10	100,10	0,03	0,03
5	100,14	100,15	100,17	0,01	0,03
6	100,22	100,23	100,25	0,01	0,03
7	100,11	100,21	100,24	0,10	0,13
8	100,08	100,09	100,21	0,01	0,13
9	100,15	100,23	100,25	0,08	0,10

Πίνακας Π.12

Πεύκη μη τροποποιημένη					
A/A	Ξηρή διάσταση	1 μήνα μετά	100 μέρες μετά	Ποσοστό (%) διό- γκωσης (1 μήνα)	Ποσοστό (%) διό- γκωσης (100 μ.)
1	100,05	100,07	100,37	0,02	0,32
2	100,09	100,15	100,44	0,06	0,35
3	100,04	100,29	100,35	0,25	0,31
4	100,12	100,18	100,37	0,06	0,25
5	99,99	100,33	100,49	0,34	0,50
6	100,28	100,49	100,59	0,21	0,31
7	100	100,14	100,2	0,14	0,20
8	100,1	100,29	100,36	0,19	0,26
9	100,09	100,26	100,3	0,17	0,21
10	100,01	100,21	100,22	0,20	0,21