

**Δρ. Αντωνίου Παπαδόπουλου και Δρ. Γεωργίου Μαντάνη**

Στις μέρες μας είναι επιτακτική η ανάγκη για νέες, *πράσινες* τεχνολογίες σ' όλους τους κλάδους της παγκόσμιας βιομηχανίας και κατ' επέκταση και στη βιομηχανία ξύλου με αποτέλεσμα μεγάλα χρηματικά ποσά να επενδύονται ετησίως στην έρευνα και την ανάπτυξη (R&D) νέων, περιβαλλοντικά φιλικών τεχνολογιών. Λαμβάνοντας υπόψη την απαγόρευση χρήσης των αλάτων χρωμίου (Cr) & αρσενικού (As) σε εμποτιστικές ουσίες σε αρκετές εφαρμογές του ξύλου στην Ευρωπαϊκή Ένωση, ο προσανατολισμός προς τα οικολογικά προϊόντα και τις «καθαρές» τεχνολογίες είναι πλέον μονόδρομος. Ο απώτερος στόχος είναι η παραγωγή προϊόντων ξύλου με βελτιωμένες ιδιότητες, εφάμιλλες μ' αυτές του εμποτισμένου ξύλου.

Δύο σημαντικές εναλλακτικές τεχνολογικές λύσεις για την επίτευξη του παραπάνω στόχου είναι η χημική και η θερμική τροποποίηση του ξύλου, δηλ. η βελτίωσή του με χρήση ακίνδυνων χημικών ή/και θερμότητας, αντίστοιχα, για την παραγωγή ξύλου με καλύτερες ιδιότητες. Κύριος στόχος αυτών των τεχνολογιών είναι το τροποποιημένο ξύλο να έχει μεγαλύτερη διαστασιακή σταθερότητα (μικρότερη ρίκνωση-διόγκωση) και μεγαλύτερη *φυσική διάρκεια*, δηλ. υψηλότερη αντοχή στις κλιματικές συνθήκες, τους μύκητες - έντομα και την ηλιακή ακτινοβολία.

Μια περίπτωση χημικής τροποποίησης του ξύλου αποτελεί η καινοτόμος τεχνολογία Accoya® η οποία κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας με το εμπορικό όνομα Accoya® Wood. Η τεχνολογία αυτή έφτασε σε βιομηχανικό επίπεδο χάρις τις πολύχρονες ερευνητικές προσπάθειες των εξαιρετών Αμερικανών ερευνητών Dr. Alfred Stamm (1947-1980) και Καθ. Roger Rowell (1985-2004) του Forest Products Lab - Madison και του Σουηδού Καθ. Rune Simonson (1990-2004) του Chalmers University of Technology. Η μέθοδος αυτή τροποποιεί χημικά το ξύλο επιτρέποντας έτσι τη βελτίωση ειδών, π.χ. ερυθρελάτης, πεύκου, λεύκης, οξιάς. Η παραγόμενη ξυλεία φέρει οικολογικό σήμα και είναι εξαιρετικά υψηλής ποιότητας.

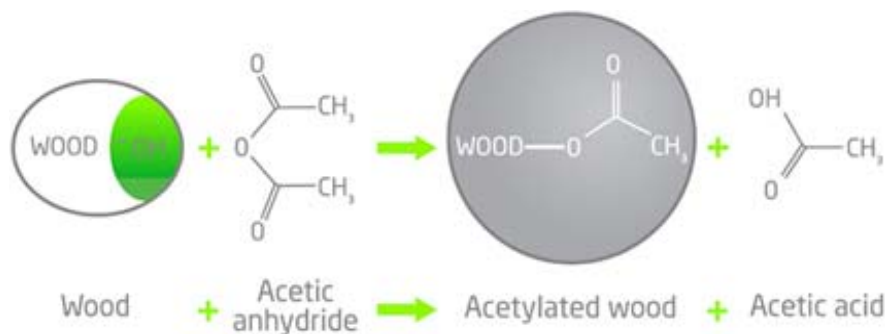
**Η ιδέα παραγωγής του**

Χημική τροποποίηση προκύπτει με χημική αντίδραση των συστατικών του ξύλου (συνήθως τα ελεύθερα υδροξύλια -OH της κυτταρίνης και των ημικυτταρινών) και επιλεγμένων χημικών ουσιών, με ή χωρίς τη βοήθεια καταλύτη και δημιουργία δεσμών μεταξύ τους. Η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες και η λιγνίνη κατανέμονται στα κυτταρικά τοιχώματα σε διάφορες αναλογίες και τα υδροξυλιά τους αποτελούν τις πιο άφθονες χημικές θέσεις όπου αντιδρούν. Αυτά τα τρία πολυμερή συνιστούν τα κυτταρικά τοιχώματα. Οι κενοί χώροι μπορούν να θεωρηθούν σαν αποθηκευτικές δεξαμενές για τα χημικά που χρησιμοποιούνται για χημική τροποποίηση του ξύλου. Οι χημικές ουσίες λοιπόν τροποποιούν τα κύρια χημικά συστατικά του ξύλου χωρίς να αφήνουν τοξικά υπολείμματα μέσα στο ξύλο. Η χημική τροποποίηση μπορεί να μεταβάλλει και τον υδρόφιλο χαρακτήρα του ξύλου. Η εισαγωγή χημικών μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα και η δημιουργία χημικών δεσμών με το ξύλο ελαττώνουν το μέγεθος της ρίκνωσης και της διόγκωσης επειδή το ξύλο βρίσκεται σε μερική ή ολική κατάσταση διόγκωσης και πολλά υδροξύλια αποκλείονται από τη δημιουργία δεσμών υδρογόνου με μόρια νερού ή αντικαθίστανται από άλλες υδρόφοβες ομάδες.

**Η τεχνολογία παραγωγής του**

Το χημικό αντιδραστήριο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του Accoya® Wood είναι ο *οξικός ανυδρίτης*. Ο ανυδρίτης αυτός αντιδρά με τα υδροξύλια του ξύλου

σχηματίζοντας εστέρες. Η αντίδραση εστεροποίησης καταλύεται με όξινους ή αλκαλικούς καταλύτες και λαμβάνει χώρα σε θερμοκρασία 100-120°C. Κατά την αντίδραση γίνεται η λεγόμενη *ακετυλίωση* του ξύλου και παράγεται ακετυλιωμένο ξύλο (acetylated wood) και οξικό οξύ σαν παραπροϊόν (Σχήμα 1). Η ακετυλίωση είναι αντίδραση απλής αντικατάστασης, δηλ. μια ακετυλική ομάδα υποκαθιστά ένα υδροξύλιο χωρίς πολυμερισμό. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση του βάρους του ξύλου λόγω πρόσληψης τέτοιων ομάδων ανάγεται κατευθείαν σε αριθμό -OH που έχουν υποκατασταθεί.



**Σχήμα 1: Αντίδραση του ξύλου με οξικό ανυδρίτη**

Η τεχνολογία του τροποποιημένου ξύλου Accoya®Wood βασίζεται στα ακόλουθα στάδια:

- ✚ Επιλογή ξυλείας και ξήρανση (μέχρι 2-4% επίπεδο υγρασίας).
- ✚ Εμποτισμός της ξυλείας με κατάλληλο καταλύτη. Ο εμποτισμός της ξυλείας διογκώνει τα κυτταρικά τοιχώματα του ξύλου με σκοπό τη διευκόλυνση της χημικής αντίδρασης.
- ✚ Αντίδραση του ξύλου με το χημικό αντιδραστήριο. Η ξυλεία μεταφέρεται σε ειδικούς αντιδραστήρες (κλειστούς κλιβάνους) και η χημική τροποποίηση πραγματοποιείται σε θερμοκρασία ~120°C.
- ✚ Προσθήκη ακετόνης. Η ακετόνη προστίθεται στον αντιδραστήρα για μια ώρα περίπου με σκοπό τον τερματισμό της χημικής αντίδρασης.
- ✚ Ξήρανση της ξυλείας και τελικός κλιματισμός.

### **Οι ιδιότητες του Accoya®Wood**

**Φυσικές ιδιότητες.** Η πυκνότητα του Accoya®Wood είναι περίπου 10% υψηλότερη σε σχέση με το μη τροποποιημένο ξύλο, γεγονός που οφείλεται στην είσοδο των ακετυλικών ομάδων στα κυτταρικά τοιχώματα και την πλήρωση των κενών χώρων. Η υγροσκοπικότητα του Accoya®Wood (ρίκνωση & διόγκωση) μειώνεται με συνέπεια τη βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητάς του. Αναφέρεται ότι ξύλο Accoya®Wood από δασική πεύκη έχει εφαπτομενική διόγκωση 1,5%, ενώ το ίδιο μη τροποποιημένο ξύλο έχει 7,7%. Επίσης, το ξύλο παρουσιάζει *τιμή αντιρρίκνωσης* 70-80%. Πρόσθετα, το Accoya®Wood είναι λιγότερο ανισότροπο, καθώς η διαφορά μεταξύ εφαπτομενικής και ακτινικής ρίκνωσης και διόγκωσης είναι σημαντικά μικρότερη, ενώ εμφανίζει και μικρότερη θερμική αγωγιμότητα.

**Μηχανικές ιδιότητες.** Οι μηχανικές ιδιότητες θεμελιώδους σημασίας, όπως είναι το μέτρο θραύσης (MOR) και το μέτρο ελαστικότητας (MOE) δεν επηρεάζονται σημαντικά, ενώ αυξάνεται η αντοχή του σε σκληρότητα.

*Ανθεκτικότητα σε βιολογικούς εχθρούς:* Η ανθεκτικότητα των ελάχιστα ανθεκτικών ειδών ερυθρελάτης & πεύκης βελτιώνεται σημαντικά (κλάση ανθεκτικότητας 1). Είναι χαρακτηριστικό ότι η βιολογική ανθεκτικότητα του Accoya®Wood από πεύκο είναι υψηλότερη κι από αυτή των ανθεκτικών τροπικών ειδών Teak και Red Meranti. Το Accoya®Wood πεύκης προσφέρεται με εγγύηση 25 ετών όταν χρησιμοποιείται σε άμεση επαφή με το έδαφος. Επίσης έχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία.

*Συμπεριφορά κατά την κατεργασία:* Η πρίση, το πλάνισμα και η διαμόρφωση των άκρων της ξυλείας Accoya®Wood δεν διαφέρει σε σχέση με το μη τροποποιημένο ξύλο. Η συγκόλλησή του με τις συμβατικές πολυουρεθανικές και πολυβινυλικές ρητίνες έχει αναφερθεί να είναι καλύτερη εξαιτίας της χαμηλότερης ισοδύναμης υγρασίας. Το φινίρισμά του είναι παρόμοιο με αυτό του μη τροποποιημένου, ενώ τα βερνίκια διαρκούν 3-4 φορές περισσότερο μειώνοντας έτσι το κόστος συντήρησης.

### **Accoya®Wood & περιβάλλον**

Το Accoya®Wood είναι χημικώς «*ένα νέο είδος ξύλου*» που παράγεται με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον. Ο οξικός ανυδρίτης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του μεταβάλλει τα χημικά συστατικά του, ενώ μετά το τέλος του κύκλου ζωής του μπορεί να χειρισθεί όπως το μη τροποποιημένο ξύλο.

### **Οι εφαρμογές του**

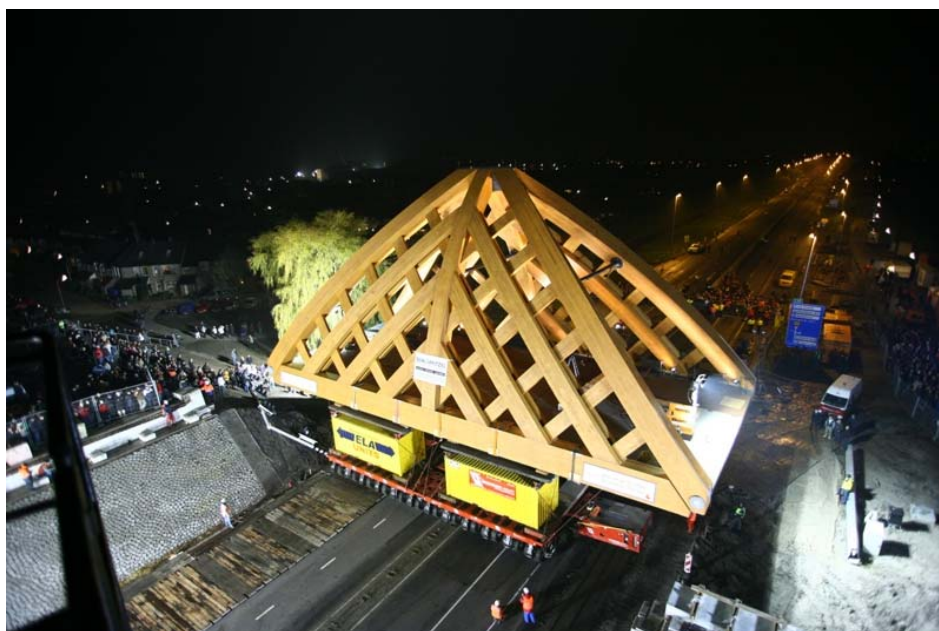
Η ξυλεία Accoya®Wood χρησιμοποιείται σήμερα σε κατασκευές εξωτερικού χώρου, κυρίως σε έπιπλα κήπου, φράχτες, ξυλεπενδύσεις σε κτίρια, δάπεδα τύπου decking, υπόστεγα κ.α. (Εικ. 1 & 2). Η ξυλεία αυτή βρίσκεται στην αγορά την τελευταία τριετία, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι το Νοέμβριο του 2008 τελείωσε η κατασκευή στην πόλη Sneek της Ολλανδίας, της πρώτης ξύλινης αυτοκινητογέφυρας στον κόσμο (μήκους 32 m και πλάτους 12 m) που μπορεί να δεχτεί βάρος εξήντα τόνων (Εικ. 3). Για την κατασκευή της χρησιμοποιήθηκαν 690 m<sup>3</sup> Accoya®Wood.



*Εικ. 1. Εξωτερική ξύλινη επένδυση σε κτίριο*



*Εικ. 2. Ξύλινο δάπεδο τύπου decking*



*Εικ. 3. Ξύλινη αυτοκινητογέφυρα στην Ολλανδία*