

## Θερμική τροποποίηση του ξύλου: Μία νέα τεχνική για ξύλο με βελτιωμένες ιδιότητες

Α. Παπαδόπουλος<sup>1</sup>, Σ. Καραστεργίου<sup>1</sup>, Γ. Νταλός<sup>1</sup>, Γ. Μαντάνης<sup>1</sup>

### Περίληψη

Ερευνητικές προσπάθειες στον τομέα της θερμικής τροποποίησης του ξύλου είχαν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη διαφόρων μεθόδων παραγωγής του, οι οποίες εμφανίστηκαν στην Ευρώπη τα τελευταία χρόνια. Η συνολική παραγωγή θερμικά τροποποιημένου ξύλου στην Ευρώπη για το 2001 υπολογίζεται ότι ήταν περίπου 165.000 m<sup>3</sup>. Θερμικά τροποποιημένη ξυλεία κωνοφόρων και πλατυφύλλων παρουσιάζει σημαντικά βελτιωμένα διαστασιακή σταθερότητα και βιολογική ανθεκτικότητα, λόγω των αλλαγών που συντελούνται στα βασικά χημικά συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος του ξύλου από τη χρήση υψηλών θερμοκρασιών. Οι μηχανικές ιδιότητες της θερμικά τροποποιημένης ξυλείας επηρεάζονται αρνητικά από τη χρήση υψηλών θερμοκρασιών. Το μέλλον θα δείξει αν η Ευρωπαϊκή βιομηχανία επεξεργασίας ξύλου κατορθώσει να παρουσιάσει ένα προϊόν υψηλής ποιότητας.

**Λέξεις κλειδιά:** θερμική τροποποίηση, διαστασιακή σταθερότητα, βιολογική ανθεκτικότητα.

### Εισαγωγή

Για πολλές δεκαετίες, οι βιομηχανίες επεξεργασίας ξύλου προσπάθησαν να αυξήσει τη χρονική διάρκεια χρήσης του ξύλου σαν πρώτη ύλη σε διάφορες κατασκευές και παράλληλα 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 ύστερα από μηχανική κατεργασία, κάλυψη της επιφάνειας του ξύλου με ελαιοχρώματα, βερνίκια και ανάλογες ουσίες, και προστατευτικός εμποτισμός με κλασσικές μεθόδους (Tsoumis 1992). Όλοι αυτοί οι τρόποι είναι περισσότερο ή λιγότερο τεχνικοί, αλλοιώνουν σε μεγάλο βαθμό το ξύλο σαν υλικό και κυρίως βασίζονται στη χρήση τοξικών χημικών ουσιών όπως το πισσέλαιο και τα υδατοδιαλυτά άλατα αρσενικού και βορίου. 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 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 τους τοίχωμα αποτελείται από ουσίες όπως η κυτταρίνη, η ημικυτταρίνη και η λιγνίνη. Ένας μεγάλος αριθμός ιδιοτήτων του ξύλου προσδιορίζεται και εξαρτάται ταυτόχρονα από τη συμπεριφορά αυτών των ουσιών, όπως η υγροσκοπικότητα, η ρίζκωση και η διόγκωση, η προσβολή από μικροοργανισμούς και ο αποχρωματισμός 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 (Papadopoulos 2001, 2002, Hill et al. 2003):

- Χημική τροποποίηση

<sup>1</sup> Τμήμα Σχεδιασμού & Τεχνολογίας Ξύλου – Επίπλου, Τ.Ε.Ι. Λάρισας, - Παράρτημα Καρδίτσας, Τέρμα Μαυρομάλη, Τ.Κ. 43100, Καρδίτσα, τηλ.: 2441028499, fax: 2441028299

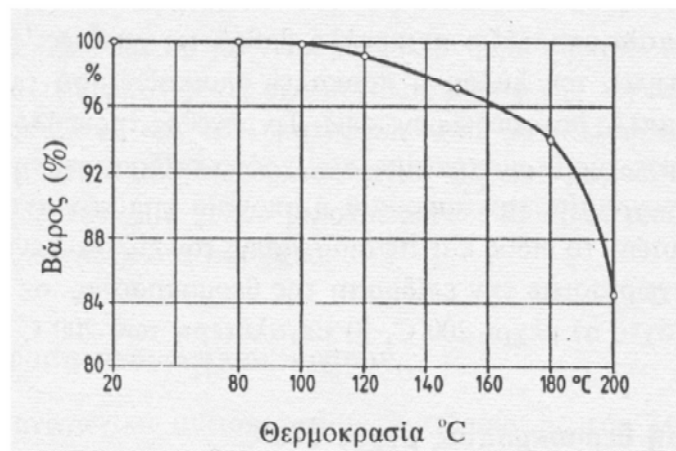
- Θερμική τροποποίηση
- Ενζυματική τροποποίηση

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι διάφορες μέθοδοι παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου, καθώς επίσης και οι μηχανικές, φυσικές και βιολογικές του ιδιότητες.

### 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 των οποίων είναι το ύψος της θερμοκρασίας και 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 επίδραση της αφορά κυρίως μείωση της υγρασκοπικότητας, της μηχανικής αντοχής και περιορισμένη αποικοδόμηση των συστατικών του ξύλου (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 μόνιμες, 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). Στο Σχήμα 1, φαίνεται ότι ξύλο ελάτης σε μορφή πριονιδίου μετά από θέρμανση για εικοσιτέσσερις ώρες άρχισε να χάνει βάρος στους 100 °C; η απώλεια βάρους στους 120 °C ήταν 0,8%, ενώ στους 200 °C έφτασε το 15%.



**Σχήμα 1.** Απώλεια βάρους ξύλου ελάτης σε μορφή πριονιδίου, μετά από θέρμανση σε διάφορες θερμοκρασίες για εικοσιτέσσερις ώρες (Φιλίππου 1986).

**Figure 1.** Loss by weight of spruce wood (sawdust) after heating at various temperatures for 24 hours (Φιλίππου 1986).

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 της ημικυτταρίνης 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 και οι κύριοι υπεύθυνοι για δύο 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 μία αυξημένη ενεργητικότητα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται νέα πολυμερή συστατικά μέσα στη μάζα του ξύλου, με διαφορετικές – βελτιωμένες – ιδιότητες (π.χ. απορρόφηση λιγότερης ποσότητας νερού).

### Μέθοδοι παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου

Το κοινό χαρακτηριστικό όλων των μεθόδων παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου, είναι ότι ο χειρισμός του ξύλου πραγματοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες, που κυμαίνονται από 160 °C μέχρι 260 °C. Οι διαφορές τους 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, λάδι) και παρουσία ή απουσία οξυγόνου (EP0018446 1982, EP0759137. 1995, US5678324. 1997).

Οι κυριότεροι μέθοδοι παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου, που έχουν αναπτυχθεί σε διάφορες χώρες της Ευρώπης και έχουν κατοχυρωθεί διεθνώς ως διπλώματα ευρεσιτεχνίας, παρουσιάζονται στη συνέχεια.

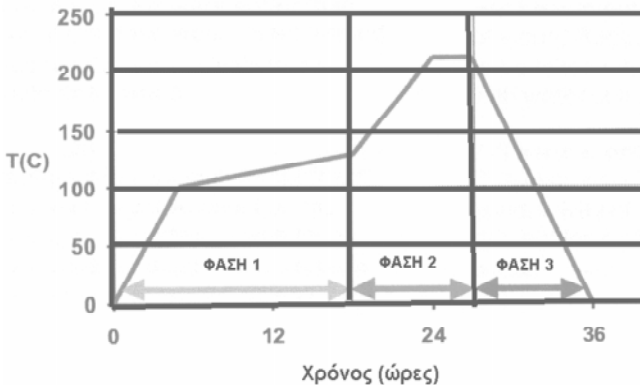
#### Thermo Wood Process

Ερευνητικές προσπάθειες πολλών ετών στον τομέα της θερμικής τροποποίησης του ξύλου από το Τεχνολογικό Ερευνητικό Κέντρο της Φινλανδίας (Technical Research Centre of Finland) και τη Βιομηχανία ξύλου της Φινλανδίας, είχαν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη της εν λόγω μεθόδου. Θερμικά τροποποιημένο ξύλο παράγεται πλέον σε βιομηχανική κλίμακα με το εμπορικό όνομα ThermoWood®, και έχει κατοχυρωθεί διεθνώς ως δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Η άδεια χρήσης του διπλώματος ανήκε στον Φινλανδικό Συνεταιρισμό Θερμικά Τροποποιημένου ξύλου (Finnish ThermoWood Association).

Η όλη διαδικασία παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου, η οποία παρουσιάζεται στο Σχήμα 2, μπορεί να κατανεμηθεί στις εξής φάσεις (Militz 2002):

- Φάση 1, η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:
  - (α) Στάδιο θέρμανσης, όπου το ξύλο θερμαίνεται ραγδαία σε μια θερμοκρασία που δεν ξεπερνά τους 100 °C. Η χρονική διάρκεια του σταδίου κυμαίνεται από 2 μέχρι 4 ώρες.
  - (β) 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, όπου πραγματοποιείται η θερμική τροποποίηση του ξύλου.
 

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.



**Σχήμα 2.** Διαδικασία παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου (Militz 2002).

**Figure 2 .** Technology production of thermally modified wood (Militz 2002).

- Φάση 3, η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

(α) Στάδιο μερικού κλιματισμού, όπου η θερμοκρασία ελαττώνεται σταδιακά .

(β) 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.

(γ) 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 46 ώρες. Η μέθοδος

είναι γενικά κατάλληλη για όλα τα είδη ξύλου, αλλά μπορεί να προσαρμοσθεί ανάλογα με τις ατομικές ιδιαιτερότητες κάθε είδους.

#### Plato Process

Η μέθοδος, που αναπτύχθηκε στην Ολλανδία, και κατοχυρώθηκε ως δίπλωμα ευρεσιτεχνίας με το εμπορικό όνομα PLATO® Wood, είναι κάπως διαφορετική σε σύγκριση με την προηγούμενη μέθοδο και ισχυρίζεται ελάχιστη μείωση στις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου. 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 μετατροπές. Πλέον 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 επιπτώσεις στις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου να ελαχιστοποιούνται (Tjeerdsma et al. 1998).

Η διαδικασία παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου σύμφωνα με τη μέθοδο PLATO® Wood, αποτελείται από δύο στάδια με ένα ενδιάμεσο στάδιο ξήρανσης. Στο πρώτο στάδιο (υδροθερμικό), που διαρκεί 4 με 5 ώρες, το ξύλο (χλωρό ή ξηρό) θερμαίνεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 160 °C - 190 °C κάτω από αυξανόμενη πίεση. Στη συνέχεια, ακολουθεί το ενδιάμεσο στάδιο ξήρανσης με σκοπό η θερμοκρασία του ξύλου να κατέβει περίπου στο 10%. Η διάρκεια του σταδίου αυτού κυμαίνεται από 3 μέχρι 5 ημέρες. Στο δεύτερο και τελικό στάδιο, το ξύλο θερμαίνεται σε θερμοκρασίες μεταξύ 170 °C - 190 °C, για 14 μέχρι 16 ώρες. Με τη μέθοδο αυτή αποφεύγεται η χρήση πολύ υψηλών θερμοκρασιών.

#### Retification Process

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε στη Γαλλία και κατοχυρώθηκε ως δίπλωμα ευρεσιτεχνίας με το εμπορικό όνομα New Option Wood (NEW). Σύμφωνα με τη μέθοδο, ξύλο με υγρασία 12% θερμαίνεται στους 200 °C - 240 °C, παρουσία αζώτου (Militz 2002).

#### Bois perdure Process (BCI – MBS, France)

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, που αναπτύχθηκε στη Γαλλία, χλωρό ξύλο θερμαίνεται πολύ γρήγορα στους 200 °C - 240 °C, παρουσία ατμοσφαιρικής πίεσης (Militz 2002).

#### Oil Heat Treatment Process

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, που αναπτύχθηκε στη Γερμανία, η θερμική τροποποίηση πραγματοποιείται με εμβάπτιση του ξύλου μέσα σε θερμαινόμενο λάδι (180 °C - 200 °C), σε κλειστό κύλινδρο. Η παρουσία λαδιού παρέχει γρήγορη και ομοιόμορφη θέρμανση του ξύλου, ενώ ταυτόχρονα περιορίζει στο ελάχιστο την παρουσία οξυγόνου στον κύλινδρο. Η συνολική διάρκεια της μεθόδου, για ξύλο μήκους τεσσάρων μέτρων, πλάτους και πάχους 100 χιλιοστών, είναι 18 ώρες (Rapp and Sailer 2000).

#### **Ιδιότητες θερμικά τροποποιημένου ξύλου**

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 ύψος της θερμοκρασίας και η παρουσία οξυγόνου.

#### Μηχανικές ιδιότητες

Θερμική τροποποίηση, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Thermo Wood Process, σε θερμοκρασίες μικρότερες των 220 °C δεν επηρεάζει σημαντικά την αντοχή του ξύλου σε στατική κάμψη, με την προϋπόθεση ότι το ξύλο δεν περιέχει ρόζους (Militz 2002). Ξύλο, που έχει τροποποιηθεί θερμικά με τις μεθόδους Plato Process και Oil Heat Treatment Process παρουσιάζει μείωση στην τιμή του μέτρου θραύσεως 5% και 30% αντίστοιχα (Rapp and Sailer 2000).

Θερμική τροποποίηση σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 230 °C επηρεάζει σημαντικά την αντοχή του ξύλου σε διάτμηση. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, η μείωση είναι μικρότερη (Syrjanen et al. 2000).

Φυσικές ιδιότητες

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

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 (δασική πεύκη, ερυθρελάτη, οξιά – κλάση ανθεκτικότητας 4 - 5) βελτιώνεται σημαντικά (κλάση ανθεκτικότητας 2 - 4). Η βελτίωση εξαρτάται κυρίως από το ύψος και τη διάρκεια εφαρμογής της θερμοκρασίας και είναι υψηλότερη όταν η ξυλεία εκτίθεται σε μύκητες κασταλής σήψης παρά σε μύκητες λευκής και μαλακής σήψης (Leithoff and Peek 1998).

Η ανθεκτικότητα του ξύλου σε χρήση απέναντι σε προσβολή από έντομα, όπως είναι το έντομο επίπλου *Annohim punctatum* και το παρκετόεντομο *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).

Άλλες ιδιότητες

Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, που εφαρμόζονται κατά τη θερμική τροποποίηση, το ξύλο αποκτά καφέ χρώμα. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο πιο σκούρο καφέ είναι το χρώμα που αποκτά το ξύλο (Kamdēm et al. 1999, Kotilainen 2000).

Μετά το πέρας της τροποποίησης, το ξύλο αποκτά μία χαρακτηριστική μυρωδιά ‘καραμέλας’ (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 με αυτή του μη τροποποιημένου ξύλου (Rapp et al. 2000).

Το θερμικά τροποποιημένο ξύλο απορροφά υγρασία και κόλλες οι οποίες περιέχουν νερό, όπως το οξικό πολυβινύλιο, με βραδύτερο ρυθμό. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η εφαρμογή μεγαλύτερου χρόνου πίεσης στην πρέσσα. Τέτοιο πρόβλημα δεν υπάρχει όταν χρησιμοποιούνται πολυουρεθάνες (Tjeerdsmā et al. 2000).

**Χρήσεις θερμικά τροποποιημένου ξύλου**

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 Ι και ΙΙ, για κωνοφόρα και πλατύφυλλα αντίστοιχα. Στα κωνοφόρα η κλάση Thermo-S συνιστάται για εφαρμογές εσωτερικού χώρου,

**Πίνακας Ι:** Κλάσεις και προτεινόμενες χρήσεις ThermoWood® κωνοφόρων

**Table I:** Classes and recommended uses of softwood ThermoWood®

<b>ΚΩΝΟΦΟΡΑ (ΠΕΥΚΗ, ΕΛΑΤΗ)</b>	
<b>Thermo-S</b>	<b>Thermo-D</b>
Κατασκευή στοιχείων σπαιού	Προστατευτικά καλύμματα
Κατασκευή επίπλων κήπου	Εξωτερικές πόρτες
Πόρτες και παράθυρα	Παντζούρια
Δομικά στοιχεία	Πατώματα
Κατασκευή σάουνας	Κατασκευή επίπλων κήπου
	Κατασκευή σάουνας
	Κατασκευή στοιχείων μάνιου

**Πίνακας ΙΙ:** Κλάσεις και προτεινόμενες χρήσεις ThermoWood® πλατυφύλλων

**Table II:** Classes and recommended uses of hardwood ThermoWood®

ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ (ΣΗΜΥΔΑ, ΛΕΥΚΗ)	
Thermo-S	Thermo-D
Κατασκευή στοιχείων σπαιού	Κατασκευή επίπλων σπαιού
Κατασκευή επίπλων κήπου	Κατασκευή επίπλων κήπου
Πατώματα	Πατώματα
Κατασκευή σάουνας	Κατασκευή σάουνας

ενώ η γλάση 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.

#### Παραγωγή θερμικά τροποποιημένου ξύλου στην Ευρώπη και περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η παραγωγή θερμικά τροποποιημένου ξύλου στην Ευρώπη για το έτος 2001 παρουσιάζεται στον Πίνακα ΙΙΙ. Η συνολική παραγωγή ήταν 165.000 m<sup>3</sup>, ενώ για τα έτη 2002 και 2003, σύμφωνα με προβλέψεις της βιομηχανίας, αναμενόταν να ξεπεράσει τα 270.000 m<sup>3</sup> (Militz 2002). Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η παραγωγή θερμικά τροποποιημένου ξύλου ήταν μηδενική στη Γερμανία και την Ολλανδία το 2001, γιατί κατά τη διάρκεια του έτους αυτού τελειοποιήθηκαν οι τεχνολογίες παραγωγής τους.

**Πίνακας ΙΙΙ:** Παραγωγή θερμικά τροποποιημένου ξύλου στην Ευρώπη (Militz 2002).

**Table III:** Production capacity of heat treated wood in Europe (Militz 2002).

ΧΩΡΑ	ΠΑΡΑΓΩΓΗ (m <sup>3</sup> )	ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (m <sup>3</sup> )
Φινλανδία	150.000	200.000
Γαλλία	15.000	25.000
Γερμανία	0	10.000
Ολλανδία	0	30.000

Το θερμικά τροποποιημένο ξύλο είναι ένα φυσικό προϊόν ξύλου που παράγεται με τη χρήση θερμότητας και ατμού και χωρίς τη χρήση χημικών ουσιών. Μετά το τέλος του κύκλου ζωής του μπορεί να χειρισθεί όπως το μη τροποποιημένο ξύλο (Finnish ThermoWood Association).

Κατά τη διάρκεια παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου, καταναλώνεται ενέργεια, παράγονται υπολείμματα νερού και εκλύονται διάφορα αέρια. Τα παραπάνω πρέπει να λαμβάνονται υπόψη προκειμένου να γίνεται εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του θερμικά τροποποιημένου ξύλου (Mayes and Oksanen 2002):

Θερμική τροποποίηση ενός κυβικού μέτρου ελάτης απελευθερώνει 100 – 150 g/m<sup>3</sup> οξικό οξύ και συνολικά περίπου 20 με 40 kg/m<sup>3</sup> διάφορα άλλα αέρια. Κατά τη διαδικασία της τροποποίησης, τα αέρια συλλέγονται και καίγονται προκειμένου να αποφευχθεί πιθανή απελευθέρωση τους στην ατμόσφαιρα (Syrjanen et al. 2000).

Το νερό, που παράγεται κατά την τροποποίηση του ξύλου είναι οξικό (pH=3). Αυτό χειρίζεται κατάλληλα πριν την επαναχρησιμοποίηση του (Mayes and Oksanen 2002):

Η ενέργεια, που καταλώνεται για την παραγωγή θερμικά τροποποιημένου ξύλου προέρχεται συνήθως από την καύση φλοιού και υπολειμμάτων ξύλου. Το 80% της ενέργειας που καταναλώνεται, χρησιμοποιείται στο στάδιο της ξήρανσης. Η συνολική ενέργεια, που απαιτείται για την παραγωγή θερμικά τροποποιημένου ξύλου είναι 25% μεγαλύτερη από την ενέργεια που καταναλώνεται για την τεχνητή ξήρανση κοινού βιομηχανικού ξύλου (Syrjanen et al. 2000).

### Συμπεράσματα

Το θερμικά τροποποιημένο ξύλο είναι ξύλο, που παράγεται με τη χρήση θερμότητας και ατμού και χωρίς τη χρήση χημικών ουσιών. Είναι προϊόν με βελτιωμένη διαστασιακή σταθερότητα και ανθεκτικότητα απέναντι σε μικροοργανισμούς. Οι μηχανικές του ιδιότητες δεν επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό. Μετά το τέλος του κύκλου ζωής του μπορεί να χειρισθεί όπως το μη τροποποιημένο ξύλο. Η συνολική ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή θερμικά τροποποιημένου ξύλου είναι 25% μεγαλύτερη από την ενέργεια που καταναλώνεται για την τεχνητή ξήρανση κανονικού ξύλου. Η συνολική παραγωγή για το έτος 2001 ήταν 165.000 m<sup>3</sup>, ενώ για τα έτη 2002 και 2003, σύμφωνα με προβλέψεις της βιομηχανίας, αναμενόταν να ξεπεράσει τα 270.000 m<sup>3</sup>.

### Thermal modification of wood: A new technique for wood with improved properties

A. Papadopoulos<sup>1</sup>, S. Karastergiou<sup>1</sup>, G. Ntalos<sup>1</sup>, G. Mantanis<sup>1</sup>

#### Abstract

The results of joint efforts of European research institutes and industrial companies led to several heat treatment processes, with a total production of approx. 165.000 m<sup>3</sup> in 2001. Comprehensive research on the main important wood properties showed an improved durability and dimensional stability of several softwood and hardwood species. These improvements are due to severe changes of the intrinsic cell wall chemistry, caused by the elevated temperatures. However, at the same time, some mechanical properties are negatively influenced by the high treatment temperatures. The near future will show, if the industrial companies will be able by a strict process control and a quality insurance system to guarantee a steady and even product quality.

**Key words:** thermal modification, dimensional stability, biological resistance

#### Βιβλιογραφία

- Fengel, D. and Wegener, G., 1983. Wood : Chemistry, ultrastructure and reactions. New York: de Gruyter.
- Hill, C.A.S., Hale, M.D., Faharani, M.R., Forster, S., Suttie, E.D., Jones, D.L., and Papadopoulos, A.N., 2003. Decay of anhydride modified wood. Proceedings of the 1<sup>st</sup> European Conference on Wood Modification. Gent, Belgium:212-218.
- Jamsa, S., and Viitaniemi, P., 1998. Heat treatment of wood. Better durability without chemicals. Nordiske Trebeskyttelsesdager: 45-51.
- Kakaras, J.A., and Philippou, J.L., 1996. Treatability of several Greek wood species with the water soluble preservative CCB. Holz als Roh-und Werkstoff 54: 407-410.
- 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).
- Kamdern, 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.
- Kotilainen, R., 2000. Chemical changes in wood during heating at 150 – 260 °C. Ph.D Thesis, Jyväskylä University. Research report 80, Finland.
- Leithoff, H. and Peek, R.D., 1998. Hitzebehandlung eine Alternative zum chemischen holzschutz. Tagungsband zur 21. Holzschutz – Tagung der DGFH in Rosenheim 97-108.
- Mayes, D., and Oksanen, O., 2002: Thermowood Handbook. Thermowood, Finnforest Stora.
- Militz, H., 2002. Thermal treatment of wood: European Processes and their background. International Research Group on Wood Preservation. Document no. IRG/WP 02-40241.
- Papadopoulos, A.N., 2001. Swelling, cell wall porosity and chemical modification of wood. Διδακτορική Διατριβή. University of Wales, Bangor.

<sup>1</sup> Department of Wood & Furniture Technology and Design, Annex of Karditsa – TEI Larissas, Terma Mavromixali Str., 43100, Karditsa, Greece

- Papadopoulos, A.N., 2002. Chemical modification of wood. Part 1: An introductory approach. *The Bio Products Journal* 3(9):11-13.
- 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.
- Rapp, A.O., Sailer, M., and Westin, M., 2000. Innovative Holzverwertung neue Einsatzbereiche für Holz. Proceedings of the Dreiländer – Holztagung. Luzern, Switzerland.
- Stamm, A.J., 1964. Wood and cellulose science. New York: Roland Press.
- 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.
- 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.
- 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.
- Tsoumis, G., 1992. Science and technology of wood: structure, properties, utilization. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Φιλίππου, Ι.Α., 1986. Χημεία και χημική τεχνολογία του ξύλου. Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη. Θεσσαλονίκη.