



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



# ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΞΥΛΟΥ



**Καθ. Γεωργίου Ι. Μαντάνη**

*Εργαστήριο Επιστήμης & Τεχνολογίας Ξύλου  
Τμήμα Δασολογίας, Επιστημών Ξύλου & Σχεδιασμού*

Καρδίτσα – Δεκέμβριος 2021

**Σημείωση:** Το παρόν αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του κ. Γεωργίου Ιγν. Μαντάνη, Καθηγητή του Παν/μίου Θεσσαλίας, και απαγορεύεται ρητά οποιαδήποτε μερική ή ολική φωτοτύπηση, ή αναπαραγωγή του χωρίς τη γραπτή άδεια του συγγραφέα.

## «Ιδιότητες Ξύλου»

διδασκτικό σύγγραμμα ▪ του Καθηγητή Γεωργίου Ι. Μαντάνη *FIAWS, PhD* - email: [mantanis@uth.gr](mailto:mantanis@uth.gr)  
Τμήμα Δασολογίας, Επιστημών Ξύλου & Σχεδιασμού ▪ Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

---

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b>	9
<b>2. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ</b>	12
<b>3. ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ</b>	24
<b>4. ΡΙΚΝΩΣΗ &amp; ΔΙΟΓΚΩΣΗ</b>	33
<b>5. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b>	44
<b>6. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b>	53
<b>7. ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b>	62
<b>8. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b>	65
<b>9. ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ</b>	67
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	93

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ</b>
--------------------

<b>I. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ.</b>	94
<b>II. ΣΥΝΑΦΗ ΤΕΧΝΙΚΑ ΑΡΘΡΑ</b>	109
<b>III. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΟΡΓΑΝΑ &amp; ΣΥΣΚΕΥΕΣ</b>	159

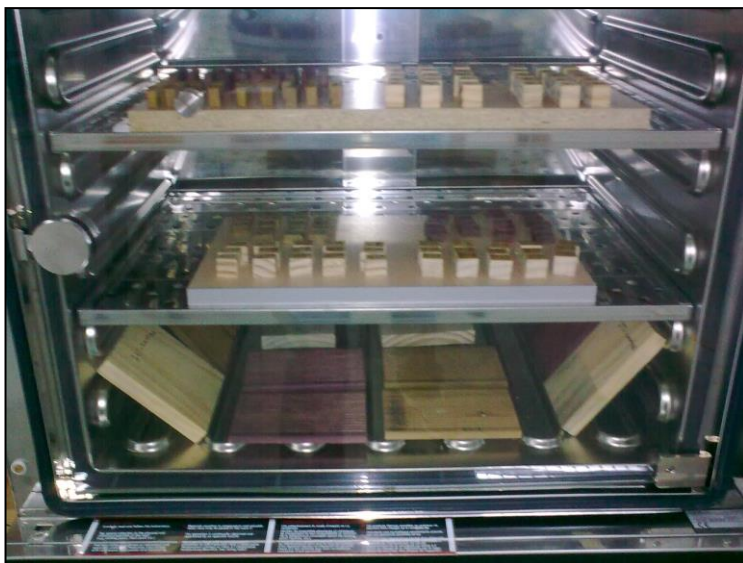
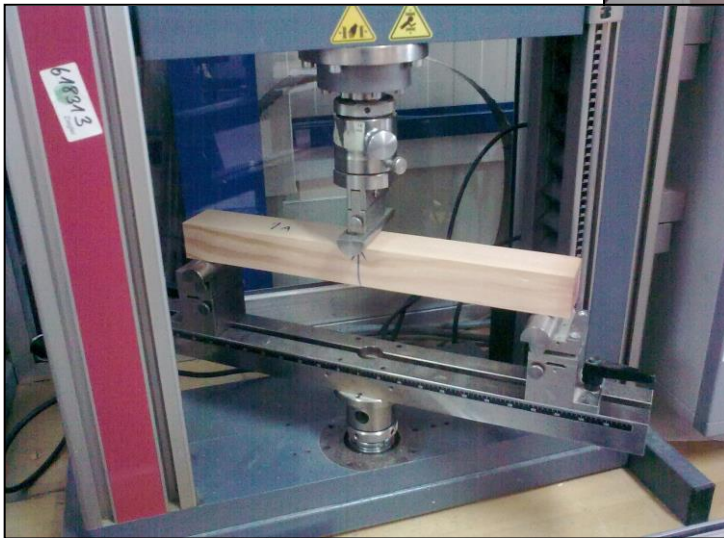
Εξώφυλλο: αριστερή φωτ.- *MOR bending test* (πιστό ερυθρελάτης σε δοκιμή στατικής κάμψης)  
δεξιά φωτ.- Ξυλοκατοικία από κορμούς προσβεβλημένους από μύχλα και κύνωση

*«For a teacher, success is not measured in the number of students that conform to your way of thinking, it is measured in the number of students in which you have confirmed the excitement of the learning process»*

---

***Prof. Roger Rowell, Forest Products Lab, Madison (HIA)***

*Εργαστηριακές συσκευές/όργανα του Εργαστηρίου Επιστήμης & Τεχνολογίας Ξύλου  
για τον προσδιορισμό φυσικών - μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου*



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν σύγγραμμα απευθύνεται στους φοιτητές των ελληνικών ΑΕΙ, ιδίως του Τμήματος Δασολογίας, Επιστημών Ξύλου και Σχεδιασμού του Παν/μίου Θεσσαλίας, καθώς και στον οποιονδήποτε ενδιαφερόμενο, μεταπτυχιακό φοιτητή, πολίτη ή επαγγελματία, και καλύπτει σήμερα το προπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών του εν λόγω τμήματος για το υποχρεωτικό μάθημα «**Ιδιότητες Ξύλου**»· μάθημα κεφαλαιώδους σημασίας γι' όσους ασχολούνται με το υλικό αυτό και τις ξύλινες κατασκευές.

Πρωταρχικός στόχος είναι οι φοιτητές, καθώς και ο οποιοσδήποτε ενδιαφερόμενος, να εμβαθύνουν τη γνωριμία τους με το ξύλο ως υλικό, ανακεφαλαιώνοντας ταυτόχρονα τις προηγούμενες γνώσεις του γύρω από αυτό. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις ιδιότητες του ξύλου ως υλικού (πυκνότητα, υγροσκοπικότητα, ρίκνωση και διόγκωση συνεπεία μεταβολών της υγρασίας, μηχανικές ιδιότητες, θερμικές ιδιότητες κ.α.) και στις βιοτικές, ή αβιοτικές αλλοιώσεις που μπορούν να συμβούν στο ξύλο εν χρήσει.

Η εμβάθυνση της γνώσης γύρω από το ξύλο και τις ιδιότητές του είναι απαραίτητη από επιστημονικής καθώς και από πρακτικής άποψης. Και αυτό διότι όλες οι ξύλινες κατασκευές ή ξύλινα προϊόντα που συναντάμε καθημερινά γύρω μας δείχνουν τη στενή σχέση που υπάρχει μεταξύ της δομής του ξύλου, των ιδιοτήτων του, και των δυνατοτήτων του ως υλικού π.χ. επιπλοποιίας ή δομικού υλικού.

Ο υπογράφων το παρόν



**Καθ. Γεώργιος Ι. Μαντάνης**  
Παν/μιο Θεσσαλίας  
e-mail: [mantanis@uth.gr](mailto:mantanis@uth.gr)

*Στο φίλο μου, εξαιρετικό και σπάνιο ακαδ/κό δάσκαλο· τον Ομότ. Καθ. Ιωάννη Α. Κακαρά*



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ξύλο βρίσκεται στην υπηρεσία του ανθρώπου από τότε που αυτός εμφανίσθηκε στον πλανήτη μας. Αναμφίβολα το ξύλο έχει βοηθήσει σημαντικά στην επιβίωση του ανθρώπου από την παλαιολιθική εποχή, ενώ έχει συντελέσει αποφασιστικά στην ανάπτυξη του πολιτισμού διαμέσου των αιώνων. Οι βασικές ανάγκες του πρωτόγονου ανθρώπου (καύσιμη ύλη, θέρμανση) καλύφθηκαν από το ξύλο. Καθώς και οι μετέπειτα ανάγκες του ανθρώπου για στέγαση (καταφύγιο, σπίτι). Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, ο αριθμός των προϊόντων που παράγονται από το ξύλο με απλή μηχανική ή πολύπλοκη χημική μεταποίηση αυξάνεται συνεχώς. Θεωρητικά από το ξύλο είναι δυνατό να παραχθούν όσα προϊόντα παράγονται από το πετρέλαιο. Τα κυριότερα προϊόντα που σήμερα παράγονται από το ξύλο είναι: καυσόξυλα, ξυλάθρακες, πελλέτες (pellets), πριστή ξυλεία, αντικολλητά, μοριοσανίδες, ινοσανίδες, OSB, σύνθετη ξυλεία, χαρτί, ρητίνη (ρετσίνοι), αιθυλική αλκοόλη, τεχνητές και συνθετικές ίνες (τεχνητό μετάξι), φωτογραφικά φιλμ, πλαστικά, ταννίνες, τερεβινθέλαιο, οξικό οξύ, συνθετικό πετρέλαιο, πυρολυτικό λάδι, ξυλαέριο, πίσσα, πισσέλαιο, κ.ά.

Έτσι φθάσαμε σήμερα στο σημείο να παράγονται από το ξύλο πάνω από δύο χιλιάδες προϊόντα. Σε αυτό βοήθησε πάρα πολύ και η επιστήμη της *τεχνολογίας ξύλου*, η οποία είναι μια εφαρμοσμένη επιστήμη που μελετά το ξύλο σαν πρώτη ύλη, μελετά δηλαδή τις μεθόδους παραγωγής των διαφόρων προϊόντων του, τη βελτίωση των μεθόδων παραγωγής του με εφαρμογή των νέων τεχνολογιών και τη δυνατότητα παραγωγής νέων (σύνθετων) προϊόντων από ξύλο.

Γενικά, τα προϊόντα του ξύλου διαιρούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- ⇒ *Κατηγορία Α*: Προϊόντα ξύλου που διατηρούν τη φυσική δομή του ξύλου.
- ⇒ *Κατηγορία Β*: Προϊόντα ξύλου που παράγονται μετά από χημική ή/και θερμομηχανική κατεργασία του ξύλου και που δεν διατηρούν τη φυσική δομή του, δηλαδή δεν είναι δυνατό να αναγνωρισθεί η προέλευσή τους.

Στην κατηγορία Α ανήκουν η πριστή ξυλεία και τα προϊόντα της, πάσσαλοι, στύλοι, στρωτήρες, ξυλεία μεταλλείων, ξυλόφυλλα, αντικολλητά, επικολλητό ξύλο, σύνθετο ξύλο, μοριοπλάκες, κ.ά.

Στην κατηγορία Β ανήκουν οι ινοπλάκες (MDF), το χαρτί, η κυτταρίνη και τα προϊόντα της, διάφορα πλαστικά, συνθετικές ίνες, αιθανόλη, ακετόνη, γλυκόζη, συνθετική βανίλια, τερεβινθέλαιο, δεψικές ουσίες, κ.ά.

Θα πρέπει να τονισθεί εδώ ότι σε πολλές φτωχές χώρες του κόσμου (κυρίως σε χώρες της Αφρικής και της Ασίας), το ξύλο κατά μεγάλο ποσοστό εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ως η κύρια θερμαντική ύλη, κατά το πλείστον ως καυσόξυλο. Περισσότερο από το 50% της παγκόσμιας παραγωγής ξύλου από τα δάση της Γης χρησιμοποιείται σήμερα ως καύσιμη ύλη.

Επισημαίνεται ότι η γνώση των ιδιοτήτων του ξύλου είναι απαραίτητη τόσο από επιστημονικής άποψης, όσο και από πρακτικής άποψης. Και αυτό γιατί η ακριβής γνώση των ιδιοτήτων του ξύλου βοηθά τον νέο επιστήμονα ή τεχνολόγο ξύλου να καταλάβει τη συμπεριφορά του ξύλου ως υλικού. Γιατί απλά οι κατασκευές του ξύλου που συναντάμε καθημερινά γύρω μας δείχνουν τη στενή σχέση που υπάρχει μεταξύ των ιδιοτήτων του ξύλου και των δυνατοτήτων του ως υλικό επιπλοποιίας, κατασκευαστικό υλικό ή δομικό υλικό. Η επιλογή του κατάλληλου είδους ξύλου ή προϊόντος ξύλου για μία συγκεκριμένη χρήση (π.χ. ξυλεία θερμοκηπίων) προϋποθέτει ασφαλώς την παραπάνω γνώση.

Υπάρχουν επίσης σήμερα πρώτες ύλες που είναι ανταγωνιστικές του ξύλου και αυτές είναι το τσιμέντο, το αλουμίνιο, ο χάλυβας και τα πλαστικά.

Γενικά, το ξύλο έχει και θα εξακολουθήσει να έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα προαναφερθέντα προϊόντα (ανταγωνιστές του). Τα πλεονεκτήματα του ξύλου είναι τα ακόλουθα :

- ✓ Αναπαράγεται από τη φύση - είναι **ανανεώσιμο υλικό (renewable)** - σε αντίθεση με τις άλλες ορυκτές ύλες (πετρέλαιο, μεταλλεύματα) που εξαντλούνται συνεχώς.
- ✓ Έχει μεγάλη αισθητική αξία, διότι είναι διαθέσιμο σε πολλούς συνδυασμούς χρωμάτων και «σχεδίων».
- ✓ Είναι 'ζεστό' υλικό με ιδιαίτερη αίσθηση στην αφή και στην όραση (λ.χ. σύγκριση ενός ξύλινου με ένα μεταλλικό ή πλαστικό έπιπλο).
- ✓ Είναι άριστο δομικό υλικό με μεγάλες κατασκευαστικές προοπτικές και αρχιτεκτονική αξία.
- ✓ Έχει πολύ καλή μηχανική αντοχή σε σχέση με την πυκνότητά του.

- ✓ Είναι μονωτικό υλικό στη θερμότητα και στον ηλεκτρισμό.
- ✓ Δεν οξειδώνεται, δηλ. δεν σκουριάζει.
- ✓ Η κατεργασία του είναι σχετικά εύκολη και απαιτεί μικρή κατανάλωση ενέργειας.
- ✓ Δεν ρυπαίνει το περιβάλλον.

Το ξύλο, ωστόσο, παρουσιάζει και μειονεκτήματα:

- ✓ Είναι *υγροσκοπικό υλικό (hygroscopic)*, δηλ. ρικνώνεται και διογκώνεται με την απώλεια ή πρόσληψη υγρασίας από την ατμόσφαιρα.
- ✓ Είναι *ανισότροπο υλικό (anisotropic)*, δηλ. διαφέρει η δομή του, η μηχανική αντοχή του και οι ιδιότητές του στις τρεις κύριες κατευθύνσεις / τομές του (*ανισοτροπία*).
- ✓ Καίγεται σχετικά εύκολα.
- ✓ Προσβάλλεται από μύκητες, έντομα και μικροοργανισμούς και αλλοιώνεται.

Από τα μειονεκτήματα του ξύλου κρίνεται αναγκαία και επιτακτική η (σωστή) χρήση του, γεγονός που προϋποθέτει γνώση των ιδιοτήτων του, της δομής του, καθώς και των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων του. Με την καλή γνώση των παραπάνω είναι δυνατό να εξαλείψουμε ή να περιορίσουμε (ολικώς ή μερικώς) τα μειονεκτήματά του εφαρμόζοντας τους κατάλληλους χειρισμούς ή διεργασίες (π.χ. εμποτίζοντας το ξύλο με συγκεκριμένες χημικές ουσίες το καθιστούμε απρόσβλητο από μύκητες και έντομα ή το κάνουμε ανθεκτικό στη φωτιά).

Στα κεφάλαια που ακολουθούν εξετάζονται αναλυτικά οι κύριες ιδιότητες του ξύλου:

- Πυκνότητα
- Υγροσκοπικότητα
- Ρίκνωση - Διόγκωση
- Θερμικές ιδιότητες
- Μηχανικές ιδιότητες
- Ακουστικές ιδιότητες
- Ηλεκτρικές ιδιότητες
- Αλλοιώσεις

Τέλος, στο Παράρτημα I. παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι ιδιότητες του ξύλου που είναι χρήσιμες και απαραίτητες για τον νέο επιστήμονα, ή τεχνολόγο ξύλου ή σχεδιαστή, στην πράξη, ή τον απλό *εραστή* του ξύλου, στις διάφορες κατεργασίες και εφαρμογές του. Επίσης παρουσιάζονται (Παράρτημα II.) ορισμένα χρήσιμα *τεχνικά άρθρα* σχετικά με το ξύλο ως υλικό, τις ιδιότητες του, τις ειδικές ή μη χρήσεις του, και την εν γένει συμπεριφορά του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

*Πυκνότητα (density)* του ξύλου είναι το μέτρο μάζας που περιέχεται σε ορισμένο όγκο του και εκφράζεται με το πηλίκο της μάζας διά του όγκου. Η πυκνότητα και το ειδικό βάρος εκφράζονται με τον ίδιο αριθμό.

Στις φυσικές επιστήμες ο υπολογισμός της πυκνότητας του ξύλου στηρίζεται πάντοτε στον υπολογισμό του βάρους και του όγκου του στο ίδιο ποσοστό υγρασίας. Όταν το ποσοστό υγρασίας είναι 0%, τότε το πηλίκο ξηρό βάρος προς ξηρό όγκο δίδει την **ξηρή πυκνότητα** (εξίσωση 1). Ο προσδιορισμός όμως του ξηρού όγκου είναι δύσκολος, γιατί το ξύλο είναι υγροσκοπικό υλικό, και για το λόγο αυτό η πυκνότητα του ξύλου υπολογίζεται και από το πηλίκο του ξηρού βάρους προς το χλωρό όγκο (εξίσωση 2). Χλωρός όγκος (ή μέγιστος όγκος) είναι ο όγκος του ξύλου σε κατάσταση πλήρους διόγκωσης, δηλαδή ο όγκος του ξύλου με υγρασία από το *σημείο ινοκόρου*<sup>(1)</sup> και πάνω. Η πυκνότητα αυτή ονομάζεται **βασική πυκνότητα**. Η ξηρή και η βασική πυκνότητα είναι συγκρίσιμα μεγέθη, διότι ο υπολογισμός τους στηρίζεται σε σταθερά μεγέθη βάρους και όγκου.

Η πυκνότητα του ξύλου πολλές φορές για πρακτικούς λόγους υπολογίζεται και με βάση το βάρος και τον όγκο του ξύλου σε κάποια συγκεκριμένη υγρασία (συνήθως 8%, 12%, 15%) ανάλογα με τον πρακτικό σκοπό που εξυπηρετείται (υπολογισμός του βάρους ορισμένου όγκου ξύλου σε συγκεκριμένη υγρασία). Το μέγεθος όμως αυτό δεν είναι συγκρίσιμο. Η πυκνότητα αυτή ονομάζεται **φαινομενική πυκνότητα** (εξίσωση 3).

$$\rho_o = \frac{M_o}{V_o} \quad (1)$$

$$R = \frac{M_o}{V_{\max}} \quad (2)$$

$$R_x = \frac{M_x}{V_x} \quad (3)$$

<sup>(1)</sup> **Σημείο ινοκόρου (Σ.Ι.)** του ξύλου είναι εκείνη η κατάσταση, κατά την οποία τα κυτταρικά τοιχώματα είναι πλήρως κορεσμένα με νερό, και οι κυτταρικές κοιλότητες του άδειες. Σημειώνεται ότι το Σ.Ι. (*fibre saturation point*) επιτυγχάνεται όταν η υγρασία είναι περίπου 26-35% (μ.ό. **30%**).

Όπου:  $\rho_0$  = ξηρή πυκνότητα ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$R$  = βασική πυκνότητα ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$R_x$  = φαινομενική πυκνότητα ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$M_0$  = απόλυτα ξηρή μάζα (g)

$V_0$  = απόλυτα ξηρός όγκος ( $\text{cm}^3$ )

$V_{\max}$  = χλωρός μέγιστος όγκος ( $\text{cm}^3$ )

$M_x$  = μάζα, σε υγρασία x% (g)

$V_x$  = όγκος, σε υγρασία x% ( $\text{cm}^3$ )

Με την προϋπόθεση ότι αναφερόμαστε σε ξύλο χωρίς σφάλματα, η πυκνότητα είναι δείκτης της ποιότητας και της μηχανικής αντοχής του ξύλου.

Η πυκνότητα των διαφόρων ειδών ξύλου - υπολογισμένη με βάση το ξηρό βάρος και τον ξηρό όγκο - ποικίλλει από 0,12-0,14  $\text{g}/\text{cm}^3$  για το ξύλο Balsa (*Ochroma lagopus*) μέχρι 1,30  $\text{g}/\text{cm}^3$  για τα τροπικά είδη ξύλου *Guaiacum officinale* και *Brosimum aubleti*, που είναι τα βαρύτερα είδη ξύλου και βυθίζονται μέσα στο νερό (πυκνότητα νερού = 1,00  $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Η πυκνότητα των ελληνικών ειδών ξύλου, γενικά, κυμαίνεται από 0,30  $\text{g}/\text{cm}^3$  έως 0,90  $\text{g}/\text{cm}^3$  (βλ. Πίνακα 1). Με βάση την ξηρή πυκνότητά τους, τα ελληνικά είδη διαχωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες ξύλου: τα *ελαφρά* (0,30-0,45  $\text{g}/\text{cm}^3$ ), τα *μέτρια* (0,45-0,65  $\text{g}/\text{cm}^3$ ), τα *βαριά* (0,65-0,80  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) και τα *πολύ βαριά* (0,80-1,00  $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

Η πυκνότητα της ξυλώδους ύλης ( $r_w$ ) – πρακτικά δηλαδή της ύλης των κυτταρικών τοιχωμάτων του ξύλου με κανονική αναλογία σε λιγνίνη και κυτταρίνη - είναι σταθερή και κυμαίνεται από 1,35  $\text{g}/\text{cm}^3$  έως 1,60  $\text{g}/\text{cm}^3$  με μέσο όρο την τιμή 1,50  $\text{g}/\text{cm}^3$ , που θεωρείται ως η **πυκνότητα ξυλώδους ύλης**. Επειδή όμως το ξύλο είναι δομημένο έτσι ώστε να μην αποτελείται από 100% συμπαγή ξυλώδη ύλη αλλά να περιέχει πολλούς κενούς χώρους (όπως λ.χ. κυτταρικές κοιλότητες, πόρους, κ.ά.) καθώς και ξύλο διαφορετικής πυκνότητας (πρώιμο/όψιμο και σομφό/εγκάρδιο), η πυκνότητα που υπολογίζουμε ουσιαστικά αποτελεί το μέσο όρο όλων των παραπάνω. Σίγουρα λοιπόν η μεγάλη διακύμανση της πυκνότητας των διαφόρων ειδών ξύλου οφείλεται και στη διαφορά της δομής και στη διαφορά περιεκτικότητας σε κενούς χώρους, πόρους, τριχοειδή, κ.ά. εντός της μάζας του ξύλου.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Πυκνότητες των σπουδαιότερων ειδών ξύλου.**

<i>Είδος ξύλου</i>	<i>Ποκνότητα ξηρή</i>	<i>Ποκνότητα φαινομενική R<sub>12</sub></i>	<i>Είδος ξύλου</i>	<i>Ποκνότητα ξηρή</i>	<i>Ποκνότητα φαινομενική R<sub>12</sub></i>
Ελάτη, κεφαληνιακή	0,40	-	Φιλύρα, Φλαμούρι	0,50	0,54
Ελάτη, λευκή	0,41	0,44	Φράξος, Δεσποτάκι	0,66	0,70
Ερυθρελάτη	0,41	0,44	Ψευδοτσούγκα	0,49	0,52
Πεύκη, χαλέπιος	0,71	0,75	Λάρικα	0,57	0,60
Πεύκη, τραχεία	0,57	0,60	Πεύκη, ακτινωτή	-	0,50
Πεύκη κουκουναριά	0,52	0,56	Pitch Pine	0,52	0,56
Πεύκη, μαύρη	0,52	0,55	Σεκβόια	0,36	0,39
Πεύκη, δασική	0,49	0,53	Ταξόδιο	0,48	0,52
Πεύκη, λευκόδερμος	0,47	0,53	Ευκάλυπτος, Margi	0,85	0,88
Κυπαρίσσι	0,55	0,60	" Globulus	0,72	0,77
Άρκειθος, οξύκεδρος	0,56	0,60	" Rostrata	-	0,91
Ίταμος	0,64	0,67	Teak	0,63	0,67
Καρυδιά	0,64	0,69	Zebrano	0,69	0,78
Λεύκη, τρέμουσα	0,43	0,46	Palissander	0,80	0,87
Λεύκη, λευκή	0,46	0,50	Padauk	0,65	0,70
Λεύκη, μαύρη	0,39	0,41	Bubinga	0,75	0,87
Λεύκη, υβρίδιο I <sub>214</sub>	0,32	0,34	Afzelia	-	0,81
Λεύκη, καναδική	0,41	-	Iroko	0,60	0,62
Ιτιά, λευκή	0,49	0,52	Afara	0,57	0,60
Κλήθρα, κολλώδης	0,51	0,55	Ramin	0,55	0,60
Σημύδα	0,68	0,73	Idigbo	0,50	0,57
Γαύρος	0,78	0,82	Ako	-	0,55
Οστριά	0,87	0,90	Kosipo	0,65	0,70
Οξιά, δασική	0,70	0,74	Makore	0,59	0,62
Καστανιά	0,58	0,61	Sapele	0,62	0,65
Δρυς, απόδισκη	0,65	0,69	Sipo	0,59	0,63
Δρυς, ευθύφλοια	0,82	0,87	Tiama	0,52	0,59
Πουρνάρι	0,90	0,94	Μαόνι, Ν. Αμερικής	0,55	0,60
Φτελιά, πεδινή	0,63	0,67	Bete	0,60	0,62
Φτελιά, ορεινή	0,62	0,66	Obeche	0,35	0,38
Κελτίς	0,71	0,75	Balsa	0,10	0,16
Μουριά	0,61	0,66	Okoume	0,41	0,43
Πλατάνι	0,58	0,63	Aiele	0,45	0,50
Σορβιά	0,71	0,75	Niangon	0,65	0,70
Ακακία	0,80	0,88	Acajou	0,49	0,51
Ελιά	0,88	0,92	Seraya white	-	0,53
Σφενδάμι, ψευδοπλ.	0,59	0,63	Meranti, dark red	-	0,67
Σφενδάμι, πλαταν.	0,62	0,66	Dibetoy	0,56	0,60
Σφενδάμι, πεδινό	0,62	0,66	Opere	-	0,74
Ιπποκαστανιά	0,51	0,56	Makore	0,59	0,62

Πηγή: Τσουμής Γ. (2009)

Η πυκνότητα είναι επομένως δείκτης των κενών χώρων που υπάρχουν στη μάζα του ξύλου. Ο υπολογισμός του **ποσοστού κενών χώρων (C)** γίνεται από τη σχέση:

$$C (\%) = 100 - (66,7 \cdot \rho_0) \quad (4)$$

όπου: C = ποσοστό κενών χώρων του ξύλου (% του συνολικού όγκου)  
 $\rho_0$  = ξηρή πυκνότητα

Όσο μικρότερη είναι η πυκνότητα του ξύλου, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό των κενών χώρων. Τυπικά στα διάφορα είδη ξύλου, το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 90% σε πολύ ελαφρά ξύλα έως 10% σε εξαιρετικά βαριά ξύλα.

Διαφορές πυκνότητας και ποσοστού κενών χώρων του ξύλου κυρίως οφείλονται στην κυτταρική συγκρότηση και στους τύπους ξυλωδών κυττάρων (τραχεΐδες, ίνες, μέλη αγγείων, ρητινοφόροι αγωγοί), στο πάχος των κυτταρικών τοιχωμάτων και στο μέγεθος των κυτταρικών κοιλοτήτων. Βέβαια η αξιολόγηση και η σχετική επίδραση των παραπάνω είναι δύσκολη και απαιτεί μικροσκοπική μελέτη. Σημαντικός παράγοντας των παραπάνω διαφορών μπορεί να είναι και το ποσοστό όψιμου ξύλου που έχει πολύ μεγαλύτερη συγκέντρωση ξυλωδούς ύλης σε σύγκριση με το πρώιμο.

## **Παράγοντες που επηρεάζουν την πυκνότητα**

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πυκνότητα του ξύλου είναι οι ακόλουθοι:

### ***Υγρασία***

Το ξύλο σαν *υγροσκοπικό* υλικό (υγροσκοπική ύλη) έχει την ιδιότητα να προσλαμβάνει πάντοτε υγρασία (*moisture*). Όταν προσλαμβάνει υγρασία αυξάνεται ταυτόχρονα η μάζα και ο όγκος του. Αντίθετα, απώλεια υγρασίας προκαλεί τη μείωσή τους. Κατά συνέπεια η επίδραση της υγρασίας του ξύλου στην πυκνότητα είναι σημαντική και ακολουθεί μία ανάλογη σχέση.

### ***Δομή***

Οι διαφορές που παρατηρούνται στην πυκνότητα ξύλου διαφόρων ειδών οφείλονται κυρίως σε διαφορές δομής όπως λ.χ. διαφορετικό είδος ξυλωδών κυττάρων (κωνοφόρα: τραχεΐδες,

ρητινοφόροι αγωγοί – πλατύφυλλα: ίνες, μέλη αγγείων), διαφορετική ποσοτική κατανομή αυτών, ποικίλο πάχος κυτταρικών τοιχωμάτων και μέγεθος κυτταρικών κοιλοτήτων.

Η πολυπλοκότητα των μικροσκοπικών χαρακτηριστικών του ξύλου καθιστά δύσκολη την διατύπωση κανόνων επίδρασης των στοιχείων δομής στην πυκνότητα. Αυτό είναι δυνατό να γίνει μόνο σε συγκεκριμένες περιπτώσεις μετρήσιμων μεγεθών.

Στα δακτυλιόπορα πλατύφυλλα, η πυκνότητα αυξάνεται ως ένα όριο, όταν αυξάνεται το πλάτος των ετησίων δακτυλίων, ενώ στα διασπορόπορα δεν υπάρχει σαφής σχέση. Στα κωνοφόρα, όταν αυξάνεται το πλάτος των ετησίων δακτυλίων, συνήθως μειώνεται η πυκνότητα.

Το όψιμο ξύλο έχει, γενικά, μεγαλύτερη πυκνότητα από το πρώιμο ξύλο, συνήθως τρεις ως τέσσερις φορές. Συνεπώς, όταν αυξάνεται το ποσοστό του όψιμου ξύλου, αυξάνεται σημαντικά και η πυκνότητα. Η σχέση αυτή είναι σαφής στα κωνοφόρα και στα δακτυλιόπορα πλατύφυλλα.

### ***Εκχυλίσματα***

Τα εκχυλίσματα είναι ουσίες (ρητίνες, λίπη, ταννίνες, κ.ά.), που αποτίθενται στις κοιλότητες και στους κενούς χώρους των κυττάρων και μπορούν να εκχυλισθούν (εκπλυθούν) χωρίς να μεταβληθεί η δομή του ξύλου. Εκχύλιση αυτών προκαλεί τη μείωση της πυκνότητας του ξύλου.

Ακόμα, η παρουσία πολλών εκχυλισμάτων (*extractives*) στο εγκάρδιο ξύλο, αυξάνει την πυκνότητα του εγκάρδιου ξύλου.

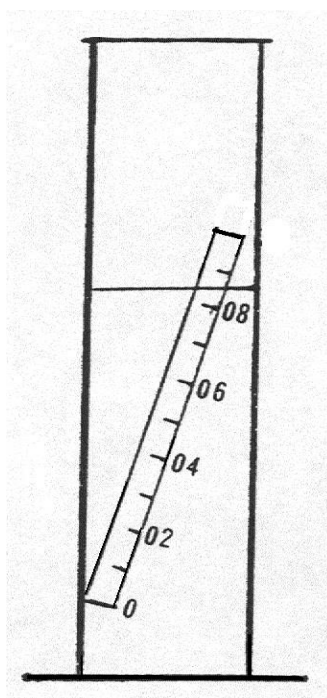
### ***Χημική σύσταση***

Τα χημικά συστατικά του ξύλου (κυτταρίνη, λιγνίνη, ημικυτταρίνες) έχουν διαφορετική πυκνότητα και κατά συνέπεια επηρεάζουν την πυκνότητα του ξύλου διαφορετικά. Η κυτταρίνη έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από τη λιγνίνη. Σε περιπτώσεις ξύλου ανώμαλης δομής, όπου η περιεκτικότητα κυτταρίνης και λιγνίνης παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις από την κανονική, η επίδραση στην πυκνότητα ενδέχεται να είναι σημαντική. Η επίδραση της χημικής σύστασης στην πυκνότητα, γενικά, είναι σχετικά μικρή.



## Υπολογισμός της πυκνότητας

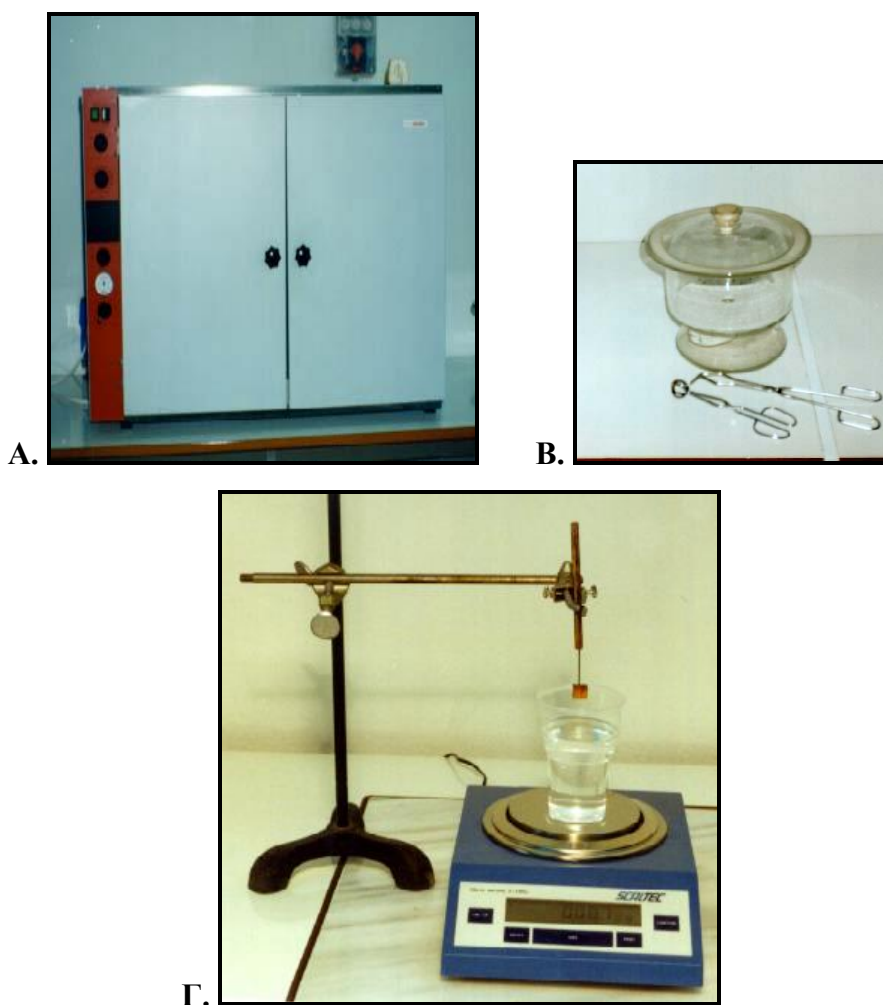
Ο πιο απλός τρόπος για την εκτίμηση της πυκνότητας ενός δοκιμίου (τεμαχίου) ξύλου είναι να ζυγισθεί και μετά να βρεθεί ο όγκος του. Η πιο γρήγορη εκτίμηση της πυκνότητας του ξύλου για τιμές πυκνότητας κάτω του  $1,00 \text{ g/cm}^3$  αναπτύχθηκε από τον Paul (1946). Στη **μέθοδο Paul** χρησιμοποιείται ένας μικρός γυάλινος σωλήνας γεμάτος με νερό και δείγμα ξύλου μήκους 25 g και διατομής 2,5 x 2,5 cm. Το δείγμα ξύλου διαιρείται κατά μήκος σε 10 ίσα μέρη των 2,5 cm και βυθίζεται στο γυάλινο δοχείο με νερό. Το ποσοστό μήκους του δείγματος που βυθίζεται στο νερό (ακριβώς τη στιγμή της εμβάπτισης) εκφράζει την πυκνότητα του δείγματος, (βλ. Σχ. 1) λ.χ. εάν 8,5 διαιρέσεις του δείγματος είναι μέσα στο νερό, η πυκνότητα του ξύλου είναι περίπου  $8,5 : 10 = 0,85 \text{ g/cm}^3$ . Η μέθοδος αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για δοκίμια με μεγάλο ποσοστό υγρασίας ή με πυκνότητα μεγαλύτερη του  $1,00 \text{ g/cm}^3$  (τροπικά ξύλα), διότι αυτά βυθίζονται μέσα στο νερό.



**ΣΧΗΜΑ 1.** Εκτίμηση της πυκνότητας ξύλου με τη μέθοδο Paul (π.χ.  $R \sim 0.85 \text{ g/cm}^3$ ).

Για τον υπολογισμό της ξηρής πυκνότητας εφαρμόζουμε την κλασική εργαστηριακή μέθοδο ξήρανης-ζύγισης και της εμβάπτισης σε νερό. Κατά την μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται *εργαστηριακός κλίβανος (=πυριατήριο)*, *ξηραντήρας* και *ζυγός ακριβείας*. Παίρνουμε δείγμα ξύλου χωρίς σφάλματα - εάν είναι δυνατό από το σθηταίο ύψος του δένδρου - και το

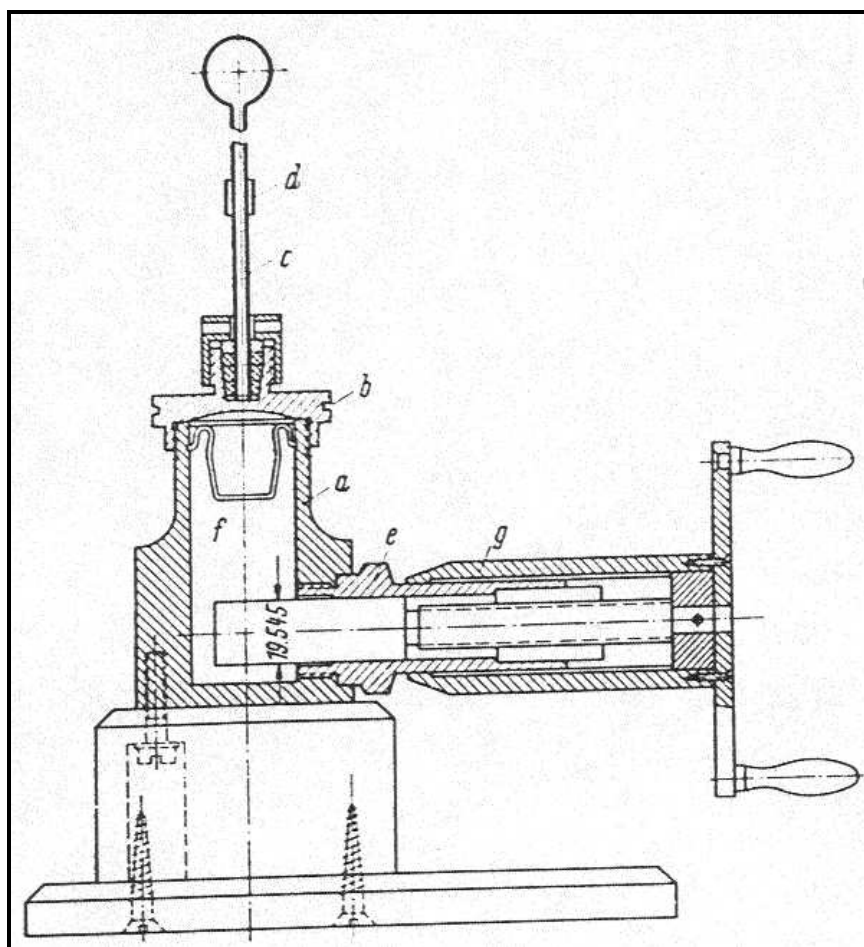
τοποθετούμε στον εργαστηριακό κλίβανο στους  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  (Σχ. 2A), ώσπου να αποκτήσει σταθερό βάρος (σε 24-48 ώρες περίπου). Η τελευταία ζύγιση μας δίνει το ξηρό βάρος. Για τον υπολογισμό του ξηρού όγκου το δείγμα μετά τη ζύγισή του τοποθετείται σε ξηραντήρα (Σχ. 2B) για κλιματισμό και μετά βυθίζεται για λίγα δευτερόλεπτα σε πολύ θερμή παραφίνη, η οποία χωρίς να επηρεάσει τον όγκο του δείγματος, εμποδίζει την πρόσληψη νερού και στη συνέχεια με της μέθοδο της εμβάπτισης στο νερό (Σχ. 2Γ) υπολογίζεται ο ξηρός όγκος του δείγματος (*Αρχή του Αρχιμήδη*).



**ΣΧΗΜΑ 2.** Υπολογισμός πυκνότητας ξύλου στο εργαστήριο:  
(A): Εργαστηριακός κλίβανος (πυριατήριο), (B) Ξηραντήρας και  
(Γ) Ζυγός ακριβείας και μέθοδος εμβάπτισης με την αρχή του Αρχιμήδη.

Υπολογισμός της πυκνότητας του ξύλου με ακρίβεια γίνεται και με εμβάπτιση του ξύλου σε υδράργυρο χρησιμοποιώντας ειδική συσκευή, το *υδραργυρικό ογκόμετρο Breuil* (βλ. Σχ. 3). Δύο διαδοχικές μετρήσεις στη μικρομετρική κλίμακα C με και χωρίς το δείγμα ξύλου μας δίνει με αφαίρεση τον ακριβή όγκο του δείγματος ξύλου (Σχ. 3).

Η βασική πυκνότητα (ξηρό βάρος προς χλωρό όγκο) υπολογίζεται με ζύγιση του απόλυτα ξηρού βάρους του δείγματος  $M_0$  και του βάρους  $M_{max}$  του ίδιου δείγματος κορεσμένου σε νερό. Για τον υπολογισμό αυτό κάνουμε τις ακόλουθες πράξεις: Υπολογίζουμε τη μέγιστη



**ΣΧΗΜΑ 3.** Συσκευή Breuil για ακριβή υπολογισμό της πυκνότητας ξύλου με εμβάπτιση σε υδράργυρο.

υγρασία που μπορεί να συγκρατήσει το δείγμα από τη σχέση  $Y_{max} = \frac{M_{max} - M_0}{M_0}$  ή επειδή η διαφορά  $M_{max} - M_0$  είναι ίδια με τον όγκο των κυτταρικών κοιλοτήτων  $V_{\Sigma I} - V_W$ , έχουμε:

$$Y_{\max} = \frac{V_{\Sigma.I.} - V_w}{M_o} = \frac{V_{\Sigma.I.}}{M_o} - \frac{V_w}{M_o} = \frac{1}{R} - \frac{1}{r_w}$$

και επειδή η πυκνότητα ξυλώδους ύλης είναι  $r_w = 1,50 \text{ g/cm}^3$  έχουμε:

$$Y_{\max} = \frac{1}{R} - 0,67 \quad (5)$$

όπου :  $Y_{\max}$  = Μέγιστη υγρασία (%)

$M_{\max}$  = Βάρος ξύλου κορεσμένου σε νερό

$M_o$  = Ξηρό βάρος ξύλου

$V_{\Sigma.I.}$  = Μέγιστος (χλωρός) όγκος ξύλου

$V_w$  = Όγκος συμπαγούς ξύλου (χωρίς κοιλότητες)

$R$  = Βασική πυκνότητα

$r_w$  = Πυκνότητα ξυλώδους ύλης (=1,50 g/cm<sup>3</sup>)

## Μεταβλητότητα της πυκνότητας

Η πυκνότητα του ξύλου παρουσιάζει έντονη μεταβλητότητα τόσο ανάμεσα σε διαφορετικά είδη ξύλου, όσο και στο ίδιο είδος. Οι αποκλίσεις στην πυκνότητα του ξύλου οφείλονται στη: (α) *διαφορά της δομής* και την (β) *επίδραση εξωτερικών παραγόντων*.

Χαρακτηριστική διαφορά στη δομή του ξύλου είναι η παρουσία διαφορετικών τύπων κυττάρων (τραχειδών, ινών), ρητινοφόρων αγωγών, αγγείων και ακτινών. Οι διαστάσεις των κυττάρων διαφέρουν και ειδικά το πάχος των κυτταρικών τοιχωμάτων. Μερική επίδραση ασκούν επίσης κληρονομικοί παράγοντες, παράγοντες του κλιματεδαφικού περιβάλλοντος (έδαφος, θερμοκρασία, άνεμος, βροχοπτώσεις, χιονοπτώσεις) και άλλα αίτια.

Γενικά, η γνώση μας όσον αφορά τη μεταβλητότητα της πυκνότητας δεν είναι πλήρης. Στην Ευρώπη, η μέση πυκνότητα των κωνοφόρων και της οξιάς μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου, όπως επίσης και προς την κατεύθυνση νότου προς βορρά.

Γενική διαπίστωση είναι ότι η βάση των δένδρων περιέχει ξύλο μεγάλης πυκνότητας και ότι μικρότερη πυκνότητα έχει το ξύλο στο πάνω μέρος του δένδρου.

Η μεταβλητότητα της πυκνότητας σε εγκάρσια τομή του κορμού εκφράζεται σε μικρότερο βαθμό από ότι στο μήκος του κορμού και επηρεάζεται περισσότερο από το εύρος των ετησίων δακτυλίων και το ποσοστό (%) του όψιμου ξύλου. Στην πεύκη και τη λάρικα, η πυκνότητα αυξάνεται από το κέντρο του κορμού προς τα έξω, μέχρι μια ηλικία, στην οποία οι ετήσιοι δακτύλιοι έχουν το μεγαλύτερο εύρος. Στη συνέχεια σχηματίζονται στενότεροι ετήσιοι δακτύλιοι με μικρότερη πυκνότητα.

Στα πλατύφυλλα κατά κανόνα μεγαλύτερη πυκνότητα έχει το ξύλο κοντά στο κέντρο του κορμού. Δένδρα που αναπτύσσονται σε πολύ πυκνή συστάδα παράγουν ξύλο μικρής πυκνότητας, ενώ αραίωση της συστάδας συνεπάγεται και αύξηση της πυκνότητας.

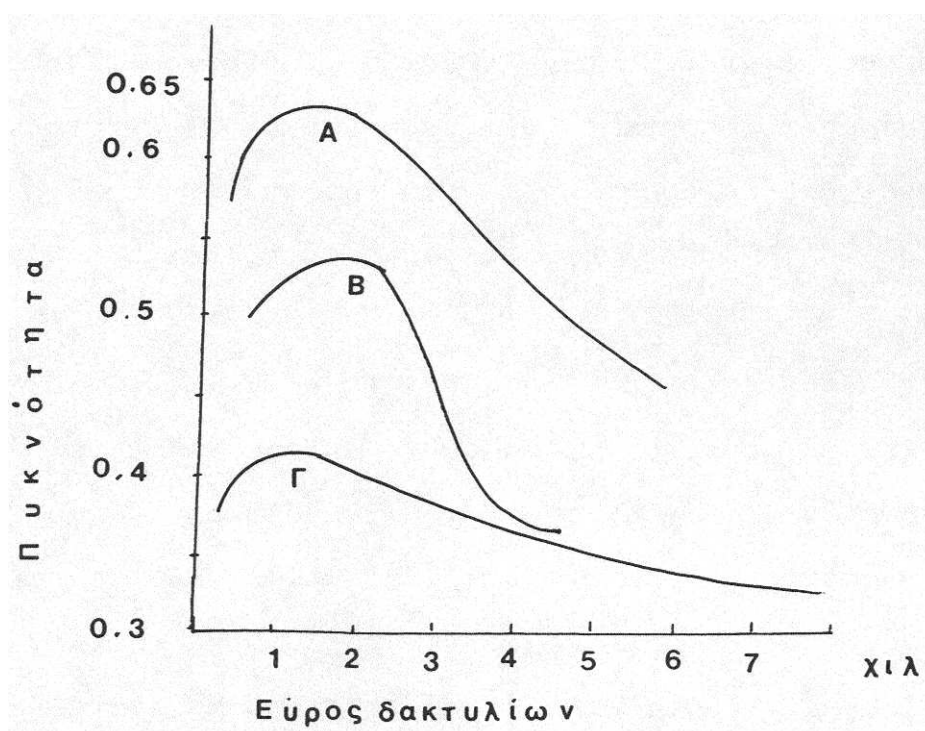
Το θλιπιγενές ξύλο (ξύλο κωνοφόρων με ανώμαλη δομή) είναι 20%-40% βαρύτερο από ότι το κανονικό ξύλο. Γενικά το ξύλο των κλαδιών είναι βαρύτερο από το ξύλο του κορμού. Η πυκνότητα του εγκάρδιου ξύλου είναι γενικά μεγαλύτερη όταν το χρώμα του είναι σκούρο (εναπόθεση εκχυλισμάτων). Για το λόγο αυτό τα σκοτεινού χρώματος τροπικά ξύλα έχουν μεγάλη πυκνότητα. Τα τροπικά ξύλα έχουν κατά μέσο όρο πυκνότητα 1,5-2,5 φορές μεγαλύτερη από τα ξύλα της εύκρατης και υποτροπικής ζώνης.

Ξύλα που περιέχουν μεγάλη ποσότητα ανόργανων ουσιών είναι βαρύτερα και σκληρότερα. Η παρουσία τυλώσεων σε μέλη αγγείων (πλατύφυλλα) και ρητινοφόρων αγωγών (κωνοφόρα) αυξάνουν την πυκνότητα.

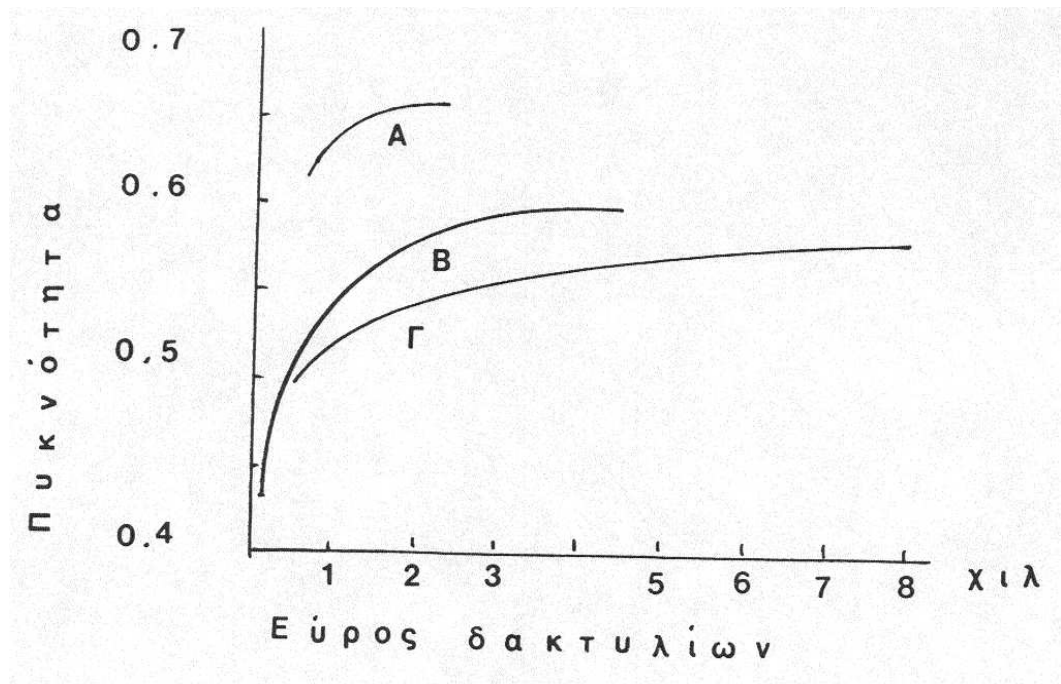
Στα κωνοφόρα και στα δακτυλιόπορα πλατύφυλλα υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ της πυκνότητας πρώιμου και όψιμου ξύλου. Το όψιμο ξύλο έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από το πρώιμο γιατί τα κύτταρα του έχουν παχύτερα τοιχώματα. Έτσι στην ελάτη η σχέση πυκνότητα όψιμου ÷ πυκνότητα πρώιμου ξύλου είναι 2,8, ενώ στη μαύρη πεύκη είναι 2,0, στην ψευδοτσούγκα είναι 2,2, στη δρυ 2,0-2,9, στο φράξο 1,4-2,1 και στην καστανιά 1,3. Για το λόγο αυτό στα κωνοφόρα και στα δακτυλιόπορα πλατύφυλλα η πυκνότητα του ξύλου γενικά αυξάνεται όταν αυξάνεται το ποσοστό του όψιμου ξύλου.

Η πυκνότητα του πρώιμου ξύλου μειώνεται ελαφρά από την εντεριώνη προς το φλοιό ή παραμένει στο ίδιο επίπεδο, ενώ αντίστοιχα μειώνεται από τη βάση προς την κορυφή του δένδρου.

Η πυκνότητα του όψιμου ξύλου αυξάνεται από την εντεριώνη προς το φλοιό και μειώνεται από τη βάση προς την κορυφή του δένδρου. Στα κωνοφόρα, η πυκνότητα αυξάνεται με τη μείωση του εύρους των ετησίων δακτυλίων, ενώ για τα είδη πεύκης και λάρικας στην αρχή υπάρχει μια αύξηση και μετά μία μείωση (βλ. Σχ. 4) (Τσουμής, 2009). Αντίθετα, στα δακτυλιόπορα πλατύφυλλα, ευρείς ετήσιοι δακτύλιοι συνεπάγονται μεγάλη πυκνότητα ξύλου (Σχ. 5) (Τσουμής, 2009).



**ΣΧΗΜΑ 4.** Σχέση μεταξύ εύρους ετησίων δακτυλίων και πυκνότητας στα κωνοφόρα είδη: λάρικα (A), δασική πεύκη (B) και λευκή πεύκη (Γ).



**ΣΧΗΜΑ 5.** Σχέση μεταξύ εύρους ετησίων δακτυλίων και πυκνότητας στα δακτυλιόπορα είδη: λευκή δρυ (A), κόκκινη δρυ (B) και φράζο (Γ).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ

Το ξύλο έχει τη φυσική και χημική ιδιότητα να προσλαμβάνει υγρασία από το περιβάλλον. Η υγρασία αυτή προσλαμβάνεται είτε σε υγρή μορφή (επαφή με νερό), ή σε μορφή υδρατμών από την ατμόσφαιρα. Η ιδιότητα αυτή του ξύλου ονομάζεται *υγροσκοπικότητα*. Πρόκειται για σημαντική ιδιότητα, γιατί η υγρασία που συγκρατεί το ξύλο επηρεάζει καθοριστικά τις λοιπές ιδιότητές του. Η υγροσκοπικότητα του ξύλου οφείλεται στη χημική σύνθεσή του, στο γεγονός δηλαδή ότι τα συστατικά του, άμορφη κυτταρίνη και ημικυτταρίνες είναι ουσίες εξόχως υδρόφιλες. Εξαιτίας της ιδιότητάς του αυτής, το ξύλο περιέχει πάντοτε *υγρασία* (ποσοστό υγρασίας, περιεχόμενη υγρασία, 'βαθμοί υγρασίας'), είτε ως κορμός δένδρου, είτε ως στρογγύλη είτε ως πριστή ξυλεία.

Η υγρασία του ξύλου επηρεάζει σημαντικά: (α) την πυκνότητα, (β) τις μηχανικές ιδιότητες, (γ) την κατεργασία, (δ) τη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα και (ε) την ανθεκτικότητα του ξύλου στην προσβολή μυκήτων και εντόμων. Επίσης, είναι καθοριστικός παράγοντας για την ξήρανση του ξύλου, τον εμποτισμό του, την παραγωγή επίπλων, ξύλινων οικίων, δομικών ξύλινων στοιχείων και άλλων ξυλοκατασκευών.

Υγρασία του ξύλου (*moisture content*) ορίζεται ουσιαστικά το βάρος του νερού που περιέχεται (περικλείεται) στο ξύλο και εκφράζεται ως ποσοστό επί του απόλυτα ξηρού βάρους του ξύλου:

$$Y = \frac{M_x - M_o}{M_o} \times 100 \quad (6)$$

όπου:  $Y$  = περιεχόμενη υγρασία (%)

$M_x$  = αρχική μάζα ή χλωρή μάζα (g)

$M_o$  = απόλυτα ξηρή μάζα (g), σε υγρασία 0%.

Η μέγιστη υγρασία που μπορεί να συγκρατήσει το ξύλο εξαρτάται από τους κενούς χώρους που υπάρχουν στη μάζα του, που εξαρτώνται άμεσα από την πυκνότητα (εξίσωση 4). Τη μέγιστη υγρασία του ξύλου σε σχέση με την πυκνότητα μπορούμε να την υπολογίσουμε από τις παρακάτω εξισώσεις:



$$Y_{\max} = 100 \left( \frac{r_w - R}{r_w R} \right) = 100 \left( \frac{1,5 - R}{1,5 R} \right) = 100 \left( \frac{1}{R} - 0,67 \right)$$

$$\text{και } Y_{\max} = 100 \left( \frac{r_w - \rho_o}{r_w \rho_o} \right) + \Sigma.I. = 100 \left( \frac{1,5 - \rho_o}{1,5 \rho_o} \right) + 30 = 100 \left( \frac{1}{\rho_o} - 0,67 \right) + 30 \quad (7)$$

όπου:  $Y_{\max}$  = Μέγιστη υγρασία του ξύλου (%)

$R$  = Βασική πυκνότητα ( $\text{g/cm}^3$ )

$\rho_o$  = Ξηρή πυκνότητα ( $\text{g/cm}^3$ )

$r_w$  = Πυκνότητα ξυλώδους ύλης ( $1,50 \text{ g/cm}^3$ )

$\Sigma.I.$  = Σημείο ινοκόρου (%)

Με βάση την εξίσωση 7 και τις τιμές ξηρής πυκνότητας του Πίν. 1, η μέγιστη υγρασία ξύλου ελάτης ( $\rho_o = 0,40 \text{ g/cm}^3$ ) είναι 213%, ξύλου οξιάς ( $\rho_o = 0,70 \text{ g/cm}^3$ ) είναι 106% και ξύλου οστριάς ( $\rho_o = 0,87 \text{ g/cm}^3$ ) είναι 78%.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι όσο αυξάνεται η πυκνότητα του ξύλου, τόσο μειώνεται η μέγιστη υγρασία ( $Y_{\max}$ ) που μπορεί να συγκρατήσει το ξύλο και αυτό είναι συνέπεια της μείωσης του ποσοστού των κενών χώρων του.

## Μέθοδοι υπολογισμού της περιεχόμενης υγρασίας

Η υγρασία του ξύλου υπολογίζεται με τις ακόλουθες τρεις μεθόδους:

### (1) Μέθοδος ξήρανσης και ζύγισης

Κατά την κλασική αυτή μέθοδο που είναι και πολύ ακριβής, τα δείγματα πρέπει να έχουν 15-22 mm πάχος κατά την κατεύθυνση των ινών και να παίρνονται από απόσταση 30 cm από το άκρο του πριστού. Επίσης πρέπει να είναι απαλλαγμένα από τυχόν σφάλματα. Κάθε δείγμα ζυγίζεται σε ζυγό ακριβείας (Σχ. 2Γ) και στη συνέχεια τοποθετείται στο πυριατήριο (Σχ. 2Α) σε θερμοκρασία 100-103°C όπου παραμένει μέχρις ότου χάσει όλη την υγρασία του και αποκτήσει σταθερό βάρος. Η σωστή εφαρμογή απαιτεί καλό εξαερισμό του κλιβάνου και σταθερή θερμοκρασία. Ο απαιτούμενος χρόνος για την ξήρανση δείγματος 100g μέχρι σταθερού βάρους είναι 24-48 ώρες και εξαρτάται από την αρχική υγρασία του

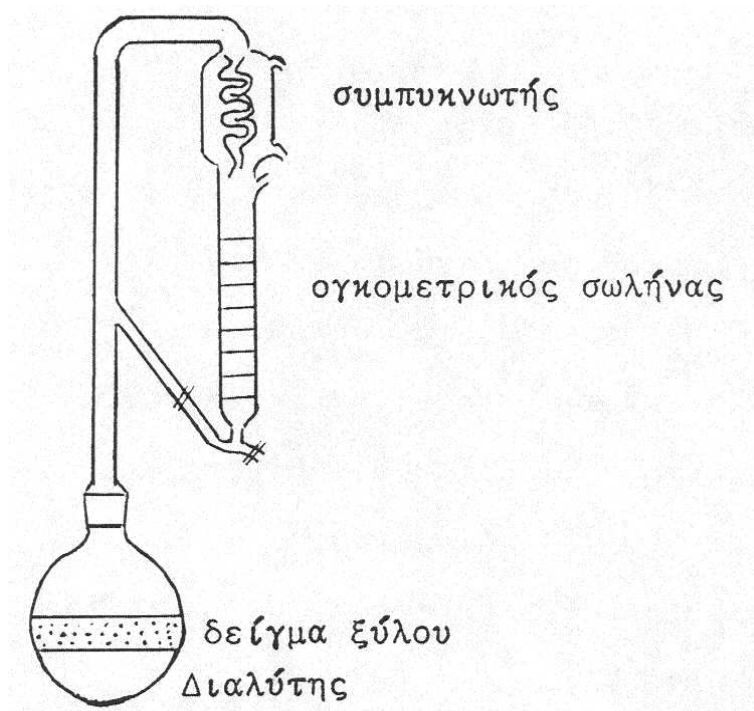
ξύλου, το μέγεθός του και την πυκνότητά του. Ωστόσο, καλύτερα είναι το ίδιο δείγμα να τεμαχισθεί σε μικρά ξυλοτεμαχίδια και να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία ξανά (μέτρηση επιβεβαίωσης). Σε αυτή την περίπτωση θα απαιτηθεί λιγότερος χρόνος ξήρανσης (4-12 ώρες) λόγω του μικρού μεγέθους του ξύλου. Η μέθοδος αυτή δεν είναι κατάλληλη για μέτρηση υγρασίας ξύλου πεύκων με υψηλή περιεκτικότητα σε πτητικά εκχυλίσματα (βλ. μέθοδο απόσταξης).

Έχοντας υπολογίσει το αρχικό (ή 'χλωρό') βάρος του δείγματος και το ξηρό βάρος του, μπορούμε χρησιμοποιώντας την Εξίσωση 6 να υπολογίζουμε την υγρασία.

## (2) Μέθοδος απόσταξης

Κατά την μέθοδο αυτή λαμβάνεται δείγμα 20-50 g σε μορφή ξυλοτεμαχιδίων ή πριονιδιού, ζυγίζεται με ακρίβεια και τοποθετείται σε συσκευή απόσταξης (Σχ. 6) σε ανάμιξη με διαλύτη που δεν διαλύεται σε νερό (λ.χ. τολουόλιο, τριχλωροαιθυλένιο).

Η συσκευή θερμαίνεται συνήθως με ηλεκτρική αντίσταση. Η συσκευή απόσταξης είναι εφοδιασμένη με συμπυκνωτή που καταλήγει σε αριθμημένο σωλήνα (Σχ. 6). Το νερό που περιέχεται μέσα στο ξύλο συμπυκνώνεται και συγκεντρώνεται στον αριθμημένο σωλήνα,



**ΣΧΗΜΑ 6.** Συσκευή απόσταξης για τον υπολογισμό της υγρασίας ξύλου.

ενώ ο διαλύτης επιστρέφει στο δοχείο. Η απόσταξη συνεχίζεται μέχρις ότου σταματήσει εντελώς η συμπύκνωση. Ο απαιτούμενος χρόνος είναι 12-24 ώρες.

Γνωρίζοντας το αρχικό βάρος του δείγματος ('χλωρό' βάρος) και την ποσότητα της υγρασίας που συμπυκνώθηκε, είναι εύκολος ο υπολογισμός της υγρασίας με την Εξίσωση 6.

Η μέθοδος της απόσταξης συνιστάται για μέτρηση υγρασίας ξύλου πεύκης (τραχείας, χαλεπίου, βαλκανικής). Και αυτό διότι εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας του ξύλου αυτού σε πτητικά ρητινώδη εκχυλίσματα (3-6%), με χρήση της μεθόδου ξήρανσης-ζύγισης αυτά εξαερώνονται κατά την ξήρανση και δίνουν εσφαλμένα αποτελέσματα υγρασίας.

### ***(3) Μέθοδος ηλεκτρικών υγρόμετρων***

Η χρήση των ηλεκτρικών υγρόμετρων (*wood moisture meters*) άρχισε στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Τα ηλεκτρικά υγρόμετρα σήμερα βρίσκουν ευρεία χρήση στις βιομηχανίες ξύλου και επίπλου. Οι ηλεκτρικές μέθοδοι κάνουν εφαρμογή των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του ξύλου που εξαρτώνται από την υγρασία του.

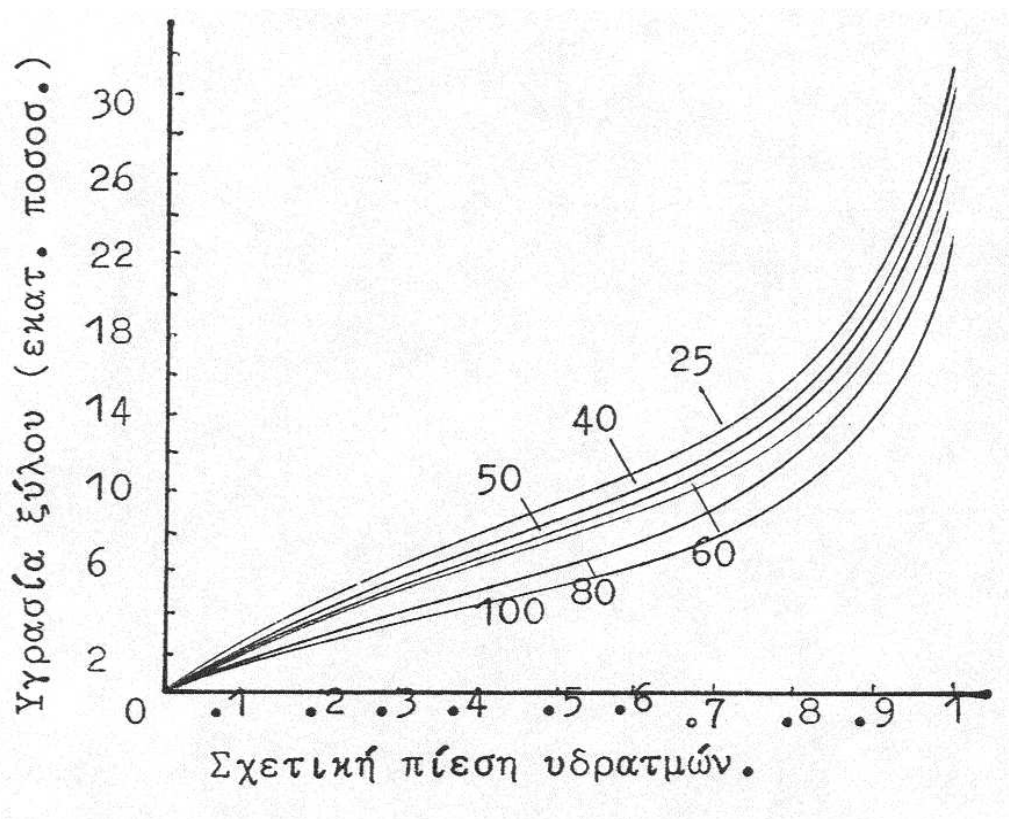
Υπάρχουν κυρίως υγρόμετρα που στηρίζονται στην **ηλεκτρική αντίσταση** του ξύλου και εκείνα που στηρίζονται στις διηλεκτρικές ιδιότητες του ξύλου. Τα πρώτα έχουν επικρατήσει λόγω της μεγαλύτερης ακρίβειάς τους. Η μέτρηση στηρίζεται στο γεγονός ότι για υγρασία ξύλου μεταξύ της ξηρής κατάστασης και του σημείου ινοκόρου υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ του λογάριθμου της ηλεκτρικής αντίστασης και της ποσότητας της υγρασίας του ξύλου. Με τα ηλεκτρικά υγρόμετρα υπολογίζεται με καλή ακρίβεια η υγρασία του ξύλου μεταξύ 7-35%. Η ακρίβεια για μέτρηση υγρασίας ξύλου για επίπεδα υγρασίας 35-80% είναι σχετικά ικανοποιητική.

Η απαιτούμενη επαφή του ξύλου με το υγρόμετρο σαν στοιχείο αντίστασης στο ηλεκτρικό κύκλωμα του υγρόμετρου επιτυγχάνεται με ηλεκτρόδια με μορφή βελόνων ή καρφιών που τοποθετούνται μέσα στο ξύλο ή επίπεδων πλακών που έρχονται σε πλήρη επαφή με την επιφάνεια του ξύλου. Η προσεκτική χρήση των ηλεκτρικών υγρόμετρων, ο έλεγχος και η διόρθωση του οργάνου πριν από τη χρήση (*calibration*) και η διόρθωση ανάλογα με την κατηγορία πυκνότητας ξύλου (κλίμακα: 1, 2, 3, 4) είναι βασικές προϋποθέσεις για να λαμβάνονται μετρήσεις υγρασίας με ακρίβεια.

## Προσρόφηση και ισοδύναμη υγρασία

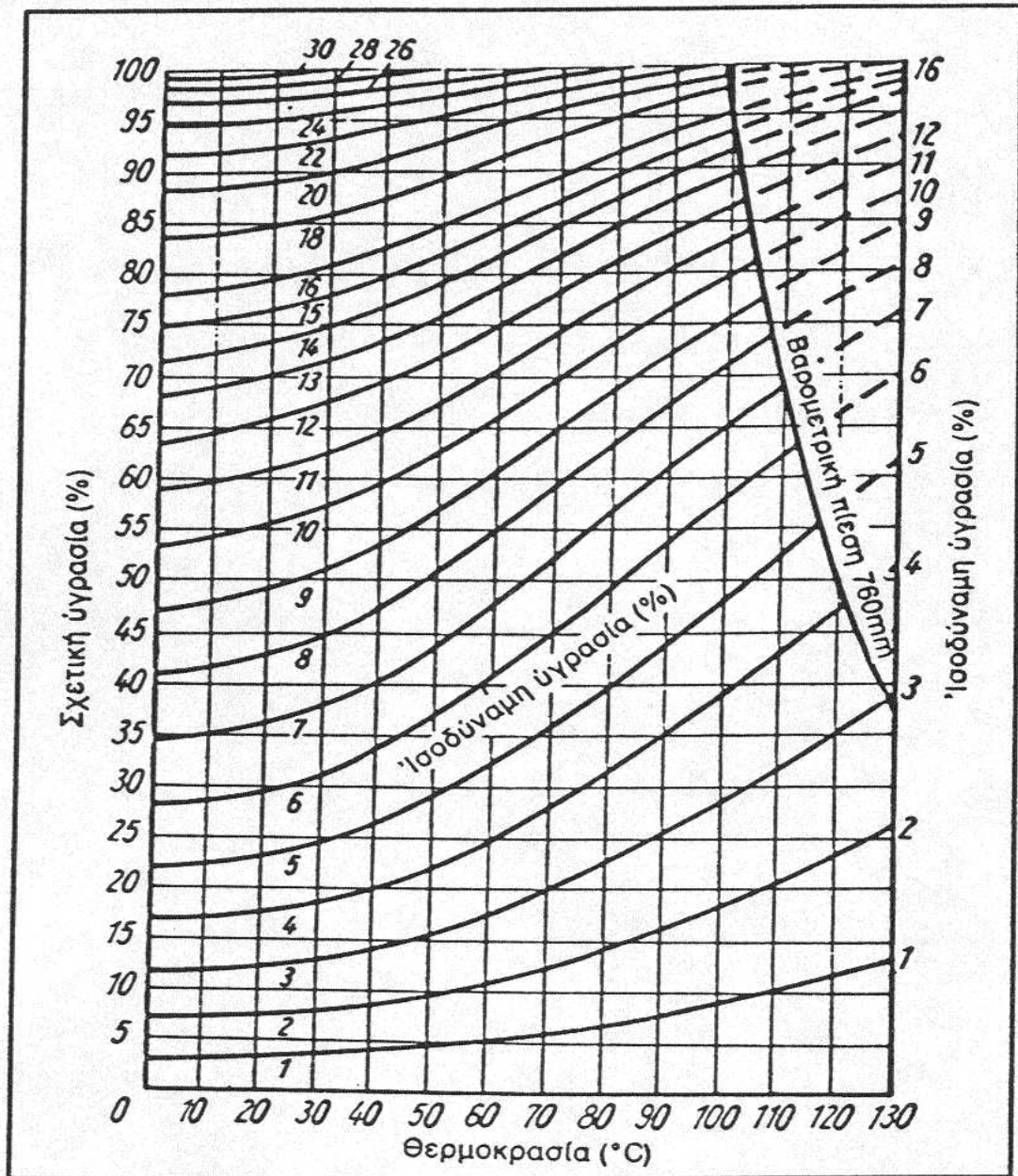
Αν πάρουμε ένα δοκίμιο ξύλου σε απόλυτα ξηρή κατάσταση και το εκθέσουμε στο περιβάλλον, θα προσροφήσει υγρασία (υδρατμούς) από την ατμόσφαιρα μέχρις ότου φθάσει σε μια υγρασία ισορροπίας με το περιβάλλον (=υγρασία ισορροπίας). Το φαινόμενο αυτό καλείται **προσρόφηση** και επηρεάζεται από τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του ξύλου. Το αντίθετο φαινόμενο δηλαδή η απώλεια υγρασίας από το ξύλο (λ.χ. από ξύλο με υγρασία 80%) με εξάτμιση από την εκτεθειμένη επιφάνειά του λέγεται **εκρόφηση**.

Στο Σχήμα 7 δείχνεται η σχέση μεταξύ υγρασίας ξύλου και σχετικής πίεσης υδρατμών σε διάφορες θερμοκρασίες για ξύλο ερυθρελάτης. Οι ισοθερμικές καμπύλες σιγμοειδούς σχήματος είναι σχεδόν ίδιες για τα περισσότερα προσροφητικά υλικά, όπως και για το ξύλο. Οι καμπύλες αυτές βεβαιώνουν ότι η προσροφητική δύναμη (υγροσκοπικότητα) του ξύλου επηρεάζεται από παράγοντες, όπως επίπεδο υγρασίας ξύλου (Σ.Ι.), σχετική υγρασία αέρα, μεταβολές θερμοκρασίας και είδος (δομή) του ξύλου.

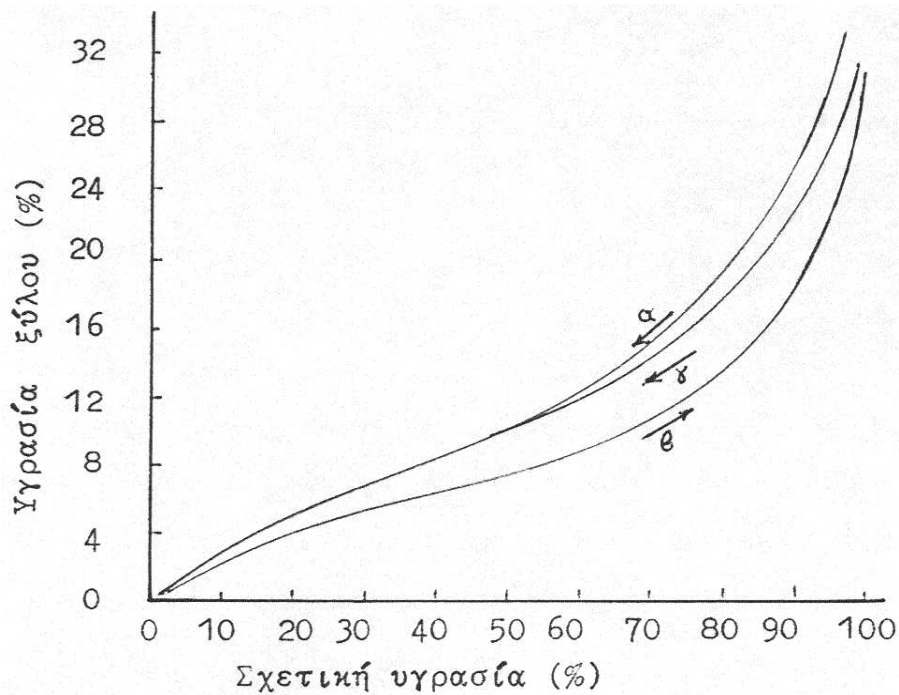


**ΣΧΗΜΑ 7.** Ισοθερμικές καμπύλες υγρασίας ξύλου και σχετικής πίεσης υδρατμών σε διάφορες θερμοκρασίες (πηγή: Τσουμής 2009).

Στο Σχήμα 8 δείχνονται παραστατικότερα οι τιμές *υγρασίας ισορροπίας* ή *ισοδύναμης υγρασίας* (*equilibrium moisture content*) για διάφορους συνδυασμούς θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του αέρα. Η ισοδύναμη υγρασία (που κανονικά πετυχαίνεται σε σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας (*air temperature*) και σχετικής υγρασίας αέρα (*relative humidity*), που δεν είναι δυνατό να υπάρξουν σε ελεύθερη ατμόσφαιρα λόγω των συνεχών μεταβολών των ατμοσφαιρικών συνθηκών) εξαρτάται από το αν το ξύλο έφθασε στην υγρασία αυτή από μία υψηλότερη ή μία χαμηλότερη σχετική υγρασία. Σίγουρα όμως οι καμπύλες προσρόφησης και εκρόφησης του ξύλου δεν είναι επαναλήψιμες.



**ΣΧΗΜΑ 8.** Καμπύλες ισοδύναμης υγρασίας για διάφορες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρα (πηγή: Τσουμής 2009).



**ΣΧΗΜΑ 9.** Φαινόμενο υστέρησης του ξύλου. (α): Καμπύλη πρώτης εκρόφησης (χλωρού) ξύλου, (β): Καμπύλη προσρόφησης και (γ): Καμπύλη δεύτερης εκρόφησης ξύλου (πηγή: Τσουμής 2009).

Επίσης, η ισοδύναμη υγρασία παρουσιάζει διαφορές όταν το ξύλο χάνει (εκροφά) υγρασία για πρώτη φορά – όταν δηλαδή είναι χλωρό ξύλο – ή προσλαμβάνει (προσροφά) μετά από ξήρανσή του (βλ. Σχ. 9), ή ακόμα εκροφά υγρασία που είχε προηγούμενα προσροφήσει. Με βάση τις καμπύλες του Σχ. 9 γίνεται εμφανές ότι η ισοδύναμη υγρασία είναι μεγαλύτερη στην εκρόφηση παρά στην προσρόφηση και η διαφορά που παροσιάζεται ονομάζεται **υστέρηση (hysteresis)** και είναι φαινόμενο χαρακτηριστικό των κυτταρινικών ουσιών. Αυτό με απλά λόγια σημαίνει ότι η υγρασκοπικότητα του ξύλου ελαττώνεται μετά την αρχική ξήρανσή του. Αυτό μάλλον γίνεται, διότι δεσμεύονται ελεύθερα υδροξύλια της (άμορφης) κυτταρίνης και των ημικυτταρινών, δηλαδή των πλέον υδρόφιλων συστατικών του ξύλου. Έτσι μειώνεται ο αριθμός των διαθέσιμων υδροξυλίων (-OH) στην επόμενη προσρόφηση.

Είναι γνωστό ότι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία είναι παράγοντες που μεταβάλλονται συνεχώς στην ελεύθερη ατμόσφαιρα. Συνεπώς δεν είναι δυνατό το ξύλο που εκτίθεται στον αέρα να αποκτήσει σταθερή υγρασία. Για πρακτικούς λόγους είναι δυνατό για ένα τόπο έχοντας από μετεωρολογικές παρατηρήσεις τις μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας και με χρήση των καμπυλών ισοδύναμης υγρασίας του Σχ. 8 να υπολογισθεί μια αντιπροσωπευτική **υγρασία ισορροπίας** για το συγκεκριμένο τόπο.

Η υγρασία αυτή είναι η υγρασία ξύλου ξηρού στον αέρα (σε υπόστεγο) και κυμαίνεται για τη χώρα μας από 8-19% (Αθήνα 7,8-14%, Λάρισα 9,5-18%, Θεσσαλονίκη 9,7-15,3%) (Πιν. 2). Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να υπολογισθεί η υγρασία σε οποιοδήποτε χώρο όπου επικρατούν περίπου σταθερές συνθήκες. Έτσι, για κατοικίες με κεντρική θέρμανση (θερμοκρασία 22°C, σχετική υγρασία 40%), η υγρασία ξύλου πατωμάτων, επίπλων και κουφωμάτων φθάνει το 8%. Με τον τρόπο αυτό εξηγείται γιατί έπιπλα που έγιναν με ξύλο ξηραμένο μερικώς μέχρι το 18-20%, όταν τοποθετήθηκαν σε σπίτι, η σταδιακή ξήρανσή τους μέχρι 8-9% προκάλεσε σφάλματα ραγαδώσεων και στρεβλώσεων. Αυτό παρατηρείται συχνά στην Ελλάδα ειδικά στα κουφώματα και τα έπιπλα. Για εξωτερικές κατασκευές σε καλυμμένους χώρους (μπαλκόνια, υπόστεγα) παρατηρούνται επίσης αντίστοιχα φαινόμενα που οφείλονται σε λανθασμένη ξήρανση. Για τις κατασκευές αυτές, καθώς και για ξυλεία που προορίζεται για σκεπές, αποθήκες, θερμοκήπια ή άλλες κατασκευές ξύλου που δεν τοποθετούνται μέσα σε σπίτι, η τελική υγρασία ξύλου μετά τη φυσική ή τεχνητή ξήρανση πρέπει να φτάνει το επίπεδο του **12-16%**.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2.** Διακύμανση υγρασίας ξύλου ξηρού στον αέρα σε διάφορα μέρη της Ελλάδας (τιμές υγρασίας ισορροπίας).

A/A	Τόπος	Ελάχιστη τιμή (%)	Μέγιστη τιμή (%)
1	Θεσσαλονίκη	9,7	15,3
2	Αθήνα	7,8	14,0
3	Γιάννενα	10,5	17,0
4	Λάρισα	9,5	18,0
5	Τρίκαλα	8,9	17,1
6	Χαλκίδα	9,2	15,9
7	Πάτρα	11,6	15,4
8	Τρίπολη	8,9	16,8
9	Καλαμάτα	9,8	14,7
10	Κέρκυρα	11,9	15,1
11	Ζάκυνθος	10,4	14,8
12	Μυτιλήνη	10,6	19,2
13	Σύρος	9,4	14,2
14	Χανιά	10,2	14,7
15	Αλεξανδρούπολη	9,8	15,6
16	Ρόδος	9,7	14,5
17	Κοζάνη	8,7	16,8



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΡΙΚΝΩΣΗ - ΔΙΟΓΚΩΣΗ

Η ελάττωση (μείωση) των διαστάσεων του ξύλου, όταν αποβάλλει υγρασία κάτω από το σημείο ινοκόρου (30%) ονομάζεται **ρίκνωση** (*shrinkage*) του ξύλου. Αντίθετα, το ξύλο αυξάνει τις διαστάσεις του, όταν η υγρασία του αυξάνεται από μία χαμηλή υγρασία ή υγρασία 0% μέχρι το σημείο ινοκόρου. Η αύξηση αυτή λέγεται **διόγκωση** (*swelling*). Στις μεταβολές αυτές, έχουμε αντίστοιχα, μείωση και αύξηση των διαστάσεων του ξύλου και στις τρεις κατευθύνσεις του (εγκάρσια, ακτινική, εφαπτομενική κατεύθυνση). Για μεταβολές της υγρασίας πάνω από το σημείο ινοκόρου, δηλαδή μέσα στις κυτταρικές κοιλότητες του ξύλου, δεν παρατηρούνται μεταβολές στις διαστάσεις του ξύλου.

### Παράγοντες που επηρεάζουν τη ρίκνωση - διόγκωση

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη ρίκνωση – διόγκωση του ξύλου είναι οι παρακάτω:

#### **Υγρασία**

Το μέγεθος της ρίκνωσης ή διόγκωσης του ξύλου είναι ανάλογο με την υγρασία που αποβάλλεται ή προσλαμβάνεται (σχέση ανάλογη). Η σχέση αυτή είναι σχεδόν ευθύγραμμη. Η σχέση της ρίκνωσης-διόγκωσης με την υγρασία επηρεάζεται και από το επίπεδο πυκνότητας του ξύλου.

#### **Πυκνότητα**

Η ρίκνωση ή διόγκωση αυξάνονται ανάλογα, όταν αυξάνεται και η πυκνότητα του ξύλου. Δηλαδή ξύλα με μεγάλη πυκνότητα ρικνώνονται και διογκώνονται σε μεγαλύτερο βαθμό. Η επίδραση της πυκνότητας εξηγείται απλά από τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ξυλώδους ύλης και το μεγαλύτερο πάχος κυτταρικών τοιχωμάτων σε ξύλα με μεγάλη πυκνότητα και αντιστρόφως. Πρακτικά, όταν προσλαμβάνεται ή αποβάλλεται υγρασία, οι κυτταρικές κοιλότητες μένουν σχεδόν αμετάβλητες.

#### **Δομή**

Η δομή του ξύλου είναι η κύρια αιτία διαφορετικής συμπεριφοράς της ρίκνωσης-διόγκωσης του ξύλου στις τρεις κατευθύνσεις του (*ανισοτροπία*). Διαφορές δομής στο ξύλο (λ.χ. τύποι ξυλωδών κυττάρων, πάχος τοιχωμάτων, ποσοστό όψιμου/πρώιμου ξύλου, πορώδες του

ξύλου) μπορεί να επηρεάζουν τις ιδιότητες αυτές και σε ορισμένα είδη ξύλου ενδεχομένως και με περίπλοκο τρόπο.

### ***Εκχυλίσματα***

Υψηλή περιεκτικότητα σε εκχυλίσματα συντελεί σε μείωση της ρίκνωση-διόγκωσης. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι τα εκχυλίσματα είναι γενικά είναι ουσίες υδρόφοβες και καταλαμβάνουν μέρος των κενών χώρων του ξύλου. Απομάκρυνσή τους με εκχύλιση προκαλεί σημαντική αύξηση της ρίκνωση και διόγκωσης του ξύλου.

### ***Χημική σύσταση***

Η χημική σύσταση του ξύλου επηρεάζει κάπως τις ιδιότητες αυτές, ειδικά η περιεκτικότητα σε κυτταρίνη (που έχει θετική επίδραση) και σε λιγνίνη (που έχει περιοριστική δράση). Απομάκρυνση της λιγνίνης με χημικό τρόπο προκαλεί την αύξηση της ρίκνωσης και της διόγκωσης του ξύλου.

### **Ανισοτροπία στη ρίκνωση - διόγκωση**

Η ρίκνωση και η διόγκωση του ξύλου δεν είναι ίδιες στις διάφορες αυξητικές κατευθύνσεις του ξύλου. Οι μεγαλύτερες μεταβολές στις διαστάσεις παρατηρούνται στην εφαπτομενική κατεύθυνση (εφαπτομενική ρίκνωση και διόγκωση). Η ακτινική ρίκνωση και διόγκωση είναι σημαντικά μικρότερη (περίπου 40-60% της εφαπτομενικής), ενώ η κατά μήκος του άξονα (αξονική ρίκνωση και διόγκωση) είναι τόσο μικρή που από πρακτικής άποψης δεν λαμβάνεται καθόλου υπόψη.

Η μέγιστη εφαπτομενική ρίκνωση και διόγκωση από τη χλωρή κατάσταση στην απόλυτα ξηρή και αντιστρόφως είναι κατά μ.ο. για τα ευρωπαϊκά είδη ξύλου 6-12%. Η αντίστοιχη ακτινική ρίκνωση είναι κατά μ.ο. 2,5-7%. Η αξονική ρίκνωση από τη χλωρή κατάσταση είναι μόνον 0,1-0,6%.

Γενικά η εφαπτομενική και ακτινική ρίκνωση αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας του ξύλου. Ωστόσο, ο ***συντελεστής ανισοτροπίας*** (=εφαπτομενική ρίκνωση ÷ ακτινική ρίκνωση ή εφαπτομενική διόγκωση ÷ ακτινική διόγκωση) μικραίνει με την αύξηση της πυκνότητας. Δηλαδή, βαρύτερα ξύλα έχουν μικρότερη ανισοτροπία.

Η διαφορά μεταξύ ακτινικής και εφαπτομενικής ρίκνωσης εξηγείται μερικώς από την περιοριστική επίδραση των ακτινών στην ακτινική κατεύθυνση. Ακόμα εξηγείται και από τη διαφορετική ελικοειδή διάταξη των μικροϊνιδίων στα εφαπτομενικά και ακτινικά κυτταρικά τοιχώματα. Επίσης, η παρουσία πολυάριθμων βοθρίων στα ακτινικά τοιχώματα των αξονικών τραχειδών προκαλεί αποκλίσεις των μικροϊνιδίων και κατά συνέπεια μικρότερη ακτινική ρίκνωση. Ένας άλλος σημαντικός λόγος είναι η μεγαλύτερη πυκνότητα του όψιμου ξύλου από το πρώιμο, συνεπώς και η μεγαλύτερη ρίκνωση και διόγκωση κατά την εφαπτομενική διεύθυνση των αυξητικών δακτυλίων. Γενικά οι παράγοντες που συνεπιδρούν στη διαφορετική εφαπτομενική ρίκνωση και διόγκωση - κυρίως παράγοντες δομής - είναι πολυσύνθετοι.

Η μικρή αξονική ρίκνωση και διόγκωση του ξύλου οφείλεται καθαρά στη διαφορετική διάταξη των μικροϊνιδίων στις τρεις στρώσεις του δευτερογενούς κυτταρικού τοιχώματος  $S_1$ ,  $S_2$  και  $S_3$ . Στις στρώσεις  $S_1$  και  $S_3$  η διεύθυνση των μικροϊνιδίων είναι σχεδόν κάθετη προς το μήκος του κυττάρου, ενώ στη μεσαία στρώση  $S_2$  είναι σχεδόν παράλληλη με το μήκος του. Κατά τη διόγκωση του ξύλου, η μεσαία στρώση τείνει να διογκωθεί αλλά οι δύο άλλες την εμποδίζουν λόγω της διαφορετικής διάταξης των μικροϊνιδίων. Η μικρή απόκλιση των μικροϊνιδίων της μεσαίας στρώσης  $S_2$  από την παραλληλότητα με τον άξονα του κυττάρου προκαλεί την μικρή κατά μήκος ρίκνωση και διόγκωση.

### Υπολογισμός ρίκνωσης - διόγκωσης

Ο υπολογισμός της ρίκνωσης και διόγκωσης γίνεται σαν ποσοστό της αρχικής διάστασης, δηλαδή για την ρίκνωση της χλωρής διάστασης (σημείο ινοκόρου και πάνω), ενώ για τη διόγκωση της ξηρής διάστασης.

$$\rho = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 \quad (8)$$

$$\delta = \frac{L_1 - L_2}{L_2} \times 100 \quad (9)$$

- όπου,  $\rho$  = ρίκνωση, επί τοις εκατό της χλωρής διάστασης (%)  
 $\delta$  = διόγκωση, επί τοις εκατό της ξηρής διάστασης (%)  
 $L_1$  = χλωρή διάσταση (mm)  
 $L_2$  = ξηρή διάσταση (mm)

Από τις σχέσεις (8) και (9) έχουμε :

$$L_1 - L_2 = \rho L_1 = \delta L_2$$

$$\rho = \frac{L_1}{L_1} - \frac{L_2}{L_1} = 1 - \frac{L_2}{L_1}$$

$$\delta = \frac{L_1}{L_2} - \frac{L_2}{L_2} = \frac{L_1}{L_2} - 1$$

$$\rho = \frac{\delta}{1 + \delta} \quad (10)$$

$$\delta = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (11)$$

### **Πρακτική σημασία της ρίκνωσης - διόγκωσης**

Η ιδιότητα του ξύλου να ρικνώνεται και να διογκώνεται με την απώλεια ή την πρόσληψη υγρασίας από την ατμόσφαιρα (κάτω από το Σ.Ι. μόνον) είναι η βασική αιτία για πολλά σφάλματα που γίνονται σε κατασκευές ξύλου όταν μεταβάλλονται οι καιρικές συνθήκες. Αυτά τα σφάλματα είναι: *ραγάδωση, στρέβλωση, κελύφωση, κυψελίδωση και κατάρρευση.*

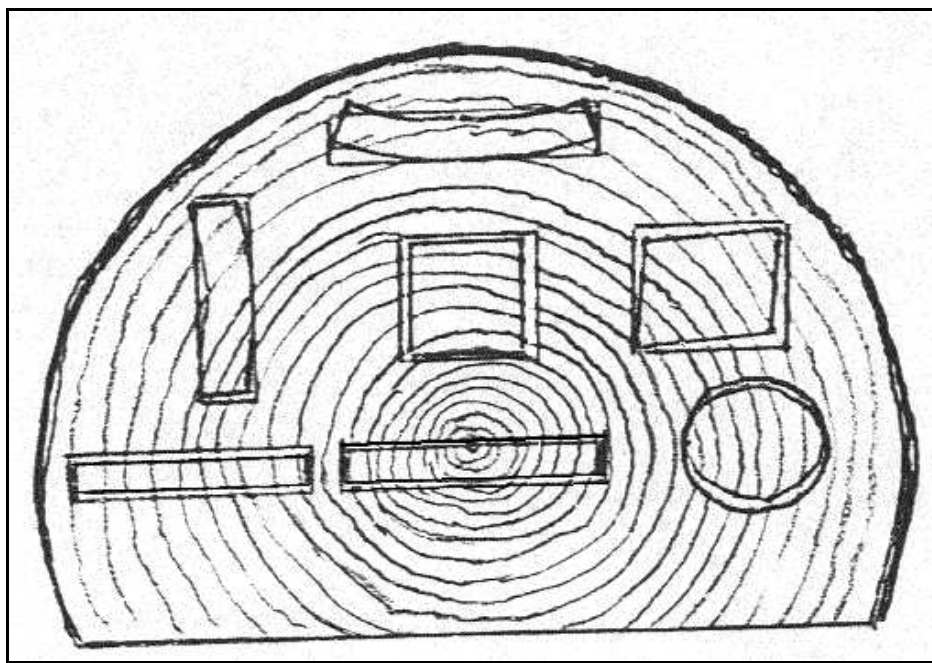
Είναι συχνό το φαινόμενο οι πόρτες, τα παράθυρα και τα συρτάρια να σφηνώνουν και να μη ανοίγουν το χειμώνα ή να μικραίνουν οι διαστάσεις τους το καλοκαίρι και να δημιουργούν ανοίγματα από ραγαδώσεις και στρεβλώσεις. Επίσης, στα πατώματα και στα ταβάνια ή τα ξύλινα χωρίσματα δωματίων είναι δυνατό λόγω προσρόφησης υγρασίας να ανασηκώνονται, ή λόγω ρίκνωσης να δημιουργούν ανοίγματα στους αρμούς ή και ραγάδες.

Πολλές φορές τα σφάλματα αυτά οφείλονται και στην παρουσία ξύλου ανώμαλης δομής (εφελκυσμογενές ή θλιψιγενές ξύλο) και στην ανομοιόμορφη κατανομή υγρασίας στο ξύλο λόγω μη επαρκούς ξήρανσης. Η παρουσία τέτοιων σφαλμάτων σε έπιπλα είναι δυνατό να κάνει ένα έπιπλο άχρηστο ή να υποβαθμίσει σημαντικά την εμφάνισή του.

Κατά την τεχνητή ξήρανση του ξύλου είναι δυνατό από αδέξιους χειρισμούς να προηγηθούν σημαντικά σφάλματα λόγω απότομης και γρήγορης ρίκνωσης και διόγκωσης, όπως λ.χ.

ραγάδωση άκρων και επιφάνειας, εσωτερικές ραγαδώσεις (κυψελίδωση), εσωτερικές τάσεις, και πλήρη κατάρρευση (=πλήρη μεταβολή της εξωτερικής μορφής του ξύλου).

Στο Σχ. 10 δείχνονται οι μεταβολές στο σχήμα τεμαχίων ξύλου λόγω ρίκνωσης και διόγκωσης ανάλογα με την αυξητική κατεύθυνση του ξύλου.



*ΣΧΗΜΑ 10. Επίδραση διαφοράς εφαπτομενικής και ακτινικής ρίκνωσης και διόγκωσης στο σχήμα διάφορων διατομών κορμοτεμαχίου.*

### **Αντιμετώπιση της ρίκνωσης - διόγκωσης στην πράξη**

Οι μεταβολές των διαστάσεων του ξύλου κατά τη ρίκνωση και διόγκωση αναφέρονται για μεταβολές υγρασίας του ξύλου κάτω από το σημείο ισοκόρου. Το μέγεθος της μεταβολής υγρασίας καθορίζει και το μέγεθος των μεταβολών στις διαστάσεις του ξύλου. Συνεπώς ο πιο εύκολος και πρακτικός τρόπος για να περιορίσουμε τη ρίκνωση και τη διόγκωση είναι η σωστή και επιμελημένη ξήρανση του ξύλου μέχρι το ποσοστό υγρασίας του χώρου στον οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σαν κατασκευή, δηλ. **8%** περίπου για εσωτερικούς χώρους, και **12-16%** για εξωτερικούς χώρους.

- ✚ Στην πράξη μπορεί να γίνεται επάλειψη της κατασκευής ξύλου αρχικά με λινέλαιο και άλλα συντηρητικά του ξύλου και υποστρώματα για να ακολουθήσει η εφαρμογή

βερνικιών ή ελαιοχρωμάτων. Η όλη αυτή διαδικασία μειώνει σημαντικά τις διαστασιακές μεταβολές του ξύλου με τη μεταβολή της υγρασίας στην ατμόσφαιρα, διότι οι ουσίες αυτές ενεργούν σαν μονωτικά. Δεν εμποδίζουν όμως το ξύλο σιγά-σιγά να αποκτήσει τη μέση υγρασία του χώρου στον οποίο βρίσκεται.

- ✚ Ορισμένα προϊόντα ξύλου όπως λ.χ. κόντρα-πλακέ (αντικολλητά) και προϊόντα επικολητής ξυλείας, παρουσιάζουν περιορισμένη ρίκνωση - διόγκωση, διότι έχει λάβει χώρα κατά την παραγωγή τους ανακατανομή της διεύθυνσης των ινών του ξύλου. Αυτός είναι ένας από τους λόγους για τους οποίους τα προϊόντα αυτά βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε κατασκευές όπου η σταθερότητα των διαστάσεων παίζει σπουδαίο ρόλο.

Για τη μείωση της ρίκνωσης και διόγκωσης του ξύλου, καθώς και την αύξηση της ανθεκτικότητας του ξύλου στο χρόνο, έχουν χρησιμοποιηθεί ανά τους αιώνες, και χρησιμοποιούνται έως και σήμερα, διάφορες τεχνικές και μέθοδοι εμποτισμού ή/και και χημικές μέθοδοι, όπως:

Μέθοδος επάλειψης ή εμβάπτισης του ξύλου με κατράμι: Η πιο γνωστή αρχαία τεχνική. Το κατράμι (*pine tar*) είναι ένα παχύρευστο ελαιώδες μαύρο υγρό, με έντονη οσμή, το οποίο παράγεται από την καταστρεπτική απόσταξη (*destructive distillation*) κορμών πεύκου υπό ανοξικές συνθήκες, και αποτελείται από αρωματικούς υδρογονάνθρακες, οξέα και βάσεις. Το κατράμι (ή κατράνι) ήταν γνωστό στη Σκανδιναβία από την εποχή του Σιδήρου. Χρησιμοποιούνταν σαν συντηρητικό σε ξύλινες κατασκευές, βλ. σκάφη, και μονωτικό υλικό σε κατοικίες. Από τη Σουηδία, η χρήση του σαν συντηρητικό αλλά και σαν φάρμακο διαδόθηκε στη νοτιότερη Ευρώπη και τη βόρεια Αμερική, ιδίως τον 19<sup>ο</sup> αιώνα (βλ. *Stockholm tar*). Ωστόσο, είναι γνωστό από ιστορικές πηγές ότι το κατράμι χρησιμοποιούνταν από τον Ιπποκράτη ως φάρμακο, όπως και για πολλές χρήσεις στην ξυλοναυπηγική. Η καλύτερη διάλυση και εφαρμογή του σε ξύλο γίνεται σε αναλογία 1:1, είτε με φυσικό τερεβινθέλαιο, είτε με καλά βρασμένο λινέλαιο. Στην Παλαιά Διαθήκη αναγράφεται ότι ο Νώε άλειψε την κιβωτό εσωτερικά και εξωτερικά με κατράμι (πίσσα). Από άλλες πηγές, είναι γνωστό επίσης, ότι οι Ρωμαίοι πασάλειβαν περιοδικά τις κύτες των πολεμικών πλοίων τους με κατράμι για προστασία από θαλάσσιους μικρο-οργανισμούς. Ακόμα και σήμερα στη Σκανδιναβία χρησιμοποιείται, όχι τόσο εκτεταμένα, σε κατασκευές υπαίθρου (ξυλεπενδύσεις, εξωτερικά δάπεδα και προβλήτες, πέδιλα σκι). Τον 20<sup>ο</sup> αιώνα,

Έλληνες βλάχοι, γνωστοί ως ‘κατρανάδες’, σε χωριά της Πίνδου, έφτιαχναν κατράνι με τον παραδοσιακό τρόπο, που το εμπορεύονταν οι ίδιοι σε όλη τη χώρα, κυρίως για τρεις εφαρμογές (θεραπεία ζώων κτηνοτροφίας, παρασκευή φαρμάκων και αλοιφών, κατασκευές ξυλοναυπηγικής). Σήμερα, η τεχνική αυτή έχει σχεδόν εκλείψει στη χώρα μας.

Τεχνική εμφάπτισης ή επάλειψης του ξύλου με φυσικά έλαια: Σε πολλούς πολιτισμούς, βλ. αρχαίοι Αιγύπτιοι και Έλληνες ήταν ευρέως γνωστή η τεχνική αυτή. Σήμερα η πιο γνωστή μέθοδος γίνεται με λινέλαιο (linseed oil), δηλ. το φυσικό λάδι του φυτού λινάρι (flax, *Linum usitatissimum*). Η μέθοδος γίνεται και με οικολογικά έλαια από άλλες φυτικές ύλες λ.χ. κραμβέλαιο, ελαιόλαδο, με στόχο την υδροφοβία του ξύλου· συνήθως γίνεται εμποτισμός των έτοιμων ξύλινων στοιχείων με λινέλαιο ή σπορέλαια υπό χαμηλή πίεση (2-3 atm), ή χωρίς πίεση με εμφάπτιση σε καυτό λάδι. Από ιστορικές πηγές, είναι γνωστό ότι οι Έλληνες του Μ. Αλεξάνδρου έκαναν προστατευτικό χειρισμό στην ξυλεία των γεφυρών που κατασκεύαζαν, με εμφάπτισή της σε καυτό λουτρό ελαιολάδου για αρκετές ώρες. Φυσικό λάδι tung oil από το δένδρο *Vernicia fordii* χρησιμοποιείται στην Κίνα, εδώ και εκατοντάδες χρόνια, για την εμφάπτιση (όχι τον εμποτισμό) ξυλείας ναυπηγικής, σαν ένα κατάλληλο συντηρητικό που διαπερνά το πορώδες του ξύλου και δημιουργεί ένα υδροφοβικό στρώμα βάθους έως και 5 mm.

Ένα ακόμη φυσικό έλαιο για τη συντήρηση του ξύλου ήταν, στα αρχαία χρόνια, το έλαιο του κέδρου (*cedar oil*). Αναφέρεται σε ιστορικές πηγές, ότι το χρυσελεφάντινο άγαλμα του Δία (ένα από τα 7 θαύματα του κόσμου), μία κολοσσιαία, καθήμενη μορφή του θεού Δία, περίπου 13 m σε ύψος, σμιλευμένη από το φημισμένο Αθηναίο γλύπτη Φειδία, συντηρούνταν με κεδρέλαιο επί αιώνες.

Μισοκάψιμο, ή μερική θερμική τροποποίηση του ξύλου: Μια άλλη πρακτική (μερική απανθράκωση) είναι γνωστή από τα αρχαία χρόνια για βελτίωση της ρίκνωσης-διόγκωσης και της σκληρότητας του ξύλου. Χρησιμοποιούνταν και στην Αφρική τα παλιά χρόνια. Στη Σκανδιναβία, ωστόσο, είχε πολύ πετυχημένες εφαρμογές γύρω στο Μεσαίωνα (βλ. μισοκάψιμο των πλαϊνών των πολεμικών караβιών των Βίκινγκς), για να γίνουν τα ξύλα ανθεκτικά και να έχουν αντοχή στη φωτιά (fire retardancy). Στην Ιαπωνία, χάνεται στο βάθος των αιώνων η προέλευση μιας αρχαίας μάλλον τεχνικής (γνωστής ως *Yakisugi*) η οποία περιλαμβάνει τη μερική επιφανειακή «καύση» (μισοκάψιμο) ξυλείας ιαπωνικού

κυπαρισσιού (*Cryptomeria japonica*) που προορίζεται για εξωτερικές κατασκευές, π.χ. ξυλεπενδύσεις, σκέπαστρα, στέγες, κουφώματα. Η ξυλεία αποκτά μαύρο χρώμα και είναι δυνατό να επαλειφθεί με λάδι ή φυσικά βερνίκια.

Μέθοδοι εμποτισμού του ξύλου υπό πίεση: Πρόκειται για βιομηχανικές μεθόδους που αναπτύχθηκαν τον 19<sup>ο</sup> αιώνα στην Ευρώπη, με άριστα αποτελέσματα για την αύξηση της διάρκειας χρήσης των ξύλινων κατασκευών αλλά και τη βελτίωση των ιδιοτήτων του ξύλου. Γίνεται όμως, χρήση χημικών που είναι τοξικά σε κάποιο βαθμό. Ο εμποτισμός γίνεται με εφαρμογή πίεσης ή/και κενού, σε ειδικές μονάδες που λέγονται εμποτιστήρια. Τέτοιες μέθοδοι περιλαμβάνουν (από το 1838, *Boucherie process*) τα εξής: εμποτισμό του ξύλου κυρίως πεύκων λόγω του μεγάλου πορώδους τους, με πενταχλωροφαινόλη (PCP, Penta), με άλατα χαλκού, χρωμίου και αρσενικού (CCA), με διάφορα άλλα άλατα –ACQ, CA, CN, ACC (βλ. Β. Αμερική) και με οργανικούς διαλύτες και μυκητοκτόνα, –LOSP (βλ. Ωκεανία). Τέτοια ξυλεία, εμποτισμένη, μετά το πέρας της χρήσης της θεωρείται ως επικίνδυνο υπόλειμμα (hazardous waste) και ο χειρισμός της στην Ευρώπη, υπόκειται σε αυστηρή νομοθεσία.

Εμποτισμός του ξύλου με κρεοζωτέλαιο (κρεόζωτο ή πισσέλαιο): Μέθοδος βασισμένη σε ελαιοδιαλυτά πετροχημικά κλάσματα (creosote oils), που ευρέως χρησιμοποιείται στη χώρα μας σε στύλους δικτύων ηλεκτρισμού και τηλεπικοινωνιών. Το εμποτισμένο υπό πίεση ξύλο (δασικής ή μαύρης πεύκης) έχει σκούρο μαύρο έως καφέ χρώμα, δυσάρεστη οσμή, ιδίως όταν είναι «φρέσκο», και έχει άριστη διαστασιακή συμπεριφορά και πολύ μεγάλο χρόνο ζωής. Είναι ξυλεία όμως που περιέχει αρκετές τοξικές ουσίες. Χρησιμοποιείται ακόμα σε όλη σχεδόν την Ευρώπη ακόμα και στη Σκανδιναβία (!), παρότι είχε προβλεφθεί ότι από το 2004 θα εγκαταλείπονταν σταδιακά αυτή η τεχνική. Η εμποτισμένη με πισσέλαιο ξυλεία είναι ένα επικίνδυνο υπόλειμμα (hazardous waste), μετά την απόσυρσή της από γραμμές τρένων και στύλους ΔΕΗ και ΟΤΕ. Πρέπει όμως να σημειώσουμε και το εξής πολύ σημαντικό: Οι ξύλινοι στύλοι των δικτύων ηλεκτρισμού - τηλεπικοινωνιών και οι στρωτήρες σιδηροδρόμων είναι σημαντικές εφαρμογές που με τον προληπτικό εμποτισμό δεκαπλασιάζουν τη διάρκεια ζωής της κατασκευής, π.χ. ένας στύλος ΔΕΗ χωρίς εμποτισμό διαρκεί 5 χρόνια, ενώ ένας εμποτισμένος διαρκεί πάνω από 40 χρόνια. Εκτιμάται ότι εάν δεν γινόταν εμποτισμός των δικτύων αυτών και των στρωτήρων των σιδηροδρόμων, τα δάση του πλανήτη θα είχαν υποστεί ανεπανόρθωτη καταστροφή, ειδικά στις εύκρατες ζώνες της



Γης (κάτι που δεν συμβαίνει, αφού τα δάση εκεί ακμάζουν με εξαιρετικό ρυθμό, βλ. *αιφορική διαχείριση*). Κατά συνέπεια, η προστασία του ξύλου με χρήση εμποτιστικών ουσιών είναι μια αναγκαία διαδικασία.

Εμποτισμός του ξύλου με υδατοδιαλυτά άλατα βορίου, χαλκού και αζόλες: Αυτή είναι μια άλλη τεχνολογία εμποτισμού. Ξύλο εμποτισμένο υπό πίεση (6-12 atm) με τέτοια εμποτιστικά διαλύματα (copper-azole preservatives) παρουσιάζει ρίκνωση-διόγκωση μειωμένη μέχρι 50%. Τα άλατα αυτά προσδίδουν συνήθως στο ξύλο ένα ελαφρύ πρασινωπό χρώμα, ή μπλε. Το ξύλο αυτό ανήκει στην εμποτισμένη ξυλεία. Καλό είναι μόνο πεύκα (με μεγάλο σομφό) να χρησιμοποιούνται σε εμποτισμό. Πολύ διαδεδομένη και με μεγάλο εύρος εφαρμογών σε ξύλινες δομικές κατασκευές (στέγες, εξωτερικές ξύλινες κατασκευές, περιφράξεις, κιόσκια, πέργκολες, υπόστεγα) είναι και ο εμποτισμός μόνο με άλατα βορίου και χαλκού που είναι υδροδιαλυτά (4-5%). Υπάρχει και η τεχνολογία εμποτισμού δομικής ξυλείας για αντοχή στη φωτιά, κατά την οποία, ξυλεία συνήθως πεύκου εμποτίζεται υπό πίεση με επιβραδυντικά (fire retardants).

Μέθοδος βαφής του ξύλου με ακρυλικές λάκες και ελαιοχρώματα: Καλή τεχνική προστασίας του ξύλου είναι και η βαφή του. Ενδεικνυόμενη βαφή για ξύλινες κατασκευές εξωτερικών κουφωμάτων και ξύλινων κατασκευών υπαίθρου, για μεγάλη διάρκεια ζωής είναι η εφαρμογή ακρυλικής λάκας εξωτερικής χρήσεως με αλκύδια στο επιθυμητό χρώμα. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στις βιομηχανίες κουφωμάτων και κατασκευών υπαίθρου με επιτυχία και με παροχή δεκαετούς τουλάχιστον εγγύησης, η οποία παρέχεται εφόσον εφαρμόζονται οι οδηγίες που παρέχουν οι εταιρείες χρωμάτων. Η σωστή αυτή τακτική έχει αναβαθμίσει τα ξύλινα κουφώματα (πόρτες, παράθυρα) και τις κατασκευές υπαίθρου στη χώρα μας.

Εναλλακτική τεχνική είναι και η βαφή με αλκυδική υδροδιαλυτή ριπολίνη (λαδομπογιά) εξωτερικής χρήσεως για ξύλο. Η γνωστή μέθοδος βαφής με ελαιοχρώματα ή άλλες χρωστικές ουσίες επίσης βοηθάει στη μείωση της ρίκνωσης και της διόγκωσης του ξύλου και αυξάνει το χρόνο ζωής. Η μέθοδος αυτή είναι κλασική, εφαρμόζεται με επιτυχία στη χώρα μας από τη δεκαετία του '60, και περιλαμβάνει βαφές ή επιχρίσματα ποικίλης προέλευσης. Στα κουφώματα (παράθυρα) και τις εξώθυρες ήταν συνηθισμένη με χρήση λαδομπογιάς και τσίγκου (zinc).

Θερμική τροποποίηση του ξύλου: Βιομηχανική μέθοδος προστασίας του ξύλου. Έχει χρώμα σκούρο καφετί. Μυρίζει λιγάκι σαν μισοκαμμένο ξύλο, όταν τεμαχίζεται. Η θερμικά τροποποιημένη ξυλεία είναι ένα καινοτομικό προϊόν που παράγεται με χρήση θερμότητας και ατμού (συνήθως στους 190-215°C), χωρίς τη χρήση επιβλαβών χημικών. Τα λεγόμενα «Thermowood» έχουν αυξημένη διαστασιακή σταθερότητα και ανθεκτικότητα απέναντι σε μύκητες-έντομα. Σήμερα, στην Ευρώπη, χρησιμοποιούνται σε εμπορική κλίμακα παρεμφερείς τεχνολογίες θερμικής τροποποίησης (TMT, thermally modified timber) που προσδίδουν στην ξυλεία αντοχή, υδροφοβία και βελτιωμένη βιολογική ανθεκτικότητα (βλ. Thermowood®, Platowood®, OHT®, Retiwood®, Vacwood®). Η χρήση της ξυλείας αυτής (κλάση '3'), περιορίζεται κυρίως σε επενδύσεις κτιρίων (cladding) και εξωτερικά ξύλινα δάπεδα (decks).

Ακετυλίωση: Σύγχρονη τεχνολογία τροποποίησης του ξύλου (acetylation) με στόχο την απόλυτη υδροφοβία του. Η ξυλεία αυτή παράγεται στην Ολλανδία. Ξυλεία πεύκου (radiata pine) μετατρέπεται σε ακετυλιωμένη ξυλεία μετά από αντίδραση των πολυμερών του ξύλου (κυρίως της λιγνίνης) με οξικό ανυδρίτη ( $C_4H_6O_3$ ). Η ξυλεία έχει έντονα υδροφοβικά χαρακτηριστικά, μειωμένη ρίκνωση και διόγκωση (στο 2%!) και πολύ χαμηλό σημείο κορεσμού των ιών. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στην εστεροποίηση του ξύλου και τη μείωση των ελεύθερων υδροξυλίων του (-OH). Το τελικό προϊόν είναι οικολογικό. Η ξυλεία αυτή είναι λευκωπή, έχει όξινα χαρακτηριστικά, ενώ απαιτείται ειδική βαφή και ανοξειδωτά συνδετικά μέσα. Συνιστάται για όλες τις εξωτερικές χρήσεις, αν και έχει υψηλή εμπορική τιμή (Accoya® wood).

Εμποτισμός ξύλου με ρητίνες: Είναι ειδικός χειρισμός του ξύλου με θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες φαινόλης (PF) ή μελαμίνης- φορμαλδεϋδης (MF), ή άλλα χημικά αντιδραστήρια, με στόχο την υδροφοβία του και τη μη διαπέραση του νερού στο κυτταρικό τοίχωμα (cell wall). Οι ουσίες αυτές με τη μορφή υδατικών διαλυμάτων χρησιμοποιούνται για εμποτισμό του ξύλου και αφότου εισαχθούν στα τοιχώματα, σκληρύνονται με πολυμερισμό σε υψηλή θερμοκρασία. Τέτοια προϊόντα είναι σήμερα τα: Belmadur®, Indurite®, KeyWood®. Το ξύλο αυτό παρουσιάζει υψηλή ανθεκτικότητα και αντοχή σε μύκητες (rot fungi) και ξυλοφάγα έντομα (wood insects), αν και έχουν αναφερθεί ότι έχει τάση για ραγαδώσεις.

Φουρφουρυλίωση: Από τις χημικές μεθόδους, εξαιρετική τεχνολογία είναι η φουρφουρυλίωση του ξύλου (Kebony® wood). Εξειδικευμένη τεχνολογία με υψηλό κόστος αλλά με πολύ βελτιωμένα αποτελέσματα. Χρησιμοποιείται ευρέως στη Σκανδιναβία. Περιλαμβάνει την τροποποίηση του ξύλου με φουρφουρυλική αλκοόλη (C<sub>5</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>), μία αλκοόλη που μένει ως υπόλειμμα από βιομάζα ζαχαροκάλαμου - καλαμποκιού. Η όλη διαδικασία γίνεται σε κλειστούς κλιβάνους σε εργοστάσια στη Νορβηγία και το Βέλγιο, με τη μέθοδο πλήρων κυττάρων (*Bethel process*) και χρήση κενού και υψηλής πίεσης >12 atm. Δίνει ξυλεία πολύ σκούρου καφέ χρώματος (δεν βάφεται), με εξαιρετικές ιδιότητες, πολύ μεγάλη σκληρότητα και αντοχή, όπως πιστοποιείται από τη βιβλιογραφία και τα πειράματα που έχουν εκπονηθεί. Χρησιμοποιείται ιδίως σε εξωτερικά πατώματα, ξυλεπενδύσεις κτιρίων και σε decks σκαφών αναψυχής.

Εφαρμογές νανοτεχνολογίας: Σύγχρονες τεχνολογίες για την επικάλυψη των επιφανειών ξύλου με σκευάσματα νανοδιασπορών ψευδαργύρου, χαλκού ή/και τιτανίου (απλή επάλειψη). Οι μέθοδοι αυτές έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα, ωστόσο, τίθεται θέμα για την αντοχή του ξύλου στο χρόνο εξαιτίας δυσκολίας στη μόνιμη συγκράτησή των (fixation). Στις ΗΠΑ, εφαρμόζεται σε ευρεία κλίμακα επίσης αντίστοιχη τεχνολογία εμποτισμού ξυλείας με τέτοια σκευάσματα (micronized copper).

Εμποτισμός με υπερκρίσιμο διοξείδιο του άνθρακα: Νέα τεχνολογία (Superwood®) που αναπτύχθηκε πρόσφατα στη Δανία, σύμφωνα με την οποία ξυλεία ερυθρελάτης, ένα είδος δύσκολο στον εμποτισμό (poorly permeable wood), μπορεί να εμποτιστεί με μυκητοκτόνα και εντομοκτόνα συντηρητικά, όταν αυτά διαλυθούν μέσα σε διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο βρίσκεται σε υπερκρίσιμη κατάσταση (supercritical CO<sub>2</sub>). Τα χημικά αυτά περιέχουν και αζόλες (azoles) που δίνουν ξυλεία αντοχής κατάλληλη για χρήσεις κλάσης επικινδυνότητας 3 (use-class 3, με βάση το πρότυπο EN 335).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το ξύλο όπως και τα άλλα υλικά όταν θερμαίνεται αυξάνονται οι διαστάσεις του και αντίστροφα όταν ψύχεται μειώνονται. Το φαινόμενο ονομάζεται, αντίστοιχα, *διαστολή* και *συστολή*. Η σχέση διαστολής και θερμοκρασίας είναι περίπου ευθύγραμμη και στις τρεις αυξητικές κατευθύνσεις. Για τη μέτρηση της διαστολής του ξύλου χρησιμοποιείται ο *συντελεστής διαστολής*, ο οποίος αναφέρεται σε απόλυτα ξηρό βάρος και μετράει την επιμήκυνση της μονάδας μήκους, όταν η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 1°C. Ο συντελεστής διαστολής έχει ανάλογη (ευθύγραμμη γραμμική) σχέση με την πυκνότητα του ξύλου.

Εξαιτίας της δομής του ξύλου, η διαστολή και συστολή του είναι διαφορετική στις τρεις αυξητικές κατευθύνσεις. Από πρακτική άποψη, οι μεταβολές αυτές είναι πολύ μικρές σε σχέση με τη ρίκνωση και διόγκωση, που παρουσιάζονται λόγω μεταβολής της υγρασίας του ξύλου. Το γεγονός αυτό καθώς και η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα του ξύλου, έχουν μεγάλη σημασία σε περίπτωση πυρκαγιάς ξύλινων κατασκευών. Ξύλινοι δοκοί και κολώνες μίας κατασκευής - σε περίπτωση πυρκαγιάς - υποστηρίζουν το βάρος της κατασκευής για μεγάλη χρονική διάρκεια χωρίς να καταρρεύσουν. Κάτω από τις ίδιες συνθήκες, μπορεί το ξύλο μεγάλων διαστάσεων να είναι ανθεκτικότερο στη φωτιά από ότι ο χάλυβας.

Ο υπολογισμός της διαστολής ξύλου για μεταβολή θερμοκρασίας από  $\theta_1$  σε  $\theta_2$  (βαθμοί Κελσίου) γίνεται από τη σχέση :

$$\Delta = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \quad (12)$$

όπου:  $\Delta$  = διαστολή (mm/mm)

$L_1$  = αρχικό μήκος (mm)

$L_2$  = τελικό μήκος (mm)

### Ειδική θερμότητα

Ειδική θερμότητα του ξύλου είναι το ποσό θερμότητας που χρειάζεται για να αυξηθεί η θερμοκρασία της μονάδας της μάζας του κατά 1°C και μετριέται σε μονάδες kcal/kg °C.

Εάν ποσότητα θερμότητας  $Q$  Cal (θερμίδων) χρειάζεται για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία ποσότητας ξύλου  $M$  γραμμαρίων από  $\theta_1$  σε  $\theta_2$  °C, η ειδική θερμότητα του ξύλου είναι:

$$C = \frac{Q}{M(\theta_2 - \theta_1)} \quad (13)$$

Η ειδική θερμότητα του ξύλου είναι χαμηλή και το γεγονός αυτό είναι σημαντικό για πολλούς τεχνικούς λόγους, όπως για την ξήρανση του ξύλου, τον εμποτισμό του και την υδρόλυση του. Σε σύγκριση ωστόσο με άλλα υλικά (σίδηρο, αλουμίνιο, σκυρόδεμα), το ξύλο έχει μεγαλύτερη ειδική θερμότητα. (βλ. Πίνακα 3)

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3.** Θερμοαγωγιμότητα και ειδική θερμότητα διαφόρων υλικών.

<b>Υλικό</b>	<b>Πυκνότητα g/cm<sup>3</sup></b>	<b>Ειδική θερμότητα Kcal/Kg °C</b>	<b>Θερμοαγωγιμότητα Kcal/m h °C</b>
Ξύλο πεύκης	0,50	0,60	0,104
Ξύλο δρυός	0,70	0,50	0,149
Ξύλο μπάλας	0,16	0,70	0,045
Ινοπλάκες μονωτικές	0,24	0,60	0,052
Ξυλοκάρβουνο	0,40	0,24	0,074
Μάρμαρο	2,60	0,21	2,232
Πλαστικά αφρώδη	0,20	0,30	0,030
Πλίνθοι κοινοί	1,75	0,22	0,625
Πλάκες τσιμεντάσβεστου	1,40	0,20	0,521
Σκυρόδεμα ελαφρύ	1,40	0,23	0,887
Γυαλί	2,50	0,20	0,818
Σίδηρος	7,87	0,11	69,05
Αλουμίνιο	2,70	0,22	203,88

Πηγή: Τσουμής (2009)

Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με τη μικρή θερμοαγωγιμότητα του είναι σοβαρό πλεονέκτημα, γιατί κάνει το ξύλο κατάλληλο για διάφορες χρήσεις, όπως λ.χ. λαβές, σπίρτα, κ.ά. Η ειδική θερμότητα είναι ανεξάρτητη από το είδος ξύλου και από την πυκνότητα, αλλά αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του.

### **Θερμική αγωγιμότητα του ξύλου**

Το ξύλο, όπως και όλα τα κυτταρινικής σύστασης υλικά, είναι φτωχός αγωγός της θερμότητας, λόγω (α) της μικρής ποσότητας ελεύθερων ηλεκτρονίων που τυπικά μεταδίδουν την ενέργεια και (β) της πορώδους δομής του. Έτσι το (ξηρό) ξύλο, έχει αμελητέα θερμική

αγωγιμότητα (=θερμομονωτικότητα), γεγονός που σημαίνει ότι έχει υψηλή θερμομονωτική αξία. Για το λόγο αυτό, το ξύλο και τα προϊόντα του βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή σαν μονωτικά υλικά σε εφαρμογές κατασκευής κτιρίων (παράθυρα, πόρτες), επίπλων, βαρελιών, κ.ο.κ.

Για τον υπολογισμό της θερμοαγωγιμότητας του ξύλου χρησιμοποιούμε το *συντελεστή θερμοαγωγιμότητας*  $\lambda$ . Ο συντελεστής  $\lambda$  είναι το ποσό της θερμότητας σε θερμίδες Cal το οποίο περνάει στη μονάδα του χρόνου (sec) από σώμα πάχους 1 cm από τη μία του πλευρά στην άλλη μέσα από διατομή 1 cm<sup>2</sup>, όταν διατηρείται διαφορά θερμοκρασίας 1°C ανάμεσα στις δύο επιφάνειες (μετριέται σε μονάδες Cal/cm sec °C).

Η θερμοαγωγιμότητα του ξύλου στην ακτινική διεύθυνση είναι 5-10% μεγαλύτερη από ότι στην εφαπτομενική. Η αξονική αγωγιμότητα είναι περίπου 2-3 φορές μεγαλύτερη από ότι η ακτινική και εφαπτομενική για υγρασία ξύλου μεταξύ 8-15%. Η θερμοαγωγιμότητα επηρεάζεται από τους εξής παράγοντες: (α) *πυκνότητα ξύλου*: αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας, (β) *υγρασία ξύλου*: αυξάνεται με την αύξηση της υγρασίας, (γ) *θερμοκρασία*: αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επίσης, ξύλα με σκούρο χρώμα έχουν μεγαλύτερη θερμοαγωγιμότητα, ενώ ξύλα με ρητίνη έχουν μικρότερη θερμοαγωγιμότητα.

Από πρακτικής άποψης, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι η θερμοαγωγιμότητα είναι αντίστροφη έννοια της *θερμομονωτικότητας*. Το ξύλο είναι θερμομονωτικό στην εγκάρσια διεύθυνση. Τα ελαφρά ξύλα είναι πιο θερμομονωτικά. Το ξύλο όταν είναι ξηρό είναι πιο θερμομονωτικό. Το ξύλο είναι περισσότερο θερμομονωτικό σε χαμηλές θερμοκρασίες.

Από τον Πιν. 3 με σύγκριση του συντελεστή θερμοαγωγιμότητας του ξύλου και των άλλων υλικών προκύπτει ότι το συμπαγές ξύλο είναι πιο θερμομονωτικό από τα συμπαγή πλαστικά, 20 φορές πιο μονωτικό από το μάρμαρο, και 2.000 φορές πιο μονωτικό από το αλουμίνιο.

Μια άλλη σύγκριση από άποψη εφαρμογής γίνεται στα παρακάτω παραδείγματα με την εφαρμογή του κανονισμού για τη θερμομόνωση των κτιρίων:

⇒ Αν καλύψουμε την εσωτερική επιφάνεια ενός κοινού τοίχου από τούβλα με ραμποτέ ξυλεία πάχους 1 cm και κενό αέρα 4-5 cm, τότε πετυχαίνουμε μείωση σε θερμικές απώλειες κατά 25% περίπου.

- ⇒ Μια σιδερένια πόρτα έχει 40% περισσότερη απώλεια θερμότητας από μια ξύλινη.
- ⇒ Τοποθέτηση μαρμαρίνου δαπέδου 3cm πάνω σε πάκα οπλισμένου σκυροδέματος δημιουργεί 50% περισσότερες θερμικές απώλειες από ένα ξύλινο πάτωμα δρυός πάχους 2,4 cm, ξύλινο ψευδοπάτωμα 1,8 cm και κενό 5 cm.

## **Το ξύλο ως πηγή ενέργειας**

Το ξύλο ως προϊόν φωτοσύνθεσης (*photosynthesis*) αποτελεί αποθηκευμένη μορφή ηλιακής ενέργειας. Η αξία του ως πηγή ενέργειας βασίζεται στη χημική του σύσταση. Το ξύλο αποτελείται από άνθρακα (48-50%), υδρογόνο 6%, οξυγόνο 44-45% και μικρές ποσότητες άλλων στοιχείων. Η ενεργειακή του αξία επηρεάζεται και από την παρουσία εκχυλισμάτων, όπως λ.χ. ρητίνες (ρετσίνι πεύκων).

Ο ήλιος ακτινοβολεί πάνω σε όλη τη Γη ποσότητα ενέργειας ίση περίπου με 120 δισεκατομμύρια μεγαβάτ (MW). Από αυτή την ποσότητα, 27% καταναλώνεται με την φωτοσύνθεση των φυτών και παράγονται ετησίως 200 δισεκατομμύρια τόνοι οργανικής ουσίας (*βιομάζας*) χωρίς κατανάλωση ενέργειας από τον άνθρωπο.

Η αξιοποίηση του ξύλου σαν πηγή ενέργειας περιλαμβάνει τις παρακάτω μεθόδους:

### **(1) Καύση**

*Καύση* είναι η ιδιότητα του ξύλου να καίγεται (=αποικοδομείται θερμικά) και αυτό το κάνει κατάλληλο για θερμαντικούς σκοπούς. Κατά την καύση του ξύλου με την αύξηση της θερμοκρασίας, πρώτα εξατμίζεται η υγρασία του ξύλου στους 100°C και ακολουθούν εξαέρωση πτητικών ουσιών στους 95-150°C, επιφανειακή απανθράκωση και βραδεία έξοδος εύφλεκτων αερίων στους 150-200°C, ταχύτερη έξοδος αερίων και στη συνέχεια ανάφλεξη και πυράκτωση στους 220-370°C, ταχεία ανάφλεξη αερίων και σχηματισμός πυρακτωμένων ανθράκων στους 370-500°C.

Στην θερμοκρασία των 275°C παρουσία οξυγόνου μπορεί να γίνει *αυτόματη ανάφλεξη* του ξύλου. Το ίδιο μπορεί να παρουσιασθεί από βραδεία οξειδωση και από δράση μυκήτων, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται. Αυτό μπορεί να συμβεί σε σωρούς ξυλόσκονης ή πριονιδιού.

Ξύλα με μικρότερη πυκνότητα είναι περισσότερο εύφλεκτα. Με την αύξηση της θερμοκρασίας το ξύλο γίνεται περισσότερο εύφλεκτο. Όσο μικρότερες είναι οι διαστάσεις του ξύλου, τόσο ευκολότερη είναι η ανάφλεξη και καύση του.

Πρέπει να γνωρίζουμε ότι ξύλινες κατασκευές μεγάλης διατομής (δοκοί, ζευκτά), παρουσιάζουν σημαντική αντοχή στην καύση, μεγαλύτερη από κοινές μεταλλικές κατασκευές, γιατί το ξύλο λόγω της μικρής θερμοαγωγιμότητας και της μεγάλης ειδικής θερμότητας του, απανθρακώνεται μόνο στο επιφανειακό στρώμα που σαν θερμομονωτικό καθυστερεί την καύση, ενώ οι μεταλλικές κατασκευές κάμπτονται και υποχωρούν σε υψηλές θερμοκρασίες (800-1000°C) που αναπτύσσονται κατά την πυρκαγιά. Επίσης, υπάρχουν αντιπυρικές χημικές ουσίες με τις οποίες εμποτίζουμε το ξύλο και το κάνουμε αρκετά ανθεκτικό στη φωτιά.

Υπολογίζεται ότι η μισή περίπου παραγωγή ξύλου από τα δάση του πλανήτη μας χρησιμοποιείται σαν καυσόξυλο. Στις προηγμένες τεχνολογικά χώρες το ποσοστό αυτό είναι μόνον 10%, ενώ στις φτωχές χώρες της Αφρικής και της Ασίας φθάνει και το 90%. Στην Ελλάδα, 75% περίπου της παραγωγής των δασών μας είναι καυσόξυλα.

Το ποσό της θερμότητας που παράγεται κατά την πλήρη καύση από μάζα 1 γραμμαρίου ξηρού ξύλου ονομάζεται **θερμαντική αξία** (ΘΑ) ή *θερμότητα καύσης*, ή *θερμιδικό περιεχόμενο*. Η ΘΑ του ξύλου κυμαίνεται περίπου 3.900-5.100 Kcal/Kg. Ξύλα πλατύφυλλων έχουν μικρότερη ΘΑ από ξύλα κωνοφόρων. Οι μέσες τιμές είναι, αντίστοιχα, 4.350 (πλατύφυλλα) και 4.700 (κωνοφόρα) Kcal/Kg. Είδη με ρητίνη όπως τα πεύκα έχουν μεγαλύτερη ΘΑ λόγω της μεγάλης ΘΑ της ρητίνης (8.500 Kcal/Kg). Η λιγνίνη έχει περίπου ΘΑ 6.100 Kcal/Kg, ενώ η κυτταρίνη έχει μικρότερη, 4.150-4.350 Kcal/Kg.

Στον Πιν. 4 δείχνεται η ΘΑ και το ποσοστό ανόργανων στοιχείων (τέφρας) διαφόρων ειδών ξύλου της χώρας μας. Η ΘΑ ξύλου ξηρού στον αέρα είναι 15% περίπου μικρότερη από τις τιμές του Πιν. 4, οι οποίες αναφέρονται σε απόλυτα ξηρό βάρος. Η πυκνότητα σε σχέση με τη δομή του ξύλου επηρεάζει και τη διάρκεια καύσης. Έτσι, η δρυς αν και έχει μικρότερη ΘΑ από την πεύκη και την ελάτη, παρόλαυτα είναι προτιμότερη για καύση σε τζάκια και σόμπες, γιατί έχει μεγαλύτερη διάρκεια καύσης λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητάς της. Για τη χρήση αυτή, σημασία έχει επίσης και η ποσότητα τέφρας που απομένει μετά την πλήρη καύση του ξύλου.



**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.** Θερμαντική αξία και ποσοστό τέφρας διάφορων ειδών ξύλου.

Είδος ξύλου	Θερμαντική αξία απόλυτα ξηρού ξύλου Kcal/Kg	Ποσοστό ανόργανων στοιχείων (τέφρα) %
Δρυς, πλατύφυλλη	4.694	0,67
Δρυς, απόδισκη	4.698	0,68
Δρυς, χνοώδης	4.681	0,68
Οξιά	4.701	0,62
Ακακία	4.624	0,64
Καστανιά	4.568	0,73
Λεύκη	4.725	0,67
μ.ό. πλατυφύλλων	4.670	0,67
Πεύκη, τραχεία	4.842	0,40
Πεύκη, μαύρη	4.860	0,46
Πεύκη, θαλασσία	4.856	0,43
Πεύκη, χαλέπιος	4.831	0,54
Ελάτη	4.894	0,41
μ.ό. κωνοφόρων	4.857	0,45

Πηγή: Φιλίππου, 2009

Πρέπει να γνωρίζουμε ότι κατά την καύση του ξύλου σε τζάκια χάνεται περίπου το 90% της ΘΑ του ξύλου, ενώ στις κοινές θερμάστρες το 30-70%. Σε σύγχρονες εγκαταστάσεις μπορεί να αξιοποιηθεί μέχρι και το 80% της θερμαντικής αξίας του ξύλου.

## **(2) Πυρόλυση**

Πυρόλυση (*pyrolysis*) είναι μία φυσικοχημική μέθοδος διάσπασης της οργανικής ύλης που γίνεται με θέρμανση χωρίς την παρουσία αέρα. Η θερμοκρασία φθάνει τους 350-1000°C και τα προϊόντα που λαμβάνονται ανάλογα με τη μέθοδο πυρόλυσης είναι, ξυλάνθρακες (ξυλοκάρβουνα) και μίγμα υγρών και αερίων προϊόντων, τα οποία χρησιμοποιούνται για παραγωγή ενέργειας και χημικών προϊόντων. Η πυρόλυση διακρίνεται σε ανθρακοποίηση, καταστρεπτική απόσταξη και υγροποίηση.

### ***(2α) Ανθρακοποίηση***

Κατά την *ανθρακοποίηση (carbonization)*, παράγεται ξυλάνθρακας σε θερμοκρασία 350-500°C. Η διαδικασία διαρκεί από λίγες ώρες μέχρι 7 ημέρες ανάλογα με το είδος ξύλου, το ποσοστό υγρασίας και τον τύπο εγκατάστασης. Στην Ελλάδα παράγονται ξυλάνθρακες κυρίως από δρυ και ελιά με απόδοση 15-30%. Η απόδοση σε σύγχρονες εγκαταστάσεις φθάνει το 30-40%. Η ΘΑ του παραγόμενου ξυλάνθρακα είναι 5.500-8.000 Kcal/Kg.

### ***(2β) Καταστρεπτική απόσταξη***

Η *καταστρεπτική απόσταξη* γίνεται σε θαλάμους από κεραμικό υλικό ή λέβητες από ανοξείδωτο χάλυβα με σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας. Τα υγρά και αέρια που παράγονται συμπυκνώνονται και διαχωρίζονται, ενώ ο σχηματιζόμενος ξυλάνθρακας παραμένει στον πυθμένα του λέβητα. Τα αέρια που δεν συμπυκνώνονται, κυρίως CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> και υδρογονάνθρακες χρησιμοποιούνται σαν καύσιμα. Τα υγρά προϊόντα (συνθετικό πετρέλαιο) χρησιμοποιούνται σαν καύσιμη ύλη ή διαχωρίζονται με απόσταξη σε διάφορα προϊόντα (μεθανόλη, οξικό οξύ, πίσσα, πισσέλαιο, εστέρες, ακετόνη).

### ***(2γ) Υγροποίηση***

Κατά την *υγροποίηση* το ξύλο - και κυρίως υπολείμματα συγκομιδής και κατεργασίας ξύλου - μετατρέπονται με ειδική πυρόλυση σε υγρά καύσιμα (συνθετικό πετρέλαιο) με υψηλή ΘΑ. Με ταχεία πυρόλυση (υγροποίηση) παράγονται ξυλάνθρακες, πυρολυτικό λάδι και ξυλαέριο. Το πυρολυτικό λάδι έχει ΘΑ 6.800-7.800 Kcal/Kg. Η υγροποίηση του ξύλου τα τελευταία έτη έχει βρει σημαντική εφαρμογή σε βιομηχανική κλίμακα (Καναδάς, Η.Π.Α., Βρετανία).

### ***(3) Αεριοποίηση***

Κατά την *αεριοποίηση*, το ξύλο μετατρέπεται εξ' ολοκλήρου σε αέριο (ξυλαέριο) σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες (1000-1100°C) παρουσία καταλυτών και ορισμένης ποσότητας αέρα και οξυγόνου. Το ξυλαέριο που παράγεται χρησιμοποιείται σε συσκευές καύσης υγραερίου για μαγειρική και θέρμανση ή σε μεγάλους καυστήρες για παραγωγή ατμού. Χρησιμοποιείται επίσης για κίνηση μηχανών εσωτερικής καύσης. Η τελευταία χρήση ήταν πολύ διαδεδομένη σε αυτοκίνητα στη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου. Το ξυλαέριο χρησιμοποιείται για παραγωγή μεθανόλης, μεθανίου και ακόρεστων υδρογονανθράκων. Η

μεθανόλη χρησιμοποιείται σε διάφορες χώρες για κίνηση αυτοκινήτων, κυρίως σε μίξη με βενζίνη.

#### **(4) Υδροlyση**

Κατά την υδροlyση (*hydrolysis*) του ξύλου γίνεται επιλεκτική διάσπαση με ανόργανα οξέα ή ένζυμα των πολυσακχαριτών του ξύλου σε απλά σάκχαρα. Η κυτταρίνη ( $\approx 45\%$ ) υδρολύεται σε γλυκόζη, και οι ημικυτταρίνες (25-30%) υδρολύονται σε γλυκόζη, ξυλόζη, μαννόζη, γαλακτόζη και αραβινόζη. Στη συνέχεια η γλυκόζη και άλλες εξόζες μετατρέπονται με αλκαλική ζύμωση σε αιθανόλη.

Η χρησιμοποίηση ξύλου - αντί άλλων υλικών όπως λ.χ. αλουμίνιο, σίδηρο - σημαίνει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας, διότι η πριστή ξυλεία απαιτεί πολύ λιγότερη ποσότητα ενέργειας για να παραχθεί από ότι χρειάζονται τα άλλα υλικά. Π.χ. με κατανάλωση ενέργειας 1000 θερμικών KW, μπορούμε να παράγουμε τις ακόλουθες ποσότητες πρώτων υλικών: 12 g αλουμινίου, 40 g χαλκού, 60 g χάλυβα, 80 g σιδήρου, 250 g συνθετικών υλών, 400 g τσιμέντου, 500 g πλίνθων και 1200 g πριστής ξυλείας. Με την ίδια δηλαδή κατανάλωση ενέργειας, παράγουμε πριστή ξυλεία 100 φορές μεγαλύτερη ποσότητα από αλουμίνιο, 3 φορές από τσιμέντο, κ.ο.κ. Με βάση τα στοιχεία αυτά, υπολογίστηκε η κατανάλωση ενέργειας για την κατασκευή ενός υπόστεγου 2.200 τ.μ. με εναλλακτικά κατασκευαστικά υλικά το ξύλο, το χάλυβα, το σκυρόδεμα και συνδυασμό σκυροδέματος και αλουμινίου. Οι ανάγκες σε ενέργεια για την κατασκευή του υπόστεγου - αναγόμενης σε λίτρα πετρελαίου - περιλαμβάνει την ενέργεια που απαιτείται για: α) την παραγωγή της πρώτης ύλης και από αυτή των κατασκευαστικών υλικών και β) την κατασκευή του υπόστεγου. Η συνολική ενέργεια υπολογίστηκε στις ακόλουθες ποσότητες :

— Για την ξύλινη κατασκευή	: 35.000 πετρέλαιο (λίτρα)
— Για την χαλύβδινη κατασκευή	: 74.000 πετρέλαιο (λίτρα)
— Για την κατασκευή από σκυρόδεμα	: 95.000 πετρέλαιο (λίτρα)
— Για την κατασκευή από σκυρόδεμα και αλουμίνιο	: 114.000 πετρέλαιο (λίτρα)

Δηλαδή για την ξύλινη κατασκευή απαιτείται το 1/2 με 1/3 της ποσότητας πετρελαίου από αυτή που χρειάζονται τα άλλα υλικά. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να επηρεάσουν σημαντικά

τη σύνταξη προγραμμάτων οικονομικής και βιομηχανικής ανάπτυξης των χωρών με στόχο τον περιορισμό της σπατάλης που γίνεται σε ενέργεια. Η εξοικονόμηση ενέργειας αποτελεί επιτακτική ανάγκη αφού τα παγκόσμια αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου προβλέπεται να εξαντληθούν σε 50-70 έτη και του άνθρακα σε 100 έτη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το ξύλο σαν *ανισότροπο υλικό* έχει διαφορετική μηχανική αντοχή στις διάφορες κατευθύνσεις του. Τυπικά, η αντοχή του σε δυνάμεις που δρουν αξονικά είναι μεγαλύτερη, ενώ υπάρχουν μικρές διαφορές στην ακτινική και εφαπτομενική διεύθυνση.

Οι μηχανικές ιδιότητες του ξύλου επηρεάζονται από τους εξής παράγοντες:

- ⇒ Υγρασία: Μείωση της υγρασίας του ξύλου κάτω από το σημείο ισοκόρου, αυξάνει την μηχανική αντοχή του. Η σχέση τους δηλαδή είναι αντιστρόφως ανάλογη.
- ⇒ Πυκνότητα: Η πυκνότητα αποτελεί τον καλύτερο δείκτη ποιότητας και μηχανικής αντοχής του ξύλου. Μεγάλη πυκνότητα σημαίνει μεγάλη μηχανική αντοχή.
- ⇒ Θερμοκρασία: Η μηχανική αντοχή ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Μεγάλες θερμοκρασίες είναι δυνατό να προκαλέσουν (χημική) αλλοίωση του ξύλου και να ελαττώσουν την αντοχή του σημαντικά.
- ⇒ Σφάλματα δομής: Η παρουσία σφαλμάτων στο ξύλο προκαλεί μείωση της μηχανικής του αντοχής. Μεγαλύτερη μείωση προκαλούν σφάλματα όπως λ.χ. ρόζοι, στρεψοϊνία, ραγάδες και θλιψιγενές και εφελκυσμογενές ξύλο. Προσβολή του ξύλου από μύκητες ή έντομα έχει επίσης δυσμενή επίδραση.
- ⇒ Διάρκεια φόρτισης. Η διάρκεια φόρτισης έχει σημαντική (αντιστρόφως ανάλογη) επίδραση στη μηχανική αντοχή του ξύλου, δηλαδή λ.χ. στο μέγεθος του φορτίου που μπορεί να βαστάξει μία ξύλινη κατασκευή. Μόνιμη φόρτιση ελαττώνει την αντοχή του σε ποσοστό 50-75%..

Οι κύριες μηχανικές αντοχές του ξύλου περιγράφονται παρακάτω:

### **Αντοχή σε εφελκυσμό**

Το ξύλο βρίσκεται σε τάσεις εφελκυσμού, όταν οι δυνάμεις που ενεργούν πάνω του, τείνουν να το απομακρύνουν (επιμηκύνουν). Ανάλογα με την κατεύθυνση διακρίνουμε τον **αξονικό** και τον **εγκάρσιο εφελκυσμό**. Το ξύλο έχει αντοχή σε αξονικό εφελκυσμό 30-50 φορές μεγαλύτερη από την αντοχή του σε εγκάρσιο εφελκυσμό (Σχ. 11).



**ΣΧΗΜΑ 11.** Δοκίμιο ξύλου σε αξονικό εφελκυσμό (α) και εγκάρσιο εφελκυσμό (β).

Η αντοχή σε αξονικό εφελκυσμό του ξύλου κυμαίνεται από 500 Kp/cm<sup>2</sup> <sup>(1)</sup> μέχρι 1600 Kp/cm<sup>2</sup> περίπου, ενώ για ορισμένα τροπικά ξύλα φθάνει τα 3000 Kp/cm<sup>2</sup>. Η αντοχή του σε εγκάρσιο εφελκυσμό κυμαίνεται από 10-70 Kp/cm<sup>2</sup>. Στον Πιν. 5 αναφέρονται οι αντοχές των ελληνικών και μερικών τροπικών ειδών ξύλου.

Για να συγκρίνουμε το ξύλο με άλλα υλικά σε σχέση με την πυκνότητα (βάρος προς βάρος), χρησιμοποιούμε το πηλίκο: *αξονικός εφελκυσμός ÷ πυκνότητα*. Από μία τέτοια σύγκριση, βλέπουμε ότι το ξύλο είναι ανθεκτικότερο από άλλα υλικά σε αξονικό εφελκυσμό. Π.χ. για την ερυθρελάτη η σχέση αυτή είναι  $870/0,40 = 2120$ , για τη μαύρη πεύκη  $1040/0,52 = 2000$ , και για την οξιά  $1230/0,70 = 1750$ , όταν για το σκυρόδεμα είναι  $40/2,5 = 16$ , για το γυαλί  $500/2,5 = 200$ , για το αλουμίνιο  $2500/2,8 = 900$  και για το χάλυβα  $4650/7,9 = 590$ .

Στην πράξη σε κατασκευές ξύλου, οι τάσεις εφελκυσμού αναπτύσσονται μαζί με τάσεις διάτμησης, στις οποίες το ξύλο παρουσιάζει μειωμένη αντοχή.

### Αντοχή σε θλίψη (ή συμπίεση)

Όταν το ξύλο βρίσκεται κάτω από τάσεις θλίψης, οι δυνάμεις που ενεργούν πάνω του τείνουν να το συνθλίβουν, δηλαδή οι δυνάμεις ενεργούν αντίθετα από ότι στον εφελκυσμό. Ανάλογα με την κατεύθυνση διακρίνουμε την *αξονική* και την *εγκάρσια θλίψη*. (Σχ. 12Α).



**ΣΧΗΜΑ 12Α.** Δοκίμιο ξύλου σε αξονική θλίψη (α) και εγκάρσια θλίψη (β).

<sup>1</sup> Μονάδα μέτρησης της μηχανικής τάσης είναι η μονάδα N/mm<sup>2</sup> (παλιότερα ήταν το kp/cm<sup>2</sup>).



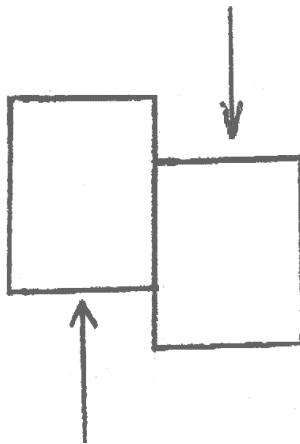
**12B.** Δοκίμιο ξύλου σε φόρτιση αξονικής θλίψης (*axial compression*).

Η αντοχή σε αξονική θλίψη είναι 10-15 φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με την εγκάρσια και κυμαίνεται από 250-950 Kp/cm<sup>2</sup>. Η εγκάρσια θλίψη κυμαίνεται μεταξύ 10 και 200 Kp/cm<sup>2</sup>. Η αξονική θλίψη του ξύλου είναι μικρότερη των μετάλλων. Φόρτιση σε αξονική θλίψη παρατηρείται σε ξύλινα υποστηρίγματα υπόστεγων, όπου έχει σημασία η σχέση μήκος / διάμετρος του υποστηρίγματος. Υποστηρίγματα μεγάλου μήκους λυγίζουν, γιατί δεν είναι δυνατό να εφαρμοσθεί απόλυτα κεντρική φόρτιση. Φόρτιση σε εγκάρσια θλίψη συνήθως παρατηρείται σε στρωτήρες σιδηροδρόμων.

### **Αντοχή σε διάτμηση**

Το ξύλο βρίσκεται σε τάσεις διάτμησης (*shear*), όταν οι δυνάμεις τείνουν να προκαλέσουν ολίσθηση του μέρους του σώματος που φορτίζεται, σε παράπλευρο μέρος του ίδιου σώματος. (βλ. Σχ. 13). Διακρίνεται σε αξονική, εγκάρσια, λοξή και κυλιόμενη διάτμηση.

Όταν ξύλινα μέλη φορτίζονται σε αξονική θλίψη ή κάμψη, τότε αναπτύσσονται και τάσεις αξονικής διάτμησης. Η αξονική διάτμηση του ξύλου κυμαίνεται από 50-200 Kp/cm<sup>2</sup> περίπου. Η αντοχή σε αξονική διάτμηση έχει μεγαλύτερη πρακτική σημασία, διότι με την επίδραση διατμητικών τάσεων, το ξύλο συνήθως υποχωρεί με αυτόν τον τρόπο.



**ΣΧΗΜΑ 13.** Δοκίμιο ξύλου κάτω από τάσεις διάτμησης.

Η αντοχή σε εγκάρσια διάτμηση είναι 3-4 φορές μεγαλύτερη της αξονικής διάτμησης, αλλά δεν έχει πρακτική σημασία, γιατί το ξύλο υποχωρεί νωρίτερα σε αξονική διάτμηση ή εγκάρσια θλίψη.

Όταν αναπτύσσονται φορτία αξονικής θλίψης ή εφελκυσμού στο ξύλο, τότε σχηματίζονται λοξά επίπεδα ολίσθησης στα κυτταρικά τοιχώματα, κυρίως σε γωνία  $45^\circ$  (τάση λοξής διάτμησης).

### **Αντοχή σε κάμψη**

Το ξύλο στις περισσότερες κατασκευές του φορτίζεται κυρίως με δυνάμεις που προκαλούν κάμψη. Για το λόγο αυτό η αντοχή σε κάμψη, και ειδικότερα σε στατική κάμψη είναι η σπουδαιότερη μηχανική ιδιότητά του.

Η αντοχή σε κάμψη εκτιμάται με το **μέτρο θραύσης** (ΜΘ), ή *MOR (modulus of rupture)*, το οποίο δείχνει τις μέγιστες τάσεις των ινών των εξωτερικών πλευρών του ξύλου, όταν η δοκός θραύεται με την επίδραση φορτίου που ασκείται σιγά σιγά και για μικρό χρονικό διάστημα. Το μέτρο θραύσης του ξύλου κυμαίνεται μεταξύ  $600-1600 \text{ Kp/cm}^2$  περίπου. Στο ξύλο, η αντοχή σε κάμψη είναι ανάλογη της αντοχής σε αξονικό εφελκυσμό.

Στο Σχ. 14Α φαίνεται η στατική κάμψη ξύλου που στηρίζεται στα δύο άκρα του.





**ΣΧΗΜΑ 14Α.** Φόρτιση ξύλου (καδρονιού) σε δυνάμεις στατικής κάμψης.

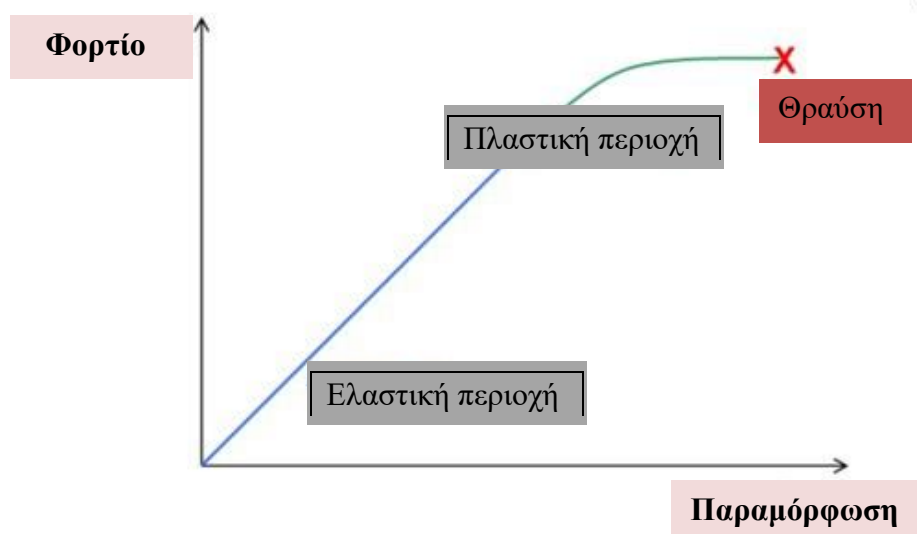
Η πιο απλή φόρτιση δοκού είναι η περίπτωση του Σχ. 14Α. Οι τάσεις εφελκυσμού είναι μέγιστες στην κάτω επιφάνεια, ελαττώνονται βαθμιαία προς το κέντρο και μηδενίζονται στο ουδέτερο επίπεδο. Οι τάσεις θλίψης εμφανίζονται με τον ίδιο τρόπο στην επάνω επιφάνεια. Αντίθετα, οι τάσεις διάτμησης είναι μέγιστες στο ουδέτερο επίπεδο και μηδενίζονται επιφανειακά.

Σε σύγκριση με τα μέταλλα, το ξύλο έχει μικρότερη αντοχή σε κάμψη. Έχει όμως μεγαλύτερη ελαστικότητα και την καλύτερη σχέση *αντοχής ÷ βάρους*.

### **Ελαστικότητα**

Από άποψη ελαστικότητας, το ξύλο έχει μεγαλύτερη ελαστικότητα από άλλα υλικά, δηλαδή κάμπτεται περισσότερο κάτω από ορισμένο φορτίο. Ωστόσο, αν ληφθεί υπόψη η πυκνότητά του, το ξύλο κατέχει ενδιάμεση θέση ανάμεσα στα υλικά. Η ελαστικότητα μετριέται με το **μέτρο ελαστικότητας (ME)**, ή *MOE (modulus of elasticity)*, που προσδιορίζεται από στατικές δοκιμές αντοχής, και που συνήθως στην αξονική διεύθυνση κυμαίνεται μεταξύ 25.000-170.000 Kp/cm<sup>2</sup>. Το ME στην εγκάρσια διεύθυνση είναι μόνον 3.000-6.000 Kp/cm<sup>2</sup>.

Το μέτρο ελαστικότητας ME (βλ. Σχ. 14B) συνήθως προέρχεται από στατική κάμψη, αν και μπορεί να προσδιοριστεί δυναμικά με ταλάντωση δειγμάτων ξύλου με ηχητικά κύματα.



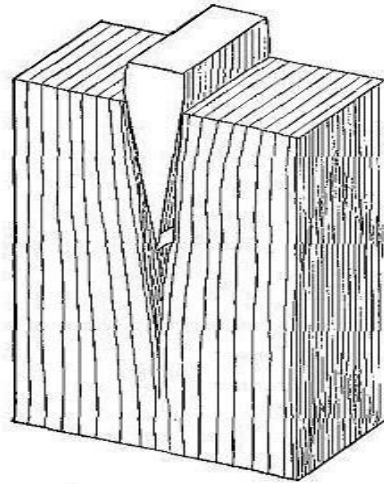
**ΣΧΗΜΑ 14B.** Ελαστική και πλαστική περιοχή του ξύλου, σε δοκιμή στατικής κάμψης.

### **Αντοχή σε κρούση**

Η αντοχή σε κρούση αναφέρεται σε απότομη (δυναμική) φόρτιση και έχει σημασία για ορισμένες χρήσεις του ξύλου, όπως λ.χ. λαβές (στειλιάρια) εργαλείων, αθλητικά είδη, κιβώτια συσκευασίας, όπου το ξύλο παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή σε δυναμικά φορτία παρά σε στατικά. Έτσι μία ξύλινη δοκός μπορεί να βαστάξει περίπου διπλάσιο φορτίο σε δυναμική φόρτιση από ότι σε στατική. Επίσης, η κάμψη (παραμόρφωση) δοκού σε δυναμική φόρτιση είναι περίπου διπλάσια από ότι σε στατική.

### **Αντοχή σε σχίση**

Το ξύλο δοκιμάζεται σε αντοχή σε σχίση όταν οι εξωτερικές δυνάμεις δρουν πάνω του με μορφή σφήνας (Σχ. 14Γ, 15-4). Το ξύλο έχει πολύ μικρή αξονική αντοχή σε σχίση, δηλαδή σχίζεται εύκολα. Η αντοχή του σε σχίση κυμαίνεται μεταξύ 3-10 Kp/cm<sup>2</sup>, είναι δηλαδή πολύ χαμηλή. Η ιδιότητα του ξύλου να σχίζεται εύκολα είναι τόσο πλεονέκτημα για ορισμένες χρήσεις (λ.χ. σχίσιμο καυσοξύλων), όσο και σοβαρό μειονέκτημά του (λ.χ. σχίσιμο ξύλου σε κατασκευές μετά από κάρφωμα ή βίδωμα). Η αντοχή σε σχίση είναι ιδιότητα ανάλογη με την αντοχή σε εφελκυσμό εγκάρσια με τις ίνες. Τα κωνοφόρα και τα ελαφρά πλατύφυλλα παρουσιάζουν μικρή αντοχή σε σχίση σε σχέση με τα βαρύτερα πλατύφυλλα.



**ΣΧΗΜΑ 14Γ.** Φόρτιση ξύλου σε σχίση (βλ. αξονική σχίση).

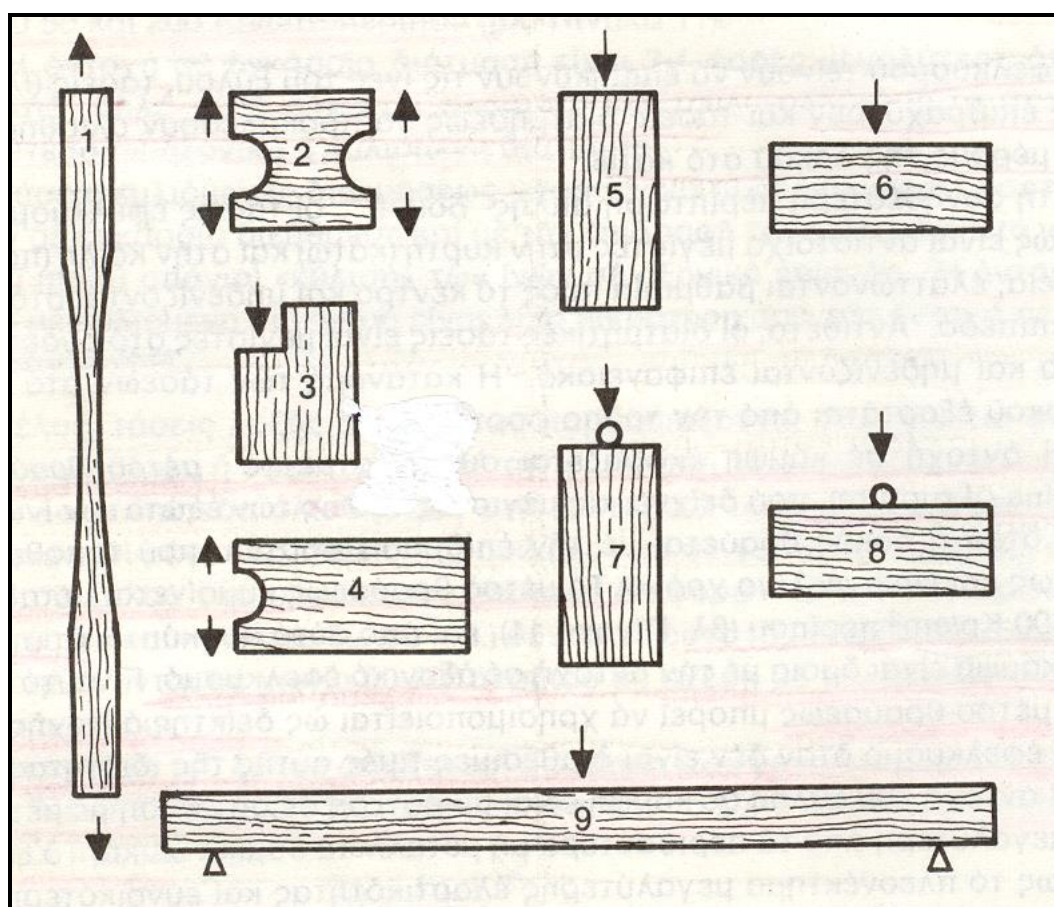
### Σκληρότητα

Ως σκληρότητα (*hardness*) του ξύλου νοείται η αντίστασή του στην είσοδο ξένων σωμάτων στη μάζα του. Η αντίσταση αυτή είναι 1,2 με 2 φορές μεγαλύτερη στην αξονική διεύθυνση (*αξονική σκληρότητα*) από ότι στην εγκάρσια διεύθυνση (*εγκάρσια σκληρότητα*) (Σχ. 15.7, 15.8), ή αλλιώς πλευρική σκληρότητα (*side hardness*).



**ΣΧΗΜΑ 14Δ.** Φόρτιση ξύλου σε πλευρική σκληρότητα (βλ. Janka hardness test).

Η ιδιότητα αυτή έχει άμεση εφαρμογή σε ορισμένες χρήσεις του ξύλου, όπως λ.χ. παρκέτα, πατώματα, αθλητικά είδη, κ.ά. Επίσης, η ευκολία κατεργασίας του ξύλου εξαρτάται άμεσα από την σκληρότητα του. Η κατάταξη των σπουδαιότερων ελληνικών ειδών με βάση τη σκληρότητα γίνεται ως εξής: σκληρά: οξιά, δρυς, φτελιά, ακακία, σφενδάμι, φράξος, πλατάνι, πουρνάρι, γαύρος, ελιά· μέτρια: δασική πεύκη, μαύρη πεύκη, ρόμπολο, κυπαρίσσι, καρυδιά και μαλακά: λεύκη, ερυθρελάτη, ιτιά, έλατο, φλαμούρι (φιλύρα), καστανιά κ.α.



**ΣΧΗΜΑ 15.** Σχηματική παράσταση δειγμάτων ξύλου και μηχανικών τάσεων.

- (1): Αξονικός εφελκυσμός, (2): Εγκάρσιος εφελκυσμός, (3): Διάτμηση,  
 (4): Σχίση, (5): Αξονική θλίψη, (6): Εγκάρσια θλίψη, (7): Αξονική σκληρότητα,  
 (8): Εγκάρσια σκληρότητα και (9): Στατική κάμψη.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.** Μηχανικές ιδιότητες διαφόρων ειδών ξύλου (σε N/mm<sup>2</sup>).

ΕΙΔΟΣ	ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ		ΘΛΙΨΗ		ΣΤΑΤΙΚΗ ΚΑΜΨΗ	
		⊥		⊥	ΜΘ	ΜΕ
Ελάτη, κεφαλληνιακή	-	1,7	36,9	-	93,9	-
Ελάτη, λευκή	79,3	1,4	33,5	4,8	67,6	9.800
Ερυθρελάτη	85,7	1,5	33,1	4,2	61,0	9.300
Πεύκη, μαύρη	104,0	2,0	39,8	-	104,9	12.000
Πεύκη, δασική	104,0	3,0	55,0	7,7	100,0	12.000
Πεύκη, λευκόδερμη	111,8	-	40,8	-	70,4	-
Κυπαρίσσι	-	-	54,0	-	55,0	-
Καρυδιά	100,0	3,6	72,0	12,0	147,0	12.500
Λεύκη, τρέμουσα	110,8	2,8	47,7	2,7	78,3	10.900
Λεύκη, υβρίδιο I-214	-	1,6	28,1	-	63,0	-
Οξιά	133,1	3,6	47,5	8,1	106,5	13.400
Καστανιά	135,0	-	50,0	-	77,0	9.000
Δρυς, απόδισκος	128,2	3,1	47,4	7,1	99,3	12.350
Φτελιά, πεδινή	80,0	4,0	56,0	10,0	89,0	11.000
Σφενδάμι	82,0	3,5	58,0	15,0	112,0	9.400
Φράξος	165,0	7,0	52,0	11,0	120,0	13.400
Ευκάλυπτος	90,0	-	51,0	10,0	90,0	12.200
IROKO	79,0	2,6	69,5	-	113,0	11.500
SAPELE	87,5	2,5	60,0	8,5	110,5	10.000
ΟΚΟΥΜΕ	58,0	1,8	39,0	5,4	72,0	3.000
ΜΑΗΟΓΑΝΥ	-	2,5	50,0	9,8	85,0	8.500
TEAK	120,0	4,2	66,0	26,0	134,0	14.000
ΤΙΑΜΑ	-	2,1	47,5	-	77,5	10.100

Πηγή: Τσουμής (2009)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Μελετώντας τις *ακουστικές ιδιότητες* του ξύλου, έχει πρακτική σημασία η παραγωγή ήχου με (α) άμεση κρούση του ξύλου ή (β) η συμπεριφορά του όταν ήχοι που παράγονται από άλλες πηγές προσπίπτουν στην ξύλινη επιφάνεια με μορφή ηχητικών κυμάτων. Στην πρώτη περίπτωση, το ξύλο χρησιμοποιείται ως μουσικό όργανο που παράγει ήχο, όπως λ.χ. το ξυλόφωνο και τα σήμαντρα των εκκλησιών και των μοναστηριών. Στη δεύτερη περίπτωση που είναι πρακτικά πιο ενδιαφέρουσα το ξύλο χρησιμοποιείται ως αντηχείο. Για τη σωστή χρησιμοποίηση του ξύλου ως πηγής ήχου σε μουσικά όργανα, καθώς και σε κατασκευές όπου επιδιώκεται υψηλή ηχομόνωση, πρέπει να γνωρίζουμε ότι οξύς ήχος παράγεται από ξύλο με μεγάλη πυκνότητα, μεγάλη ελαστικότητα, μικρό ποσοστό υγρασίας και μεγάλες διαστάσεις. Αντίθετα, ξύλο με μικρή ελαστικότητα, μικρή πυκνότητα, μεγάλο ποσοστό υγρασίας και μικρές διαστάσεις παράγει βαρείς ήχους. Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται υπόψη σε προκατασκευές σπιτιών και άλλων κτιρίων με ξύλινο σκελετό και *κατασκευαστικά 'σάντουιτς'* που χρησιμοποιούνται σε πατώματα, τοίχους, σκάλες και στέγες για να επιτευχθεί ικανοποιητική ηχομόνωση, με τη μείωση ή την εξάλειψη των ανεπιθύμητων ήχων.

### Το ξύλο ως αντηχείο

Ιδιαίτερα πρακτικό ενδιαφέρον παρουσιάζει η συμπεριφορά επιφάνειας ξύλου, όταν ηχητικά κύματα που παράγονται από άλλη πηγή προσπίπτουν πάνω σε αυτή. Τότε ένα μέρος της ηχητικής ενέργειας ανακλάται με ταυτόχρονη ενίσχυση του ήχου και το υπόλοιπο απορροφάται. Όταν ο ήχος ανακλάται από την ξύλινη επιφάνεια, τότε έχουμε το φαινόμενο της *συνήχησης* (ή συντονισμού), οπότε το ξύλο χρησιμοποιείται ως *αντηχείο*. Το αντηχείο δεν μεταβάλλει το ύψος του ήχου, αλλά ενισχύει την ένταση και αυξάνει τη διάρκειά του. Η στιλβωμένη επιφάνεια ξύλου αυξάνει την απόδοση του αντηχείου. Σημασία έχει επίσης και το σχήμα του αντηχείου. Τα χαρακτηριστικά αυτά λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά τη χρησιμοποίηση του ξύλου σε μουσικά όργανα (βιολιά, κιθάρες, μπουζούκια). Χρησιμοποιείται κυρίως ξύλο ερυθρελάτης, και δευτερευόντως, ελάτης, δασικής πεύκης και σφενδαμιού. Το ξύλο ερυθρελάτης χρησιμοποιείται γιατί η σημαντική σχέση *μέτρο ελαστικότητας ÷ ξηρή πυκνότητα* είναι μεγάλη ( $ME\ 9.300\ N/mm^2$ , πυκνότητα  $0,40\ g/cm^3$ ). Το ξύλο δεν πρέπει να έχει σφάλματα, πρέπει να είναι ευθύινο, με ομοιόμορφη δομή, με

στενούς αυξητικούς δακτυλίους (μέχρι 2 mm), με μικρό ποσοστό όψιμου ξύλου (μέχρι 25%) και να προέρχεται από δένδρα μεγάλης ηλικίας (130-150 ετών). Έχει αποδειχθεί ότι ξύλο ερυθρελάτης με οδοντωτούς δακτυλίους θεωρείται πολύ καλό για μουσικά όργανα. Ενίσχυση της απόδοσης του αντηχείου επιτυγχάνεται επίσης με χημικό εμποτισμό του ξύλου ή/και λεπτή κατά θέσεις διάτρηση του ξύλου. Γνωστοί κατασκευαστές βιολιών, όπως λ.χ. Stradivari, Amati κ.α. χρησιμοποιούν μόνο ξύλο ερυθρελάτης (*European spruce*).

## Απορρόφηση ήχου

Όπως τονίστηκε παραπάνω, όταν ηχητικά κύματα προσπίπτουν σε επιφάνεια ξύλου, τότε ένα μέρος της ηχητικής ενέργειας εισέρχεται μέσα στη μάζα του ξύλου. Η επανειλημμένη διάθλαση και ανάκλαση των ηχητικών κυμάτων μπορεί να προκαλέσει την απορρόφηση μέρους της ενέργειας αυτής. Με τον τρόπο αυτό μετατρέπεται η ηχητική ενέργεια σε θερμική, κάτι που δεν είναι επιθυμητό για ξύλο που προορίζεται για μουσικά όργανα.

Το ξύλο λόγω της πορώδους δομής του απορροφά περισσότερη ηχητική ενέργεια σε σχέση με άλλα υλικά. Τη σύγκριση αυτή την κάνουμε χρησιμοποιώντας το συντελεστή απορρόφησης, ο οποίος εκφράζει το εκατοστιαίο ποσοστό της προσπίπτουσας ηχητικής ενέργειας που απορροφάται (Πίν. 6). Ωστόσο, το ξύλο έχει μικρό συντελεστή απορρόφησης ήχου, μικρότερο του 10% και για το λόγο αυτό δεν είναι ηχομονωτικό υλικό.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6.** Απορρόφηση ήχου (Συντελεστής απορρόφησης ήχου, %).

Υλικό	Συχνότητα (cps)		
	125	500	2000
Τοίχος (από ξύλο)	8	6	6
Τοίχος (από τούβλο)	2	3	5
Δάπεδο (από ξύλο)	5	3	3
Δάπεδο (από τσιμέντο)	1	2	2
Γυαλί	3	3	2
Πλάκες ξυλερίου	13	36	70
Μονωτικές ινοπλάκες	39	52	59

Όσο μικρότερη είναι η πυκνότητα και η ελαστικότητα του ξύλου και όσο μεγαλύτερη είναι η υγρασία και η θερμοκρασία του, τόσο περισσότερο ηχοαπορροφητικό γίνεται το ξύλο. Το ξύλο επίσης απορροφά περισσότερο ήχους με χαμηλές συχνότητες, ενώ η στιλβωμένη επιφάνεια ξύλου απορροφά μικρότερο ποσοστό ήχου.

Το ξύλο δεν ικανοποιεί τις ανάγκες του σύγχρονου ανθρώπου σε ότι αφορά την ηχομόνωση σε διάφορες ξύλινες κατασκευές, όπως κατοικίες, αίθουσες πολλαπλών εκδηλώσεων, κ.ο.κ. Για το λόγο αυτό προκύπτει έντονα η ανάγκη βελτίωσης της ηχομονωτικής συμπεριφοράς του ξύλου στις κατασκευές αυτές. Αυτό επιτυγχάνεται με σχεδιασμό κατασκευαστικών ‘σάντουιτς’ σε τοίχους, πατώματα, στέγες και πόρτες, όπου δημιουργούνται κενά ανάμεσα στις επάλληλες στρώσεις των σάντουιτς από ηχομονωτικά υλικά. Τέτοια υλικά είναι οι μονωτικές ινοπλάκες (ινοπλάκες ξύλου χαμηλής πυκνότητας, μικρότερης του  $0,20 \text{ g/cm}^3$ ), ηχοαπορροφητικός αφρός πολυουρεθάνης, ορυκτοβάμβακας, υαλοβάμβακας και φελλός. Η διάτρηση των ινοπλακών αυξάνει την ηχομονωτική ικανότητά τους.

Η **ταχύτητα διάδοσης** του ήχου στη μάζα του ξύλου είναι  $3.500\text{-}5.000 \text{ m/sec}$  στην αξονική διεύθυνση, ενώ σε εγκάρσια διεύθυνση είναι  $1,3\text{-}2,5$  φορές μικρότερη. Η ταχύτητα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho_0}} \quad (13)$$

όπου:  $C$  = ταχύτητα διάδοσης του ήχου ( $10 \text{ m/sec}$ )

$E$  = μέτρο ελαστικότητας ( $\text{Kp/cm}^2$ )

$\rho_0$  = ξηρή πυκνότητα ( $\text{g/cm}^3$ )

Είναι φανερό ότι η ταχύτητα διάδοσης του ήχου εξαρτάται από την ελαστικότητα του ξύλου και από την πυκνότητά του. Η ταχύτητα του ήχου σε άλλα υλικά είναι: αέρας  $340 \text{ m/sec}$ , φελλός  $430\text{-}530 \text{ m/sec}$ , νερό  $1.440 \text{ m/sec}$ , σίδηρος  $5.000 \text{ m/sec}$  και γυαλί  $5.000\text{-}6.000 \text{ m/sec}$ .

Τα σφάλματα του ξύλου, και ειδικά το σάπιο ξύλο και οι ραγάδες, επηρεάζουν σημαντικά το ύψος του ήχου που παράγεται με κρούση. Η ιδιότητα αυτή χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των σφαλμάτων αυτών σε ιστάμενα δένδρα στο δάσος, καθώς και σε εγκατεστημένους στύλους ηλεκτρικού ρεύματος (Τσουμής, 2009).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι πιο σημαντικές από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του ξύλου είναι η *ηλεκτρική αντίσταση*, δηλαδή η αντίσταση του στη δίοδο συνεχούς ηλεκτρικού ρεύματος και οι *διηλεκτρικές ιδιότητες* κάτω από την επίδραση εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής συχνότητας.

### Ηλεκτρική αντίσταση

Η *ηλεκτρική αντίσταση* του ξύλου είναι το αντίστροφο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Χρησιμοποιείται κυρίως στα ηλεκτρικά υγρόμετρα για την εύρεση της περιεχομένης υγρασίας του ξύλου (κυρίως για υγρασίες 5-35% περίπου).

Το απόλυτα ξηρό ξύλο είναι *μονωτικό σώμα* (δηλαδή δεν επιτρέπει τη δίοδο ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τη μάζα του). Συνεπώς, η ηλεκτρική αντίσταση του ξηρού ξύλου είναι πολύ υψηλή. Η ηλεκτρική αντίσταση του ξύλου επηρεάζεται κυρίως από την υγρασία του, και δευτερευόντως από την πυκνότητα, την κατεύθυνση δίοδου του ρεύματος μέσα στο ξύλο, τη δομή του ξύλου, και τη θερμοκρασία του.

Η επίδραση όμως της υγρασίας είναι πολύ μεγαλύτερη από την επίδραση των άλλων παραγόντων. Η ηλεκτρική αντίσταση μειώνεται με την αύξηση της υγρασίας του ξύλου, ειδικά σε επίπεδο υγρασίας κάτω από το σημείο ινοκόρου. Έτσι κάτω από το σημείο ινοκόρου, όταν αυξάνεται η υγρασία του ξύλου, η ηλεκτρική αντίσταση μειώνεται εκατομμύρια φορές, ενώ από το σημείο ινοκόρου έως τη μέγιστη υγρασία που μπορεί να συγκρατήσει το ξύλο, η μείωση της ηλεκτρικής αντίστασης είναι πολύ μικρή (όχι πάνω από 50 φορές). Ξύλο απόλυτα ξηρό δεν επιτρέπει τη δίοδο του ρεύματος μέσα από τη μάζα του και μπορεί να συγκριθεί με τα καλύτερα μονωτικά υλικά, όπως λ.χ. την πορσελάνη και την παραφίνη. Ορισμένα βαριά ξύλα, όπως λ.χ. το τροπικό *Lignum vitae*, χρησιμοποιούνται ως μονωτικό για τον ηλεκτρισμό υλικό. Πρέπει να τονισθεί ακόμα ότι ξύλο κορεσμένο με υγρασία συμπεριφέρεται περίπου όπως το νερό.

Η αξονική ηλεκτρική αντίσταση του ξύλου είναι περίπου 210 φορές μεγαλύτερη από την εγκάρσια. Η αντίσταση ξηρού ξύλου αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας του ξύλου. Το ξύλο λόγω της πολύ μικρής ηλεκτρικής αγωγιμότητας χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος, για την κατασκευή ηλεκτρικών μονωτήρων και λαβών

ηλεκτρικών εργαλείων. Ο εμποτισμός του ξύλου με υδατοδιαλυτά άλατα ή πισσέλαιο ελαττώνει σημαντικά την ηλεκτρική αντίσταση του (=αυξάνει την ηλεκτρική αγωγιμότητα). Αντίθετα, ο εμποτισμός του με φαινολικές ρητίνες ή παραφίνη αυξάνει την ηλεκτρική αντίσταση του ξύλου, γιατί μειώνεται η υγροσκοπικότητα του ξύλου.

### **Διηλεκτρικές ιδιότητες**

Οι διηλεκτρικές ιδιότητες του ξύλου είναι η διηλεκτρική σταθερά και ο συντελεστής ισχύος. Η **διηλεκτρική σταθερά** (ή ηλεκτρική διαπερατότητα) είναι μέτρο της μονωτικής αξίας του ξύλου κάτω από την επίδραση εναλλασσόμενου ρεύματος. Η διηλεκτρική σταθερά του κενού ισούται με τη μονάδα (1), ενώ του ξηρού ξύλου κυμαίνεται μεταξύ 2 και 3. Η σταθερά αυτή αυξάνεται με την πυκνότητα, την υγρασία και τη θερμοκρασία του ξύλου, ενώ μειώνεται όταν αυξάνεται η συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος. Στη σχέση διηλεκτρικής σταθεράς και υγρασίας του ξύλου στηρίζεται η λειτουργία των ηλεκτρικών υγρομέτρων για τη μέτρηση της περιεχομένης υγρασίας του ξύλου. Στα υγρόμετρα αυτά όμως η ακρίβεια των μετρήσεων δεν είναι μεγάλη, διότι οι μετρήσεις επηρεάζονται από την πυκνότητα του ξύλου. Εφαρμογές των διηλεκτρικών ιδιοτήτων του ξύλου έχουμε και (α) στη συγκόλληση του ξύλου (ειδικά στις επικολητές κατασκευές ξύλου) και (β) στην ξήρανσή του με εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής συχνότητας.

Ο **συντελεστής ισχύος** του ξύλου είναι μέτρο της ταχύτητας με την οποία καταναλώνεται (απορροφάται) η ηλεκτρική ενέργεια από το ξύλο στη μονάδα του χρόνου, όταν βρίσκεται σε διηλεκτρικό πεδίο ρεύματος υψηλής συχνότητας. Η ενέργεια αυτή εμφανίζεται με τη μορφή θερμότητας και εξαρτάται κυρίως από την υγρασία του ξύλου. Σε υγρασία 15% ή μεγαλύτερη, ο συντελεστής ισχύος μπορεί να είναι μεγαλύτερος από 6%, ανάλογα με τη συχνότητα του ρεύματος (μεγαλύτερος συντελεστής σε μεγαλύτερη συχνότητα). Σε μικρότερη υγρασία, ο συντελεστής αυτός είναι 2-6%. Σε απόλυτα ξηρό ξύλο έχουμε τη μικρότερη απορρόφηση. Ο συντελεστής ισχύος αυξάνεται με την πυκνότητα του ξύλου και είναι μεγαλύτερος παράλληλα προς τις ίνες του ξύλου. Η ιδιότητα αυτή έχει σημασία κατά την ξήρανση ή συγκόλληση του ξύλου με ρεύμα υψηλής συχνότητας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8. ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ

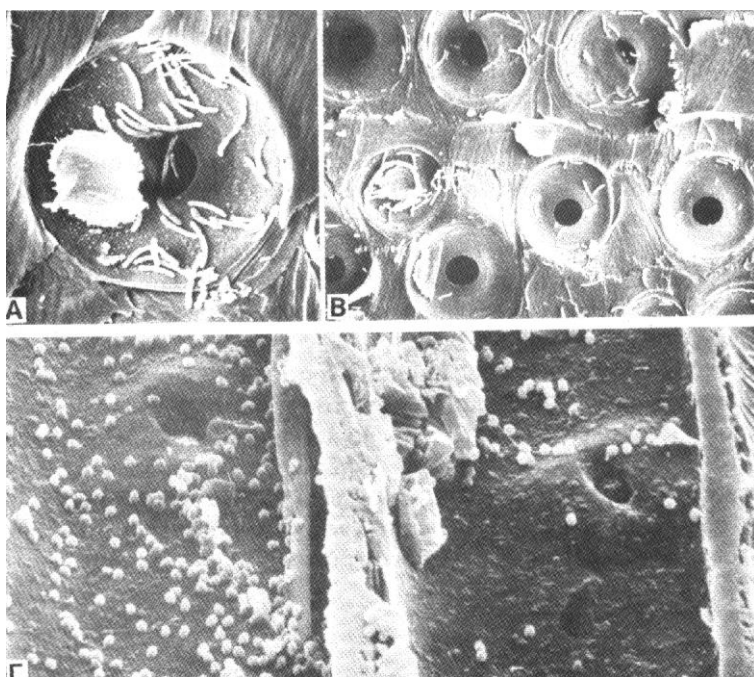
Εξωτερικοί παράγοντες (π.χ. βακτήρια, μύκητες, έντομα, τερμίτες, θαλάσσιοι οργανισμοί), αλλά και κλιματικοί, μηχανικοί, χημικοί και θερμικοί παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν *αλλοίωση* της εμφάνισης και της δομής και της χημικής σύστασης του ξύλου. Ο βαθμός αλλοίωσης ποικίλλει και μπορεί να είναι από απλή χρωματική αλλαγή μέχρι πλήρης αχρήστευση του ξύλου. Οι παραπάνω αλλοιώσεις μπορούν να λάβουν χώρα όταν το ξύλο είναι ακόμα ιστάμενο ως κορμός (στο ζωντανό δένδρο), είτε είναι με τη μορφή στρογγύλης ή πριστής ξυλείας, είτε σε ξύλινη κατασκευή ή τελική χρήση.

### Βακτήρια

Βακτήρια (*bacteria*): πρόκειται για μικρούς φυτικούς οργανισμούς συνήθως μονοκύτταρους, οι οποίοι υπάρχουν σε μεγάλους πληθυσμούς και μπορούν να αναπτύσσονται σε περιβάλλον με πολύ λίγο ή καθόλου οξυγόνο μέσα σε νερό ή μέσα σε υγρό έδαφος. Τα κυριότερα είδη βακτηρίων που προσβάλλουν το ξύλο ανήκουν στα γένη *Bacillus*, *Aerobacter* και *Rseudomonas*.

Η επίδραση βακτηρίων στο ξύλο είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με τους μύκητες και τα έντομα. Προσβολές ξύλου από βακτήρια έχουμε μόνο σε ξύλινες κατασκευές μέσα σε νερό ή μέσα σε υγρό έδαφος, όπως λ.χ. σε αποβάθρες, μαρίνες, σκάφη, μεταλλεία, ψυκτικούς πύργους και περιφράξεις.

Η προσβολή των βακτηρίων περιορίζεται σε διάτρηση ή καταστροφή των μεμβρανών των βοθρίων (Εικ. 1), διάβρωση των κυτταρικών τοιχωμάτων και κατανάλωση του περιεχομένου των παρεγχυματικών κυττάρων (θρεπτικών στοιχείων). Η προσβολή των βακτηρίων προκαλεί αύξηση της διαπερατότητας του ξύλου και μείωση της μηχανικής αντοχής σε κρούση, θλίψη και κάμψη. Η μείωση της μηχανικής αντοχής μπορεί να είναι σημαντική, μόνο εάν η δράση των βακτηρίων είναι μακροχρόνια.



**ΕΙΚΟΝΑ 1.** Μικροσκοπική εμφάνιση προσβολής βακτηρίων σε ξύλο.  
(A,B): Σε βοθρία πεύκης, (Γ): Σε υγρό εγκάρδιο ελάτης  
(πηγή: Τσουμής, 2009).

Η προκαλούμενη αύξηση της διαπερατότητας του ξύλου από τη δράση των βακτηρίων (Εικ. 1) χρησιμοποιείται ως βιολογική μέθοδος βελτίωσης του εμποτισμού του ξύλου ειδών με μικρή διαπερατότητα, όπως είναι η ελάτη και η ερυθρελάτη, με εμποτιστικές ουσίες. Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, κορμοτεμάχια ερυθρελάτης που πρόκειται να εμποτισθούν αποφλοιώνονται και αποθηκεύονται σε νερό για 10-12 εβδομάδες, πριν η υγρασία του ξύλου κατέβει κάτω από το σημείο ινοκόρου.

Σε βακτήρια αποδίδεται και η δημιουργία του ‘υγρού εγκαρδίου’ ζωντανών δένδρων ελάτης και λεύκης, καθώς και μεταχρωματισμοί, μαλάκυνση εξωτερικών στρωμάτων ξύλου και υπερβολική ρίκνωση.

Τα βακτήρια μπορεί να δράσουν ταυτόχρονα με τους μύκητες ή να ευνοήσουν προσβολές μυκήτων.

## Μύκητες

Οι μύκητες (*fungi*) είναι φυτικοί οργανισμοί χωρίς χλωροφύλλη, οι οποίοι τρέφονται με οργανικό υλικό άλλων φυτών και ζώων. Οι μύκητες αρχίζουν τον κύκλο της ζωής τους με σπόρια, αόρατα με το μάτι, τα οποία κάτω από ευνοϊκές συνθήκες βλαστάνουν στο υπόστρωμα και παράγουν πολλές λεπτές υφές (*μυκήλια*). Σε προχωρημένο στάδιο ανάπτυξης του μύκητα δημιουργούνται καρποσώματα, τα οποία απελευθερώνουν εκατομμύρια σπόρια για τη συνέχιση του κύκλου ζωής και τη διάδοσή τους.

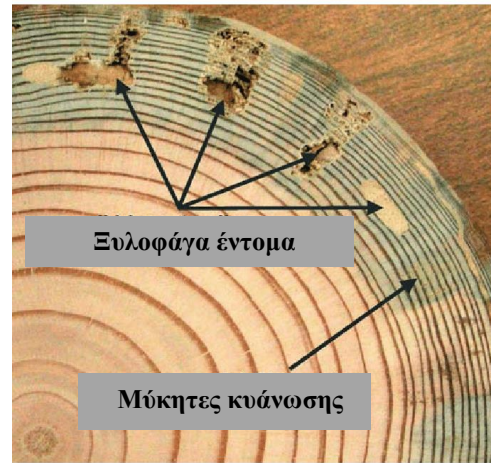
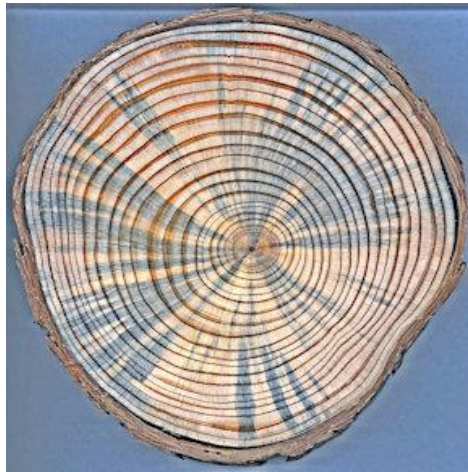
Οι μύκητες προσβάλλουν το ξύλο και προκαλούν μεταχρωματισμό ή σήψη (=σάπισμα). Έτσι διακρίνονται ανάλογα σε χρωστικούς μύκητες και σηπτικούς μύκητες.

### (1) Χρωστικοί μύκητες

Οι *χρωστικοί μύκητες* δεν προκαλούν σήψη στο ξύλο, αλλά μεταχρωματισμό, δηλαδή αλλαγή του αρχικού χρώματος του ξύλου. Τρέφονται με υδατάνθρακες που υπάρχουν μέσα στα παρεγγυματικά κύτταρα και ιδιαίτερα στις ακτίνες του ξύλου. Προσβάλλουν συνήθως το σομόφο ξύλο κορμών ή πριστών πεύκης, ερυθρελάτης και σπανιότερα οξιάς, δρυός, φράξου και λεύκης.

Η *κυάνωση* (*bluestain*) ξύλου πεύκης είναι η πιο γνωστή και σοβαρή προσβολή χρωστικών μυκήτων που παρατηρείται στη χώρα μας (Εικόνες 2Α). Μύκητες του γένους *Ceratocystis* προσβάλλουν το ξύλο μετά την υλοτομία των δένδρων και μέχρις ότου η υγρασία του ξύλου μειωθεί κάτω του 18%. Το ξύλο γίνεται κυανότεφορο έως κυανόμαυρο σε όλη την έκταση του σομού ή σε ακανόνιστες θέσεις. Η αλλαγή του χρώματος δεν είναι επιφανειακή, αλλά σε βάθος και προκαλεί σημαντική μείωση της εμπορικής αξίας του ξύλου, όταν αυτό δεν βάφεται, όπως σε κατασκευές κουφωμάτων, πατωμάτων και επίπλων.

Η κυάνωση, ωστόσο, στο ξύλο πεύκης δεν είναι σήψη. Το κυανωμένο ξύλο διατηρεί την αντοχή του και μπορεί να υποστεί κατεργασία και βαφή. Η μόνη δυσμενής επίδραση που παρατηρείται είναι η μείωση της αντοχής σε κρούση κατά 15-30%. Ξύλο με έντονη κυάνωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε κατασκευή, εκτός περιπτώσεων που υποβάλλεται σε κρούση, όπως λ.χ. σκάλες, ικριώματα, αθλητικά είδη και στείλιάρια.



**ΕΙΚΟΝΑ 2Α.** Προσβολές κύνωσης ξύλου σε διάφορα δοκίμια πεύκων.

Ακόμα, η αλλαγή του φυσικού χρώματος στο κυανωμένο ξύλο μειώνει την αισθητική αξία του, ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί την εντύπωση ότι το ξύλο έχει σαπίσει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αποκλείεται η κυανωμένη ξυλεία από σοβαρές κατασκευές, όπως λ.χ. έπιπλα και κουφώματα. Η τιμή της ξυλείας αυτής και των προϊόντων της μειώνεται μέχρι και 50%.

Από τη συνολική παραγωγή πεύκης στην Ελλάδα, κυανώνεται περίπου το 80%, ενώ η συνολική παραγωγή πεύκης είναι περίπου 156.000 m<sup>3</sup> το χρόνο (στοιχεία έτους 1997). Υπολογισμοί σε συγκεκριμένη μελέτη έδειξαν ότι η οικονομική ζημιά που προκαλείται από την κύνωση κάθε χρόνο είναι της τάξης των 4 δισεκατομμυρίων δρχ. σε τιμές του 1998 (Κακαράς 2000).

Το ξύλο κυανώνεται από τη στιγμή που θα υλοτομηθεί στο δάσος μέχρις ότου γίνει πριστή ξυλεία και ξηραθεί σε υγρασία <18%. Οι μύκητες κυανόχρωσης δραστηριοποιούνται σε θερμοκρασία 20°C και προσβάλλουν το ξύλο σε μορφή κυρίως κορμών, αλλά και πριστών, αν οι συνθήκες φυσικής ξήρανσης δεν είναι κατάλληλες. Για να αποφύγουμε την κυάνωση του ξύλου, θα πρέπει: (α) οι υλοτομίες να διενεργούνται στο δάσος κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όταν η θερμοκρασία είναι κάτω από 20°C, (β) η διακίνηση των κορμών για πρίση και ξήρανση στο πριστήριο να γίνονται το συντομότερο δυνατόν, (γ) οι κορμοί πρέπει να διατηρούνται μέχρι να πρισθούν μέσα σε νερό ή με συνεχή κατακλιση, ώστε η υγρασία του ξύλου να παραμένει σε ποσοστό πάνω από 20%, (δ) μετά την πρίση, τα πριστά πρέπει να οδηγούνται για ξήρανση σε ειδικά ξηραντήρια ή να γίνεται φυσική ξήρανση σε χώρο με καλό αερισμό και σωστή στοίβαξη των πριστών και (ε) να υπάρχει δυνατότητα ψεκασμού των κορμών, αμέσως μετά την υλοτομία, με ειδικά μυκητοκτόνα διαλύματα. Δυστυχώς στην Ελλάδα οι υλοτομίες γίνονται το καλοκαίρι, οι κορμοί παραμένουν στο δάσος για μήνες και στα πριστήρια επίσης, χωρίς προστασία με αποτέλεσμα να προσβάλλεται μεγάλο μέρος της παραγωγής.

Μία άλλη περίπτωση μεταχρωματισμού είναι η **ευρωτίαση** (=μούχλα) που προκαλείται από προσβολή μυκήτων (γένη *Penicillium*, *Trichoderma*) στην επιφάνεια του ξύλου (Εικ. 2B), και δημιουργεί μεταχρωματισμό που κατά περίπτωση μπορεί να είναι επιφανειακός ή να προχωράει σε μικρό βάθος. Ξύλο με ευρωτίαση (μούχλα) παρουσιάζει προβλήματα στη συγκόλληση, ενώ συνήθως, στα αρχικά στάδια, η μούχλα εύκολα απομακρύνεται με επιφανειακό πλάνισμα.



**ΕΙΚΟΝΑ 2B.** Μούχλα σε χλωρά δείγματα ξύλινου δαπέδου.

## (2) Σηπτικοί μύκητες

Ανάλογα με το είδος του μύκητα έχουμε τριών ειδών σήψεις στο ξύλο: (α) τις **καστανές σήψεις** (*brown-rot*), (β) τις **λευκές σήψεις** (*white-rot*) και (γ) τις **μαλακές σήψεις** (*soft-rot*).

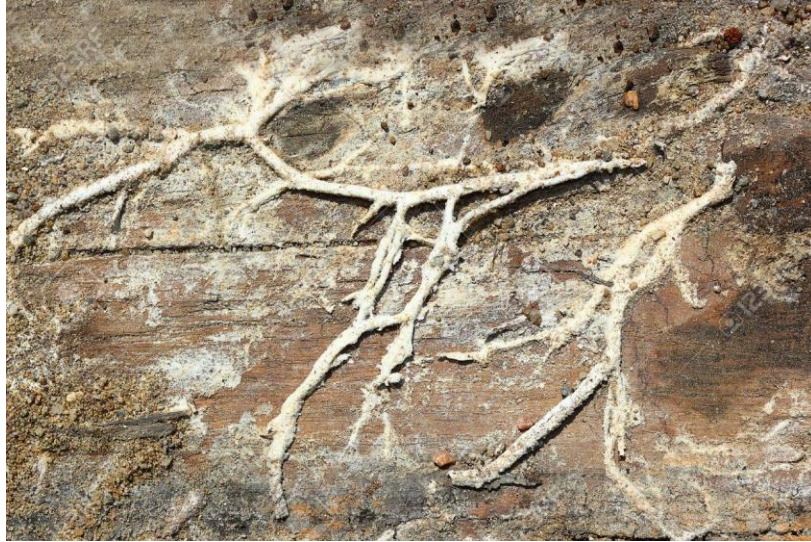
Οι μύκητες των καστανών και λευκών σήψεων ανήκουν στους *βασιδιομύκητες*, ενώ των μαλακών σήψεων στους *ασκομύκητες*. Οι μύκητες καστανών σήψεων καταναλώνουν κυρίως υδατάνθρακες, δηλαδή κυτταρίνη και ημικυτταρίνες, αλλά αλλοιώνουν και τη λιγνίνη χωρίς να την καταναλώνουν. Όσο προχωράει η σήψη, το ξύλο γίνεται σκοτεινότερο, γιατί παραμένει μεγαλύτερο ποσοστό συστατικών με σκοτεινό χρώμα (βλ. λιγνίνη). Το ξύλο γίνεται καστανό, ρικνώνεται, ραγαδώνεται, καταρρέει και με μικρή πίεση θραύεται και γίνεται σκόνη (Εικ. 3B).

Οι μύκητες που προκαλούν λευκές σήψεις (Εικ. 3A), μπορούν να αποσυνθέτουν υδατάνθρακες, αλλά και λιγνίνη. Όσο προχωρεί η σήψη, το ξύλο γίνεται ανοικτότερο στο χρώμα και αποκτά σπογγώδη υφή με ινώδη εμφάνιση. Τα πλατύφυλλα είδη είναι ιδιαίτερα ευπαθή στους μύκητες λευκών σήψεων.



**ΕΙΚΟΝΑ 3Α.** Τυπική εμφάνιση λευκής σήψης σε ξυλεία.





**ΕΙΚΟΝΑ 3B.** Τυπική εμφάνιση καστανής σήψης σε ξύλο.

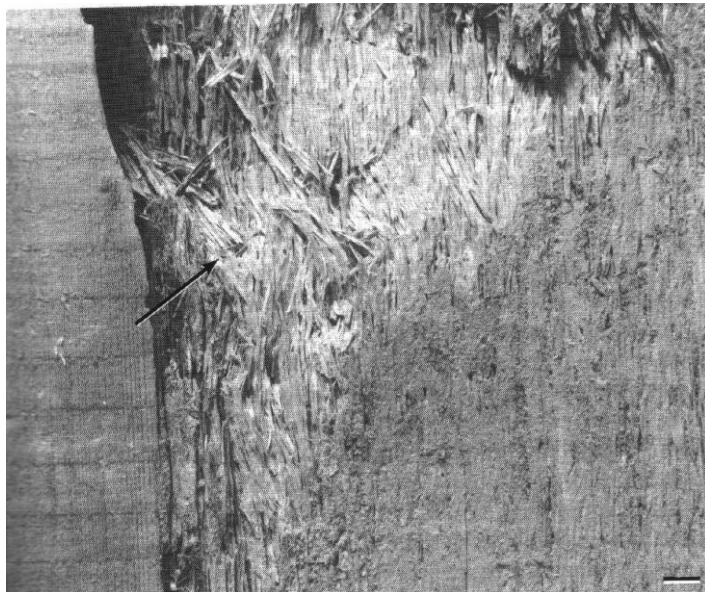
(πάνω εικ.): Τυπική καστανή σήψη από προσβολή *Serpula*.

(κάτω εικ.): Καστανή (υγρή) σήψη από προσβολή *Coniophora*.

Οι μύκητες μαλακών σήψεων προσβάλλουν το ξύλο, όταν αυτό βρίσκεται σε υγρές περιοχές, όπως σε επαφή με το έδαφος και σε μεταλλεία. Αποσυνθέτουν και καταναλώνουν κυρίως κυτταρίνη και ημικυτταρίνες και πολύ λιγότερο τη λιγνίνη. Οι μύκητες αυτοί προσβάλλουν περισσότερα είδη ξύλου από ότι οι μύκητες καστανών και λευκών σήψεων, και ειδικά τα πλατύφυλλα είδη. Ξύλο προσβεβλημένο από μύκητες μαλακής σήψης, διατηρεί το αρχικό του σχήμα, αλλά στην επιφάνεια γίνεται σκοτεινότερο και πιο μαλακό και με την εξέλιξη της προσβολής διαβρώνεται. Κατά τη διάρκεια της ξήρασης, το προσβεβλημένο ξύλο αποκτά ραγάδες, σχισμές και γίνεται πολύ εύθραστο.



***EIKONA 4.*** Προσβολή σηπτικών μυκήτων (*dry rot*) σε κορμοκατοικία.



***EIKONA 5.*** Μαλακή σήψη σε στύλο ηλεκτρικού ρεύματος (κάτω από τη γραμμή εδάφους).

Οι σπουδαιότεροι από τους μύκητες που προσβάλλουν το ξύλο μετά την υλοτομία των δένδρων και τις διάφορες κατασκευές είναι οι ακόλουθοι:

### ***Ξυλεία κωνοφόρων***

- *Lentinus lepideus*. Προσβάλλει στρωτήρες σιδηροδρόμων, στύλους ακόμη και εμποτισμένους με πισσέλαιο, ξυλεία μεταλλείων και οικοδομών. Δημιουργεί καστανή σήψη με υπόλευκες υφές, κολλώδη υφή και χαρακτηριστική οσμή.
- *Lenzites sepiaria*. Προσβάλλει κορμούς δένδρων, περιφράξεις, στύλους, γέφυρες. Προκαλεί καστανή σήψη. Σε δοκούς κατασκευών η σήψη συνήθως περιορίζεται στο εσωτερικό, με ανέπαφο το εξωτερικό στρώμα.
- *Peniophora gigantea*. Απαιτεί μεγάλη υγρασία για αυτό και προσβάλλει υγρούς κείμενους κορμούς και προκαλεί καστανή σήψη με χρώμα ανοικτό καστανοκίτρινο.
- *Polystictus abietinus*. Δημιουργεί λευκή σήψη με πολύ σπογγώδη υφή κατά το τελικό στάδιο της προσβολής στο σομφό κατακείμενων κορμών. Στο αρχικό στάδιο είναι δυσδιάκριτη η προσβολή γιατί προκαλείται πολύ ελαφρύς κιτρινοκαστανός μεταχρωματισμός και ελαφρά μαλάκυνση του ξύλου.

### ***Ξυλεία πλατυφύλλων***

- *Daedalia quercina*. Προκαλεί καστανή σήψη κυρίως στη δρύ αλλά και σε άλλα πλατύφυλλα. Το προσβεβλημένο ξύλο αποκτά χρώμα ερυθροκαστανό και θρυμματίζεται εύκολα.
- *Polystictus versicolor*. Προσβάλλει ξύλο που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος και προκαλεί τις σημαντικότερες ζημιές από όλους τους μύκητες σε ξυλεία πλατυφύλλων. Σε είδη με ανθεκτικό εγκάρδιο, όπως η δρύς, προσβάλλει μόνο το σομφό, ενώ σε άλλα λιγότερο ανθεκτικά, όπως η οξιά μπορεί να προκαλέσει πλήρη καταστροφή.
- *Stereum purpureum*. Προσβάλλει κυρίως κορμούς οξιάς και λεύκης που έχουν πρόσφατα υλοτομηθεί. Προκαλεί λευκή σήψη.

### ***Ξύλινες κατασκευές και οικοδομές***

- *Coniophora cerabella*. Προσβάλλει ξύλινες οικοδομές στα σημεία που υπάρχει διαρροή νερού, υγρά μεταλλεία, ξύλα σε επαφή με το έδαφος. Προκαλεί καστανή σήψη και το ξύλο θρυμματίζεται εύκολα, ενώ στο αρχικό στάδιο δημιουργεί κιτρινοκαστανές θέσεις.
- *Serpula lacrymans*. Προκαλεί καστανή σήψη και το ξύλο σε προχωρημένο στάδιο σήψης θρυμματίζεται εύκολα. Σχηματίζει υφές μεγάλου μήκους, μέχρι 25μ. για τη μεταφορά της υγρασίας. Εμφανίζεται κυρίως στο ψυχρότερο τμήμα της εύκρατης ζώνης.

- *Phellinus megaloporus*. Προσβάλλει κυρίως ξύλο δρυός αλλά και καστανιάς σε οικοδομές όπου υπάρχει διαρροή νερού, σε μεταλλεία κλπ. Απαιτεί θερμό και υγρό περιβάλλον χωρίς φως. Προκαλεί λευκή σήψη και δημιουργεί λευκές ίνες, ενώ το ξύλο γίνεται ελαφρό και μαλακό χωρίς να θρυμματίζεται με το χέρι.

### **Πως αναπτύσσονται οι μύκητες;**

Οι μύκητες για να προσβάλλουν το ξύλο θα πρέπει να βρουν τροφή, οξυγόνο, και κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας.

Τροφή για τους μύκητες είναι τα συστατικά του ξύλου: κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη και θρεπτικές ουσίες κυττάρων. Ανάλογα με τη χημική σύσταση του ξύλου, τα διάφορα είδη παρουσιάζουν διαφορετική αντοχή στις προσβολές μυκήτων (βλ. Παράρτημα). Είδη που περιέχουν τοξικά εκχυλίσματα έχουν μεγάλη αντοχή.

Δείκτης της αντοχής του ξύλου στους μύκητες είναι το χρώμα και η πυκνότητα. Σκοτεινότερο χρώμα σημαίνει μεγαλύτερη αντοχή. Ο συνδυασμός σκοτεινού χρώματος και μεγάλης πυκνότητας ενισχύει την ανθεκτικότητα (λ. δρυς, καστανιά, σκούρα τροπικά ξύλα). Από μόνη της η πυκνότητα δεν επηρεάζει καθοριστικά την αντοχή στους μύκητες. Λ.χ., το ξύλο των πεύκων και του κυπαρισσιού, που δεν είναι ιδιαίτερα βαρύ, παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή στη σήψη από ορισμένα βαριά ξύλα όπως η οξιά, η σημύδα, το σφενδάμι. Το εγκάρδιο ξύλο έχει μεγαλύτερη αντοχή από το σομόφο γιατί εκεί γίνεται η εναπόθεση των εκχυλισμάτων και γι' αυτό έχει και σκοτεινότερο χρώμα.

Η υγρασία του ξύλου για να μπορεί να αναπτυχθεί ο μύκητας, πρέπει να είναι πάνω από 20%. Ιδανικές είναι οι συνθήκες όταν η υγρασία είναι **30-50%**.

Οι μύκητες χρειάζονται επίσης οξυγόνο που το παίρνουν από τον αέρα που υπάρχει στις κυτταρικές κοιλότητες. Όταν οι κυτταρικές κοιλότητες είναι γεμάτες με νερό δεν υπάρχει χώρος για οξυγόνο και έτσι δεν αναπτύσσονται οι μύκητες. Για το λόγο αυτό και τα ξύλα προστατεύονται από τους μύκητες όταν αποθηκεύονται μέσα στο νερό δεξαμενών ή λιμνών. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούμε την υγρή αποθήκευση ή το συνεχή καταιωνισμό με νερό, για την προστασία των κορμών οξιάς και κωνοφόρων (έλατου – μαύρου πεύκου) από μύκητες και ραγαδώσεις. Πρέπει όμως ο καταιωνισμός να είναι πλήρης και συνεχής.

Η καταλληλότερη θερμοκρασία για την ανάπτυξη των μυκήτων είναι 20-30°C. Η δράση των μυκήτων μειώνεται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 10°C και υψηλότερες των 30°C και αναστέλλεται εντελώς στους 0°C και στους 40°C. Θανάτωση των μυκήτων γίνεται κατά την τεχνητή ξήρανση με συνδυασμό υψηλών θερμοκρασιών και υψηλής σχετικής υγρασίας.

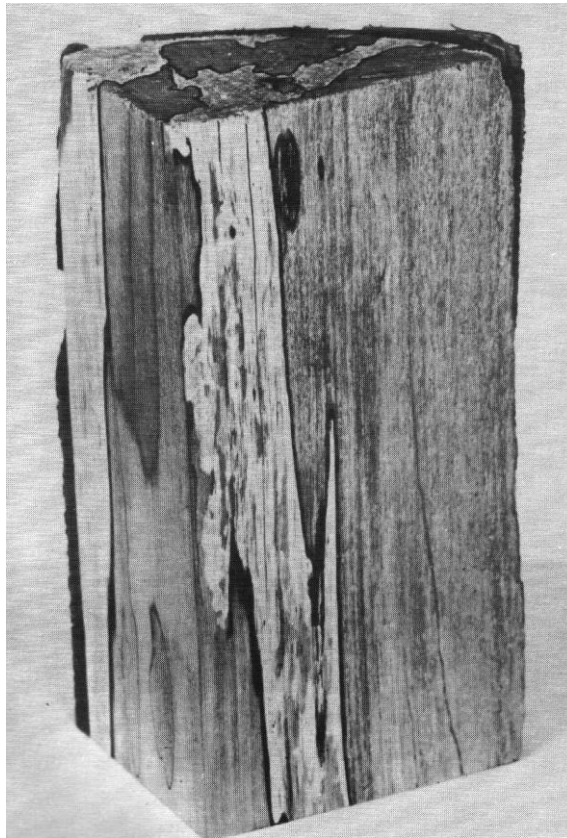
### **Αναγνώριση της προσβολής μυκήτων**

Η αναγνώριση της προσβολής μυκήτων στο αρχικό στάδιο είναι δύσκολη. Ειδικά, η δημιουργία μικρών θηλάκων καστανής σήψης κάτω από την επιφάνεια του ξύλου είναι ιδιαίτερα δύσκολο να επισημανθεί. Η δημιουργία τέτοιων εσωτερικών θηλάκων καστανής σήψης παρατηρείται μερικές φορές κατά τη φυσική ξήρανση ερυθρελάτης, ψευδοτσούγκας, ελάτης. Η προσβολή αυτή μπορεί να επεκταθεί αν το ξύλο ξαναυγρανθεί κατά τη χρήση του.

Στα δικά μας δεδομένα η χρησιμοποίηση προσβεβλημένης στο αρχικό στάδιο ελάτης σε κατασκευές σκεπών ενέχει αυτόν τον κίνδυνο.

Η κατά θέσεις εμφάνιση φλεβών ή λωρίδων μεταχρωματισμένου ξύλου πρέπει να θεωρείται ύποπτη προσβολής και να ελέγχεται. Χρειάζεται ωστόσο προσοχή για να μη θεωρηθεί προσβολή κυάνωσης ή ευρωτίασης ως κανονική σήψη. Αν διαπιστωθεί προσβολή σήψης, τότε εντοπίζεται η έκταση προσβολής με τη βοήθεια μυτερού μαχαιριδίου.

Οι προσβεβλημένες ίνες ξύλου σπάνε και αποχωρίζονται εύκολα. Η παρουσία στενών σκοτεινού χρώματος γραμμών στο ξύλο είναι μια βέβαιη ένδειξη προσβολής.



***EIKONA 6.** Προσβολή ξύλου σημύδας από μύκητες λευκής σήψης.*

### **Συνέπειες προσβολής μυκήτων**

Οι μύκητες που προσβάλλουν το ξύλο αλλοιώνουν το χρώμα, τη δομή, τη χημική σύσταση και τις ιδιότητες του ξύλου. Οι αλλοιώσεις αυτές αναφέρονται στα αρχικά στάδια προσβολών, γιατί σε προχωρημένα στάδια το ξύλο αχρηστεύεται:

- Το χρώμα γίνεται ανοικτότερο στη λευκή σήψη και σκοτεινότερο στην καστανή σήψη.
- Η πυκνότητα του ξύλου μειώνεται ανάλογα με το στάδιο προσβολής.
- Οι μηχανικές ιδιότητες του ξύλου ελαττώνονται ακόμη και στο αρχικό στάδιο προσβολής. Μείωση της αντοχής του ξύλου σε κρούση μέχρι και το 1/3 έως 1/2 προκαλείται στα αρχικά στάδια, προτού εμφανισθεί η μείωση του βάρους του ξύλου. Όταν το βάρος μειωθεί κατά 10% η αντοχή σε κρούση σχεδόν μηδενίζεται. Η αντοχή σε κάμψη, σε θλίψη και εφελκυσμό, καθώς και η αντοχή σε διάτμηση και η σκληρότητα, επηρεάζονται σε μικρότερο βαθμό. Οι καστανές σήψεις επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες περισσότερο από ότι οι λευκές σήψεις.

- Η υγροσκοπικότητα του ξύλου μεταβάλλεται σημαντικά. Το προσβεβλημένο ξύλο προσροφά περισσότερη υγρασία υπό μορφή υδρατμών και νερό όταν διαβρέχεται.
- Η ρίκνωση του ξύλου είναι πολύ μεγαλύτερη της κανονικής σε περίπτωση καστανής σήψης.

### **Τρόποι αποφυγής της σήψης του ξύλου**

Το ξύλο προσβάλλεται από μύκητες είτε όταν είναι ζωντανό στη μορφή δένδρου, είτε ως κορμός, είτε ως πριστή ξυλεία, είτε τέλος όταν χρησιμοποιηθεί σε κατασκευές.

#### *(1) Ιστάμενα ζωντανά δένδρα*

Το ξύλο των ιστάμενων δένδρων προσβάλλεται από μύκητες, είτε μέσω τραυματισμένου φλοιού, είτε μέσω ασθενούς ριζικού συστήματος. Άρα θα πρέπει να μη τραυματίζεται ο φλοιός ή το ριζικό σύστημα των δένδρων. Από τη στιγμή που τα σπόρια των μυκήτων εισέλθουν στον κυρίως κορμό, τότε η προσβολή εξαπλώνεται πολύ εύκολα και μπορεί να προσβάλλει όλο το εγκάρδιο. Όταν κλαδιά δένδρων σπάνε από άνεμο, χιόνι κλπ. τότε πρέπει να κόβονται όσο γίνεται πλησιέστερα προς τον κορμό και να καλύπτεται η τομή με αντισηπτική και υδατοαπωθητική ουσία.

#### *(2) Στρογγύλη ξυλεία*

Ορισμένα μέτρα προφύλαξης αναφέρθηκαν στην κύανωση του ξύλου. Η οξιά που αποτελεί και ένα σπουδαίο είδος που φύεται στην Ελλάδα, υφίσταται σοβαρές ζημιές προσβολών μυκήτων. Προσβολή σε αρχικό στάδιο προκαλεί μεταχρωματισμό κατά θέσεις, γνωστό ως άναμμα της οξιάς. Πρέπει να υλοτομείται το χειμώνα και να διακινείται το ταχύτερο δυνατό από το δάσος σε δεξαμενές νερού του πριστηρίου.

Χρήσιμη είναι η επάλειψη των τομών των κορμών με διάλυμα 5% πενταχλωροφαινολικού νατρίου και μετά με διάλυμα παραφίνης.

#### *(3) Πριστή ξυλεία σε αποθήκευση*

Σοβαροί κίνδυνοι προσβολής πριστής ξυλείας υπάρχουν κατά τη φάση της φυσικής ξήρανσης, εάν δεν ακολουθούνται βασικοί κανόνες τεχνολογίας:

- Η πριστοπλατεία πρέπει να είναι ανοικτή στον ορίζοντα χωρίς βλάστηση από χόρτα, θάμνους, επίπεδο, χωρίς λιμνάζοντα νερά, χωρίς σωρούς από πριονίδια και υπολείμματα πρίσεως, τα οποία αποτελούν πηγή μόλυνσης. Αυτό είναι κάτι που παρατηρείται σε πολλά ελληνικά πριστήρια. Τα υπολείμματα πρίσεως πρέπει να απομακρύνονται το συντομότερο δυνατό.
- Η στοίβαξη των πριστών πρέπει να είναι σχολαστική επιμελημένη και με τέτοιο τρόπο, ώστε ο αέρας να κυκλοφορεί ελεύθερα γύρω από κάθε πριστό. Προς τούτο χρησιμοποιούνται πήχεις 2,5 x 2,5 cm και αφήνονται οριζόντια διαστήματα μεταξύ των πριστών.
- Οι στοιβάδες πρέπει να απέχουν από το έδαφος 40 cm και να είναι καλυμμένες. Η καλύτερη περίπτωση φυσικής ξήρανσης είναι τα ανοικτά υπόστεγα.

#### *(4) Ξύλο σε κατασκευές*

Η διάρκεια ζωής μίας ξύλινης κατασκευής εξαρτάται από τους εξής παράγοντες: (α) το είδος του ξύλου, (β) τις συνθήκες του περιβάλλοντος όπου εκτίθεται η κατασκευή και (γ) το μέγεθος της φόρτισης που δέχεται η κατασκευή. Συγκριτικά, οι περισσότερες κατασκευές ξύλου καταστρέφονται από προσβολές μυκήτων ή εντόμων, παρά από τη χρήση, τη μηχανική φόρτιση και άλλους παράγοντες.

Το σομό ξύλο όλων των ειδών εύκολα προσβάλλεται από μύκητες και δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε συνθήκες υψηλού κινδύνου, χωρίς προηγουμένως να έχει συντηρηθεί. Είδη που έχουν μεγάλο ποσοστό εγκάρδιου, όπως η δρύς, είναι γενικά πιο ανθεκτικά από είδη όπως η οξιά, ο φράξος, τα οποία δεν έχουν σαφώς καθορισμένο εγκάρδιο. Μόνο σε μερικά είδη το εγκάρδιο είναι τόσο ανθεκτικό για να χρησιμοποιείται ανεμπότιστο σε επαφή με το υγρό έδαφος. Τέτοια ξύλα είναι για τα δικά μας δεδομένα, η καστανιά, το κυπαρίσσι, ο κέδρος, η δρύς, και από τα τροπικά, το Teak, το Iroko, το Azobe.

Όταν χρησιμοποιούνται λιγότερο ανθεκτικά ξύλα, τότε πρέπει να προστατεύονται από την επίδραση υγρασίας, ή να υφίστανται χειρισμό με κάποιο συντηρητικό.

Όταν ένα ελάχιστο ανθεκτικό ξύλο (βλ. σελ. 89), χρησιμοποιείται σε επαφή με το έδαφος, τότε δεν αρκεί απλή προστασία επάλειψης του ξύλου με βούρτσα, αλλά χειρισμός υπό πίεση μέσα σε κύλινδρο. Ο χειρισμός με βούρτσα είναι κατάλληλος για κατασκευές, όπου το ξύλο



δεν έρχεται σε επαφή με το έδαφος, ωστόσο για εξωτερικές κατασκευές πρέπει να επαναλαμβάνεται κάθε 3-4 έτη.

## Έντομα

Τα ξυλοφάγα έντομα (*wood insects*) προσβάλλουν το ξύλο γιατί τρέφονται από τα συστατικά του και ζουν μέσα στο ξύλο τον περισσότερο χρόνο της ζωής τους. Για να καταλάβουμε τον τρόπο με τον οποίο μπορούμε να αποφύγουμε προσβολές εντόμων σε κατασκευές ξύλου, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο αντιμετωπίζουμε μια προσβολή όταν πια είναι γεγονός, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τα έντομα και τη ζωή τους.

Το κάθε έντομο έχει ένα βιολογικό κύκλο. Στο πρώτο στάδιο το τέλειο έντομο εναποθέτει τα αυγά του σε σχισμή ή εσοχή στην επιφάνεια του ξύλου. Μετά την επώαση προκύπτει η προνύμφη (*Larva*), η οποία αρχίζει τη διάνοιξη οπών και στοών μέσα στο ξύλο, για διάστημα που ποικίλει ανάλογα με το είδος του εντόμου και το κλίμα από 1 έως και 5 χρόνια. Στη συνέχεια η προνύμφη μεταβάλλεται σε νύμφη (*Pupa*) κοντά στην επιφάνεια του ξύλου. Μετά από μερικές εβδομάδες, από την νύμφη βγαίνει το τέλειο έντομο, το οποίο πετώντας βρίσκει το ταίρι του, γίνεται η σύζευξη και γεννά τα αυγά του σε σχισμή ξύλου ή σε πόρους. Έτσι κλείνει ένας κύκλος ζωής με τη συνεχή επανάληψη του οποίου εξαπλώνεται η προσβολή του εντόμου στην κατασκευή.

Η προσβολή των εντόμων συνίσταται στην διάνοιξη των οπών και στοών με διαμέτρους από 0,025 έως 2,5 cm. Η προσβολή αυτή γίνεται αποκλειστικά από την προνύμφη και πολλές φορές είναι τόσο έντονη που μετατρέπει σε σκόνη το εσωτερικό των κατασκευών και αφήνεται εξωτερικά ένα στρώμα ξύλου πολύ λεπτού πάχους. Το στάδιο της προνύμφης διαρκεί πολύ περισσότερο από τα άλλα στάδια. Σε εύκρατα κλίματα, για να συμπληρωθεί ολόκληρος ο βιολογικός κύκλος του εντόμου χρειάζονται από 1-10 χρόνια ή και περισσότερα ανάλογα με το είδος του ξύλου και τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

Τα έντομα ευνοούνται από μεγάλες θερμοκρασίες και μικρά ποσοστά υγρασίας. Πολλές φορές έντομα αναπτύσσονται κάτω από το φλοιό κορμών και στη συνέχεια εισέρχονται στο ξύλο. Για το λόγο αυτό γρήγορη αποφλοιώση, κατεργασία και ξήρανση του ξύλου είναι πολύ καλά προστατευτικά μέτρα. Υπάρχουν όμως ξυλοφάγα έντομα που προσβάλλουν και ξηρό ξύλο, ιδίως στα έπιπλα, σε χρήση.

Τα σπουδαιότερα έντομα που προσβάλλουν ξυλεία και ξύλινες κατασκευές είναι τα ακόλουθα:

#### Anobium punctatum (κοινό σαράκι ή ξυλοφάγο έντομο επίπλων)

Όπως όλα τα κολεόπτερα φέρει δύο σκληρά εξωτερικά φτερά, τα οποία καλύπτουν και προστατεύουν τα πραγματικά φτερά. Το τέλειο έντομο έχει πολύ μικρό μέγεθος 2,5-5 mm. Οι προνύμφες είναι μικρές, υπόλευκες με καμπύλο σχήμα. Προσβάλλει κατασκευές ξύλου σε εσωτερικούς χώρους όπως έπιπλα, έργα τέχνης, ξύλινες σκάλες, ταβάνια, πατώματα, σκεπές.

Στην αρχή η προσβολή είναι δύσκολο να εντοπισθεί και μπορεί να περάσουν είκοσι και περισσότερα χρόνια μέχρις ότου γίνει φανερή. Έντονη προσβολή υπό μορφή επιδημίας παρατηρείται σε έπιπλα που κατασκευάστηκαν μισά από 60 χρόνια, οπότε το ξύλο εξωτερικά παραμένει άθικτο, ενώ εσωτερικά είναι γεμάτο πριονίδι και αυγοειδή περιττώματα. Ο βιολογικός κύκλος συνήθως διαρκεί 2 χρόνια, αλλά μερικές φορές και 10 χρόνια και περισσότερα. Οι τρύπες εξόδου του τέλειου εντόμου είναι κυκλικές με διάμετρο 1,5 mm και έχουν διαγνωστική σημασία.

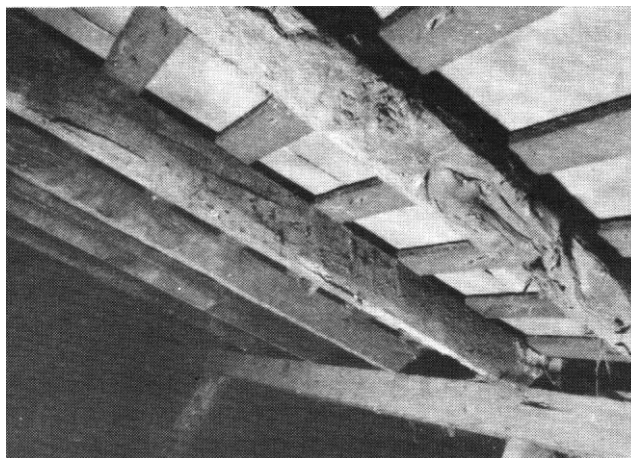
#### Xestobium rufovilosum (ρολόϊ του θανάτου)

Είναι κολεόπτερο έντομο που προκαλεί χαρακτηριστικό ήχο στη σιωπή της νύχτας, γι αυτό και οι Βρετανοί το ονομάζουν *deathwatch beetle*, δηλ. *ρολόϊ του θανάτου*. Το τέλειο έντομο έχει χρώμα καστανό έως σοκολάτας, με μήκος 8mm. Οι προνύμφες έχουν υπόλευκο χρώμα και καμπύλο σχήμα. Προσβάλλει κυρίως το σομφό της δρυός, που προηγουμένως έχει προσβληθεί ελαφρά από σηπτικούς μύκητες. Η προσβολή ευνοείται από συνθήκες μεγάλης υγρασίας. Ο βιολογικός κύκλος διαρκεί 1-4 χρόνια και οι οπές εξόδου είναι κυκλικές με διάμετρο 3mm περίπου. Οι στοές είναι γεμάτες με απορρίμματα σε μορφή δίσκου.

Άλλα έντομα της ίδιας οικογένειας που βρέθηκαν στην Ελλάδα είναι οι *Nicobium castaneum* και *Ernobius molis*.

#### Hylotrypes bajulus (υλότρυπος, ξυλοφάγος παλαιών σπιτιών)

Το τέλειο έντομο είναι μαύρο με μήκος 10-20 mm με δύο μακριές κεραίες. Οι προνύμφες είναι υπόλευκες. Προσβάλλει αποκλειστικά κατασκευές από σομό ξηρό ξύλο κωνοφόρων, κυρίως στέγες, αλλά και πόρτες παράθυρα, υποδομή πατωμάτων από ελάτη, περιφράξεις.



**ΕΙΚΟΝΑ 7.** Προσβολή στέγης από το έντομο *Υλότρυπος* (*Hylotrypes* sp).

Επάνω: Πριν την απομάκρυνση λεπτής επιφανειακής στρώσης ξύλου.

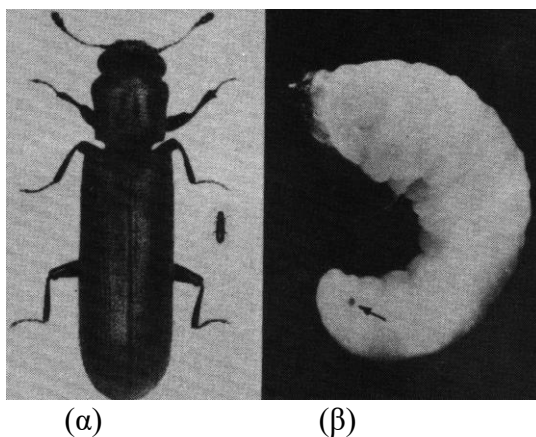
Κάτω: Μετά την απομάκρυνση λεπτής επιφανειακής στρώσης ξύλου

Ο βιολογικός κύκλος διαρκεί 2-3 χρόνια και μερικές φορές φθάνει τα 10-20 χρόνια. Οι τρύπες εξόδου έχουν διάμετρο 6-10mm (Εικ. 7). Οι προνύμφες, όταν ανοίγουν στοές μέσα στο ξύλο, προκαλούν χαρακτηριστικό θόρυβο, που έχει διαγνωστική σημασία.

Lyctus linearis, L. brunneus (παρκετοέντομο)

Ανήκει στα κολεόπτερα και το τέλειο έντομο έχει χρώμα ερυθροκαστανό έως μαύρο με μήκος 2-7 mm. Οι προνύμφες μοιάζουν με του *Anobium panctatum*. Οι σπές εξόδου έχουν διάμετρο 1,5 mm. Είναι επικίνδυνα έντομα και ειδικότερα το πρώτο προσβάλλει μόνο πλατύφυλλα και ιδιαίτερα το σομφό ξύλο ειδών που έχουν μεγάλους πόρους (αγγεία) για να εναποθέσουν τα αυγά τους, όπως δρύς, φράξος, φτελιά, καρυδιά, ακακία, καστανιά, κερασιά μαόνι, χίκори, ιρόκο. Το δεύτερο προσβάλλει το εγκάρδιο ειδών που έχουν πολύ άμυλο, όπως το μαόνι, η ακακία. Επίσης προσβάλλουν το κόντρα-πλακέ από σημύδα και κλήθρα.

Ο βιολογικός κύκλος διαρκεί 1-2 χρόνια, αλλά ελαττώνεται σε θερμαινόμενους χώρους και στα τροπικά κλίματα διαρκεί μόνο 2-3 μήνες.



**ΕΙΚΟΝΑ 8Α.** *Lyctus brunneus*: α) τέλειο έντομο, β) προνύμφη.



**8B.** Προσβολή ξυλεπένδυσης σε οικία, από το έντομο *Lyctus*.

Η προνύμφη ανοίγει στοές και παράγει πολύ λεπτή σκόνη ξύλου, η οποία σε προχωρημένο στάδιο προσβολής ωθείται προς την επιφάνεια του ξύλου, όπου δημιουργεί μικρούς σωρούς.

Τα έντομα αυτά προσβάλλουν την πιστή ξυλεία πλατυφύλλων κατά τη διάρκεια φυσικής ξήρανσης και αποθήκευσης στο πιστήριο και στις μονάδες επίπλων και άλλων κατασκευών. Η προσβολή γίνεται σε τεμάχια πιστών, ημικατεργασμένα τεμάχια επίπλων και άλλων κατασκευών μέχρι να βαφούν, ή σε μορφή κόντρα πλακέ, ξυλοφύλλων, φρίζας ή κατεργασμένα παρκέτα.

Το σοβαρό πρόβλημα που μπορεί να προκύψει για τον τελικό χρήστη, τον κατασκευαστή επίπλων, τον παρκετοποιό, τον έμπορο ξυλείας και τον ιδιοκτήτη του πιστηρίου, είναι η περίπτωση προσβολής που έγινε σε κάποιο από τα στάδια παραγωγής των επίπλων ή άλλων προϊόντων και η προσβολή γίνεται αντιληπτή από τον αγοραστή του προϊόντος, μετά πάροδο 2-3 χρόνων. Τότε ο αγοραστής μπορεί να εγείρει αξιώσεις από τον κατασκευαστή των επίπλων, ζητώντας αποζημίωση ή αντικατάσταση και έτσι δυσφημείται η μονάδα παραγωγής.

### Xyloterus lineatus

Ανήκει στα κολεόπτερα. Το τέλειο έντομο έχει μήκος 2-3 mm με μαύρο θώρακα και φτερά με χαρακτηριστικές μαύρες και καστανές ταινίες. Προσβάλλει κωνοφόρα και δημιουργεί στοές μικρού μήκους με μαύρο χρώμα.

### Urocerus (Sirex) gigas

Είναι υμενόπτερο με 4 μεμβρανώδη φτερά. Το τέλειο έντομο έχει μήκος 18-35 mm και το θηλυκό είναι μεγαλύτερο του αρσενικού. Οι προνύμφες είναι υπόλευκες, κυλινδρόμορφες. Προσβάλλει κωνοφόρα, σε μορφή κατακείμενων κορμών. Ο βιολογικός κύκλος διαρκεί 2-3 χρόνια και οι οπές εξόδου έχουν διάμετρο 5mm.

### Camponotus herculeanus

Τα αρσενικά δεν έχουν φτερά, με μήκος 8-11 mm και τα θηλυκά με φτερά και μήκος 19 mm. Έχουν χρώμα μαύρο και συγγέονται με τους τερμίτες. Οι προνύμφες είναι κιτρινωπές; και προσβάλλει κυρίως κωνοφόρα.

## Τερμίτες

Ανήκουν στα ισόπτερα και υπάρχουν 5.000 είδη. Προκαλούν πολύ μεγάλες ζημιές, ιδίως σε τροπικές χώρες. Διακρίνονται σε υπόγειους τερμίτες (*Reticulitermes lucifugus*) και σε τερμίτες ξηρών ξύλων (*Calotermes flavicollis*). Οι υπόγειοι τερμίτες εγκαθίστανται κατά κοινωνίες μόνιμα μέσα στο έδαφος και σε συνθήκες υγρασίας και σκότους. Από εκεί μέσα από σκοτεινές στοές προσβάλλουν ξύλα κωνοφόρων και πλατυφύλλων σε χρήση, όπως στύλους, πασσάλους, ξυλεία ορυχείων, ξύλινες γέφυρες, ξύλινα σπίτια, παλαιά ιστορικά κτίρια. Η βασίλισσα ζει πολλά χρόνια (70-80) και γεννά χιλιάδες αυγά κάθε μέρα.

Οι τερμίτες των ξηρών ξύλων προσβάλλουν απ' ευθείας το ξύλο μέσα στο οποίο κατασκευάζουν στοές, αφήνοντας στην εξωτερική επιφάνεια, ένα λεπτό στρώμα ξύλου. Στην Ελλάδα περισσότερο επικίνδυνοι είναι οι τερμίτες ξηρών ξύλων. Συνήθως η προσβολή τερμιτών σχετίζεται με την παρουσία σηπτικών μυκήτων.



*ΕΙΚΟΝΑ 9. Έντονη προσβολή κορμιδίου από τερμίτες (termites).*

## Θαλάσσιοι οργανισμοί

Εύλινες κατασκευές μέσα σε θαλασσινό ή υφάλμυρο νερό, όπως πλοία, βάρκες, πάσσαλοι προκυμαίων, κορμοί που αποθηκεύονται στο νερό κλπ. προσβάλλονται έντονα από ζωικούς οργανισμούς που ανήκουν στο φύλο Μαλάκια (*Mollusca*) και στο φύλο Αρθρόποδα (κλάση

*Crustacea*). Τα σπουδαιότερα γένη που ανήκουν στα μαλάκια είναι: *Teredo*, *Bancia*, *Xylophaga*, *Martesia* και στα αρθρόποδα: *Limnoria*, *Chelura*, *Sphaeroma* κ.α.

Οι οργανισμοί αυτοί προκαλούν σοβαρές ζημιές, ειδικά σε ζεστά κλίματα (Εικ. 10). Οι οργανισμοί *Teredo* και *Bankia* αναπαράγονται με αυγά και δημιουργούν προνύμφες, οι οποίες εγκαθίστανται στο ξύλο, όπου αναπτύσσονται σε σχήμα σκουληκιού (σκουλήκια των πλοίων: shipworms). Η αρχική οπή εισόδου είναι στενή και κάθετη στην επιφάνεια, ενώ στη συνέχεια δημιουργούν στοές παράλληλες προς τις ίνες του ξύλου και με ασβεστώδη επένδυση. Το μήκος των κυμαίνεται από 1cm μέχρι 1m και το πάχος 3-5 mm. Από το πίσω μέρος του σώματός των προσροφούν νερό, από το οποίο δεσμεύουν το οξυγόνο και το πλαγκτόν για τροφή και στη συνέχεια αποβάλλουν το νερό.

Για την αποφυγή προσβολών οι κατασκευές πλοίων μετακινούνται από το αλμυρό σε γλυκό νερό για 2-3 εβδομάδες. Ενδείκνυται επίσης η χρησιμοποίηση ανθεκτικών τροπικών ξύλων, ο κατάλληλος εμποτισμός του ξύλου και η επικάλυψη του ξύλου με πλαστικό, μέταλλο ή τσιμέντο.

Τα είδη των γενών *Xylophaga* και *Martesia* δημιουργούν μικρότερες στοές (μέχρι 4 και 7 cm). Οι οργανισμοί του γένους *Xylophaga*, έχουν μικρότερο μήκος από τους *Teredo* και δημιουργούν στοές χωρίς ασβεστώδη επικάλυψη. Οι παραπάνω οργανισμοί φθάνουν μέχρι και τη Β. Ευρώπη, εκτός από το είδος *Martesia* το οποίο εμφανίζεται σε τροπικά νερά.

Τα αρθρόποδα διαφέρουν σημαντικά από τα μαλάκια στην εμφάνιση (μοιάζουν με ψείρες) και είναι πολύ μικρότεροι οργανισμοί. Τα είδη *Limnoria* και ειδικά το *L. lignorum*, βρίσκονται σε όλα τα μέρη του κόσμου. Έχουν μήκος 1,5-3mm και ανοίγουν στοές μέχρι 15mm μήκος. Οι προνύμφες δεν μπορούν να μετακινηθούν στο νερό, γι αυτό και η επέκταση της προσβολής γίνεται από υπάρχουσα εστία.

Τα είδη *Chelura* είναι λίγο μεγαλύτερα από τα *Limnoria*, ενώ κατά τα άλλα έχουν αρκετές ομοιότητες και συνήθως δρουν από κοινού. Τα είδη *Sphaeroma* βρίσκονται συνήθως σε θερμά αλμυρά νερά, αλλά μπορούν να προσβάλλουν ξύλο και σε γλυκά νερά.

Τα ξύλα της εύκρατης ζώνης δεν παρουσιάζουν αντίσταση στην προσβολή θαλασσινών οργανισμών, γι αυτό και είναι απαραίτητος ο εμποτισμός τους υπό πίεση με κατάλληλα ισχυρά εμποτιστικά.

Ορισμένα τροπικά ξύλα παρουσιάζουν αντίσταση σε προσβολές θαλασσινών μικροοργανισμών και αυτό οφείλεται κυρίως στα τοξικά εκχυλίσματα, καθώς και σε μεγάλη περιεκτικότητα πυριτικών ενώσεων που περιέχουν. Τέτοια τροπικά ξύλα είναι: wenge, iroko, afzelia (doussie), azobé (ekki), greenheart, jarrah, makore, padauk, teak κ.ά.



**EIKONA 10.** Έντονη προσβολή ξύλου από θαλάσσιο μικροοργανισμό (*shipworm*).

### **Φυσική διάρκεια του ξύλου**

Η χημική σύσταση του ξύλου, η οποία ποικίλει από είδος σε είδος, αλλά και στο ίδιο είδος μεταξύ σομού και εγκάρδιου, διαφοροποιεί τη συμπεριφορά του ξύλου σε προσβολές μυκήτων και εντόμων. Μεταξύ των ειδών ξύλου υπάρχουν μεγάλες διαφορές ως προς τη φυσική αντοχή ή διάρκειά του, δηλαδή ως προς το χρόνο που το ξύλο διατηρεί την αξία χρήσης του χωρίς προστατευτικό εμποτισμό.

Η φυσική αντοχή ή διάρκεια του ξύλου (*natural durability*) εξαρτάται από τις συνθήκες χρήσης του ξύλου (εσωτερικές κατασκευές, εξωτερικές κατασκευές στο ύπαιθρο, σε επαφή με το έδαφος, μέσα στο νερό) και από το είδος και την ποσότητα των εκχυλισμάτων που περιέχονται στο ξύλο. Τα εκχυλίσματα είναι φυσικές συντηρητικές ουσίες που προστατεύουν το ξύλο από προσβολές μυκήτων, εντόμων και άλλων οργανισμών. Η παρουσία τους προσδίδει σκοτεινό χρώμα στο ξύλο, άρα ξύλα με σκούρο χρώμα έχουν γενικά μεγαλύτερη φυσική διάρκεια. Τα εκχυλίσματα υπάρχουν στο εγκάρδιο ξύλο και το σομό ξύλο περιέχει ουσίες που είναι διαθέσιμες στους μύκητες, όπως είναι το άμυλο. Άρα το εγκάρδιο ξύλο έχει μεγαλύτερη φυσική διάρκεια από το σομό.



Η πυκνότητα του ξύλου όταν συνδυάζεται με σκούρο χρώμα ενισχύει τη φυσική διάρκεια του. Ξύλα μεγαλύτερων διαστάσεων παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια. Επίσης ξύλα με τον ίδιο όγκο, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια όταν έχουν κυκλική διατομή, μικρότερη όταν έχουν τετράγωνη και ακόμα μικρότερη όταν έχουν ορθογώνια διατομή.

Στις τροπικές χώρες προκαλούνται μεγάλες ζημιές στο ξύλο και τις κατασκευές από έντομα, ενώ στην εύκρατη ζώνη μεγαλύτερες είναι οι ζημιές που προκαλούνται από μύκητες σε σύγκριση με εκείνες των εντόμων.

Με βάση τη **φυσική ανθεκτικότητα** (*natural durability*) του εγκάρδιου ξύλου των ειδών από προσβολές μυκήτων (*πρότυπο EN 350*), διακρίνονται οι εξής πέντε (5) κλάσεις:

«**Πολύ ανθεκτικά**» (**class 1**): teak, azobé, padauk, afzelia, makore, κυπαρίσσι, ψευδοακακία (locust), jarrah, tali, greenheart, mansonia, okan, ipé, cumaru, tatajuba, κέδρος, άρκευθος και άλλα (φυσική διάρκεια >25 έτη).

«**Ανθεκτικά**» (**class 2**): λευκή δρυς, albizia, καστανιά, ίταμος, σεκόγια, iroko, sipo, bubinga, jatoba, kempas, western red cedar, dark red meranti κ.α. (φυσική διάρκεια: 15-25 έτη).

«**Μέτρια ανθεκτικά**» (**class 3**): λάρικα, oregon pine, καρυδιά, tiama, kosipo, niangon, sapele, ελιά, movingui, grapia, bintangor, πουρνάρι, κόκκινη δρυς κ.α. (φυσική διάρκεια: 10-15 έτη).

«**Ελάχιστα ανθεκτικά**» (**class 4**): μαύρη πεύκη, δασική πεύκη, έλατο, ερυθρελάτη, φτελιά, κερασιά, limba (fraké), yellow & light red meranti, aniegre, okoume, poplar (λιριόδενδρο), και άλλα (φυσική διάρκεια: 5-10 έτη).

«**Καθόλου ανθεκτικά**» (**class 5**): οξιά, λεύκη, σημύδα, φλαμούρι, κλήθρα, φράξος, ιτιά, ayous, abura, σφενδάμι, πλατάνι, paulownia, και πολλά άλλα, καθώς και το **σομφό ξύλο** των περισσότερων ειδών ξύλου (φυσική διάρκεια <5 έτη).

## Κλιματικοί παράγοντες

Το ξύλο όταν είναι εκτεθειμένο για μεγάλο χρονικό διάστημα σε εξωτερικές συνθήκες, υφίσταται την επίδραση των κλιματικών παραγόντων (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, βροχή, χιόνι, αέρας, φως), οι οποίοι προκαλούν αλλοίωση, η οποία προκαλεί το φαινόμενο της γήρανσης του ξύλου, το οποίο σε μακροσκοπική παρατήρηση περιλαμβάνει μεταβολή του χρώματος, ραγαδώσεις, στρεβλώσεις, επιφανειακή διάβρωση του ξύλου. Η

επανεπιλημμένη ρίκνωση και διόγκωση του ξύλου στην επιφάνεια προκαλεί αποκόλληση των αυξητικών δακτυλίων, ραγαδώσεις των κυτταρικών τοιχωμάτων κ.ά.

Το ηλιακό φως και ειδικά η υπεριώδης ακτινοβολία προκαλεί μικροραγάδες στα κυτταρικά τοιχώματα, καταστροφή στις μεμβράνες των βοθρίων. Προκαλεί επίσης χημικές μεταβολές με αργό ρυθμό. Οι αλλοιώσεις αυτές υποβοηθούν την καταστροφική δράση του νερού, το οποίο προκαλεί και τις πιο σημαντικές αλλοιώσεις στο ξύλο.

Η υψηλή θερμοκρασία υποβοηθάει τη δράση του νερού ως παράγοντα αλλοίωσης, ενισχύοντας τη ρίκνωση και διόγκωση του επιφανειακού ξύλου. Ο άνεμος προκαλεί επιφανειακή διάβρωση και απομακρύνει επιφανειακές ίνες ξύλου, ενώ ενισχύει τη δράση του νερού.

Με την μακροχρόνια γήρανση του ξύλου απομακρύνονται συνεχώς επιφανειακά στρώματα ξύλου με πολύ αργό ρυθμό, ο οποίος εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Η εφαιπτομενική επιφάνεια δέχεται μεγαλύτερη αλλοίωση από τους κλιματικούς παράγοντες σε σχέση προς την ακτινική. Τέλος, αλλοίωση του ξύλου προκαλείται και από τη ρύπανση της ατμόσφαιρας.

## **Μηχανικοί παράγοντες**

Το ξύλο που χρησιμοποιείται σε κατασκευές, όπου δέχεται μηχανικές φορτίσεις, υφίσταται σταδιακή αλλοίωση. Τέτοιες κατασκευές είναι οι στρωτήρες σιδηροδρόμων, γέφυρες, γλισιέρες σε διάφορες μηχανές, πατώματα, σκάλες, σαίτες υφαντουργίας κ.α. Η αλλοίωση η οποία προκαλείται εξαρτάται από το είδος και το μέγεθος της φόρτισης, από το είδος του ξύλου, την περιεκτικότητα σε υγρασία. Στους στρωτήρες, στις γέφυρες, στα πατώματα, η αλλοίωση προκαλείται από τις δυνάμεις τριβής, που προέρχονται από την κίνηση οχημάτων και ανθρώπων πάνω στις ξύλινες κατασκευές. Η δράση αυτή ενισχύεται από τη δράση σηπτικών μυκήτων.

Με εμποτισμό του ξύλου με κατάλληλες εμποτιστικές ουσίες αποτρέπεται η προσβολή μυκήτων και περιορίζεται ο ρυθμός απόξεσης των επιφανειακών ινών του ξύλου. Υπάρχουν ορισμένα είδη ξύλου που αντέχουν σε δυνάμεις τριβής και ενδείκνυται η εφαρμογή τους σε

τέτοιες κατασκευές. Τέλος υπάρχει και τεχνολογία συμπίεσης του ξύλου και αύξησης της πυκνότητάς του και της αντοχής του σε τριβή, για ειδικές εφαρμογές.

Μεγαλύτερη αντοχή σε μηχανικές φορτίσεις παρουσιάζει η εγκάρσια επιφάνεια του ξύλου, μικρότερη η ακτινική και ακόμη μικρότερη η εφαπτομενική.

## **Χημικοί παράγοντες**

Το ξύλο παρουσιάζει σημαντική αντοχή σε χημικά διαλύματα (οξέα ή αλκάλια) μικρής πυκνότητας και χαμηλής θερμοκρασίας. Η ιδιότητα αυτή καθιστά το ξύλο κατάλληλο για διάφορες χρήσεις όπως δοχεία κιβώτια αποθήκευσης τροφών, και χημικών ουσιών στην βιομηχανία δέρματος, χρωμάτων σαπουνιών κ.α. Αντίθετα ισχυρά οξέα και αλκάλια προκαλούν σημαντική αλλοίωση στο ξύλο. Παρατεταμένη έκθεση του ξύλου σε αλκάλια διαλύει τις ημικυτταρίνες και τη λιγνίνη και αποσυνθέτει το ξύλο. Η επίδραση αυτή αξιοποιείται στη βιομηχανία χαρτοπολτού για την αποϊνώση του ξύλου.

Το ξύλο, γενικά, αντέχει σε αραιά διαλύματα οξέων περισσότερο από τον χάλυβα.

Με την επίδραση των χημικών ουσιών, είναι δυνατό να παρατηρηθεί μείωση της μηχανικής αντοχής του ξύλου. Με την επίδραση αλκαλίων ελαττώνεται το μέτρο ελαστικότητας, η αντοχή σε κάμψη και η εγκάρσια θλίψη. Έντονος εμποτισμός ξύλου πεύκης με CCA (συγκράτηση 17%), και επαναζήρανση σε ξηραντήριο προκαλεί σημαντική μείωση της αντοχής σε στατική κάμψη. Ωστόσο, συνήθης εμποτισμός του ξύλου υπό πίεση με διάφορα συντηρητικά δεν επηρεάζει τις μηχανικές αντοχές του ξύλου σημαντικά και κατά συνέπεια δεν ασκεί αρνητική επίδραση στις εφαρμογές του.

Ξύλα τα οποία περιέχουν ταννίνες είναι δυνατό να υποστούν μεταχρωματισμό κατά θέσεις κατά τη χρήση καρφιών, κοχλιών και άλλων μεταλλικών αντικειμένων σε διάφορες κατασκευές σε συνθήκες υγρασίας. Τέτοια ξύλα είναι η δρύς, η καστανιά, η ψευδοτσούγκα κ.α. Γενικά θα πρέπει τα μεταλλικά αντικείμενα που χρησιμοποιούνται σε επαφή με το ξύλο σε εξωτερικές και υγρές περιοχές, να είναι γαλβανισμένα (επιμεταλλωμένα).

Κατά την φυσική ή τεχνητή ξήρανση του ξύλου, το χρώμα του γίνεται σκοτεινότερο λόγω οξειδώσεως του περιεχομένου των κυττάρων. Χαρακτηριστική είναι η αλλαγή του χρώματος του σκλήθρου αμέσως μετά την υλοτομία του σε κοκκινωπό, το οποίο στη συνέχεια ξεθωριάζει.

## Θερμότητα

Το ξύλο λόγω της χημικής του σύστασης υφίσταται χημική αποσύνθεση κάτω από την επίδραση υψηλών θερμοκρασιών. Οι καταστροφές που προκαλούνται κάθε χρόνο από πυρκαγιές δασών και ξύλινων κατασκευών είναι τεράστιες. Θέρμανση του ξύλου σε θερμοκρασία πυριαντηρίου ( $103\pm 2^\circ\text{C}$ ) για μεγάλη διάρκεια, προκαλεί χημική αποσύνθεση όπως συμβαίνει και με θέρμανση μικρής διάρκειας και μεγάλης θερμοκρασίας. Προϊόντα αποσύνθεσης είναι: μονοξείδιο του άνθρακα, φορμικό οξύ, οξικό οξύ, μεθάνιο, κ.ά. Οι συνέπειες για το ξύλο και την κατασκευή εξαρτώνται από την διάρκεια της επίδρασης, τον τρόπο θέρμανσης, το είδος και τις διαστάσεις του ξύλου και μπορεί να είναι: απώλεια βάρους, ελάττωση μηχανικής αντοχής, διαφοροποίηση της δομής του ξύλου, μαλάκυνση, ελάττωση της υγρασκοπικότητας κ.α.

Από τα χημικά συστατικά του ξύλου ανθεκτικότερη στη θερμότητα είναι η λιγνίνη. Οι ημικυτταρίνες αποσυντίθενται σε  $200\text{-}260^\circ\text{C}$  και η λιγνίνη σε  $280\text{-}500^\circ\text{C}$ .

Το ξύλο μεγάλων διαστάσεων παρουσιάζει αντίσταση στην εξάπλωση της φωτιάς και μπορεί να σταματήσει να καίγεται, εκτός και εάν επιδράσει πρόσθετη θερμότητα. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε επιφανειακή απανθράκωση του ξύλου, η οποία δρα ως μονωτικό και συντελεί στο να μην υποχωρούν δοκοί ξύλου μεγάλων διαστάσεων σε μια κατασκευή, ενώ μεταλλικές δοκοί υποχωρούν μόλις το μέταλλο αποκτήσει τη θερμοκρασία πυρκαγιάς.

Η αντοχή του ξύλου σε φωτιά αυξάνεται με *εμποτισμό* του ξύλου (υπό υψηλή πίεση) με κατάλληλες χημικές ουσίες που επιβραδύνουν την καύση του ξύλου, βλ. *αντιπυρικές ουσίες (fire retardants)*. Οι ουσίες αυτές διαλύονται σε πυκνά υδατοδιαλυτά διαλύματα, και κυρίως αποτελούνται από ανόργανες ενώσεις (άλατα) του φωσφόρου, του βορίου, του αζώτου κ.α.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Κακαράς Ι. (1999). Δομή & Ιδιότητες του Ξύλου. Μέρος Α – Στοιχεία δομής του ξύλου. Διδακτικές σημειώσεις. Τμήμα Σχεδιασμού & Τεχνολογίας Ξύλου-Επίπλου, Καρδίτσα (Τ.Ε.Ι. Λάρισας).
- Μαντάνης Γ. (2002). Μέρος Ι. Δομή του Ξύλου, Μέρος ΙΙ. Ιδιότητες του Ξύλου. Διδακτικές σημειώσεις. Τ.Ε.Ι. Λάρισας.
- Μαντάνης Γ. (2019). Ιστοσελίδα: <http://mantanis.users.uth.gr/Wood-properties.pdf>
- Mantanis G., Terzi E., Kartal S.N., Papadopoulou A. (2014). Evaluation of mold, decay and termite resistance of pine wood treated with zinc- and copper- based nanocompounds. *International Biodeterioration and Biodegradation* 90: 140-144.
- Mantanis G. (2017). Chemical modification of wood by acetylation or furfurylation - A review of the present scaled-up technologies. *BioResources* 12(2): 4478-4489.
- Φιλίππου Ι. (2014). Χημεία και Χημική Τεχνολογία του Ξύλου. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
- Τσουμής Γ. (2009). Επιστήμη του Ξύλου. Τόμος Α – Δομή και Ιδιότητες. Εκδόσεις Γιαρταγάνη, Θεσσαλονίκη.
- Fengel D., Wegener G. (1984). *Wood: Chemistry, Ultrastructure and Reactions*. Walter de Gruyter. Berlin/New York.
- Tsoumis G. (1968). *Wood as Raw Material*. Pergamon Press. New York.
- Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G. (2017). Wood modification technologies. *iForest* 10: 895-908.

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- Ιστοσελίδα του Καθηγητή Γ. Μαντάνη: <http://mantanis.users.uth.gr/>
- [www.wfdt.teilar.gr/material/Lessons/Idiotites\\_xylou.pdf](http://www.wfdt.teilar.gr/material/Lessons/Idiotites_xylou.pdf) (του Δρ. Δ. Μπιρμπίλη)
- [https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2005/fpl\\_2005\\_rowell002.pdf](https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2005/fpl_2005_rowell002.pdf) (Moisture pr.)
- <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr113/ch03.pdf> (Physical properties)
- <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr113/ch04.pdf> (Mechanical prop.)
- [https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl\\_gtr190.pdf?](https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf?) (Wood Handbook, FPL)
- Ιστοσελίδα του Ομ. Καθ. Ι. Κακαρά: <http://kakarasioannis.blogspot.gr/>
- <http://www.teilar.gr/dbData/ProfAnn/profann-650672be.pdf> (Καθ. Ηλ. Βουλγαρίδη)
- [www.teilar.gr/~mantanis/Efarmoges-eidwn-xylou.pdf](http://www.teilar.gr/~mantanis/Efarmoges-eidwn-xylou.pdf) (Εφαρμογές ειδών ξύλου)
- «Τεχνικά άρθρα», του Καθ. Γ. Μαντάνη: <http://users.teilar.gr/~mantanis/articles.htm>

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι.

*ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ*

*ΓΙΑ ΤΙΣ*

*ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΥΛΟΥ*

## ***Γενικά***

Περισσότερα από 20.000 διαφορετικά ξυλώδη είδη ευδοκιμούν στον πλανήτη μας. Από αυτά, περίπου **700 είδη** κυκλοφορούν στην ευρωπαϊκή αγορά σε ξυλεία ή προϊόντα της και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές. Πολλά από τα είδη αυτά αξιοποιούνται σε άλλες χώρες· στη χώρα μας εισάγονται σήμερα και χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερα είδη ξύλου.

Η σωστή και πλήρης αξιοποίηση του ξύλου απαιτεί τη δυνατότητα αναγνώρισης της ταυτότητάς του, τη γνώση των ιδιοτήτων του (φυσικών, χημικών, μηχανικών), της δομής του και της συμπεριφοράς του στα διάφορα στάδια κατεργασίας / επεξεργασίας του.

## ***Κοινά & Εμπορικά Ονόματα***

Τα επίσημα ονόματα που αναφέρονται είναι τα προτεινόμενα από τις βρετανικές προδιαγραφές (BS881 και BS589, 1974, Nomenclature of Commercial Timbers), καθώς και τα κοινά ονόματα που καθιερώθηκαν στην ελληνική και διεθνή αγορά.

Τα εμπορικά ονόματα των ειδών ξύλου καθιερώθηκαν στις εμπορικές συναλλαγές και πάντοτε περιέχουν τα κοινά ή τα επίσημα ονόματα.

Πολλά από τα εμπορικά ονόματα έχουν δοθεί από τους εμπόρους στην προσπάθειά τους να διαδώσουν και να καταστήσουν δημοφιλή τα διάφορα είδη ξύλου. Ορισμένα εμπορικά ονόματα που αναφέρονται στο χρώμα είναι παραπλανητικά. Ογδόντα (80) διαφορετικά τροπικά ξύλα φέρουν το εμπορικό όνομα σιδηρόξυλο (ironwood). Η Queensland walnut είναι από την οικογένεια Lauraceae, η Αφρικάνικη καρυδιά (African walnut) από την οικογένεια Meliaceae. Κανένα από τα δύο αυτά είδη δεν είναι αληθινή καρυδιά. Τα είδη Tasmanian oak, Australian silky oak δεν είναι δρύς. Στις περιπτώσεις τέτοιων παραπλανητικών κοινών και εμπορικών ονομάτων, τα ονόματα αυτά βρίσκονται σε παρένθεση. Όλα τα κοινά και εμπορικά ονόματα παρέχονται στην αρχή με κεφαλαία γράμματα.

## ***Άλλα Ονόματα (Ονομασίες)***

Για το κάθε είδος ξύλου, μετά το κοινό – εμπορικό όνομα σε κεφαλαία γράμματα, παρέχονται άλλα ονόματα που καθιερώθηκαν τοπικά και εμφανίζονται και στα έγγραφα διακίνησης.

Ξύλα του ίδιου είδους μπορεί να διαφέρουν στην ποιότητα ανάλογα με τις κλιματεδαφικές συνθήκες, τις μεθόδους συγκομιδής, την ταχύτητα κατεργασίας και την ικανότητα του προσώπου που ενεργεί την ποιοτική ταξινόμηση. Πολλές φορές διαφορετικά είδη με κάποιες ομοιότητες πωλούνται ως ένα είδος.

Για τους παραπάνω λόγους η μόνη σωστή ταξινόμηση που εξασφαλίζει τον αγοραστή είναι η βοτανική ονομασία του κάθε είδους, η οποία δίδεται από ειδικό Επιστήμονα ή Τεχνολόγο ξύλου.

### ***Βοτανική Ονομασία***

Το βοτανικό όνομα κάθε είδους ξύλου δίδεται στη λατινική γλώσσα μετά τα κοινά – εμπορικά και τα άλλα ονόματα. Η διάκριση σε πλατύφυλλο ή κωνοφόρο δίδεται με τα αρχικά Π και Κ σε παρένθεση μετά το κοινό όνομα.

Σύμφωνα με τη διεθνή πρακτική κάθε είδος δένδρου φέρει το επίσημο επιστημονικό όνομα της βοτανικής ταξινόμησης, αποτελούμενο από δύο ονόματα, το πρώτο είναι το γένος και το δεύτερο είναι ένα επίθετο που δείχνει το συγκεκριμένο είδος του γένους, π.χ. *Pinus sylvestris*. Εκτός από το διπλό όνομα του κάθε είδους, δίδεται επίσης το όνομα της οικογένειας για ακριβέστερη ενημέρωση. Το βοτανικό όνομα κάθε είδους ξύλου είναι το μόνο αναμφισβήτητο και κοινά αποδεκτό σε περίπτωση διαφωνίας.

### ***Κύρια Προϊόντα στην Αγορά***

Αναφέρονται τα προϊόντα ξύλου (πριστή ξυλεία, πελεκητή ξυλεία, στύλοι, καπλαμάδες) με τη μορφή των οποίων το συγκεκριμένο είδος απαντάται στη διεθνή αγορά

### ***ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ – ΔΟΜΗ - ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ***

Παρέχονται γενικά στοιχεία που αναφέρονται στις φυσικές ιδιότητες του ξύλου όπως, το χρώμα, το βάρος, τη σκληρότητα, τη στιλπνότητα, την υφή, την οσμή και τη γεύση.



Παρέχονται επίσης στοιχεία δομής που είναι ορατά με γυμνό μάτι, ιδιαίτερα σφάλματα του ξύλου, η χημική σύσταση, εάν αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για τη σωστή αξιοποίηση.

Σε ότι αφορά την προέλευση, αναφέρονται οι περιοχές στις οποίες αναπτύσσεται το δασικό δένδρο από το οποίο προέρχεται η ξυλεία.

## **ΒΑΡΟΣ ΞΥΛΟΥ**

Η εκτίμηση του πόσο βαρύ ή ελαφρύ είναι ένα ξύλο είναι πολύτιμη πληροφορία για τη γνώση της ταυτότητας του ξύλου και τη σωστή αξιοποίησή του.

Η πυκνότητα είναι μέτρο της μάζας που περιέχεται σε ορισμένο όγκο ξύλου και εκφράζεται με το πηλίκο μάζας προς τον όγκο του. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την πυκνότητα του ξύλου είναι: η ποσότητα του νερού που περιέχεται στη μάζα του, η δομή του ξύλου, τα εκχυλίσματα και η χημική σύσταση του ξύλου.

Η πυκνότητα του κάθε είδους δίδεται σε υγρασία 0% και 12% συνήθως.

Για να υπολογίσουμε πρακτικά το βάρος ενός ξύλου σε ένα συγκεκριμένο ποσοστό υγρασίας (από 5% έως 25%), έχοντας δεδομένο το βάρος του σε ποσοστό υγρασίας 12%, προσθέτουμε ή αφαιρούμε 0,5% του συγκεκριμένου βάρους για κάθε 1% πάνω ή κάτω από το 12%.

Η εκτίμηση του βάρους κάθε ξύλου σε σχέση με την πυκνότητα παρέχεται στον ακόλουθο πίνακα:

<b>Κατηγορία ξύλου με βάση την πυκνότητα</b>	<b>Βάρος σε kg/m<sup>3</sup> σε υγρασία 12%</b>	<b>Πυκνότητα σε υγρασία 12%</b>
Εξαιρετικά ελαφρύ	κάτω από 300	0,30 ή λιγότερο
Ελαφρύ	300-450	0,30-0,45
Μέτριο	450-650	0,45-0,65
Βαρύ	650-800	0,65-0,80
Πολύ βαρύ	800-1.000	0,80-1,00
Εξαιρετικά βαρύ	πάνω από 1.000	1,00 και πάνω

## **ΥΦΗ & ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΞΥΛΟΥ**

Ο όρος υφή του ξύλου (texture) αναφέρεται στις διαφορές των στοιχείων δομής όπως αυτά παρουσιάζονται σε εγκάρσιες επιφάνειες. Οι διαφορές αυτές αναφέρονται στο μέγεθος των κυττάρων και στην κατανομή των κυττάρων στο πρώιμο και όψιμο ξύλο και στις διαφορές πυκνότητας μεταξύ πρώιμου και όψιμου ξύλου. Η υφή διακρίνεται σε:

- **Τραχεία**, όταν έχουμε μεγάλη διάμετρο κυττάρων (πορώδες ή χονδρόπορο ξύλο)
- **Λεπτή**, όταν έχουμε μικρές διαμέτρους κυττάρων (λεπτόπορο ξύλο)
- **Ομοιόμορφη**, όταν τα κύτταρα κατανέμονται ομοιόμορφα μέσα στον ετήσιο δακτύλιο, όπως συμβαίνει με τα διασπορόπορα ξύλα με λεπτές ακτίνες, και
- **Ανομοιόμορφη**, όταν τα κύτταρα κατανέμονται ανομοιόμορφα μέσα στον ετήσιο δακτύλιο, όπως συμβαίνει στα δακτυλιόπορα πλατύφυλλα με πλατιές ακτίνες και σε κωνοφόρα με απότομη μετάβαση από πρώιμο σε όψιμο ξύλο.

Ο όρος **σχεδίαση** (grain) του ξύλου αναφέρεται στις κατά μήκος τομές του ξύλου (παράλληλα προς τον άξονα του δένδρου) και δημιουργείται από την κατανομή των δομικών στοιχείων του ξύλου, δηλαδή του εγκάρδιου και σομού ξύλου, των κυττάρων, των ακτίνων και των ρητινοφόρων αγωγών. Ο συνδυασμός της σχεδίασης με το χρώμα προσδίδει σε ορισμένα ξύλα ελκυστική εμφάνιση.

Η σχεδίαση δηλώνει ακόμη και την κατεύθυνση των δομικών στοιχείων μέσα στο ξύλο. Με βάση την κατεύθυνση των δομικών στοιχείων μέσα στο ξύλο διακρίνουμε:

- την **ευθυΐνια** (straight grain), όταν τα κύτταρα του ξύλου κατανέμονται παράλληλα προς τον άξονα του δένδρου (ευθύϊνα ξύλα).
- την **απλή στρεψοΐνια** (spiral grain), όταν τα κύτταρα του ξύλου ακολουθούν σπειροειδή διάταξη γύρω από τον άξονα του δένδρου (στρεψοΐνια ξύλα). Η στρεψοΐνια είναι σοβαρό σφάλμα του ξύλου γιατί μειώνει τη μηχανική αντοχή, ευνοεί τη ραγάδωση και στρέβλωση και δυσχεραίνει τη μηχανική κατεργασία του ξύλου.
- τη **σύνθετη στρεψοΐνια**, όταν η διεύθυνση των ινών μέσα στο ξύλο εναλλάσσεται κατά διαστήματα. Η σύνθετη στρεψοΐνια είναι σφάλμα του ξύλου, μπορεί όμως να προσδίδει στο ξύλο ελκυστική σχεδίαση, όπως στο μαόνι.
- Τη **λοξοΐνια** (diagonal grain) ή τεχνητή στρεψοΐνια, όταν η πρίση δεν γίνεται παράλληλα προς την εντεριώνη του κορμού και οι ίνες του ξύλου τέμνονται υπό γωνία.

- Την **κυματοειδή σχεδίαση** (wavy grain), όταν οι ίνες του ξύλου σχηματίζουν κυματοειδείς πτυχώσεις σε κανονική σειρά.
- Την **κατσαρή σχεδίαση** (curly grain), όταν οι ίνες σχηματίζουν κυματοειδείς πτυχώσεις σε ακανόνιστη σειρά.

Συνδυασμοί διαφόρων σχεδιάσεων, χρωστικών ανωμαλιών, σφαλμάτων δομής και μεθόδων κοπής του ξύλου δημιουργούν εντυπωσιακές εικόνες ξύλου, όπως συνδυασμός κυματοειδούς σχεδίασης και σγουρής σχεδίασης δημιουργεί εικόνα φτερών μέλισσας (beeswing) ή καθίσματος με πλάτη βιολιού (fiddleback). Συνδυασμός κυματοειδούς σχεδίασης με στρεψοΐνια δημιουργεί εικόνα κηλίδων (block mottled), κ.ο.κ.

## ***ΣΤΙΛΠΝΟΤΗΤΑ***

Η ιδιότητα των κυττάρων ορισμένων ειδών ξύλου να αντανακλούν το φως, τους προσδίδει **φυσική στιλπνότητα**, η οποία είναι συνήθως πιο έντονη στην ακτινική τομή (quartered sawn surfaces) λόγω της εμφάνισης των ακτίνων. Αυτός είναι και ένας επιπρόσθετος λόγος για τον οποίο τα διακοσμητικά ξυλόφυλλα, οι ξυλεπενδύσεις και τα παρκέτα επιδιώκεται να έχουν ακτινικές τομές.

Φυσική στιλπνότητα έχουν τα ξύλα ερυθρελάτης, φράξου, πλατάνου, φιλύρας και λεύκης.

## ***ΜΕΤΑΧΡΩΜΑΤΙΣΜΟΙ ΞΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΠΑΦΗ ΜΕ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ***

Πολλά ξύλα λόγω της χημικής τους σύστασης αποκτούν μαύρες – μελανές κηλίδες όταν έρχονται σε επαφή με σιδηρούχα σύμπλοκα (ανόργανη ύλη, ορυκτά), είτε μέσα στο έδαφος ή σε υγρές περιοχές. Αυτό οφείλεται σε αντίδραση μεταξύ του σιδήρου και των ταννινών ή των πολυφαινολών που υπάρχουν στο ξύλο. Τα σπουδαιότερα ξύλα που προσβάλλονται είναι **δρύς, καστανιά, afrormozia, makore, idigbo, kapur, obeche, Rodesian teak και καρυδιά**. Τα κωνοφόρα περιέχουν λίγες ταννίνες, αλλά ορισμένα περιέχουν παρόμοιες ουσίες και επηρεάζονται, όπως το **όρεγκον παϊν (ψευδοτσούγκα) και η σεκβόια**. Αντίδραση μεταξύ σιδηρούχων ορυκτών και άλλων χημικών όπως λ.χ. τροπολόνες προκαλούν κόκκινες κηλίδες στο ξύλο western red cedar και καφέ κηλίδες στο yellow cedar.

## ***ΟΣΜΗ***

Η οσμή του ξύλου οφείλεται στην πτητικότητα των εκχυλισμάτων, τα οποία βρίσκονται κυρίως στο εγκάρδιο ξύλο. Χαρακτηριστική είναι η αρωματική οσμή του κυπαρισσιού και του κέδρου, όπως και η ρητινώδης οσμή του πεύκου. Τα περισσότερα ξύλα χάνουν την οσμή τους κατά τη διάρκεια της κατεργασίας τους. Πολύ λίγα διατηρούν την οσμή τους.

Η οσμή του ξύλου είναι δυνατό να αποτελεί πλεονέκτημα ή μειονέκτημα ανάλογα με το προϊόν που θα παραχθεί απ αυτό. Π.χ. η καμφορά και ο κέδρος χρησιμοποιούνται ως εντομοαπωθητικά σε ντουλάπες ρούχων, ενώ για κιβώτια φρούτων και τροφίμων το ξύλο δεν πρέπει να έχει καμία οσμή ή γεύση. Όταν το ξύλο προσβληθεί από μύκητες και αποσυντεθεί αποκτά δυσάρεστη οσμή.

### **ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ**

Η παρουσία οξικού οξέως στη δρύ και στην καστανιά μπορεί να προκαλέσει τη διάβρωση μετάλλων κάτω από συνθήκες υγρασίας.

### **ΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ**

Η φυσική διάρκεια του ξύλου αναφέρεται στην αντοχή του ξύλου στις προσβολές μυκήτων όταν είναι σε επαφή με το έδαφος ή σε υγρούς εσωτερικούς χώρους, όπου η υγρασία του ξύλου μπορεί να ξεπεράσει το 20%.

Η κατάταξη που φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί, αφορά το εγκάρδιο ξύλο, ενώ το σομόφο ξύλο των διαφόρων ειδών έχει διάρκεια από 2-3 χρόνια μέχρι 10 χρόνια.

<b>Χαρακτηρισμός του ξύλου με βάση τη φυσική διάρκεια (εγκάρδιο ξύλο)</b>	<b>Διάρκεια ζωής σε επαφή με το έδαφος (χρόνια)</b>
Πολύ ανθεκτικό	Πάνω από 25 χρόνια
Ανθεκτικό	15-25
Μέτρια ανθεκτικό	10-15
Όχι ανθεκτικό	5-10
Εύφθαρτο (προσβάλλεται γρήγορα και εύκολα από μύκητες)	Λιγότερο από 5 χρόνια

Ξύλα τα οποία χρησιμοποιούνται εξωτερικά και δεν είναι σε επαφή με το έδαφος έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Εκτός από την αντοχή του ξύλου σε μύκητες, δίνονται πληροφορίες για τη συμπεριφορά του ξύλου σε ξυλοφάγα έντομα. Τα πιο επικίνδυνα για το ξύλο έντομα είναι τα ακόλουθα:

- ***Anobium punctatum*** (σαράκι ή ξυλοφάγο έντομο επίπλων), *Xestobium rufovillosum* (ρολόι του θανάτου) και *Plitinus pectinicornis*. Τα έντομα αυτά προσβάλλουν έπιπλα από οξιά, σημύδα, λεύκη και άλλα πλατύφυλλα, καθώς και από κωνοφόρα όπως τη δασική πεύκη, την ελάτη και την ερυθρελάτη.
- ***Lyctus linearis* και *Lyctus brunneus*** (λύκτοι ή παρκετοέντομα). Τα έντομα αυτά προσβάλλουν ξυλεία κυρίως πλατυφύλλων σε πριστήρια, αποθήκες και μονάδες επίπλων. Προσβάλλονται ιδιαίτερα τα ξύλα που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε άμυλο, όπως: καρυδιά, φράξος, φτελιά, χίκορι και από τα τροπικά obeche (ayous), afara, mahogany, antiaris, iroko, ramin. Η περιεκτικότητα του ξύλου σε άμυλο επηρεάζεται από την εποχή της υλοτομίας, από τη διάρκεια αποθήκευσης του ξύλου σε μορφή κορμών και από το είδος της ξήρανσης.
- ***Helotrypes bajulus*** (υλότρυπος). Προσβάλλει κυρίως στέγες από λευκή ξυλεία (ελάτη πεύκη, λάρικα, ερυθρελάτη, ψευδοτσούγκα).
- **Τερμίτες** (τάξη ισόπτερων), οι οποίοι προσβάλλουν ξύλα και κατασκευές ιδίως σε τροπικές χώρες.
- **Θαλασσινοί οργανισμοί** (μαλάκια), οι οποίοι προσβάλλουν όλα τα ξύλα της εύκρατης ζώνης αν χρησιμοποιηθούν μέσα στο θαλασσινό νερό. Ορισμένα τροπικά ξύλα που περιέχουν πυρίτιο ή τοξικά εκχυλίσματα αντέχουν σε προσβολές μαλακίων.

## ***ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ***

Για την εκτίμηση της μηχανικής αντοχής και συνεπώς της καταλληλότητας του ξύλου για συγκεκριμένη εφαρμογή, απαιτείται η γνώση των σημαντικότερων μηχανικών αντοχών του ξύλου. Οι ιδιότητες αυτές για τις σπουδαιότερες εφαρμογές του ξύλου σε δομικές κατασκευές, σε χονδροξυλουργική (στέγες), μικροξυλουργική και έπιπλα είναι οι ακόλουθες:

- A. Μέτρο θραύσης σε στατική εγκάρσια κάμψη.
- B. Μέτρο ελαστικότητας. Είναι ίσως το πιο κρίσιμο κριτήριο γιατί εκφράζει τη μηχανική αντοχή ξύλινης δοκού ή υποστηρίγματος.
- Γ. Αντοχή σε κρούση ή αιφνίδια φόρτιση.
- Δ. Αντοχή σε θλίψη παράλληλα προς τις ίνες που εκφράζει τη δυνατότητα υποστηριγμάτων μικρού ύψους να φέρουν φορτίο.

Ο Πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει την ταξινόμηση των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου με βάση την οποία κατατάσσονται όλα τα είδη ξύλου.

Ταξινόμηση μηχανικών ιδιοτήτων	Αντοχή σε κάμψη (N/mm <sup>2</sup> )	Μέτρο ελαστικότητας (N/mm <sup>2</sup> )	Μέγιστη αντοχή σε θλίψη (N/mm <sup>2</sup> )	Αντοχή σε κρούση (N/mm <sup>2</sup> )
Πολύ χαμηλή	κάτω από 50	κάτω από 10.000	κάτω από 20	κάτω από 0.6
Χαμηλή	50-85	10.000-12.000	20-35	0.6-0.9
Μέτρια	85-120	12.000-15.000	35-55	0.9-1.2
Υψηλή	120-175	15.000-20.000	55-85	1.2-1.6
Πολύ υψηλή	πάνω από 175	πάνω από 20.000	πάνω από 85	πάνω από 1.6

Πέραν αυτών χρησιμοποιούνται ως μέτρο σύγκρισης τα ακόλουθα τρία (3) γνωστά για τις αντοχές τους είδη ξύλου:

- ⇒ **Samba** με χαμηλές αντοχές – μέτρο ελαστικότητας (ME): 5.600 N/mm<sup>2</sup>.
- ⇒ **Οξιά** με καλές μηχανικές αντοχές – μέτρο ελαστικότητας (ME): 12.600 N/mm<sup>2</sup>.
- ⇒ **Greenheart** με πολύ μεγάλες μηχανικές αντοχές – μέτρο ελαστικότητας (ME): 21.000 N/mm<sup>2</sup>.

Εκτός από τις μηχανικές αντοχές, δίνεται και η πυκνότητα κάθε ξύλου σε υγρασία 0% και σε υγρασία 12%. Η πυκνότητα είναι δείκτης της μηχανικής αντοχής και της ανθεκτικότητας του ξύλου.

## **ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ & ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ ΞΥΛΟΥ**

### **Συμπεριφορά στη ξήρανση και σταθερότητα μετά την ξήρανση**

Η συμπεριφορά του ξύλου κατά την ξήρανση, αλλά και ο βαθμός σταθερότητας των διαστάσεων του ξύλου μετά τη ξήρανση και κατά τη διάρκεια της χρήσης του σε διάφορες κατασκευές αποτελούν πολύ χρήσιμα δεδομένα για τη σωστή κατεργασία και αξιοποίηση του ξύλου.

Ο χαρακτηρισμός της ταχύτητας ξήρανσης κάθε ξύλου στηρίζεται στο χρόνο που απαιτείται για να ξηραθεί σανίδα πάχους 25mm σε ξηραντήριο, από την υγρή κατάσταση (υγρασία πάνω από 60%) σε ποσοστό υγρασίας 12%. Ο Πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει την κατάταξη του ρυθμού ξήρανσης.

ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΞΗΡΑΝΣΗΣ (25mm, από υγρή κατάσταση σε Y=12%)	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΧΡΟΝΟΣ (σε εβδομάδες)
Ταχεία	Μέχρι 1,5 εβδομάδες
Αρκετά ταχεία	1,5-2,5
Σχετικά αργή	2,5-3,5
Αργή	3,5-4
Πολύ αργή	Πάνω από 4

Η εκτίμηση της μεταβλητότητας των διαστάσεων ή της σταθερότητας των διαστάσεων του ξύλου μετά την ξήρανση (movement in service) στηρίζεται στο άθροισμα της ακτινικής και εφαπτομενικής μεταβολής που προκαλείται όταν με σταθερή τη θερμοκρασία στους 25 βαθμούς Κελσίου, μεταβληθεί η σχετική υγρασία από 90% στο 60%. Οι συνθήκες αυτές ανταποκρίνονται στα δεδομένα των φυσικών μεταβολών που υφίστανται οι κατασκευές ξύλου κατά τη χρήση τους.

Ο χαρακτηρισμός της μεταβολής των διαστάσεων φαίνεται στον Πίνακα που ακολουθεί:

ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΤΗΤΑ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ
Μικρή	Κάτω του 3%
Μέτρια	3-4,5%
Μεγάλη	Πάνω από 4,5%

Σημείωση: Δεν υπάρχει άμεση σχέση της ρίκνωσης κατά την ξήρανση του ξύλου και της μεταβολής των διαστάσεων κατά τη χρήση του ξύλου σε κατασκευές. Ξύλο που παρουσιάζει μεγάλη ρίκνωση κατά την ξήρανση μπορεί να εμφανίζει μικρή μεταβολή διαστάσεων στη συνέχεια.

## **ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΞΥΛΟΥ ΣΤΟΝ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟ**

Ο χειρισμός του ξύλου με διάφορα εντομοκτόνα και μυκητοκτόνα συντηρητικά και ελαιώδεις ουσίες και ρητίνες που το καθιστούν αδιάβροχο, βρίσκει σήμερα εκτεταμένη εφαρμογή στην πράξη γιατί αυξάνει τη διάρκεια ζωής του εντυπωσιακά. Ο εμποτισμός του σομού ξύλου (το εξωτερικό τμήμα του κορμού) όλων των ειδών είναι εύκολος με εξαίρεση την ελάτη και την ερυθρελάτη. Για το λόγο αυτό, ξύλα σε στρόγγυλη μορφή κορμιδίων, που περιέχουν διαπερατό στα συντηρητικά στρώμα σομού ξύλου είναι προτιμότερα από άλλα ανθεκτικά στον εμποτισμό ξύλα.

Τα διάφορα είδη ξύλου ταξινομούνται στις ακόλουθες κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος της διαπερατότητας του σομού και εγκάρδιου ξύλου κατά τη διαδικασία εμποτισμού υπό πίεση με πισσέλαιο ή υδατοδιαλυτά συντηρητικά.

- **Διαπερατά:** Εμποτίζονται πλήρως.
- **Μέτρια ανθεκτικά:** Αρκετά εύκολα εμποτίζονται πλευρικά (εφαπτομενικά) σε ένα βάθος 18mm σε περίπου 3 ώρες εμποτισμού.
- **Ανθεκτικά:** Δύσκολο να εμποτισθούν περισσότερο από 6 mm ακόμη και μετά από μακρά περίοδο εμποτισμού.



- **Εξαιρετικά ανθεκτικά:** Αδύνατο να εμποτισθούν σε οποιοδήποτε βάθος μετά από παρατεταμένη εφαρμογή πίεσης.

## **ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΤΗΝ ΚΑΜΨΗ**

Η κάμψη (καμπύλωση) του ξύλου μετά από άτμιση είναι μία παλιά μέθοδος που χρησιμοποιείται για παραγωγή καμπύλων στοιχείων επίπλων και μικροαντικειμένων, η οποία συμβάλλει σημαντικά στην ποιοτική αναβάθμιση του παραγόμενου επίπλου. Η γνώση της συμπεριφοράς του κάθε ξύλου στη διαδικασία καμπύλωσης έχει πρακτική σημασία.

Η συμπεριφορά του ξύλου στη διαδικασία καμπύλωσης εκτιμάται από την ελάχιστη ακτίνα καμπύλωσης, στην οποία σημαντικός αριθμός πετυχημένων καμπυλώσεων μπορεί να γίνει σε δείγματα ξύλου πάχους 25 mm χωρίς σφάλματα. Τα δείγματα ξύλου πρέπει πρώτα να έχουν υποστεί άτμιση σε περιβάλλον κορεσμένο με ατμό σε ατμοσφαιρική πίεση για χρονικό διάστημα περισσότερο των 45 λεπτών αμέσως πριν την καμπύλωση.

Η ακτίνα καμπύλωσης εξαρτάται και από τη χρησιμοποίηση ή όχι λάμας υποστήριξης, καθώς και από την άσκηση πίεσης στα άκρα του δείγματος. Εναλλακτική εκτίμηση της συμπεριφοράς κάποιου ξύλου στην κάμψη μπορεί να γίνει με κρύα κάμψη επικολλητών σανίδων με υγρασία 12%.

Ο Πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει τα δεδομένα της κατάταξης των ειδών ξύλου.

<b>Ακτίνα καμπύλωσης</b> στην οποία η θραύση δεν υπερβαίνει το 5% των δειγμάτων (σε mm)	<b>Ταξινόμηση ιδιοτήτων καμπύλωσης</b> βαθμός καμπύλωσης (το δείγμα υποστηρίζεται από λάμα)
Λιγότερο από 150 mm	Πολύ καλά
150-250	Καλά
260-500	Μέτρια
510-750	Φτωχά
Πάνω από 750	Πολύ φτωχά

## **ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ**

Η συμπεριφορά του ξύλου κατά την κατεργασία του με διάφορα μηχανήματα (κοπή, πλάνισμα, τρύπημα, μορφοποίηση, λείανση) εξαρτάται από την πυκνότητα, τη δομή, τη χημική σύσταση και την ποιότητα του ξύλου.

Η αντίσταση την οποία προβάλλει το κάθε ξύλο κατά την κατεργασία του και η στόμωση (άμβλυνση) των κοπτικών εργαλείων διαφέρουν σημαντικά από είδος σε είδος. Ο βαθμός στόμωσης των εργαλείων διακρίνεται σε χαμηλό, μέσο, υψηλό, και πολύ υψηλό βαθμό στόμωσης.

Η σωστή και αποτελεσματική μηχανική κατεργασία επιβάλλει τη γνώση της συμπεριφοράς του κάθε ξύλου στις διάφορες φάσεις κατεργασίας του και την ανάλογη προσαρμογή των τεχνικών χαρακτηριστικών της μηχανικής κατεργασίας. Το κάθε ξύλο απαιτεί διαφορετικό χειρισμό στις διάφορες φάσεις της κατεργασίας του.

Η κατάταξη των ειδών ξύλου σε ότι αφορά τη συμπεριφορά τους κατά τη μηχανική κατεργασία αναφέρεται σε ξύλο ξηραμένο σε ποσοστό υγρασίας 12%. Όπου αυτό είναι εφικτό, παρέχονται πληροφορίες για την ιδιαίτερη συμπεριφορά και τις απαιτούμενες ρυθμίσεις στην κοπή, το πλάνισμα, το τρύπημα και το σκάλισμα του ξύλου. Αυτό δεν είναι πάντοτε δυνατό γιατί οι περισσότερες μηχανές πλάνισης ξύλου έχουν σταθερές θέσεις μαχαιριών και γωνίες κοπής μεταξύ 30-35 μοίρες, οι οποίες είναι κατάλληλες για τα περισσότερα κωνοφόρα.

Εάν για το πλάνισμα δύσκολων ξύλων (ξύλα με σύνθετη στρεψοϊνία) δεν είναι δυνατή η αλλαγή της κεφαλής πλάνισης, τότε η μείωση της γωνίας κοπής στις 20-15 μοίρες, μπορεί να πραγματοποιηθεί, τροχίζοντας την άκρη του μαχαιριού από την εμπρόσθια πλευρά (δηλ. από την πλευρά που σχηματίζεται η γωνία κοπής) και δημιουργώντας μία επιπλέον γωνία (front bevel angle) 15 μοιρών.

Τα πολύ σκληρά και βαριά ξύλα (αφρορμόζια, βενγκέ, κοτιμπέ, μπιλίγκα, ντουσιέ, παλίσσανδρος, παντούκ, έβενος, αμάρανθος) πολύ εύκολα ‘καίγονται’ στην επιφάνεια κατά την κατεργασία τους και ειδικά κατά το άνοιγμα οπών γεγονός που οδηγεί σε άσχημο φινίρισμα ή ανεπιτυχή συγκόλληση.

Παρέχονται επίσης πληροφορίες για τη συμπεριφορά κάθε ξύλου στο κάρφωμα και στο βίδωμα, καθώς και στη συγκόλληση. Για τις κατεργασίες αυτές, τα ξύλα χαρακτηρίζονται ως: **καλά, μέτρια και δύσκολα**. Ειδικότερα για τη συγκόλληση, υπάρχουν ξύλα που ‘λεκιάζουν’ από την αντίδραση της κόλλας με το ξύλο, όπως **δρυς, δεσποτάκι, Oregon pine, καρυδιά, καστανιά, Bilinga, Doussie, Sapele, Sipo, Wenge** και απαιτούν ειδικό χειρισμό. Άλλα πάλι που απορροφούν πολλή κόλλα κατά τη συγκόλληση, όπως **λεύκη, οξιά, σάμπα** και **σφενδάμι**.

Ξύλα που περιέχουν πολύ λάδι ή ρετσίνι και επηρεάζουν όλες τις φάσεις κατεργασίας και φινιρίσματος είναι: **Pitch pine, δασυκή πεύκη (σουηδικό) και Teak**.

### **ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΟΡΜΩΝ**

Οι κορμοί μετατρέπονται σε πριστή ξυλεία ή ξυλόφυλλα με κατά μήκος τομές. Ανάλογα με την κατεύθυνση του επιπέδου πρίσης ή κοπής του κορμού ως προς την εντεριώνη διακρίνουμε:

- την **εφαπτομενική τομή**, όταν το επίπεδο πρίσης δεν περνάει από την εντεριώνη αλλά εφάπτεται κάποιου ετησίου δακτυλίου με γωνία μικρότερη των 45 μοιρών (flat sawn). Η τομή αυτή δημιουργεί ελκυστική ατρακτοειδή σχεδίαση, η οποία προκαλείται από τους ετησίους δακτυλίους. Η καρυδιά, το τήκ και το Brazilian rosewood κατεργάζονται στην τομή αυτή.
- την **ακτινική τομή** (quarter sawn ή rift sawn), όταν η γραμμή κοπής είναι κάθετη προς τους ετησίους δακτυλίους και παράλληλη προς τις ακτίνες. Για να δημιουργήσουμε ακτινικές τομές τεμαχίζουμε τον κορμό κατά μήκος σε τμήματα, συνήθως σε 4 τεταρτημόρια. Η ακτινική τομή δημιουργεί εικόνα παράλληλων γραμμών ή ραβδώσεων, όπως η χρυσαλίδα στη δρύ, βροχή στην οξιά και δαντέλα στο πλατάνι..

### **ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΟΙΝΩΝ & ΔΙΑΚΟΣΜΗΤΙΚΩΝ ΕΥΛΟΦΥΛΛΩΝ**

Ο διακοσμητικός καπλαμάς παράγεται με **οριζόντια ή κατακόρυφη παλινδρομική τομή μαχαιριού** εναντίον τεμαχίου ξύλου, το οποίο έχει διαμορφωθεί κατάλληλα σε πρίσμα, ώστε να επιτυγχάνεται ακτινική τομή. Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι εκτύλιξης κορμών:

- **Περιστροφική τομή**, με περιστροφή του κορμού εναντίον ενός μαχαιριού σε τηρολέζα και παραγωγή συνεχούς φύλλου ξύλου.
- **Έκκεντρη περιστροφική τομή**, με έκκεντρη στερέωση και περιστροφή του κορμού ή του μισού κορμού ή τεταρτημορίου ή τμήματος του κορμοτεμαχίου σε τόρνο. Με την έκκεντρη τομή επιτυγχάνεται παραγωγή διακοσμητικού ξυλοφύλλου.

### **ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΕ ΒΑΦΗ & ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ**

Η βαφή, η στίλβωση ή το βερνίκωμα του ξύλου επηρεάζονται από τη χημική σύσταση του ξύλου, την περιεκτικότητα σε εκχυλίσματα, σε ρητίνες, σε έλαια, καθώς και τη δομή του ξύλου (λεπτόπορα ή χονδρόπορα ξύλα) και την παρουσία σφαλμάτων δομής, όπως στρεψοϊνία, ανώμαλη δομή, κ.α. Στα χονδρόπορα ξύλα και στα ξύλα με σφάλματα δομής απαιτείται πιο λεπτομερής προεργασία με περισσότερα χέρια υποστρώματος βερνικιού (*γέμισμα των πόρων*).

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ.

*ΣΥΝΑΦΗ*

*ΤΕΧΝΙΚΑ ΑΡΘΡΑ*

### **1. Εισαγωγή**

Το ξύλο (*xylem, wood*) είναι φυσικό, οικολογικό προϊόν αειφορικής διαχείρισης των δασών. Είναι υλικό «ζεστό», θερμομονωτικό, δεν οξειδώνεται, διαθέτει εξαιρετική αισθητική εμφάνιση, και από μηχανικής άποψης, έχει πολύ υψηλή μηχανική αντοχή και ελαστικότητα σε σχέση με το βάρος του. Ορισμένα κατάλληλα είδη ξύλου έχουν πολύ μεγάλη φυσική διάρκεια ζωής και διαθέτουν τεράστιες δυνατότητες αξιοποίησης σε μεγάλες κατασκευές· ορισμένες δε, με υψηλότερη αντισεισμική αντοχή. Η φύση παράγει το ξύλο δεσμεύοντας CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα, γεγονός τεράστιας οικολογικής σημασίας για τον πλανήτη μας. Η κατεργασία του ξύλου σήμερα είναι εύκολη και τα υπολείμματά του αξιοποιούνται αποτελεσματικά με σύγχρονα μέσα (βλ. χαρτοπολτό, συγκολλημένα προϊόντα, πελλέτες, βιοαιθανόλη, εκχυλίσματα) χωρίς να ρυπαίνουν το περιβάλλον. Ας μην ξεχνάμε ότι το δάσος «δουλεύει» 50 και 100 χρόνια για να παραχθεί η ξυλεία του πεύκου και του έλατου, 200 χρόνια του κέδρου και του κυπαρισσιού, 500 έως και 1000 χρόνια για να παραχθεί η ξυλεία της σεκόγιας (*Sequoia sp.*) ή/και της ελιάς. Όποιος ζει σε ξύλινη κατοικία απολαμβάνει τη ζεστασιά και το άρωμα του ασύγκριτου αυτού φυσικού υλικού. Άλλωστε αυτό φαίνεται κι από την ευρεία χρήση του στις ανεπτυγμένες χώρες της Κ. και Β. Ευρώπης, της Β. Αμερικής, της Ιαπωνίας κ.α., όπου είναι το κυρίαρχο *δομικό υλικό* σε ξύλινες ή μικτές κατασκευές εξωτερικού χώρου (Εικ. 1).

Το ξύλο όμως είναι δύσκολο υλικό. Καταρχήν, είναι *υγροσκοπικό* υλικό με πολύπλοκη εσωτερική δομή. Έχει την ιδιότητα να προσλαμβάνει υγρασία εύκολα όταν είναι ξηρό. Μάλλον δεν «αποχωρίζεται» εξαιτίας της χημικής του σύνθεσης ποτέ την υγρασία. Η γνώση του και η σωστή εφαρμογή του απαιτούν ειδικές σπουδές και τεχνική εμπειρία. Η ξήρανση του ξύλου (*wood drying*) από μόνη της αποτελεί επιστημονική περιοχή μεγάλης τεχνικής και οικονομικής σημαντικότητας. Επίσης η χρήση πολλών και διαφορετικών ειδών ξύλου (>700 είδη), εύκρατης και τροπικής ζώνης, σε διαφορετικές χρήσεις και εφαρμογές κάνει τα πράγματα ακόμα πιο περίπλοκα. Ωστόσο, δεν νοείται να κάνουμε χρήση του ξύλου με υγρασία. **Ποτέ!** Η ξυλεία πρέπει πάντοτε να βρίσκεται σε κατάσταση *ξηρή στον αέρα*, δηλ. να έχει ποσοστό κάτω από 16% τουλάχιστον. Για εσωτερικές μάλιστα χρήσεις, το ξύλο πρέπει οπωσδήποτε να έχει υγρασία μικρότερη του 10%.

Είναι απαραίτητο να γνωρίζει κανείς το ξύλο ως υλικό για να χρησιμοποιήσει τα προϊόντα του σε κατασκευές. Το ξύλο είναι *ανισότροπο* υλικό (δηλ. έχει διαφορετική συμπεριφορά στις τρεις κατευθύνσεις), με πολυσύνθετη εσωτερική δομή, και χημική σύσταση που ποικίλλει σημαντικά από είδος σε είδος. Ο άνθρωπος λαμβάνει απ' αυτό μετά από μηχανική ή/και χημική επεξεργασία πάνω από 2.000 διαφορετικά προϊόντα. Τα δεδομένα αυτά το καθιστούν άριστο δομικό υλικό, αρκεί να ακολουθηθούν ορθές πρακτικές. Περιοριζόμενοι στα δομικά προϊόντα ξύλου θα αναφέραμε ως βασικότερα: τη στρογγυλή ξυλεία, την πριστή ξυλεία, εμποτισμένη ή μη, διαφόρων ειδών κωνοφόρων και πλατυφύλλων (πέυκο, έλατο, ερυθρελάτη, λάρικα, Oregon pine, κυπαρίσσι, καστανιά, δρυ, ακακία, Iroko, Niangon, Meranti, Iπέ, Merbau, Mahoganies κ.α.), τη σύνθετη επικολλητή ξυλεία (*ghulam*) για σκελετά κτιρίων κυρίως από ερυθρελάτη και πέυκο, το κόντρα-πλακέ εσωτερικής και εξωτερικής χρήσης, τις ξυλοπλάκες OSB, διαφόρους τύπους δομικών πάνελ όπως PSL, LVL (Εικ. 1), CLT και άλλα.

## 2. Υγροσκοπικότητα του ξύλου και ποσοστό υγρασίας

Το ξύλο έχει την ιδιότητα να προσλαμβάνει υγρασία από το περιβάλλον είτε σε υγρή μορφή όταν έρχεται σε επαφή με το νερό ή σε μορφή υδρατμών απευθείας από την ατμόσφαιρα. Η ιδιότητα αυτή του ξύλου ονομάζεται *υγροσκοπικότητα*. Όταν η ισοδύναμη υγρασία του περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη από την υγρασία του ξύλου, τότε το ξύλο αποβάλλει υγρασία προς το περιβάλλον. Κατά την πρόσληψη ή την αποβολή υγρασίας το ξύλο διογκώνεται ή ρικνώνεται αντίστοιχα. Η υγροσκοπικότητα του ξύλου οφείλεται στο γεγονός ότι τα δομικά συστατικά του, κυτταρίνη, λιγνίνη και ημικυτταρίνες είναι υγροσκοπικές ουσίες οι ίδιες· κυρίως δε, η άμορφη κυτταρίνη.

Η ρίκνωση και η διόγκωση του ξύλου διαφέρει στις διάφορες κατευθύνσεις μέσα στο ξύλο, δηλ. στο πάχος, στο φάρδος και στο μήκος των δομικών ξύλινων στοιχείων. Η διαφορά αυτή μπορεί να φθάσει στο μέγιστο, μέχρι και το διπλάσιο στην εφαπτομενική κατεύθυνση των ινών (*φαρδύβεννα νερά* του ξύλου) σε σχέση προς την ακτινική κατεύθυνση ινών (*ισόβεννα νερά* του ξύλου). Δεν είναι σωστό όμως να λέμε «*συστολή*» ή «*διαστολή*» του ξύλου αλλά το ορθό είναι: ρίκνωση και διόγκωση, συνεπεία της απώλειας ή της πρόσληψης υγρασίας.

Δεν πρέπει να συγχέουμε την υγρασία του ξύλου με τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος. Την υγρασία του ξύλου την υπολογίζουμε επί τοις εκατό της ξηρής μάζας του. Δηλ. όταν λέμε ότι ένα τεμάχιο ξύλου έχει υγρασία 20% εννοούμε ότι στα εκατό μέρη απολύτως ξηρού

βάρους του συγκεκριμένου ξύλου αντιστοιχούν 20 μέρη νερού. Αυτό σημαίνει ότι εάν πάρουμε ένα τεμάχιο από το συγκεκριμένο ξύλο με βάρος 120 g, μετά τη συνεχή ξήρανσή του μέχρις ότου φύγει όλο το νερό από τη μάζα του, αυτό θα αποκτήσει ξηρό βάρος 100 g, ενώ τα 20 g νερού θα εξατμισθούν. Έτσι εξηγείται το γεγονός ότι τα πολύ ελαφρά ξύλα όταν κορεσθεί η μάζα τους με νερό, δηλ. όταν γεμίσουν όλοι οι κενοί χώροι που υπάρχουν μέσα στο ξύλο, μπορεί να αποκτήσουν υγρασία μεγαλύτερη από το 100% του ξηρού τους βάρους. Έτσι π.χ. ελαφρύ ξύλο λεύκας με ξηρή πυκνότητα 320 kg/m<sup>3</sup> θα αποκτήσει υγρασία περίπου 280% του ξηρού βάρους, δηλ. το βάρος του σχεδόν θα τετραπλασιασθεί, γιατί απλούστατα έχει πολλούς κενούς χώρους. Την υγρασία του ξύλου (%) την υπολογίζουμε από τον τύπο:

$$\text{Ποσοστό υγρασίας} = 100 \times (\text{Υγρό βάρος ξύλου} - \text{Ξηρό βάρος ξύλου}) / (\text{Ξηρό βάρος ξύλου})$$

Με πρακτικό τρόπο, την υπολογίζουμε συνήθως με τη χρήση των *ηλεκτρικών υγρομέτρων* που ερχόμενα σε επαφή με το ξύλο μας δίνουν το ποσοστό υγρασίας του (Y%). Τα πιο αξιόπιστα υγρόμετρα ξύλου είναι αυτά της τεχνολογίας *ηλεκτρικής αντίστασης*.

Από τα πολύ παλιά χρόνια, οι αρχαίοι Έλληνες, αλλά και άλλοι λαοί (Αιγύπτιοι, Κινέζοι, Ιάπωνες) είχαν εντοπίσει την τεράστια σημασία που έχει για τις κατασκευές η υγρασία του ξύλου και το φαινόμενο της ρίκνωσης και διόγκωσης. Στους κίονες του Παρθενώνα και των άλλων αρχαίων ναών μεταξύ των επιμέρους τμημάτων κάθε κίονα, δηλ. των *σφονδύλων* υπήρχαν ξύλινες *καβίλιες* (πόλοι) από ξύλο αγριελιάς ή κυπαρισσιού, οι οποίοι συνέδεαν τους σφονδύλους και τους διατηρούσαν σε κατακόρυφη θέση. Οι ξύλινοι αυτοί πόλοι ήταν ξηραμένοι και περιβάλλονταν από λεπτό στρώμα μολύβδου (*μολυβδοχόηση*) αποκλείοντας έτσι την μεταβολή της υγρασίας του αποξηραμένου ξύλου και συνεπώς διατηρούσαν αμετάβλητες τις διαστάσεις τους. Η τεχνική αυτή είχε ως αποτέλεσμα αρκετοί από τους πόλους αυτούς να υπάρχουν μέχρι σήμερα. Ανάλογη διαδικασία δόμησης με ξύλινο σκελετό και *αργολιθοδομή* εφαρμόζονταν στις Μινωικές κατασκευές κτιρίων (ανάκτορα του Μίνωα, κατοικίες στο Ακρωτήρι της Θήρας πριν από 4.000 χρόνια), στις οποίες το ξύλο του σκελετού από κυπαρίσσι και κέδρο περιβάλλονταν από τα υλικά της αργολιθοδομής (χώμα, πέτρα και άλλα πρόσθετα), διατηρώντας το ξύλο ξηρό και ως εκ τούτου με σταθερές διαστάσεις και απρόσβλητο από μύκητες και έντομα. Τα δύο αυτά ενδεικτικά παραδείγματα καταμαρτυρούν την τεράστια σημασία που ασκεί η υγρασία του ξύλου στην ποιότητα των ξύλινων κατασκευών, στη μηχανική αντοχή και στη διάρκεια ζωής των κατασκευών.



### 3. Σταθερότητα διαστάσεων του ξύλου σε χρήση

Βασικός κανόνας επιτυχίας των ξύλινων κατασκευών είναι το ξύλο τους να περιέχει υγρασία σε ένα σταθερό επίπεδο, χωρίς να ρικνώνεται ή να διογκώνεται. Με άλλα λόγια να διατηρεί σταθερές τις διαστάσεις του. Το φαινόμενο της ρίκνωσης και διογκωσης του ξύλου λαμβάνει χώρα για αυξομειώσεις της υγρασίας του ξύλου σε επίπεδο κάτω από το **30%** (*σημείο κορεσμού των ινών ή σημείο ισοκόρου*). Για μεταβολές υγρασίας πάνω από το σημείο αυτό, οι διαστάσεις του ξύλου παραμένουν σταθερές και μεταβάλλεται μόνο το βάρος του. Όλα τα ξύλα δεν έχουν την ίδια υγροσκοπικότητα. Είδη ξύλου που περιέχουν έλαια, ρητίνες ή ταννίνες (Teak, έβενος, Padauk, κέδρος, κυπαρίσσι, ελιά, ακακία, καστανιά, δρυς, λάρικα) εμφανίζουν πολύ μικρή υγροσκοπικότητα.

Όταν το ξύλο υποστεί μια πρώτη ξήρανση και έλθει σε ισορροπία με τις συνθήκες του περιβάλλοντος (θερμοκρασία και σχετική υγρασία του αέρα) στη συνέχεια, σε κάθε μεταβολή των συνθηκών του περιβάλλοντος μεταβάλλονται και οι διαστάσεις του ξύλου, αλλά σε μικρότερα μεγέθη σε σχέση με την πρώτη ξήρανση. Με άλλα λόγια μετά την πρώτη ξήρανση το ξύλο εμφανίζει μια μειωμένη μεταβλητότητα των διαστάσεων (δηλ. μειώνεται η υγροσκοπικότητα του ξύλου). Ένα ξύλο που παρουσιάζει μεγάλη ρίκνωση κατά την ξήρανση, μπορεί να εμφανίζει μικρή μεταβολή διαστάσεων (*wood movement*) στη συνέχεια. Το φαινόμενο αυτό δεν εμφανίζεται με την ίδια ένταση σε όλα τα είδη, γιατί εξαρτάται από την πυκνότητα και κυρίως από τη χημική σύσταση του ξύλου.

Με βάση τα παραπάνω κατατάσσουμε τα σπουδαιότερα είδη ξύλου που χρησιμοποιούμε στην Ελλάδα σε κλίμακα μεταβλητότητας διαστάσεων μετά την πρώτη ξήρανση, βλ. κλίμακα διαστασιακής σταθερότητας του ξύλου σε χρήση (Πίν. 1).

Ο Πίν. 1 μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο οδηγό για τη σωστή αξιοποίηση των διαφόρων ειδών ξύλου. Σημασία βέβαια έχει και το οικονομικό κόστος. Απαιτείται όμως προσοχή, διότι κάθε φορά πρέπει να συνεκτιμώνται κι άλλοι παράγοντες, ανάλογα με το είδος της κατασκευής, τον προσανατολισμό (βορράς vs. νότος), την επαφή ή όχι με το έδαφος, το ύψος βροχής και τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο θα τοποθετηθεί η κατασκευή.

Σε αρκετές περιπτώσεις ο μελετητής μηχανικός, ή ο σχεδιαστής, οφείλει να συνδυάζει υλικά μεταξύ τους για το καλύτερο ποιοτικό και τεχνικό αποτέλεσμα (Εικ. 2). Σε ιδιαίτερα projects, π.χ. κατασκευή μιας πεζογέφυρας σε εξωτερικό χώρο πρέπει να επιλεγούν είδη

ξύλου που έχουν μεγάλη πυκνότητα, μεγάλη μηχανική αντοχή, ανθεκτικότητα σε προσβολές εντόμων και μυκήτων και διαστασιακή σταθερότητα. Τέτοια ξύλα είναι τα τροπικά σιδηρόξυλα (*ironwoods*) με πυκνότητα  $>1000 \text{ kg/m}^3$ , και από αυτά, τα πιο κατάλληλα είναι το Ιρέ και το Azobé. Σε ορισμένα projects εξωτερικού χώρου, ορθή και ενδεδειγμένη δύναται να είναι και η χρήση καλά εμποτισμένου πεύκου (με αζόλες και άλατα χαλκού), εφόσον επιτρέπεται. Εντός των κατοικιών, για υποδαπέδια θέρμανση κατάλληλο είναι μεταξύ των άλλων ειδών και το Padauk με πυκνότητα  $720 \text{ kg/m}^3$  με πολύ μικρή μεταβλητότητα των διαστάσεων στις μεταβολές υγρασίας. Βέβαια στα παρκέτα στη χώρα μας κυριαρχεί η λευκή δρυς (σημ. αρκεί να είναι ξηραμένη σωστά, βλ. παρκετοέντομο). Οι μεταβολές των διαστάσεων του ξύλου με την αυξομείωση της υγρασίας που υπάρχει στη μάζα του ξύλου δεν είναι ομοιόμορφες στις διάφορες κατευθύνσεις μέσα στο ξύλο. Το γεγονός αυτό επηρεάζει σημαντικά τη στατική επάρκεια μιας ξύλινης δομικής κατασκευής, γιατί δημιουργούνται ανοίγματα και ρωγμές στα σόκορα και τα σημεία των συνδέσεων, αλλά και κατά μήκος των δομικών στοιχείων. Τα σφάλματα αυτά επηρεάζουν αρνητικά τη στατική επάρκεια και τη διάρκεια ζωής των κατασκευών. Επίσης δημιουργούν εστίες εισόδου ξυλοφάγων εντόμων, αλλά και υγρασίας, της βροχής, του χιονιού, παράγοντες που ενισχύουν την προσβολή του ξύλου από μύκητες. Τα σόκορα στα ξύλινα στοιχεία σε ξύλινες πέργκολες (Εικ. 3), κιόσκια, στέγαστρα, καλό είναι να επαλείφονται με ειδικό σφραγιστικό διάλυμα και να μην μένουν εκτεθειμένα στον καιρό, ιδίως τα κατακόρυφα στοιχεία. Οι συνέπειες αυτές είναι συχνές σε ξύλινες κατασκευές στη χώρα μας, όπου το μεσογειακό κλίμα με τις συχνές μεταβολές των καιρικών φαινομένων ευνοούν την εμφάνιση των προβλημάτων αυτών. Πρόσθετα στα κατώτερα μέρη των κολώνων πάντα θα πρέπει να χρησιμοποιούνται γαλβανισμένα ή ανοξείδωτα *μεταλλικά πέλματα* (λ.χ. ξυλεία κολώνων πεύκου ή έλατου ποτέ σε απευθείας επαφή με το έδαφος).

#### 4. Ξήρανση του ξύλου

Το ξύλο προέρχεται συνήθως από ώριμα δένδρα των δασικών οικοσυστημάτων. Μόλις ένα δένδρο υλοτομηθεί περιέχει πολλή υγρασία στη μάζα του (συνήθως  $Y > 80\%$ ). Οι κορμοί οδηγούνται στα *πριστήρια* όπου πριονίζονται στις επιθυμητές διαστάσεις και στη συνέχεια η πριστή ξυλεία ξηραίνεται είτε με φυσικό τρόπο σε υπόστεγα, είτε με τεχνητό τρόπο σε ξηραντήρια. Η ξήρανση της ξυλείας είναι ο πρώτος και σημαντικότερος αναμφίβολα χειρισμός που γίνεται αμέσως μετά την παραγωγή της και πριν αυτή χρησιμοποιηθεί σε

οποιαδήποτε ξυλοκατασκευή. Σε κάθε περίπτωση, το ξύλο πρέπει να είναι ξηραμένο σε ένα ποσοστό υγρασίας *αντίστοιχο* προς την υγρασία ισορροπίας του χώρου στον οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Οι συνθήκες του χώρου που επηρεάζουν καθοριστικά την *υγρασία ισορροπίας* είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η σχετική υγρασία του αέρα. Έτσι για έπιπλα εσωτερικού χώρου, για πατώματα, εσωτερικά κουφώματα, εσωτερικές ξυλουργικές κατασκευές, το ξύλο πρέπει να έχει υγρασία **7-9%**. Για πατώματα με ενδοδαπέδια θέρμανση και για ξύλινα καλύμματα καλοριφέρ, σάουνες και άλλες κατασκευές δίπλα σε τζάκια και θερμάστρες, η υγρασία του ξύλου πρέπει να είναι **6%**. Το ίδιο χαμηλή (6%) πρέπει να είναι και η υγρασία των ξυλόφυλλων πριν πρεσαριστούν σε κόντρα-πλακέ. Για εξωτερικά κουφώματα: υγρασία **10-12%**. Στον τομέα των εξωτερικών ξύλινων κατασκευών υπάγονται αναρίθμητες κατασκευές, όπως έπιπλα βεράντας - κήπου, μπαλκόνια, πέργκολες, παιδικές χαρές, περιφράξεις, επενδύσεις τοίχων, κιόσκια, υπόστεγα, γέφυρες, υπαίθρια πατώματα (*decks*), κατασκευές ξυλοναυπηγικής, στύλοι κ.α. Για το ξύλο εξωτερικών κατασκευών είναι δύσκολο να καθορίσει κανείς *υγρασία ισορροπίας* γιατί οι ατμοσφαιρικές συνθήκες μεταβάλλονται συνεχώς. Για πρακτικούς λόγους, το ξύλο εξωτερικών κατασκευών πρέπει να έχει υγρασία που προσεγγίζει τη μέση ετήσια υγρασία του ξύλου ξηρού στον αέρα (σε ανοικτό υπόστεγο). Ξυλεία εξωτερικών κατασκευών πρέπει να αποθηκεύεται σε ελεγχόμενη αποθήκη ή υπόστεγα και να έχει οπωσδήποτε ποσοστό υγρασίας **12-16%** πριν την τελική χρήση της.

##### **5. Βέλτιστες πρακτικές και τεχνικές συντήρησης**

Είναι απαραίτητη προϋπόθεση σε μια ξύλινη κατασκευή να τηρούνται οι βασικοί τεχνολογικοί κανόνες και πρακτικές που συνοπτικά αναλύονται στη συνέχεια:

- ✓ Κάθε ξύλινη κατασκευή απαιτεί μία περιοδική συντήρηση. Με επαρκή συντήρηση κάθε ξύλινη κατασκευή μπορεί να έχει διάρκεια ζωής πολλών ετών. Είναι ευρέως γνωστό ότι οι παλαιότερες κατασκευές στον πλανήτη είναι κατασκευασμένες εδώ και αιώνες από ξυλεία υψηλής αντοχής που υφίσταται τακτική συντήρηση (Εικ. 4α, 4β).
- ✓ Πρέπει πάντοτε να επιλέγουμε το κατάλληλο είδος ξύλου για μία συγκεκριμένη τελική χρήση, ειδικά στις εξωτερικές κατασκευές που οι απαιτήσεις αυξάνονται.
- ✓ Επιλέγουμε το κατάλληλο ξύλο ξηραμένο στο σωστό επίπεδο χωρίς σφάλματα ρόζων και ραγάδων, χωρίς σχισίματα στα σόκορα, χωρίς προσβολές μυκήτων και εντόμων. Αν απαιτείται, καλό είναι το ξύλο πεύκου ή έλατου να είναι εμποτισμένο υπό πίεση με τα επιτρεπόμενα υδατοδιαλυτά άλατα χαλκού και βορίου.

- ✓ Μετά την προσεγμένη μηχανική κατεργασία και το στήσιμο της δομικής κατασκευής, ανάλογα με το είδος της κατασκευής προβαίνουμε σε χειρισμούς που διασφαλίζουν εις το διηνεκές τη διατήρηση της υγρασίας του ξύλου στο αρχικό επίπεδο. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η ρίκνωση και διόγκωση του ξύλου και η κατασκευή διατηρεί σταθερές διαστάσεις των δομικών στοιχείων της. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι για τις περιπτώσεις βεραντών, περγκόλων, υποστέγων, περιφράξεων, καθιστικών και άλλων ξυλοκατασκευών που είναι εκτεθειμένες στην υγρασία / βροχή, το χιόνι, τον ήλιο, τη θαλάσσια αύρα, η ξύλινη κατασκευή πρέπει άμεσα να δεχθεί τις επικαλύψεις συντήρησης και βαφής. Η πλέον ενδεικνύομενη βαφή για μεγάλη διάρκεια ζωής είναι η εφαρμογή ακρυλικής λάκας εξωτερικής χρήσεως με αλκύδια στο επιθυμητό χρώμα, που εφαρμόζεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή· πρώτα το υπόστρωμα κόλλας (*αστάρι*) που γεμίζει τους πόρους του ξύλου και μετά σε δύο χέρια η λάκα. Εναλλακτική βαφή είναι η αλκυδική υδροδιαλυτή *ριπολίνη* (λαδομπογιά) εξωτερικής χρήσεως, η οποία εφαρμόζεται σε δύο χέρια, αφού πρώτα εφαρμοσθεί η βελατούρα.
- ✓ Για τις κατασκευές που βρέχονται, καλό είναι επίσης πριν από κάθε εφαρμογή βαφής να επαλείφεται με πινέλο η ξυλοκατασκευή με γνήσιο λινέλαιο αραιωμένο σε νέφτι και λίγο στεγνωτικό. Στην περίπτωση αυτή για να ακολουθήσουν οι επόμενες επικαλύψεις πρέπει να περάσει περίοδος μιας ή δύο εβδομάδων, να ακολουθήσει ελαφρύ τρίψιμο με γυαλόχαρτο και τέλος η διαδικασία βαφής. Οι παραπάνω προτεινόμενες τεχνικές εφαρμόζονται και στα εξωτερικά κουφώματα που εκτίθενται στη βροχή, ειδικά σε παλαιές κατοικίες στην επαρχία.
- ✓ Για τις ξύλινες κατασκευές που καλύπτονται σε υπόστεγο και δεν δέχονται βροχή και ήλιο, μπορεί να εφαρμοσθεί διαδικασία διαφανών ακρυλικών / αλκυδικών βερνικιών εξωτερικής χρήσεως με εγγύηση του κατασκευαστή για 10ετία. Η εγγύηση της 10ετίας πρέπει να δίνεται και για τις λάκες και ριπολίνες.
- ✓ Στην αγορά κυκλοφορούν επίσης και έγχρωμα ή διαφανή συντηρητικά βερνίκια ξύλου (βερνίκι+συντηρητικό+χρώμα), η διάρκεια των οποίων είναι σε κάθε περίπτωση μικρότερη των παραπάνω προτεινόμενων επικαλύψεων. Γενικά δεν συνιστάται βαφή ξύλινης κατασκευής εκτεθειμένης στη βροχή με διαφανές βερνίκι, εκτός και εάν ο ιδιοκτήτης είναι διατεθειμένος να βερνικώνει την κατασκευή κάθε 1 έως 2 χρόνια.

- ✓ Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται σε αυξανόμενο ρυθμό σε εξωτερικές ξύλινες κατασκευές καινοτομικά προϊόντα που έχουν υποστεί χειρισμούς σύγχρονης και εξελισσόμενης τεχνολογίας, όπως: χειρισμό χημικής τροποποίησης με χρήση οξικού ανυδρίτη (ακετυλιωμένο ξύλο ή *Accoya*), ή χειρισμό άλλης τροποποίησης (*Kebonu*, *Belmadur*, *Thermowood*, *Platowood*, ξύλο εμποτισμένο με καυτό λινέλαιο), ή επικάλυψη επιφανειών ξύλου με σκευάσματα νανοδιασπορών ψευδαργύρου, χαλκού ή/και τιτανίου. Τα ανωτέρω, νέα προϊόντα εξασφαλίζουν σταθερές διαστάσεις στο ξύλο, δηλ. δεν επηρεάζονται πολύ από τις μεταβολές των κλιματικών συνθηκών και της υγρασίας.

Εν κατακλείδι, το αντικείμενο της υγρασίας και των επιπτώσεών της στο ξύλο και τις ξύλινες κατασκευές είναι πολύ μεγάλο και πολυδιάστατο, τόσο σε έκταση όσο και σε εύρος, και είναι αδύνατο να καλυφθεί επαρκώς σε ένα συνοπτικό τεχνικό άρθρο, χωρίς αυτό να μειώνει την εκτίμησή μας για το χώρο που ευγενικά μας παραχωρήθηκε στο παρόν.

## **Βιβλιογραφία**

Building Research Establishment (1972). Handbook of Hardwoods. Ebenezer & Son Ltd Trinity Press, London.

Κακαράς, Ι. (2009). Τεχνολογία Ξύλου. Εκδόσεις «ΙΩΝ».

Κακαράς, Ι. (2013). Τεχνολογία Ξύλινων Δομικών Κατασκευών. Εκδόσεις «ΙΩΝ».

Κακαράς Ι. (2014). Ιστοσελίδα, ΤΕΙ Θεσσαλίας: <http://www.teilar.gr/~kakarass/>

Κατσαραγάκης, Ε. (2000). Ξύλινες κατασκευές. Πανεπιστημιακές εκδόσεις, Ε.Μ.Π.

Τσουμής, Ι. (1983). Επιστήμη και τεχνολογία του ξύλου. Σχολή Δασολογίας & ΦΠ, Α.Π.Θ.

Μαντάνης, Γ. (2014). Ιδιότητες ξύλου (διδασκτικές σημειώσεις), Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου, link: <http://users.teilar.gr/~mantanis/Idiotites.htm>

Mantanis, G., Terzi, E., Kartal, N., Papadopoulos, A.N. (2014). Evaluation of mold, decay and termite resistance of pine wood treated with zinc- and copper-based nanocompounds. *International Biodeterioration & Biodegradation* 90: 140-144.

Μαντάνης, Γ. (2016). Τεχνολογία ξύλινων κατασκευών ΙΙ. Εξωτερικές κατασκευές (ιστοσελίδα μαθήματος), Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου, ΤΕΙ Θεσσαλίας, link: <http://users.teilar.gr/~mantanis/Texnologia-Xylinwn-Kataskevwn.htm>

Μαντάνης, Γ. (2016). Ιστοσελίδα, ΤΕΙ Θεσσαλίας: <http://www.teilar.gr/~mantanis>

**Πίν. 1. Μεταβλητότητα διαστάσεων των βασικότερων ειδών ξύλου σε χρήση**

Μεταβλητότητα διαστάσεων	Είδος ξύλου (εμπορική ονομασία)
ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗ (κάτω του 2%)	Έβενος, Ελιά, Ιρέ, Padauk, Tatajuba, Western Red Cedar κ.α.
ΜΙΚΡΗ (κάτω του 3%)	Κυπαρίσσι, Λευκή Δρυς, Ιροκο, Καστανιά Ευρώπης και Αμερικής, Ίταμος, Teak, Jatoba, Oregon pine, Λάρικα, Wenge, Tiama, Zebrawood, Mahogany African, Makore, Red Meranti, Merbau, Padauk, Rosewood Honduras, Σεκόγια (Californian redwood) κ.α.

**Εικ. 1. Ξύλινη πεζογέφυρα από καινοτομικό υλικό ξύλου, συνδυασμένη με σκέπαστρο για προστασία όλης της κατασκευής από τον καιρό και την υγρασία**



***Εικ. 2. Σύγχρονη καινοτομική κατασκευή ξύλου & μετάλλου (παγκάκι) στο ΤΕΙ Θεσσαλίας***



*Σχεδιαστής: Αποστόλης Θεοδώρου*

***Εικ. 3. Ξύλινη τοξωτή πέργκολα ως κατασκευή υψηλής αισθητικής αξίας***



*Εικ. 4α. Παραδοσιακή ξύλινη γέφυρα στην Ιαπωνία ηλικίας 400 ετών (Kintai bridge)*



*Εικ. 4β. Παλιός ξύλινος ορθοστάτης από τη Μονή Μεγάλου Μετεώρου (ηλικίας >400 ετών)*





**Μαντάνης Γ.** (2016). *Καυσόξυλα και pellets: αλήθειες και ψέματα*. Άρθρο στην εφημερίδα 'Νέος Αγών', Καρδίτσα, 25-11-2016.

---

Οι περισσότερες κατοικίες στις μέρες μας διαθέτουν τζάκι, κι έτσι οι οικογένειες απολαμβάνουν τη ζεστασιά και τη θαλπωρή του. Είναι αλήθεια ότι δεν είναι κατάλληλα όλα τα ξύλα για καύσιμη ύλη. Άλλα είδη είναι κατάλληλα για «προσάναμμα», άλλα είδη είναι κατάλληλα για την κυρίως καύση. Τα πιο κατάλληλα είδη είναι η δρυς, η ελιά και το πουρνάρι. Η οξιιά, το έλατο και άλλα είδη οπωροφόρων δένδρων (μηλιά, κερασιά, αμυγδαλιά), ανάλογα με την περιοχή, επίσης χρησιμοποιούνται. Διαλέγουμε καυσόξυλα νωρίς που τα προμηθευόμαστε έγκαιρα. Είναι αλήθεια ότι τα καλύτερα καυσόξυλα είναι αυτά που έχουν αποθηκευτεί για διάστημα μεγαλύτερο από δύο χρόνια και έχουν πλήρως ξηραθεί. Τα ξύλα πρέπει να αποθηκεύονται σε στεγασμένο και συνεχώς αεριζόμενο χώρο, και η περιεχόμενη υγρασία τους πρέπει να είναι **κάτω από 20%**.



Δεν έχει σημασία που άλλαξε η νομοθεσία (δηλ. να πωλούνται με τον όγκο τα καυσόξυλα), η κατάσταση παραμένει η ίδια. Ψέματα είναι ότι η κατάσταση στην ελληνική αγορά των καυσοξύλων έχει βελτιωθεί, αφού εξακολουθούν σήμερα να πωλούνται καυσόξυλα «χλωρά» με υγρασίες 40% έως 70%! Τα πεύκα ως ξύλα είναι ακατάλληλα για αργή και σταθερή καύση. Καλύτερα να τα έχουμε για προσανάμματα. Σ' αυτό βοηθά και η παρουσία του εξαιρετικά εύφλεκτου ρετσινιού που περιέχουν. Ορισμένοι καταναλωτές αγοράζουν *δαδοποιημένο ξύλο* (δαδί), δηλ. ξύλο πεύκου με υψηλή συγκέντρωση ρετσινιού, ως προσάναμμα. **Είναι αλήθεια ότι τα πεύκα είναι πολύ επικίνδυνα για κυρίως καύση**. Δεν θα πρέπει να καίμε καυσόξυλα πεύκων διότι παραμονεύει ο κίνδυνος της πυρκαγιάς (βλ. ανεξέλεγκτη καύση), ειδικά στα τζάκια. Με βάση στοιχεία της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας, πέρυσι είχαμε αρκετά περιστατικά πυρκαγιών εξαιτίας χρήσης πεύκων.

Για λόγους ασφάλειας αλλά και καλύτερης απόδοσης, προτιμούνται τα τζάκια με κλειστή εστία: ακόμα καλύτερα είναι τα *ενεργειακά τζάκια*. Το σπινθηροβόλημα του τζακιού είναι σίγουρα ευχάριστο και ρομαντικό αλλά μπορεί να αποβεί επικίνδυνο για τα χαλιά, τις μοκέτες, τα έπιπλα και το σπίτι μας! Το τρίξιμο των καυσόξυλων και το «σκάσιμό» τους προκαλούν εκσφενδονισμό κομματιών, γι' αυτό χρήσιμο είναι να προστατεύουμε το σαλόνι και το καθιστικό μας από τη φωτιά τοποθετώντας ειδικό τζάμι ή πλέγμα για προστασία. Δεν αφήνουμε ποτέ χωρίς επίβλεψη το τζάκι, ειδικά αυτό με ανοιχτή εστία. Επιπρόσθετα, **πρέπει να αποφεύγεται η καύση παλιών επίπλων** π.χ. μοριοπλακών (νοβοπάν), ινοπλακών, κόντρα-πλακέ διότι περιέχουν ρητίνες, συνθετικά υλικά και χημικές ουσίες που όταν καίγονται παράγουν τοξικές αναθυμιάσεις (*διοξίνες*). Είναι αλήθεια λοιπόν ότι τέτοια υλικά είναι «κίνδυνος-θάνατος».

Μια πολύ καλή, εναλλακτική λύση είναι τα pellets που είναι συμπιεσμένη ξυλώδης ύλη, 100% αποτελούμενη από ξύλο. Αρκεί να είναι πιστοποιημένα σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα ποιότητας EN 14961-2, και το νέο EN ISO 17225-2 και να φέρουν την αντίστοιχη σήμανση ENplus. Τα pellets πλεονεκτούν στο ότι έχουν χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση και καίγονται πολύ αργά. Η υγρασία τους είναι περιορισμένη (περίπου 8-10%), παράγουν πολύ λιγότερο καπνό και δεν περιέχουν χημικά πρόσθετα. Είναι ψέματα ότι όλα τα pellets είναι κατάλληλα για καύση. Αφού υπάρχουν αρκετές παρτίδες στην αγορά όπου το προϊόν δεν φέρει σήμα πιστοποίησης και είναι αμφιβόλου ποιότητας. Τα ελεγμένα pellets είναι άριστα προϊόντα. Οι καταναλωτές οφείλουν να ελέγχουν τα έγγραφα που συνοδεύουν κάθε προϊόν (οποιασδήποτε προέλευσης) και **να ζητούν τα πιστοποιητικά ποιότητας των pellets που αγοράζουν**. Τα ειδικά αυτά 'καυσόξυλα' (pellets) απαιτούν ειδική εστία καύσης και βέβαια την ανάλογη οικονομική επένδυση (4.000-5.000 ευρώ). Τέλος, είναι μεγάλη αλήθεια ότι το ξύλο (ως καυσόξυλα ή πέλετ) δεν γίνεται και δεν μπορεί να αντικαταστήσει εξ' ολοκλήρου βασικές καύσιμες ύλες, όπως φυσικό αέριο, αλλά μόνο να παίζει συμπληρωματικό ρόλο στην αγορά. Γι' αυτό και στις ανεπτυγμένες χώρες του κόσμου (Δ. Ευρώπη, Β. Αμερική) κυρίαρχο καύσιμο είναι σήμερα το φυσικό αέριο με ασήμαντες επιβλαβείς εκπομπές και σχεδόν άριστη καύση. Είναι μακράν το καλύτερο καύσιμο για κατοικίες. Ωστόσο, στην Ευρώπη αναμένεται ότι τα pellets θα ξεπεράσουν σε παραγωγή τις επόμενες δεκαετίες πολλά από τα συμβατικά καύσιμα: στη δε χώρα μας, η αγορά του φυσικού αερίου θα πρέπει για πολλούς λόγους να επεκταθεί σε όλη την ελληνική περιφέρεια.

**Μαντάνης Γ.** (2003). *Κυάνωση: πως προκαλείται και πως αντιμετωπίζεται; Περιοδικό 'ΕΠΙΠΛΕΟΝ', τεύχος 4, σελ. 54-55.*

---

Η *κυάνωση (bluestain)* είναι η πιο γνωστή και σοβαρή προσβολή ξύλου που παρατηρείται στη χώρα μας (βλ. εικόνα). Η κυάνωση οφείλεται σε χρωστικούς μύκητες του γένους *Ceratomyces* που προσβάλλουν το ξύλο μετά την υλοτομία των δένδρων ή και μετά την πρίση του ξύλου προτού να γίνει η ξήρανση, εφόσον υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες υγρασίας ξύλου (πάνω από 20%), οξυγόνου και θερμοκρασίας αέρα (23-30°C). Οι μύκητες αυτοί τρέφονται με υδατάνθρακες που υπάρχουν μέσα στα παρεγχυματικά κύτταρα του ξύλου. Προσβάλλουν συνήθως το σομό ξύλο κορμών ή πριστών πεύκης (κυρίως μαύρης & δασικής πεύκης), ερυθρελάτης, και σπανιότερα οξιάς, δρυός, φράξου και λεύκης.

Η κυάνωση, ωστόσο, θα πρέπει να τονισθεί, ότι **δεν είναι σήψη** (σάπισμα) του ξύλου. Το κυανωμένο ξύλο διατηρεί την αντοχή του και μπορεί να υποστεί κατεργασία και βαφή. Η μόνη δυσμενής επίδραση που παρατηρείται είναι η μείωση της αντοχής σε κρούση κατά 15-30%. Ξύλο με έντονη κυάνωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε κατασκευή, εκτός περιπτώσεων που υποβάλλεται σε κρούση, όπως λ.χ. σκάλες, κριώματα, αθλητικά είδη και στείλιάρια.

Ακόμα, η αλλαγή του φυσικού χρώματος στο κυανωμένο ξύλο μειώνει την αισθητική αξία του, ενώ ταυτόχρονα δημιουργεί την εντύπωση ότι το ξύλο έχει σαπίσει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αποκλείεται η κυανωμένη ξυλεία από κατασκευές, όπως λ.χ. έπιπλα και κουφώματα. Η τιμή της ξυλείας αυτής και των προϊόντων της μειώνεται μέχρι και 50%.

Από τη συνολική παραγωγή πεύκης στην Ελλάδα, κυανώνεται περίπου το 70-80%, ενώ η συνολική παραγωγή πεύκης είναι περίπου 150.000 m<sup>3</sup> το χρόνο (στοιχεία έτους 2000). Υπολογισμοί σε συγκεκριμένη μελέτη έδειξαν ότι η οικονομική ζημιά που προκαλείται από την κυάνωση κάθε χρόνο είναι της τάξης των 4 δισεκατομμυρίων δρχ. σε τιμές του 1998 (Πηγή: Ι. Κακαράς, 2000).

#### **Πως αποφεύγεται η κυάνωση;**

Για να αποφευχθεί η κυάνωση του ξύλου, θα πρέπει:

- οι υλοτομίες να διενεργούνται στο δάσος κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όταν η θερμοκρασία είναι κάτω από 20°C,



### *Κυάνωση ξύλου πεύκης*

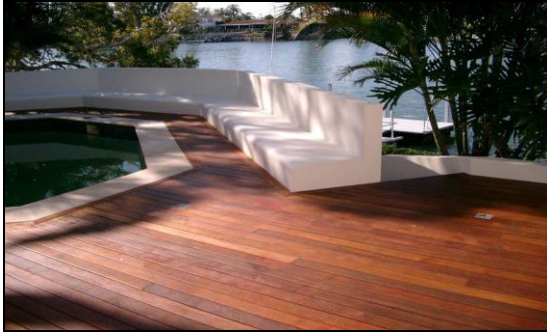
- ✚ η διακίνηση των κορμών για πρίση και ξήρανση στο πιστήριο να γίνεται το συντομότερο δυνατό,
- ✚ οι κορμοί πρέπει να διατηρούνται μέχρι να πρισθούν μέσα σε νερό ή με συνεχή καταϊωνισμό, ώστε η υγρασία του ξύλου να παραμένει υψηλή,
- ✚ μετά την πρίση, τα πριστά πρέπει να οδηγούνται για ξήρανση σε ειδικά ξηραντήρια ή να γίνεται φυσική ξήρανση σε χώρο με καλό αερισμό και σωστή στοίβαξη των πριστών, και
- ✚ να υπάρχει δυνατότητα ψεκασμού των κορμών, αμέσως μετά την υλοτομία, ή των πριστών με ειδικά μυκητοκτόνα διαλύματα.

Δυστυχώς στην χώρα μας, οι υλοτομίες γίνονται το καλοκαίρι, οι κορμοί παραμένουν στο δάσος για μήνες, όπως επίσης παραμένουν και στα πιστήρια χωρίς προστασία με αποτέλεσμα να προσβάλλεται μεγάλο μέρος της συνολικής παραγωγής.

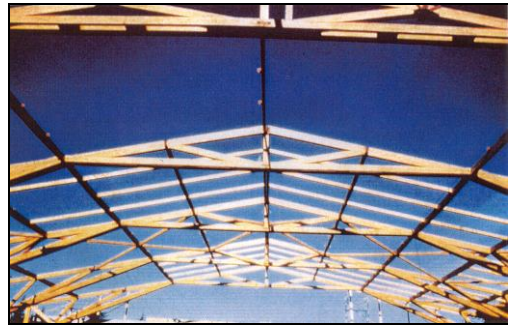
Σίγουρα, ο αποτελεσματικότερος τρόπος, τουλάχιστον για τις συνθήκες της χώρας μας, είναι ο ψεκασμός της στρογγύλης ή πριστής ξυλείας με αραιά διαλύματα ειδικών μυκητοκτόνων που προστατεύουν το ξύλο με ασφάλεια, χωρίς να το αφήνουν εκτεθειμένο στον κίνδυνο προσβολής από μύκητες κυανόχρωσης ή άλλους μύκητες.

Η χώρα μας είναι ελλειμματική σε ξύλο. Έτσι, οι μεγαλύτερες ποσότητες ξυλείας σήμερα εισάγονται από το εξωτερικό. Τα περισσότερα ελληνικά δάση στις μέρες μας είναι «μη παραγωγικά» δάση που παράγουν κυρίως καυσόξυλα και μόνο μικρές ποσότητες τεχνικής ξυλείας, δηλ. ξυλείας με καλή ποιότητα και χωρίς σφάλματα. Στο εμπόριο, τα είδη που προέρχονται από τα ελληνικά δάση είναι κυρίως ελάτη, οξιά, μαύρη πεύκη και λεύκη (από φυτείες). Παλαιότερα παράγονταν αρκετές ποσότητες και από άλλα είδη ξύλου, π.χ. καστανιά, καρυδιά, κυπαρίσσι, φράξο (*δεσποτάκι, μέλιο*), φτελιά (*καραγάτσι*), λευκόδερμη πεύκη (*ρόμπολο*), άρκευθο (*κέδρο*), σφενδάμι (*κελεμπέκι*) και φιλύρα (*φλαμούρι*). Σήμερα τα είδη αυτά είναι σπάνια και τα περισσότερα στην ελληνική αγορά είναι εισαγόμενα.

Τα είδη ξύλου χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στα κωνοφόρα και στα πλατύφυλλα ξύλα. Στην αγορά, τα ξύλα αυτά είναι γνωστά με τις ονομασίες «*μαλακή ξυλεία*» (ξύλο κωνοφόρων) και «*σκληρή ξυλεία*» (ξύλο πλατυφύλλων). Ξύλο που προέρχεται από τις χώρες της Δυτικής και Κεντρικής Αφρικής, της Λατινικής Αμερικής και της Νοτιοανατολικής Ασίας ονομάζεται τροπική ξυλεία. Μαλακή ξυλεία εισάγεται σήμερα κυρίως από τη Σουηδία, τη Φινλανδία, τη Ρουμανία, τη Ρωσία, τη Βουλγαρία, την Αυστρία, τη Γερμανία, τη Σλοβακία και άλλες χώρες. Πολλές φορές χρησιμοποιείται και ο όρος «*λευκοξύλεια ή λευκή ξυλεία*» όταν στο εμπόριο αναφερόμαστε σε ξυλεία ελάτης ή ερυθρελάτης προέλευσης κυρίως από τη Ρωσία (*Ρωσική ξυλεία*), τη Σκανδιναβία κ.α. Επίσης, στη χώρα μας εισάγεται σκληρή ξυλεία, όπως οξιά, δρύες, καρυδιά, καστανιά, φλαμούρι, κερασιά, σφενδάμι, σημύδα κ.α. από τη Ρωσία, τη Σερβία, την Τσεχία, τη Ρουμανία, τη Σλοβενία και τις χώρες της Βαλτικής. Από τις χώρες της Ν.Α. Ασίας (Ινδονησία, Μαλαισία) εισάγονται τα είδη Meranti, Bangkirai, Merbau, Teak, ενώ από την Αφρική εισάγονται Iroko, Mahogany, Sapele, Ajous, Bete, Limba (Fraké), Niangon, Abura (Bahia), Doussie, Azobé κ.α. Από τη Βόρεια Αμερική (ΗΠΑ, Καναδάς) εισάγεται ξυλεία ψευδοτσούγκας (*Oregon pine*), αμερικάνικων πεύκων (*Pitch pine*), κερασιάς, κόκκινης δρυός, σφενδαμιού (maple), λεύκης (aspen), yellow poplar (δεν είναι λεύκη) κ.α. Τα τελευταία χρόνια γίνονται περιορισμένες εισαγωγές και από την Αυστραλία.



*Εξωτερικό δάπεδο από ξύλο Merbau*



*Στέγη από επικολλητή ξυλεία πεύκης*

Τα προϊόντα που μπορούμε να παράγουμε σήμερα από ξύλο με μηχανική ή χημική κατεργασία ξεπερνούν τα 2.000. Κυριότερο προϊόν στις αναπτυγμένες χώρες του πλανήτη είναι το χαρτί, ενώ στις φτωχές χώρες της Αφρικής και της Ασίας, η βασική χρήση του ξύλου είναι ως καύσιμη ύλη (*καυσόξυλα*).

Στις διάφορες ξυλοκατασκευές και προϊόντα που συναντάμε σήμερα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως πριστή ξυλεία, δηλ. σανίδια, μαδέρια, καδρόνια, δοκάρια και κολώνες. Αυτές οι κατασκευές μπορεί να είναι είτε δομικές, είτε έπιπλα, είτε άλλες ξυλουργικές κατασκευές, αντικείμενα, εργαλεία ή εφαρμογές στην ξυλοναυπηγική. Ενδεικτικά αναφέρονται: στέγες, πατώματα, ταβάνια, μπαλκόνια, σκάλες, ξύλινα σπίτια, θερμοκήπια, ξυλότυποι, ξυλοκατασκευές υπαίθρου, περιφράξεις, ηχοπετάσματα, στρωτήρες, έπιπλα, μέσα συσκευασίας και πολλά άλλα.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη χρήση ενός είδους ξύλου σε μία κατασκευή - εφαρμογή μπορεί να σχετίζονται με οικονομικούς, τεχνικούς ή και αισθητικούς λόγους. Κρίσιμη σημασία μπορεί να έχουν ορισμένες ιδιότητες του ξύλου, π.χ. η σκληρότητα, το βάρος (πυκνότητα), η φυσική διάρκεια (ανθεκτικότητα) στις κλιματικές συνθήκες, την υγρασία, τους μύκητες και τα έντομα, η σταθερότητα διαστάσεων στις μεταβολές της υγρασίας κ.α.



*Εσωτερική σκάλα από Iroko*



*Δρυς: από τα κυριότερα καυσόξυλα*

Μελέτες που έγιναν τα τελευταία χρόνια στο *Εργαστήριο Τεχνολογίας Ξύλου* του ΤΕΙ Λάρισας έδειξαν ότι τα είδη ξύλου (ευρωπαϊκά, τροπικά) χρησιμοποιούνται σήμερα στην ελληνική αγορά ως ακολούθως:

<i>Εφαρμογές &amp; χρήσεις</i>	<i>Είδη ξύλου</i>
Στέγες, μπαλκόνια, ταβάνια	<i>Δασική πεύκη, μαύρη πεύκη, ελάτη και δευτερευόντως ερυθρελάτη, κυπαρίσσι</i>
Προκατασκευασμένα ξύλινα σπίτια	<i>Δασική πεύκη, σιβηρική πεύκη, ελάτη, ερυθρελάτη και λάρικα</i>
Πεζογέφυρες & γέφυρες	<i>Μαύρη πεύκη, Ιρέ, Azobé</i>
Αποβάθρες & ξυλοκατασκευές σε λιμάνια	<i>Iroko, εμποτισμένη ξυλεία πεύκης, σιδηρόξυλα Ιρέ - Azobé</i>
Κατασκευές ξυλοναυπηγικής	<i>Iroko, χαλέπιος και τραχεία πεύκη, Mahogany, φτελιά και δευτερευόντως ψευδοτσούγκα (Oregon pine), κυπαρίσσι, Teak, ευκάλυπτος και δρυς</i>
Στύλοι	<i>Εμποτισμένη μαύρη πεύκη &amp; δασική πεύκη</i>
Ξυλεία θερμοκηπίων	<i>Εμποτισμένη μαύρη &amp; δασική πεύκη, εμποτ. ελάτη</i>
Ξυλοκατασκευές υπαίθρου (κιόσκια, τραπεζόπαγκοι, κ.α.)	<i>Εμποτισμένη με βορικά άλατα μαύρη πεύκη και δασική πεύκη</i>

Εξωτερικά & εσωτερικά κουφώματα	<i>Iroko, δρυς, Meranti, Niangon, Mahogany, δασ. πεύκη και δευτερευόντως καστανιά και καρυδιά</i>
Δάπεδα & παρκέτα	<i>Δρυς, Doussie, Iroko, Sapele, Niangon, Merbau, Padauk, Bubinga, Wenge, Ipé, Mahogany, καρυδιά, οξιά, δεσποτάκι, πεύκη, σφενδάμι, καστανιά κ.α.</i>
Δάπεδα εξωτερικού χώρου (decking)	<i>Merbau, Bangkirai, Ipé, Iroko, Azobé, δρυς, λάρικα, θερμικά τροποποιημένη ξυλεία πεύκης &amp; ερυθρελάτης</i>
Έπιπλα	<i>Οξιά, δρυς, δεσποτάκι, αμερικάνικη λεύκη, Limba, Sapele, κερασιά, σφενδάμι, καρυδιά, πεύκη κ.α.</i>
Μοριοπλάκες & ινοπλάκες (MDF)	<i>Μαύρη πεύκη, δασική πεύκη, βαλκανική πεύκη οξιά και λεύκη</i>
Ευλόφυλλα και διακοσμητικοί καπλαμάδες	<i>Wenge, Bete, κερασιά, Aniegre, Sipo, Sapele, Teak, καρυδιά, σφενδάμι, σημύδα, δεσποτάκι, Okoume, Abura, Iroko, Padauk, Mahogany κ.α.</i>
Εύλινα μέσα συσκευασίας παλέτες, κιβώτια, καφάσια κ.α.	<i>Μαύρη πεύκη, ελάτη, λεύκη και δευτερευόντως φλαμούρι και οξιά</i>
Παιδικά παιχνίδια	<i>Οξιά, Limba, Ajous και δευτερευόντως ελάτη, φλαμούρι, ερυθρελάτη, πεύκη, rubberwood</i>
Βαρέλια	<i>Δρυς, καστανιά και σε μικρότερο βαθμό λευκόδερμη πεύκη (ρόμπολο) &amp; οξιά (μόνο για βαρέλια τυριού)</i>
Σκάλες εσωτερικού χώρου	<i>Iroko, δρυς, οξιά, Doussie, δασική πεύκη, Teak</i>
Ευλόγλυπτα & είδη λαϊκής τέχνης	<i>Φλαμούρι, οξιά, δρυς, ελιά, ρόμπολο, καρυδιά κ.α.</i>
Τορνευτά, μικροαντικείμενα	<i>Ελιά, Limba, Ajous, φλαμούρι, οξιά, κέδρος, ιτιά</i>
Μουσικά όργανα	<i>Ερυθρελάτη, ελάτη, σφενδάμι - φτελιά, μουριά, καρυδιά - έβενος, παλίσανδρος κ.α.</i>
Είδη καλαθοπλεκτικής	<i>Ιτιά, λυγαριά</i>
Κυψέλες	<i>Δασική και μαύρη πεύκη, σιβηρική πεύκη, ελάτη</i>
Κορνίζες	<i>Limba, δρυς, οξιά, Ajous, Aniegre, δεσποτάκι κ.α.</i>
Καυσόξυλα	<i>Δρυς, οξιά, ελιά, ελάτη, πουρνάρι, και δευτερευόντως πεύκο, αριά, κουμαριά, φιλύκι, μηλιά, αμυγδαλιά</i>
Ευλοκάρβουνα	<i>Πουρνάρι, δρυς, οξιά, αριά</i>
Σπίρτα	<i>Λεύκη, ερυθρελάτη, ιτιά</i>



Οδοντογλυφίδες	<i>Λεύκη, οξιά</i>
Ρητίνη (ρετσίνι)	<i>Χαλέπιος πεύκη και τραχεία πεύκη</i>
Χριστουγεννιάτικα δένδρα	<i>Ελάτη και ερυθρελάτη</i>

Σε κάθε περίπτωση, η γνώση των ιδιοτήτων του ξύλου είναι απαραίτητη τόσο από τεχνολογική όσο και από πρακτική άποψη. Κι αυτό γιατί η ακριβής γνώση των ιδιοτήτων του ξύλου βοηθά τον νέο *Σχεδιαστή & Τεχνολόγο ξύλου και επίπλου* να καταλάβει τη συμπεριφορά του ξύλου ως υλικού. Γιατί απλά οι κατασκευές και τα προϊόντα ξύλου που συναντάμε στην αγορά αλλά και καθημερινά γύρω μας δείχνουν τη στενή σχέση που υπάρχει μεταξύ των ιδιοτήτων του ξύλου και των δυνατοτήτων του ως δομικό & κατασκευαστικό υλικό ή υλικό επιλοποιίας. Αναμφίβολα, η επιλογή του κατάλληλου είδους ξύλου για μία συγκεκριμένη χρήση - εφαρμογή προϋποθέτει την παραπάνω γνώση.

Το ξύλο είναι ένα άριστο υλικό με πολλά πλεονεκτήματα, αλλά και με μειονεκτήματα. Είναι μια ανανεώσιμη πρώτη ύλη η οποία προσφέρεται σε μια ποικιλία σχεδιάσεων και χρωμάτων, ανάλογα με το είδος του ξύλου από το οποίο προέρχεται. Είναι μονωτικό υλικό και αποτελεί την πρώτη ύλη από την οποία μπορεί ο άνθρωπος να παράγει με μηχανική ή χημική κατεργασία πάνω από 2.000 προϊόντα. Τα βασικά μειονεκτήματα του ξύλου αναφέρονται στο γεγονός ότι είναι ανισότροπο και ανομοιογενές υλικό, το οποίο ως προϊόν βιολογικών διεργασιών προσβάλλεται από μύκητες, έντομα, βακτήρια και άλλους μικροοργανισμούς.

Το ξύλο αποτελείται από κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη και εκχυλίσματα. Τα δύο πρώτα συστατικά είναι υγροσκοπικά και για το λόγο αυτό το ξύλο είναι και αυτό υγροσκοπικό, δηλ. όταν εκτίθεται στην ατμόσφαιρα προσλαμβάνει υγρασία και διογκώνεται ή χάνει υγρασία από τη μάζα του και ρικνώνεται. Εκτός από τα μειονεκτήματα αυτά, το ξύλο καίγεται. Για να αντιμετωπίσουμε τα μειονεκτήματα του ξύλου, το υποβάλλουμε σε διάφορους χειρισμούς, όπως είναι ο εμποτισμός της μάζας του με διάφορες χημικές ουσίες, ανάλογα με την τελική χρήση του προϊόντος. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να προστατεύσουμε την κατασκευή μας από προσβολές μυκήτων (δηλ. από σάπισμα), από προσβολές ξυλοφάγων εντόμων και άλλων μικροοργανισμών. Υπάρχουν επίσης χημικές ουσίες - εμποτιστικά ξύλου, με τις οποίες καθιστούμε το ξύλο πιο βραδύκαυστο, ενώ με άλλες ουσίες το ξύλο αποκτάει σταθερές διαστάσεις. Με τους χειρισμούς εμποτισμού του ξύλου πολλαπλασιάζουμε τη διάρκεια ζωής της κατασκευής μας. Ένα ξύλινο σπίτι το οποίο συντηρείται έχει απεριόριστη διάρκεια ζωής.

Υπάρχουν πάμπολλες ξύλινες κατοικίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για 200 και 500 χρόνια, με μόνη φροντίδα την συντήρηση του ξύλου με προστατευτικά συντηρητικά. Οι ξύλινοι στύλοι των δικτύων ηλεκτρισμού, τηλεπικοινωνιών και οι στρωτήρες σιδηροδρόμων είναι επίσης σημαντικές εφαρμογές ξύλου, οι οποίες με τον προληπτικό εμποτισμό του ξύλου δεκαπλασιάζουν τη διάρκεια ζωής της κατασκευής. Ένας στύλος ΔΕΗ χωρίς εμποτισμό διαρκεί 5 χρόνια, ενώ ένας εμποτισμένος διαρκεί πάνω από 40 χρόνια. Υπολογίζεται ότι εάν δεν γινόταν εμποτισμός των δικτύων αυτών και των στρωτήρων σιδηροδρόμων, τα δάση του πλανήτη θα είχαν υποστεί ανεπανόρθωτη καταστροφή. Άρα η προστασία του ξύλου με χρήση εμποτιστικών είναι μια διαδικασία που προστατεύει τα δάση χωρίς τα οποία δεν

μπορεί να υπάρχει ζωή στον πλανήτη μας. Να σημειώσουμε εδώ ότι η προστασία του ξύλου ήταν γνωστή από τους αρχαίους χρόνους. Το χρυσελεφάντινο άγαλμα του Δία (ένα από τα επτά θαύματα του αρχαίου κόσμου) το συντηρούσαν οι αρχαίοι Έλληνες με κεδρέλαιο επί αιώνες. Στη Βίβλο αναφέρεται ότι η κιβωτός του Νώε ήταν συντηρημένη εξωτερικά με πίσσα (κατράμι: υγρό το οποίο παράγεται κατά τη διαδικασία παραγωγής ξυλανθράκων, το οποίο έχει μυκητοκτόνες και εντομοκτόνες ιδιότητες και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα).

Βέβαια πολλές κακές πρακτικές έχουν γίνει μέχρι σήμερα, ανά τον κόσμο, με χρήση πολύ τοξικών ουσιών όπως π.χ. πενταχλωροφαινόλη σε εμποτισμό του ξύλου (βλ. αγορά της Β. Αμερικής) με πολλά αρνητικά αποτελέσματα και αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.



**Θερμοκήπιο**



**Στύλος της ΔΕΗ**

Ένα απλό παράδειγμα στη σημερινή πραγματικότητα αποδεικνύει το πόσο σκόπιμο είναι να χρησιμοποιούμε εμποτισμένο ξύλο σε κατασκευές. Μια συμβατική ξύλινη στέγη έχει μια φυσιολογική διάρκεια ζωής 30 χρόνια εφόσον η ξυλεία που χρησιμοποιήσαμε ήταν χωρίς προσβολές και χωρίς εμποτισμό. Είναι φυσιολογικό στα 20 χρόνια της κατασκευής μας να αρχίσουμε να ανησυχούμε για προσβολές από έντομα και μύκητες. Η ίδια στέγη κατασκευασμένη με το ίδιο ξύλο αλλά εμποτισμένη υπό πίεση με βορικά άλατα, κοστίζει 10% του συνολικού κόστους περισσότερο και έχει 5πλάσιο χρόνο ζωής. Το ίδιο ισχύει για ξύλινες κατασκευές εξωτερικού χώρου ή σε επαφή με το έδαφος (περιφράξεις, κιόσκια, σκέπαστρα, πέργκολες, κατασκευές χώρων αναψυχής, ζαρντινιέρες, κ.α.).

Πρέπει επίσης να τονίσουμε ότι υπάρχουν ξύλα τα οποία έχουν μεγάλη ανθεκτικότητα, δηλ. δεν προσβάλλονται εύκολα από μύκητες και έντομα, όπως είναι τα ελληνικά ξύλα κέδρου,

κυπαρισσιού, καστανιάς και λευκής δρυός. Τα ξύλα αυτά περιέχουν στη μάζα τους χημικές ουσίες, όπως π.χ. οι ταννίνες ή φαινολικές ενώσεις, ή/και ρητινικά οξέα, που συντηρούν το ξύλο και το καθιστούν σχεδόν απρόσβλητο από παθογόνους μικροοργανισμούς. Για τα ξύλα αυτά αρκεί να κάνουμε εμβάπτιση σε συντηρητικό ή επάλειψη με πινέλο, εάν πρόκειται να τα χρησιμοποιήσουμε σε κατασκευές που δεν έρχονται σε επαφή με το νερό και το έδαφος.

### ***Εμποτιστικές ουσίες***

Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για τον εμποτισμό του ξύλου διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες από τις οποίες οι σπουδαιότερες είναι τα *έλαια* και τα *υδατοδιαλυτά* εμποτιστικά.

Στα έλαια υπάγεται το γνωστό *πισσέλαιο*, με το οποίο εμποτίζουμε υπό πίεση τους στύλους δικτύων τηλεφώνου και ρεύματος, τους στρωτήρες σιδηροδρόμων, και ξυλεία περιφράξεων. Πρόκειται για ελαιώδες υγρό με οσμή πίσσας, το οποίο παράγεται από την ξηρή απόσταξη των λιθανθράκων. Είναι πολύ διαδεδομένο και αποτελεσματικό συντηρητικό ξύλου και σε καμία περίπτωση δεν χρησιμοποιείται σε κατασκευές εσωτερικού χώρου, ή κατασκευές με τις οποίες ο άνθρωπος ή τα ζώα έρχονται σε επαφή. Σε πολλές χώρες της Δύσης και της Ε.Ε., ωστόσο, έχει απαγορευθεί η χρήση του πισσελαίου εξαιτίας της τοξικότητάς του. ***Και στην Ελλάδα θα πρέπει να απαγορευθεί η χρήση του πισσελαίου.***

Στην κατηγορία των υδατοδιαλυτών εμποτιστικών υπάγονται διάφορα άλατα ή οξείδια αλάτων του βορίου, χρωμίου, ψευδαργύρου, χαλκού κ.α. Ο συνδυασμός των αλάτων αυτών μας δίνει πολύ αποτελεσματικά εντομοκτόνα μυκητοκτόνα συντηρητικά του ξύλου, τα οποία βρίσκουν παγκόσμια χρήση. Τα τελευταία χρόνια έχει απαγορευθεί η χρήση των αλάτων του αρσενικού (γνωστά ως άλατα CCA) για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος και του ανθρώπου. ***Τα πλέον ασφαλή είναι τα άλατα βορίου και χαλκού.*** Τα εμποτιστικά αυτά δεν διατίθενται σε ιδιώτες και ερασιτέχνες αλλά μόνο σε μονάδες εμποτισμού ξυλείας. Σήμερα στη χώρα τα κυριότερα εν χρήσει εμποτιστικά είναι τα ακόλουθα: *Tanalith-E, Celcure & Impralit* που βασίζονται σε ενώσεις αλάτων του Cu.

Για ατομική χρήση βρίσκει κανείς σε καταστήματα χρωμάτων μια πληθώρα συντηρητικών ξύλου, τα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθούν από τον οποιοδήποτε, αρκεί να ακολουθούνται σωστά οι οδηγίες χρήσης. Τα συντηρητικά αυτά διακρίνονται σε καθαρά εντομοκτόνα (όπως

το worm killer, to insect killer, εντομοκτόνο της Cuprinol, της Adler, Gori κ.α.) και σε καθαρά μυκητοκτόνα (fungicides ή antistain πολλών εταιρειών), τα οποία δυστυχώς λόγω άγνοιας πωλούνται ως εντομοκτόνα, δηλ. για το σαράκι του ξύλου των επίπλων. Υπάρχουν επίσης και τα γενικής χρήσης (εντομοκτόνα και μυκητοκτόνα) πολλών εταιρειών, όπως τα: *Xyladecor, Bondex, Clowsil, Cuprinol* κ.α. Καλό είναι όταν θέλουμε να προστατεύσουμε μια κατασκευή από το σαράκι να ζητάμε καθαρά εντομοκτόνο και να βεβαιωνόμαστε ότι αναγράφεται στην ετικέτα του κατασκευαστή. Το ίδιο όταν πρόκειται για σάπισμα του ξύλου σε στέγες ή σε κουφώματα, θα πρέπει να βεβαιωνόμαστε ότι αγοράζουμε μυκητοκτόνο. Είναι επίσης απαραίτητο να ακολουθούμε τις οδηγίες του κατασκευαστή και να βεβαιωνόμαστε ότι πρόκειται για προϊόν, το οποίο υπάρχει η απαραίτητη άδεια από τον αρμόδιο φορέα. Αυτό αναγράφεται επίσης στην ετικέτα.

### ***Μέθοδοι εμποτισμού***

Οι πιο αποτελεσματικές μέθοδοι εμποτισμού του ξύλου είναι αυτές που γίνονται σε κλειστό κύλινδρο με άσκηση πίεσης και κενού μέσα στον κύλινδρο. Με τον τρόπο αυτό το υγρό εμποτιστικό εισχωρεί μέσα στα κενά του ξύλου και έτσι επιτυγχάνεται πλήρης προστασία του ξύλου. Η μέθοδος αυτή είναι η πιο αποτελεσματική και επιβάλλεται σε εξωτερικές εφαρμογές του ξύλου και ειδικότερα όταν η κατασκευή μας έρχεται σε επαφή με το έδαφος ή το νερό ή είναι μέσα στο έδαφος (στύλοι, στρωτήρες, περιφράξεις, γέφυρες, μη εμφανείς στέγες, κλπ). Όταν η κατασκευή μας δεν κινδυνεύει από μύκητες, τότε μπορεί να εφαρμοσθεί ο εμποτισμός του ξύλου με τη μέθοδο της απλής εμβάπτισης. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη στην ελληνική αγορά για κατασκευές στεγών, όπου χρησιμοποιούνται τα βορικά άλατα. Αυτό που θα πρέπει να γνωρίζουμε είναι ότι το εμβαπτισμένο ξύλο έχει μόνο επιφανειακή επάλειψη και όχι σε βάθος, σε αντίθεση προς το εμποτισμένο υπό πίεση που παρέχει απόλυτη προστασία. Η διάκριση αυτή πρέπει να ελέγχεται από την διαφορά του χρώματος, με μικρό μαχαιράκι, διότι υπάρχει μεγάλη διαφορά στην τιμή.



**Θάλαμος εμποτισμού ξυλείας υπό υψηλή πίεση**

***Εφαρμογές εμποτισμένου ξύλου / Τι πρέπει να γνωρίζουμε;***

Πρέπει να τονίσουμε ότι τα ξύλα που βρίσκει κάποιος στην αγορά και είναι εμποτισμένα είναι κυρίως το πεύκο και το έλατο. *Το εμποτισμένο πεύκο είναι ασφαλώς πολύ καλύτερο* για τεχνικούς λόγους. Το έλατο και η ερυθρελάτη δεν εμποτίζονται εύκολα, ούτε το ίδιο καλά και ομοιόμορφα. Οι πιο ενδεικνυόμενες εφαρμογές του εμποτισμένου ξύλου για τα ελληνικά δεδομένα είναι οι κατασκευές ξύλου, οι οποίες έρχονται σε άμεση επαφή με το χώμα και το νερό και οι κατασκευές που κινδυνεύουν από ξυλοφάγα έντομα. Τέτοιες κατασκευές είναι οι περιφράξεις, οι στύλοι, οι πέργκολες, οι ξύλινες στέγες, οι σκελετοί των ξύλινων κτιρίων (δηλ. το εσωτερικό της τοιχοποιίας που αποτελείται από καδρόνια και επενδύεται εξωτερικά). Άλλες εφαρμογές είναι: εφαρμογές στη γεωργία και κτηνοτροφία όπως υποστηρίγματα αμπελώνων, δένδρων, θερμοκήπια, υπόστεγα, ξυλοναυπηγική, κατασκευές σε λιμάνια, μαρίνες, προβλήτες, στοές μεταλλείων, γέφυρες, θεμελιώσεις ξύλινων σπιτιών κ.α. Πρέπει να γνωρίζουμε ότι στο εμποτισμένο ξύλο με άλατα βορίου, χαλκού κλπ. δημιουργείται ένας πολύ σταθερός χημικός δεσμός μεταξύ των μορίων της κυτταρίνης του ξύλου και των αλάτων (*fixation*) ο οποίος δεν επιτρέπει την έκπλυση των αλάτων στο περιβάλλον και κατά συνέπεια δεν υπάρχει κίνδυνος για το περιβάλλον και για αυτόν που θα χρησιμοποιήσει το εμποτισμένο ξύλο, ή την ξύλινη κατασκευή. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο ξύλινοι στύλοι διατηρούνται χωρίς να σαπίζουν για 40 και πλέον χρόνια. Αυτό είναι δεδομένο της επιστήμης η οποία μελετάει το θέμα των συντηρητικών του ξύλου για πολλές δεκαετίες. Το μόνο που πρέπει να προσέχουμε είναι το ξύλο *να είναι ξηραμένο*

*μετά τον εμποτισμό*, διότι η χημική αυτή ένωση ολοκληρώνεται με το πέρας της ξήρανσης του ξύλου. Για λόγους προληπτικούς, αυτός που εργάζεται στην κατασκευή πρέπει να φοράει γάντια, ενώ απαγορεύεται η λείανση του εμποτισμένου ξύλου. Κάτι το οποίο επίσης συνιστάται είναι η επάλειψη της εμφανούς κατασκευής με λινέλαιο ή άλλη επιτρεπόμενη επικάλυψη, όπως λαδομπογιά, βερνίκι, ακρυλικό χρώμα, γιατί με τον τρόπο αυτό προστατεύουμε την ξύλινη κατασκευή από την πρόσληψη και αποβολή υγρασίας, η οποία ταλαιπωρεί και γηράσκει το ξύλο.

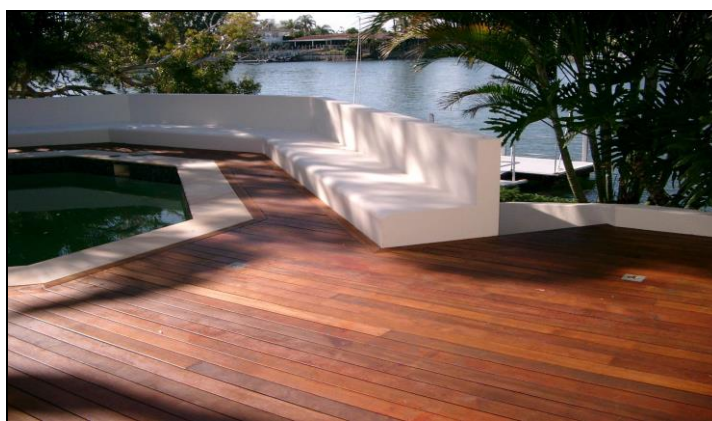
Γενικά όταν αγοράζει κανείς εμποτισμένο ξύλο θα πρέπει να ενημερώνεται για το είδος του εμποτιστικού και να βεβαιώνεται ότι πρόκειται για επιτρεπόμενο συντηρητικό. *Απαγορεύεται αυστηρά η καύση του εμποτισμένου ξύλου* σε σόμπες και τζάκια. Τα αέρια καύσης περιέχουν ενώσεις τοξικές για τον άνθρωπο. Εμποτισμένα ξύλα που δεν χρειάζονται πρέπει να θάβονται ή να καίγονται σε ειδικούς κλιβάνους αποτέφρωσης και η τέφρα τους να θάβεται, γιατί μπορεί να μολύνει πόσιμο νερό ή τα φυτά. Ξύλα που είναι εμποτισμένα με άλατα αρσενικού έχουν πλέον απαγορευθεί για λόγους που έχουν να κάνουν κυρίως με την ρύπανση του περιβάλλοντος και συγκεκριμένα με την τύχη της κατασκευής, όταν πια καταστραφεί. Ανάλογη απαγόρευση υπάρχει σε πολλές χώρες για τα άλατα χρωμίου. *Απαγορεύεται αυστηρά η οποιαδήποτε χρήση της τέφρας, από καμμένο εμποτισμένο ξύλο* (εάν συμβεί). Το *αρσενικό* είναι προσθετικό δηλητήριο, δηλ. δεν εξαφανίζεται με κανένα τρόπο, ακόμη και όταν καεί, παραμένει στη στάχτη, η οποία μπορεί να προκαλέσει μεγάλη ρύπανση.

**Μαντάνης Γ.** (2009). *Γνωρίζετε για ... τη φυσική διάρκεια του ξύλου; Περιοδικό 'ΕΠΙΠΛΕΟΝ', Ιούνιος 2009, τεύχος 40, σελ. 100.*

---

Φυσική διάρκεια (ή ανθεκτικότητα) του ξύλου ονομάζουμε με απλά λόγια το χρονικό διάστημα που μπορεί ένα είδος ξύλου να μείνει εκτεθειμένο στις εξωτερικές συνθήκες (π.χ. βροχή, ήλιο, μικροοργανισμούς) χωρίς να πάθει αλλοιώσεις. Εννοείται ότι το ξύλο θα είναι στη φυσική του μορφή και δεν θα έχει καμία προστασία. Η φυσική διάρκεια εξαρτάται βέβαια κι από τις συνθήκες χρήσης του ξύλου, λ.χ. εξωτερικές κατασκευές στην ύπαιθρο, κατασκευές σε επαφή με το έδαφος, κατασκευές μέσα στο νερό ή τη θάλασσα.

Ο κυριότερος παράγοντας για τη φυσική προστασία του ξύλου είναι το είδος και η ποσότητα των *εκχυλισμάτων* που υπάρχουν σ' αυτό. Τα εκχυλίσματα είναι φυσικές συντηρητικές ουσίες που κατά κύριο λόγο προστατεύουν το ξύλο από προσβολές μυκήτων, εντόμων, τερμιτών και άλλων οργανισμών. Η παρουσία τους δίνει σκοτεινό χρώμα στο ξύλο. Συνεπώς, είναι κανόνας ότι είδη ξύλου με σκούρο χρώμα έχουν γενικά μεγαλύτερη φυσική διάρκεια. Γι' αυτό και τα *ανοιχτόχρωμα* ξύλα (οξιά, λεύκη, δεσποτάκι, φλαμούρι) είναι ακατάλληλα για εξωτερικές συνθήκες. Είναι επίσης κανόνας ότι το εγκάρδιο ξύλο έχει πάντοτε μεγαλύτερη φυσική ανθεκτικότητα από το σομφό ξύλο. Δεν είναι τυχαίο ότι οι ξυλοκατασκευές μεγάλης ηλικίας που συναντάμε σήμερα στη χώρα μας είναι κατασκευασμένες μόνο από εγκάρδιο ξύλο δρυός, κυπαρισσιού, κέδρου, καστανιάς κ.α.



***Πάτωμα εξωτερικού χώρου από ξύλο Merbau (Intsia bijuga)***  
***- ένα είδος με μεγάλη φυσική διάρκεια***



Στις τροπικές περιοχές του πλανήτη προκαλούνται μεγάλες ζημιές στο ξύλο και τις κατασκευές από έντομα και κυρίως τερμίτες, ενώ στην εύκρατη ζώνη μεγαλύτερες είναι οι ζημιές που προκαλούνται από μύκητες.

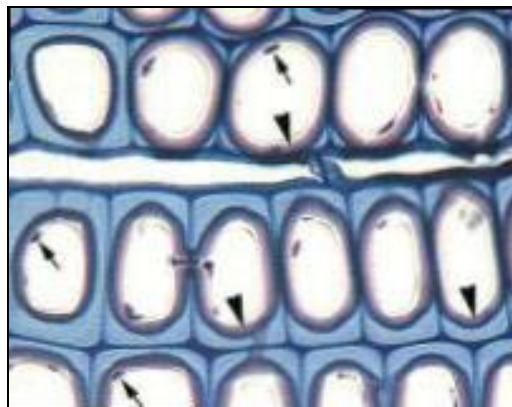
Με βάση τη φυσική διάρκεια του εγκάρδιου ξύλου (EN 350, 2016), τα είδη ξύλου διακρίνονται σε πέντε (5) κατηγορίες:

1. **«Πολύ ανθεκτικά»:** άρκεϋθος, κέδρος, κυπαρίσσι, Iroko, Teak, Afzelia, Padauk, Merbau, Iπέ κ.α. (διάρκεια > 25 έτη).
2. **«Ανθεκτικά»:** λευκή δρυς, καστανιά, ακακία, ελιά, Niangon, Kempas κ.α. (διάρκεια 15-25 έτη).
3. **«Μέτρια ανθεκτικά»:** καρυδιά, Oregon pine, λάρικα, African mahogany, Sapele κ.α. (διάρκεια 10-15 έτη).
4. **«Ελάχιστα ανθεκτικά»:** πεύκα, έλατο, σφενδάμι, Limba, Abura (διάρκεια 5-10 έτη).
5. **«Καθόλου ανθεκτικά»:** οξιά, λεύκη, σημύδα, φράξος-δεσποτάκι, φλαμούρι και το σομόφο ξύλο των περισσότερων ειδών (διάρκεια < 5 έτη).

**Μαντάνης Γ. (2013). Τα νέα βιολιά ... Stradivarius! Περιοδικό 'ΕΠΙΠΛεΟΝ', τεύχος 62, Ιουλίου-Αυγούστου 2013, σελ. 90-91.**

Είναι γνωστό ότι το ξύλο αποτελεί μια εξαιρετική πρώτη ύλη και ένα πανέμορφο υλικό της φύσης. Μια από τις πάμπολλες χρήσεις του, είναι και αυτή όπου χρησιμοποιείται ως υλικό για πολύτιμα μουσικά όργανα, κυρίως έγχορδα όπως λ.χ. βιολιά, κλασικές κιθάρες, μπουζούκια κ.α. Τέτοια μουσικά όργανα, ειδικά επαγγελματιών της κλασικής μουσικής και της όπερας έχουν πέραν της μεγάλης μουσικής αξίας τους και τεράστια οικονομική αξία που ξεπερνά και τις 100.000 ευρώ.

Το πιο συνηθισμένο αλλά και πιο πολύτιμο είδος ξύλου, στην Ευρώπη για την κατασκευή ξύλινων μουσικών οργάνων είναι το είδος της *ερυθρελάτης* (βοτανικό όνομα *Picea abies*, εμπορικά spruce) που ανήκει στα κωνοφόρα είδη. Στην Ασία και κυρίως στην Ιαπωνία στα μουσικά όργανα κυριαρχούν τα πλατύφυλλα είδη (*hardwoods*). Το ξύλο της ερυθρελάτης (*spruce*) λοιπόν, εξαιτίας της δομής του, των φυσικών σφαλμάτων που εμφανίζει (βλ. οδοντωτούς δακτυλίους) και άλλων φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του, αποτέλεσε και αποτελεί το άριστο υλικό για αυτή την ωραία εφαρμογή.



**Εικ. 1. Δομικές μεταβολές σε ξύλο ερυθρελάτης**

Πηγή: EMPA (2011), [http://www.empa.ch/plugin/template/empa/\\*/115792](http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/115792)

Είναι γνωστό ιστορικά ότι στα τέλη του 17<sup>ου</sup> αιώνα έζησε ο μεγάλος κατασκευαστής οργάνων *Antonio Stradivari* από την Κρεμόνα, ο οποίος με ξύλο ερυθρελάτης εκείνης της εποχής αλλά και με ειδικές-σπάνιες και άγνωστες επεξεργασίες, για την εποχή του, εποίησε έργα τέχνης – όργανα και βιολιά που σήμερα έχουν αμύθητη οικονομική αξία και αποτελούν

τεράστια πολιτιστική κληρονομιά. Ιστορικοί αναφέρουν ότι και η ξυλεία εκείνης της συγκεκριμένης (πολύ ψυχρής) περιόδου, γνωστής ως *Maunder Minimum*, έπαιξε το ρόλο της, ώστε από άποψη δομής το ξύλο ερυθρελάτης να έχει εξαιρετικά στενούς αυξητικούς δακτυλίους! Παρόμοια μουσικά όργανα δεν έχουν κατασκευαστεί για αιώνες τώρα!

Πρόσφατα (2011) ωστόσο, μια ομάδα νέων *επιστημόνων ξύλου* στο φημισμένο κέντρο έρευνας Empa στην Ελβετία, επιχειρούν με χρήση νέων φυσικο-βιολογικών τεχνικών να δημιουργήσουν μουσικά όργανα εφάμιλλα, αν όχι καλύτερα, με αυτά των αξεπέραστων βιολιών του Stradivarius! Ξύλο ερυθρελάτης από δέντρα μεγάλης ηλικίας, αλλά και σφενδαμιού αφήνεται να υποστεί «διάτρηση» στις μικροδομές του (Εικ. 1) και άλλες δομικές μεταβολές με βιολογική αποικοδόμηση (ελεγχόμενη) από τον σπάνιο μύκητα λευκής σήψης *Physisporinus vitreus*, και πρόσθετα από μύκητες σήψης *Xylaria longipes*. Το ξύλο εμφανίζει μετά από τη βιολογική αυτή επεξεργασία καλύτερες ιδιότητες ακουστικής και συνήχησης (resonance).

Το ερευνητικό αυτό πρόγραμμα χρηματοδοτείται από το μη κερδοσκοπικό ίδρυμα *Walter Fischli* και η ομάδα των ερευνητών Dr Iris Bremaud & Dr Francis Schwarze ευελπιστεί να ολοκληρώσει και να τελειοποιήσει αυτή τη νέα τεχνολογία. Τα πρώτα αποτελέσματα (εικ. 2) από διαγωνισμό ακουστικής που έγινε συγκριτικά με γνήσια βιολιά του Stradivarius και βιολιά (*fungus violins*) με αυτή την τεχνική έδωσαν εντυπωσιακά αποτελέσματα. Σύγχρονες τεχνικές αναλυτικής φυσικής (*laser speckle interferometry*) αξιοποιούνται επίσης στην έρευνα αυτή για την επιτυχή έκβαση του όλου εγχειρήματος.



**Εικ. 2. Βιολιά κατασκευασμένα με αυτή την επαναστατική τεχνική του Empa**

**Μαντάνης Γ., Κακαράς Ι. (2008). Το ξύλο ως καύσιμη ύλη. Περιοδικό 'ΕΠΙΠΛεΟΝ', τεύχος 33, Μάρτιος 2008.**

Οι περισσότερες κατοικίες στις μέρες μας διαθέτουν τζάκι κι έτσι οι οικογένειες απολαμβάνουν τη ζεστασιά και τη θαλπωρή του. Γνωρίζουμε όμως ότι το είδος του ξύλου που θα επιλέξουμε για το τζάκι μας παίζει καθοριστικό ρόλο τόσο στη λειτουργία όσο και στην απόδοσή του; Δεν είναι κατάλληλα όλα τα ξύλα για καύσιμη ύλη. Άλλα είδη είναι κατάλληλα για «προσάναμμα» και άλλα είδη είναι κατάλληλα για την «κυρίως καύση» που θέλουμε να κρατήσει για πολλές πολλές ώρες! Επιπρόσθετα, η φωτιά στο τζάκι εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό κι από το μέγεθος των καυσόξυλων που επιλέγουμε, καθώς επίσης και από την υγρασία τους. Τα πιο συνηθισμένα στη χώρα μας είδη, κατάλληλα για καυσόξυλα, είναι οι δρύες, η ελιά, η οξιά και η ελάτη, ανάλογα με την περιοχή και τη διαθεσιμότητα που υπάρχει. Διαλέγουμε συνεπώς τα καυσόξυλα που επιθυμούμε και τα προμηθευόμαστε έγκαιρα, ώστε να είναι όσο το δυνατόν πιο ξερά. Η καλύτερη εποχή είναι το καλοκαίρι, το πολύ μέχρι τα μέσα του Σεπτεμβρίου. Σίγουρα, τους καλοκαιρινούς μήνες βρίσκουμε στην αγορά τα πιο ξερά ξύλα. Καλής ποιότητας καυσόξυλα παράγονται κι από άλλα είδη, π.χ. αείφυλλα πλατύφυλλα (αριά, πουρνάρι, κουμαριά, φιλύκι) και σπωροφόρα δέντρα (μηλιά, κερασιά, αμυγδαλιά).

Το ξύλο της δρυός προτιμάται στις περισσότερες των περιπτώσεων, διότι αφενός μεν δίνει ωραία φλόγα, χωρίς προβλήματα και αφετέρου έχει μεγάλη διάρκεια καύσης. Μεγάλο ρόλο παίζει και η διαθεσιμότητα των καυσόξυλων. Έτσι, στα νησιά μας συνηθίζεται η ελιά, ενώ στις περιοχές που γειτονεύουν με την οροσειρά της Πίνδου η οξιά συναγωνίζεται τις δρύες. Πολύ καλός είναι ο συνδυασμός δύο ειδών, όπως π.χ. οξιά και δρυς, οξιά και ελιά, ελάτη και δρυς, ελάτη και ελιά, γιατί η οξιά και η ελάτη καίγονται γρηγορότερα και ευκολότερα διευκολύνοντας έτσι τη δρυ ή την ελιά που καίγονται με πολύ αργούς ρυθμούς. Ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να δίνεται και στην αποθήκευση των καυσόξυλων τόσο στον τρόπο στοίβαξης όσο και στο μέρος της αποθήκευσής τους. Είναι κανόνας ότι τα καλύτερα καυσόξυλα είναι αυτά που έχουν αποθηκευτεί για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο από δύο χρόνια και έχουν πλήρως ξηραθεί. Τα ξύλα πρέπει να αποθηκεύονται σε στεγασμένο και καλά αεριζόμενο χώρο και η περιεχόμενη υγρασία τους να είναι **κάτω από 20%**.



Ας σημειώσουμε τώρα ορισμένες λεπτομέρειες που έχουν σχέση με τα καυσόξυλα και την «καύση» τους.

***Πώς γίνεται η «καύση» και τι σημαίνει «θερμαντική αξία»;***

Στο τζάκι λαμβάνει χώρα η λεγόμενη «καύση» του ξύλου, δηλ. η θερμική «διάσπαση» του ξύλου απαραίτητα με την παρουσία αέρα (οξυγόνου). Στην πραγματικότητα, καύση είναι η χημική ένωση του οξυγόνου με τα συστατικά του ξύλου (άνθρακα, υδρογόνο) και η μετατροπή τους σε διοξείδιο του άνθρακα, νερό και θερμική ενέργεια (θερμότητα). Η ανάφλεξη και καύση του ξύλου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες - ιδιότητες του ξύλου, π.χ. μέγεθος και μορφή, υγρασία, πυκνότητα, χημική σύσταση και περιεκτικότητα σε εκχυλίσματα, κυρίως σε ρητίνη (*ρετσίνι*) και πτητικά συστατικά. «Θερμαντική αξία» λέμε την ποσότητα της θερμικής ενέργειας που παράγεται από την πλήρη καύση ενός κιλού (Kg) ξηρού ξύλου. Από τα μεσογειακά είδη ξύλου, η ελάτη έχει τη μεγαλύτερη θερμαντική αξία, περίπου 4.895 χιλιοθερμίδες (Kcal)/Kg. Ακολουθούν η πεύκη (4.860 Kcal/Kg), η οξιά (4.700 Kcal/Kg) και η δρυς (4.695 Kcal/Kg). Η δρυς ωστόσο είναι προτιμότερη για τζάκια, διότι έχει τη μεγαλύτερη διάρκεια καύσης εξαιτίας της υψηλής πυκνότητάς της.

***Ποιά είναι τα πιο κατάλληλα είδη ξύλου για το τζάκι;***

Ορισμένα είδη ξύλου παράγουν πολύ καπνό και έχουν δυσάρεστη οσμή. Άλλα δεν καίγονται εύκολα με αποτέλεσμα να μην παράγουν την απαιτούμενη για το χώρο μας θερμότητα. Ανάλογα με το μέγεθος των χώρων που θέλουμε να ζεστάνουμε, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ως προσάναμμα ή στα αρχικά στάδια της καύσης «μαλακή ξυλεία», δηλ. κωνοφόρα, όπως πεύκο, έλατο ή ερυθρελάτη που «αρπάζουν» πολύ εύκολα και δίνουν

γρήγορα μεγαλύτερη φλόγα. Έχουν όμως το μειονέκτημα - που αναφέρουμε παρακάτω - ότι μπορεί να «σκάνε». Γι' αυτό συνήθως προτιμάμε πιο κατάλληλο προσάναμμα, π.χ. λεπτά κλαδιά που τοποθετούνται ανάμεσα στα ξύλα για την έναρξη της καύσης ή και «πλακέτες προσανάμματος» που διατίθενται στο εμπόριο και μετά στην κυρίως καύση χρησιμοποιούμε «σκληρά ξύλα», δηλ. πλατύφυλλα όπως δρύες, οξιά, ελιά κ.α. που έχουν μεγάλο βάρος, είναι πυκνά και καίγονται με ήρεμη και μακριά φλόγα. Γενικά, ξύλα με μικρή πυκνότητα, επειδή διαθέτουν μεγάλο ποσοστό κενών χώρων (άρα και οξυγόνο), καίγονται ευκολότερα από ξύλα μεγάλης πυκνότητας. Σ' αυτό βοηθά και η παρουσία της εξαιρετικά εύφλεκτης «ρητίνης» (ρετσινιού). Γι' αυτό ορισμένοι χρησιμοποιούν «δαδοποιημένο ξύλο» (δαδί), δηλ. ξύλο πεύκου με υπέρμετρα υψηλή συγκέντρωση ρετσινιού, ως προσάναμμα.

### ***Μέτρα προστασίας και τι πρέπει να θυμόμαστε;***

Όταν μιλάμε για τζάκι και καύση, μιλάμε για φωτιά μ' ό,τι αυτό συνεπάγεται. Συνεπώς, πρέπει να είμαστε προσεκτικοί. Για λόγους ασφάλειας αλλά και καλύτερης απόδοσης, προτιμούνται τα τζάκια με κλειστή εστία. Το σπινθηροβόλημα του τζακιού είναι σίγουρα ευχάριστο και ρομαντικό, αλλά μπορεί να αποβεί επικίνδυνο για τα χαλιά, τις μοκέτες, τα έπιπλα και το σπίτι μας! Το τρίξιμο των καυσόξυλων και το «σκάσιμό» τους προκαλούν εκσφενδονισμό αναμμένων κομματιών, γι' αυτό καλό είναι να προστατεύουμε το σαλόνι και το καθιστικό μας από τη φωτιά τοποθετώντας ειδικό τζάμι ή και πλέγμα για προστασία. Δεν αφήνουμε ποτέ χωρίς επίβλεψη το τζάκι, ειδικά αυτό με ανοιχτή εστία. Επιπρόσθετα, πρέπει να αποφεύγεται η καύση παλιών επίπλων ή συγκολλημένων προϊόντων, π.χ. μοριοπλακών, ινοπλακών (MDF), κόντρα-πλακέ ή επενδεδυμένων προϊόντων, διότι περιέχουν ρητίνες, συνθετικά υλικά και χημικές ουσίες που, όταν καίγονται, παράγουν τοξικές αναθυμιάσεις και επικίνδυνα καυσαέρια.

### ***Ποιά είδη ξύλου «σκάνε» και τι πρέπει να κάνουμε;***

Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί τα καυσόξυλα να «σκάνε», δηλ. να προκαλούν ένα δυνατό κρότο και κομμάτια να πετάγονται προς όλες τις κατευθύνσεις. Αυτό είναι επικίνδυνο και χρειάζεται προσοχή. «Σκάνε» κυρίως ορισμένα κωνοφόρα είδη εξαιτίας της δομής του ξύλου. Τέτοια είδη, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, είναι τα είδη κέδρου (*cedrus*), αρκέϋθου (*juniperus*), λάρικας, ελάτης, ερυθρελάτης, καθώς και καστανιάς. Γιατί όμως αυτά τα ξύλα «σκάνε»; Τα καυσόξυλα μπορεί να μην τελείως ξερά ή να έχουν «νοτίσει». Οπότε, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, η υγρασία που περιέχουν μετατρέπεται σε «αέρια» που

δημιουργούνται στο εσωτερικό του κατά τη διάρκεια της καύσης. Τα αέρια δεν μπορούν να διαφύγουν και προκαλούν έτσι αυτές τις «εκρήξεις» που συνοδεύονται από το χαρακτηριστικό τρίζιμο. Ρόλο στο φαινόμενο παίζουν και τα «βοθρία», οι οπές επικοινωνίας δηλ. των κυττάρων του ξύλου, που μπορεί να είναι φραγμένες και να εγκλωβίζουν εύκολα τα αέρια. Μπορεί ακόμα, σε είδη κέδρου, να υπάρχουν «εκρήξεις» από την υπερθέρμανση ορισμένων πτητικών εκχυλισμάτων που περιέχουν, ενώ σύμφωνα με μια άλλη εκδοχή, ίσως προκαλούνται «εκρήξεις» της παραγόμενης αέριας αιθανόλης μέσα στα καιόμενα καυσόξυλα.

### ***Τι είναι τα «οικολογικά καυσόξυλα»;***

Μια εναλλακτική λύση για το τζάκι μας είναι τα λεγόμενα «οικολογικά καυσόξυλα». Αυτά τα καυσόξυλα είναι συμπίεσμένη ξυλώδης ύλη, 100% αποτελούμενη από ξύλο ή υπολείμματα κατεργασίας του ή και ξύλο ανακύκλωσης. Τα καυσόξυλα αυτά πλεονεκτούν στο ότι έχουν χαμηλότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά την καύση, καίγονται πολύ αργά και η καύση τους διαρκεί μέχρι 12 ώρες, ενώ δεν «σκάνε» και δεν πετάνε σπίθες. Η υγρασία τους είναι περιορισμένη στο ελάχιστο (περίπου 2%), παράγουν πολύ λιγότερο καπνό και δεν περιέχουν χημικές ουσίες ή άλλα πρόσθετα.

### ***Πώς μπορούμε να έχουμε καλύτερη απόδοση στο τζάκι μας;***

Το τζάκι και η κατασκευή του είναι το πρώτο ζητούμενο. Το τζάκι αποτελεί μία μικρή κατασκευή που πρέπει να είναι καλοσχεδιασμένη, ώστε «να τραβά καλά», όπως συνηθίζεται να λέμε, ανεξάρτητα από το μέγεθος της φωτιάς. Το πόσο καλά τραβάει το τζάκι επηρεάζεται κι από την επιφάνεια που καταλαμβάνει η φωτιά μέσα στην εστία. Επίσης, είναι χρήσιμο τις πρώτες φορές που θα λειτουργήσουμε το τζάκι να ελέγξουμε πόσο εκτεταμένη φωτιά μπορεί να ικανοποιήσει χωρίς αυτό να καπνίζει. Σημαντικό, επίσης, είναι ο τύπος της εστίας που έχουμε. Η ποσότητα της θερμικής ενέργειας που δίνει ένα τζάκι εξαρτάται σημαντικά από την εστία, που μπορεί να είναι χτιστή με πυρότουβλα (απόδοση 15%), προκατασκευασμένη με μαντέμι (απόδοση 25%) ή ενεργειακή (απόδοση ως και 85%). Τα ενεργειακά τζάκια προτιμούνται σήμερα, διότι έχουν τη μεγαλύτερη θερμική απόδοση. Ενεργειακά λέμε τα τζάκια που έχουν αεροθάλαμο στο πίσω και κάτω μέρος του χώρου καύσης στον οποίο ανακυκλώνεται και θερμαίνεται ο αέρας του δωματίου, αυξάνοντας έτσι την απόδοση του τζακιού. Ρόλο παίζει και η επιλογή της πόρτας του τζακιού που πρέπει να

είναι άριστης ποιότητας για να απομονώνει τον αέρα. Εννοείται ότι τα καυσόξυλά μας πρέπει να είναι ξερά.



Η θερμότητα που δίνει το τζάκι εξαρτάται βέβαια από το είδος και το μέγεθος των καυσόξυλων που χρησιμοποιούμε, αλλά επιπρόσθετα εξαρτάται κι από τον τρόπο τοποθέτησής τους στην εστία. Αυτό είναι ένα «μυστικό» στην επιτυχία της καλής φωτιάς. Δεν πρέπει τα ξύλα να είναι στριμωγμένα μεταξύ τους για να μπορεί να κυκλοφορεί ο αέρας ανάμεσά τους και να τα τροφοδοτεί με το απαραίτητο για την καύση οξυγόνο.

### ***Σόμπες και «μασίνες»!***

Δεν πρέπει επίσης να ξεχνάμε, πέρα από το τζάκι, και τις σόμπες, όπως και τις «στόφες» ή «μασίνες» που αποδίδουν πολύ περισσότερο από τα τζάκια. Τα παλαιότερα χρόνια τα περισσότερα σπίτια, ειδικά στην ελληνική περιφέρεια, είχαν σόμπες. Ορισμένοι σύγχρονοι τύποι σόμπας από μαντέμι με εμφανή το χώρο καύσης διαθέτουν και πλευρικά τοιχώματα από ειδικό κρύσταλλο, ενώ έχουν και φούρνο για ψήσιμο φαγητού. Έτσι προσφέρονται για δημιουργία ζεστής ατμόσφαιρας με ταυτόχρονο μαγείρεμα σε παραδοσιακά σπίτια!



Σκοπός του άρθρου είναι να αναδείξει αφενός και να ενημερώσει αφετέρου το κοινό για την όμορφη και ιστορική τέχνη της ξυλογλυπτικής που αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της πολιτιστικής και θρησκευτικής κληρονομιάς της χώρας μας. Η ξυλογλυπτική λοιπόν είναι μια ιδιαίτερη και δύσκολη τέχνη του ξύλου· είναι ουσιαστικά η ανάγλυφη απεικόνιση μορφών, αντικειμένων ή/και σχεδίων πάνω σε ξύλο. Είναι μια τέχνη με μεγάλη παράδοση στη χώρα μας (Άγιο Όρος, Σύρος, Λέσβος, Μέτσοβο, Κρήτη, Μακεδονία κ.α.) που ξεκινάει από πολλούς αιώνες πριν και χρησιμοποιείται ιδίως για τη διακόσμηση οικιών και εκκλησιών. Στις μέρες μας αντιλαμβανόμαστε την ξυλογλυπτική κυρίως στα ξυλόγλυπτα των ναών και των μονών της ορθόδοξης χριστιανικής εκκλησίας, π.χ. τέμπλα, άμβωνες, δεσποτικοί θρόνοι κ.α. (Κακαράς και Μπόθος, 2011).

Από τεχνικής άποψης η ξυλογλυπτική τέχνη βρίσκει τις εξής εφαρμογές γενικότερα: α) στη διακόσμηση αντικειμένων όπως σκεύη, χρηστικά εργαλεία, β) στη διακόσμηση επίπλων και ξυλοκατασκευών, γ) στη δημιουργία έργων τέχνης όπως ανάγλυφων διακοσμητικών, αγαλμάτων κ.α., και δ) στη διακόσμηση κτιρίων.

Ένας ξεχωριστός και ιδιαίτερος κλάδος της τέχνης αυτής είναι η **μικροξυλογλυπτική** η οποία έχει τη δική της τεχνική - αισθητική και απαιτεί θα λέγαμε το ιδιαίτερο ψυχολογικό και επαγγελματικό υπόστρωμα από την πλευρά του δημιουργού (κατασκευαστή). Το Άγιο Όρος σίγουρα αποτελεί το μέρος εκείνο με την πλουσιότερη, σε ποιότητα και ποσότητα, περιοχή της χώρας μας με έργα μικροξυλογλυπτικής της ορθόδοξης χριστιανικής τέχνης από τον 11<sup>ο</sup> αιώνα μέχρι και την όγδοη δεκαετία του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Η ιδιαίτερη αυτή τέχνη περιλαμβάνει ξυλοτεχνουργήματα υψηλής τεχνικής, αισθητικής και διακοσμητικής αξίας, όπως εικόνες, εγκόλπια, σταυρούς, κουτάλια (*χουλιάρια*), σφραγίδες κ.α. (Εικ. 1, 2).

---



**Εικ. 1. Ξύλινη εικόνα μικροξυλογλυπτικής του Αγ. Όρους, που απεικονίζει τον Άγιο Νικόλαο, μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα (Συλλογή Δημητρίου Διβάνη).**



**Εικ. 2. Ξύλινο χουλιάρι του Αγίου Όρους στο φυσικό του χρώμα, μέσα του 20<sup>ου</sup> αιώνα (Συλλογή Δημητρίου Διβάνη).**

Με παράδοση πολλών αιώνων στο Άγιο Όρος, η τέχνη της μικροξυλογλυπτικής συνεχίζει να εξασκείται (ίσως όχι με την ίδια ένταση όπως παλαιότερα) από τους μοναχούς που διαβιούν σε κελλιά και σκήτες. Η μοναδική αυτή τέχνη που απαιτεί ιδιαίτερα χαρίσματα και υπομονή, προσήλωση και ησυχία, συνδυάζεται πάντοτε με αδιάλειπτη προσευχή και νηστεία. Αυτά τα έργα τέχνης αποτελούσαν πηγή μικρών εσόδων, για να εξασφαλίσουν οι μοναχοί τα προς το ζειν, ιδίως οι ερημίτες και οι ασκητές μοναχοί. Κυρίως δε, όπως βλέπουμε και στις ιστορικές αναφορές, στο νότιο και νοτιοδυτικό άκρο της χερσονήσου του Άθω, όπου ευδοκικεί και ο σφένδαμος (*Acer sp.*), το ξύλο του οποίου είναι ανοιχτόχρωμο, ομοιόμορφο στη δομή του (*διασπορόπορο*), αρκετά σκληρό, συνεκτικό και ταυτόχρονα κατάλληλο για λεπτή επεξεργασία ιδίως στο σομό του τμήμα. Κατά κανόνα, στη μικροξυλογλυπτική προτιμάται

το *σομφό ξύλο* (εξωτερικό μέρος του κορμού) διότι είναι μαλακότερο, πιο ευκολοδούλευτο και κυρίως επιδέχεται χειρισμούς προστατευτικής συντήρησης (σημ. είναι πιο πορώδες και απορροφητικό).

Στο Άγιο Όρος συναντάμε επίσης για χρήση και το ξύλο φλαμουριού (τον 20<sup>ο</sup> αιώνα) που έχει χρησιμοποιηθεί για όμορφες κατασκευές μικροξυλογλυπτικής κυρίως σε *σφραγίδες*. Παραμένει υπό διερεύνηση αν έχουν χρησιμοποιηθεί τα είδη καρδιάς και κυπαρισσιού στη μικροξυλογλυπτική του Αγίου Όρους. Τα εν λόγω είδη είναι διαδεδομένα στην ξυλογλυπτική των νησιών του Αιγαίου, της Μ. Ασίας, της Μακεδονίας, της Κρήτης κ.α. Σημειωτέον, η γνωστή σε όλους μας, καλή και ανθεκτική καστανιά (του Αγίου Όρους) ένα είδος μοναδικό και ανθεκτικό για δομικές χρήσεις (δοκοί, κολώνες, πόρτες-παράθυρα, δάπεδα) είναι εντελώς ακατάλληλο για ξυλογλυπτική λόγω της ιδιαίτερης μικροδομής του (*ύπαρξη πόρων, δομή δακτυλιόπορου*) που το κάνει εύθραυστο αλλά και εύθριπτο στη χειρωνακτική καταπόνηση με τα εργαλεία της ξυλογλυπτικής.

Λίγες μόνο ειδικές μελέτες της τέχνης της μικροξυλογλυπτικής του Αγίου Όρους έχουν εκπονηθεί μέχρι σήμερα, ενώ δεν έχει γίνει σχεδόν καμιά συστηματική καταγραφή και καταλογογράφηση, ιδίως όσον αφορά τα τεχνοτροπικά χαρακτηριστικά της τέχνης αυτής. Μελέτη που εκπονήθηκε πρόσφατα στο *Εργαστήριο Τεχνολογίας Ξύλου* του ΤΕΙ/Θ σε μια σειρά περισσότερων από 100 έργων μικροξυλογλυπτικής προέλευσης Αγ. Όρους, από τη Συλλογή του Δημητρίου Διβάνη έδειξε ότι το **κυρίαρχο είδος για μικροξυλογλυπτική είναι το σφενδάμι**, κν. *ξηροπλατάνι* (*Acer platanoides*), ή άλλα είδη σφενδαμιού. Συγκεκριμένα, έγινε μακροσκοπική παρατήρηση και μελέτη του ξύλου της Εικ. 1, από μικρή εικόνα του Αγ. Νικολάου επί παραδείγματι και από τομή στο ανώτερο μέρος της στην εγκάρσια τομή (σόκορο) πάρθηκε η εμφάνιση όπως στην Εικ. 3. Αυτό αποδεικνύει ότι το είδος είναι *σφενδάμι: εμφανές διασπορόπορο, ανοιχτού χρώματος, με πολυάριθμους πόρους (μόνοι ή ομάδες των 2-3), με μέτριας διαμέτρου πόρους (αγγεία) περίπου 50-100 μm, με σχετικά παχιές 3-σειρες έως 5-σειρες ακτίνες, σε πυκνή μάλλον διάταξη*. Είδη σφενδαμιού (Κακούρος και Ντάφης, 2004) είναι γνωστό ότι φύονται σε δάση στη νότια και τη νοτιοδυτική περιοχή της χερσονήσου του Άθω. Πρόσθετα μακροσκοπικά φάνηκε να έχει *φαρδύβεννα νερά* (σχεδίαση) σε τομή εφαπτομενική σαν «*δαντέλα*», σαφή ένδειξη είδους που ανήκει στην οικογένεια *Acer*.

Συμπερασματικά, τα περισσότερα έργα που μελετήθηκαν στο εργαστήριο ήταν κατασκευασμένα από σφενδάμι (*Acer sp.*). Ωστόσο, αναγνωρίστηκε σε έργο (σφραγίδα) το είδος φλαμούρι (τηλιά), και σε λίγα έργα μικροξυλογλυπτικής (Εικ. 2), κυρίως χουλιάρια πολύ ανοιχτού χρώματος (ελαφρύ κιτρινωπού) το είδος πυξάρι (*Buxus sp.*).



**Εικ. 3. Εμφάνιση της εγκάρσιας τομής ξύλου *Acer sp.* από εικόνα μικροξυλογλυπτικής του Αγ. Όρους (φωτογραφία: Γ. Μαντάνης, 2016).**

Η μοναδική μικροξυλογλυπτική τέχνη του Αγίου Όρους δεν έχει μελετηθεί εκτεταμένα έως σήμερα, στο βαθμό που θα έπρεπε. Αυτό πρέπει να γίνει ώστε να ερευνηθούν τα τεχνολογικά στοιχεία αυτής της τέχνης και να αναδειχθούν τα τεχνικά στοιχεία αυτής της ξυλουργικής τέχνης που είναι σημαντικής πολιτιστικής και θρησκευτικής αξίας.

### **Βιβλιογραφία**

- Κακαράς, Ι. και Μπόθος, Γ. 2011. Ξυλογλυπτική, βιβλίο Τ.Ε.Ε., Ο.Ε.Δ.Β., Αθήνα.
- Κακούρος, Π. και Ντάφης, Σ. 2004. Τεχνική μελέτη για την ανόρθωση των δασών του Αγίου Όρους. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων – Υγροτόπων, Θέρμη Θεσ/νίκης.
- Ερωτοκρίτου, Ν. και Μιχαηλίδης Π. 2015. Εφαρμογή σύγχρονων τεχνικών σχεδίασης σε εκκλησιαστικά ξυλόγλυπτα. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα ΣΤΞΕ, ΤΕΙ Θεσσαλίας.
- Ξυλόγλυπτα- Θησαυροί του Αγίου Όρους, 2016. Διαβάστηκε (15-09-16) στην ιστοσελίδα: [www.elpenor.org/athos/gr/g218bh01.asp](http://www.elpenor.org/athos/gr/g218bh01.asp)

**Μαντάνης Γ.** (2009). *Γνωρίζετε για ... την οξύτητα του ξύλου; Περιοδικό 'ΕΠΙΠΛεΟΝ', τεύχος 38, Φεβρουάριος 2009.*

---

Τα ξύλα γενικά είναι *όξινα*, δηλ. έχουν μια οξύτητα (γνωστή ως *pH*) που κυμαίνεται από 4,0 μέχρι 6,5. Η οξύτητα προσδιορίζει ουσιαστικά το pH των *ελεύθερων οξέων* του ξύλου και μετριέται πολύ απλά. Παίρνουμε ξυλοτεμαχίδια, τα ανακατεύουμε με κρύο ή ζεστό νερό και μετράμε με πεχάμετρο την οξύτητα του νερού. Μέτρηση με καυτό νερό αυξάνει σημαντικά την τιμή της οξύτητας.

Το κυριότερο οξύ του ξύλου είναι το *οξικό οξύ*. Πρόσθετα, το ξύλο περιέχει ρητινικά και λιπαρά οξέα, κ.α. Ενδεικτικά σημειώνουμε ότι το κοινό ξύδι περιέχει περίπου 5% οξικό οξύ. Για να δούμε το εύρος της οξύτητας στα είδη, αναφέρουμε ορισμένες τιμές: Oregon pine: 4,2 – δασική πεύκη: 5,1 – οξιά: 5,4 – έλατο: 5,8 – φτελιά: 6,4. Μεγάλη σημασία παίζει ωστόσο το πόσο φρέσκο και «*χλωρό*» είναι το ξύλο, ενώ η οξύτητα του ξύλου αυξάνει μετά από αποθήκευση σε υγρό και θερμό περιβάλλον. Ο φλοιός έχει πάντοτε μεγαλύτερη οξύτητα σε σύγκριση με το ξύλο του ίδιου είδους.



***Πεχάμετρο για μέτρηση της οξύτητας***

Όσο κι αν ακούγεται παράξενο, η οξύτητα του ξύλου ως παράγοντας επηρεάζει καθοριστικά πολλές διαδικασίες και κατεργασίες, όπως π.χ. τη συγκόλληση των καπλαμάδων, τις βαφές, τη βιομηχανική παραγωγή MDF και μοριοπλακών (επιδρά στην ικανότητα πολυμερισμού των ρητινών ουρίας - φορμαλδεΰδης), τη χημική πολτοποίηση για την παραγωγή χαρτοπολτού (ειδικά μάλιστα στα πεύκα), τη διάβρωση των κοπτικών μέσων (βλ. καταρράκτη), κατά την πρίση στρογγύλης ξυλείας στο πριστήριο.

Το ξύλο είναι ένα φυσικό υλικό που έπαιξε και παίζει πολύ καθοριστικό ρόλο στην εξέλιξη του ανθρώπου. Κατά τους προϊστορικούς χρόνους, ο άνθρωπος κατασκεύασε τα πρώτα του εργαλεία, σκεύη, ρόπαλα, δόρατα. Μετά την ανακάλυψη της φωτιάς, το ξύλο χρησίμευσε για θέρμανση και μαγείρεμα της τροφής. Ο πρωτόγονος άνθρωπος με ξύλο έφτιαξε τις πρώτες καλύβες και βάρκες του. Είναι γνωστό ότι όλοι οι μεγάλοι πολιτισμοί αξιοποίησαν με το δικό τους μοναδικό τρόπο το ξύλο, π.χ. στην αρχαία Αίγυπτο το χρησιμοποίησαν για όμορφα έπιπλα και για τους σαρκοφάγους των Φαραώ ή στο χτίσιμο των πυραμίδων, όπου η μεταφορά τεράστιων λίθων γινόταν πάνω σε κορμούς δένδρων, ή στην αρχαία Ελλάδα, όπου ξύλο πεύκης αξιοποιήθηκε στην αρχιτεκτονική, στην κατασκευή επίπλων και πρωτίστως στην ξυλοναυπηγική (βλ. Αθηναϊκή τριήρης), όπου το όνομα «*τριήρης*» έγινε συνώνυμο με την στρατιωτική δύναμη του τότε κράτους της Αθήνας. Σήμερα με την εξέλιξη της τεχνολογίας, το ξύλο χρησιμοποιείται από πλήθος βιομηχανιών, όπως του χαρτιού, του επίπλου, των ξύλινων κατασκευών και της οικοδομικής ή ακόμα στη βιομηχανία σύνθετων και συγκολλημένων προϊόντων, στη χημική και τη φαρμακευτική βιομηχανία. Παραμένει, συνεπώς, ένα αναντικατάστατο υλικό με περισσότερα από 2.000 προϊόντα και εξακολουθεί να έχει τεράστια σημασία στη ζωή του σύγχρονου ανθρώπου.

Μία από τις μάλλον σπάνιες εφαρμογές του ξύλου στην εποχή μας είναι αυτή των ξύλινων παιδικών παιχνιδιών. Βέβαια, το ξύλινο παιδικό παιχνίδι καταλαμβάνει μόνο το 3% της συνολικής αγοράς, αφού άλλες πρώτες ύλες, όπως π.χ. πλαστικά, συνθετικές ίνες, καουτσούκ, μέταλλα, φυσικές ίνες έχουν κυρίαρχο ρόλο σ' αυτή την αγορά. Ωστόσο, το ξύλο, αναμφίβολα, είναι το πιο κατάλληλο υλικό για την παραγωγή παιδικών παιχνιδιών, διότι είναι προϊόν βιολογικών διεργασιών, έχει υψηλή αισθητική αξία, είναι «ζεστό» υλικό, είναι ευχάριστο υλικό, είναι ακίνδυνο στην αφή, ενώ τα «κατάλληλα» ξύλα γι' αυτή τη χρήση είναι και ακίνδυνα στη μάσηση!



Τα επιτρεπόμενα είδη ξύλου για την παραγωγή παιδικών παιχνιδιών τα βρίσκουμε στις μορφές της πριστής ξυλείας, του κόντρα-πλακέ, των ξυλοφύλλων και της επικολλητής ξυλείας. **Τα πλέον κατάλληλα είδη ξύλου σήμερα είναι η οξιά, η λεύκη, το φλαμούρι, το έλατο, το πεύκο και η ερυθρελάτη.** Προτιμούνται συνεπώς περισσότερο μάλλον ξύλα ελαφρά έως μέτρια, όσον αφορά την πυκνότητά τους, συνήθως ξηραμένα σε επίπεδο 8% υγρασίας χωρίς ραγάδες και ρόζους και χωρίς ρητινοθήλακες (αν πρόκειται κυρίως για πεύκα). Σε σπάνιες περιπτώσεις, είναι πιθανό να χρησιμοποιηθούν και «αρωματικά» είδη ξύλου, όπως π.χ. κυπαρίσσι και άρκεϋθος ή και σφενδάμι. Παιδικά παιχνίδια που προέρχονται από την Ασία (*Rubberwood*), ή/και άλλες τροπικές ή υποτροπικές χώρες μπορεί να είναι κατασκευασμένα από τροπικά «λευκά» ξύλα *Ajous* και *Limba*. Ως προς τη μηχανική κατεργασία του ξύλου κατά τα στάδια της παραγωγής δίνεται ιδιαίτερη έμφαση, ώστε να έχουν άριστη λείανση (π.χ. πλάνισμα), να μην φέρουν απότομες και μυτερές γωνίες και να έχουν όσο το δυνατό στρογγυλεμένες (ήπιες) άκρες. Ως προς το design αυτών, είναι συνήθης η αποφυγή οπών και ανοιγμάτων (π.χ. κίνδυνος να σφηνωθεί δάκτυλο) και υπάρχει, ή θα πρέπει, να υπάρχει μέριμνα για όχι εξέχοντα ελατήρια και μεταλλικά εξαρτήματα, διότι αυτά είναι επικίνδυνα.

Πρόσφατη έρευνα στη διεθνή αγορά (Μαντάνης 2005) έδειξε ότι: (1) Τα ξύλινα παιδικά παιχνίδια παράγονται κυρίως σε δύο χώρες: την Ταϊλάνδη και τη Γερμανία. (2) Οι επιχειρήσεις στην Ταϊλάνδη χρησιμοποιούν τα τελευταία έτη το είδος *Rubberwood*. (3) Οι γερμανικές επιχειρήσεις είναι περισσότερο «περιβαλλοντικά φιλικές» και χρησιμοποιούν «καθαρό» ξύλο κυρίως οξιάς και λιγότερο σφενδάμι, δεσποτάκι και πεύκο. Ωστόσο, θα πρέπει να τονισθεί ότι η αγορά του ξύλινου παιδικού παιχνιδιού μπορεί να εγκυμονεί κινδύνους, γι' αυτό και **οι καταναλωτές θα πρέπει να αναζητούν ξύλινα παιδικά παιχνίδια που φέρουν τα κατάλληλα σήματα ποιότητας.** Το τελευταίο υπερτονίζεται, αφού πρόσφατη έρευνα στην αγορά της Δανίας κατέληξε μεταξύ άλλων και στα παρακάτω συμπεράσματα: (i) οι αναλύσεις για αντιπυρικές ουσίες ή «συντηρητικά», όπως και για

βαρέα μέταλλα (Sb, P, Cr) σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπέρασαν τα προβλεπόμενα όρια ασφαλείας. (ii) Τα περισσότερα ξύλινα παιχνίδια έφεραν λάκα ή εφαρμογή με κάποιο λάδι. (iii) Δύο παιχνίδια απομακρύνθηκαν από την αγορά (της Δανίας) εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητάς τους σε «ύποπτες» ουσίες.



#### *Τεχνικές προδιαγραφές για το ξύλινο παιδικό παιχνίδι*

Οι προδιαγραφές γι' αυτά τα προϊόντα ξύλου είναι πολύ αυστηρές και αναμένεται στο άμεσο μέλλον να καταστούν ακόμα αυστηρότερες λόγω των κινδύνων που εγκυμονούν στους «ιδιαιτέρους» χρήστες τους. Συγκεκριμένα, τι πρέπει να προσεχθεί στις τεχνικές προδιαγραφές των ξύλινων παιδικών παιχνιδιών: να είναι το «κατάλληλο» ξύλο, ΟΧΙ «φυτοφάρμακα» ή βαρέα μέταλλα, προσοχή στα υλικά του «φινιρίσματος» του ξύλου. Ακόμα, τροπικά ξύλα που «ιδρώνουν» δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται. Ως προς το φινίρισμα: (α) αποφεύγουμε τις βαφές με συνθετικά, (β) όταν χρησιμοποιούνται βαφές, να είναι μόνο φυσικές - οικολογικές (π.χ. κάσια, υδατοδιαλυτές) και (γ) αποφεύγουμε τα βερνίκια, αλλά αν πρέπει να χρησιμοποιηθούν, τότε εφαρμόζουμε βερνίκια υδατοδιαλυτά εμποτισμού, όχι κρούστας. Επιπρόσθετα, οι προδιαγραφές υπαγορεύουν: ΟΧΙ λάκες, ΟΧΙ συντηρητικά ξύλου (όπως βορικά ή άλατα CCA), ΝΑΙ στο λινέλαιο, ΝΑΙ στο Teak oil και στα φυσικά έλαια, παραφινέλαιο. Ακόμα, να αποφεύγονται τα σύνθετα προϊόντα ξυλείας (MDF, μοριοπλάκα) και να προτιμώνται οι φυσικές κόλλες, και ποτέ η βενζινόκολλα.



**Μαντάνης Γ.** (2008). *Η σκόνη του ξύλου είναι καρκινογόνος ουσία*. Περιοδικό 'InterWOOD world', Οκτώβριος 2008, σελ. 64-68.

---

Στις βιομηχανίες ξύλου, η πλειοψηφία των εργασιών περιλαμβάνει την αποφλοιώση, τον τεμαχισμό, τη λείανση, την τórνευση, το τρύπημα, την κοπή ξυλοφύλλων, τη δημιουργία ξυλοτεμαχιδίων σε σπαστήρες, το φρεζάρισμα και τη μηχανική αποϊνώση. Από την κοπή του δέντρου στο δάσος και στη συνέχεια σε όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας, οι εργαζόμενοι εκτίθενται σε σκόνη από ξύλο με μόρια διαφορετικού μεγέθους, συγκέντρωσης και χημικής σύνθεσης. Πόσοι όμως γνωρίζουν τις συνέπειες που μπορεί να προκαλέσει αυτή η έκθεση; Η Διεθνής Επιτροπή Έρευνας κατά του Καρκίνου έχει κατατάξει τη σκόνη ξύλου ως καρκινογόνο ουσία για τον άνθρωπο (IARC 1995). Αποτελέσματα από επιδημιολογικές μελέτες δείχνουν ότι εργαζόμενοι που εκτίθενται σε σκόνη από ξύλο αντιμετωπίζουν αυξημένο κίνδυνο και συχνά συμπτώματα άσθματος και χρόνιας βρογχίτιδας, καθώς και διαταραχή της αναπνευστικής λειτουργίας.

#### *Επιπτώσεις της σκόνης ξύλου στην υγεία του ανθρώπου*

Όπως γνωρίζουμε, τα είδη ξύλου χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: ξύλο πλατυφύλλων (π.χ. οξιά, καστανιά, δρυς) και ξύλο κωνοφόρων (π.χ. πεύκο, έλατο, κυπαρίσσι). Σύμφωνα με τους κανονισμούς του Οργανισμού Ελέγχου Επικίνδυνων Ουσιών για τον άνθρωπο (COSHH 1999) τόσο για τη σκόνη που προέρχεται από ξύλο πλατυφύλλων, όσο και για τη σκόνη ξύλου κωνοφόρων, έχει οριστεί ως μέγιστη επιτρεπτή έκθεση για τον άνθρωπο το όριο των 5 mg/m<sup>3</sup> συνολικής εισπνεύσιμης σκόνης για χρονικό διάστημα 8 ωρών. Οι επιπτώσεις ορισμένων ειδών ξύλου παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα, χωρίς να αναφερθούμε στα τροπικά είδη ξύλου (π.χ. Bete, Iroko, Abura) που είναι και τα πιο επικίνδυνα. Οι επιπτώσεις στην υγεία μπορούν να συνοψιστούν στις ακόλουθες κατηγορίες.

Τοξικότητα: Η τοξικότητα της σκόνης από διάφορα είδη ξύλου και οι ερεθισμοί που προκαλεί τόσο στο δέρμα, όσο και στο αναπνευστικό σύστημα έχουν μελετηθεί και καταγραφεί εκτενώς. Οι τοξικές επιδράσεις που συνδέονται με τη σκόνη του ξύλου περιλαμβάνουν ερεθισμό του δέρματος, αλλεργική δερματίτιδα, αλλεργικά αναπνευστικά συμπτώματα, προβλήματα ρινός και οφθαλμών και πληγές από ακίδες.

Μη αλλεργικά αναπνευστικά προβλήματα: Η έκθεση σε σκόνη από ξύλο μπορεί να προκαλέσει χρόνια πνευμονικά προβλήματα και χρόνια βρογχίτιδα. Μελέτη στην Αυστραλία (2002) αναφέρει ότι σε εργαζόμενους σε βιομηχανίες ξύλου, το 50% είχε απόφραξη ρινικών κοιλοτήτων (συμφορήση), το 45% υπερβολική ρινική έκκριση, το 40% παρουσίαζε φτάρνισμα και το 33% ερεθισμό στα μάτια. Περισσότερα ρινικά συμπτώματα έχουν αναφερθεί σε απασχολούμενους με κατεργασία ξύλου πλατυφύλλων. Άλλα συμπτώματα που έχουν καταγραφεί είναι βήχας, απόχρεμψη, καθώς και συμπτώματα βρογχικού άσθματος και ρινίτιδας.

Προβλήματα ρινικών κοιλοτήτων εκτός καρκίνου: Χρόνια έκθεση σε σκόνη ξύλου μπορεί να προκαλέσει εξασθένιση της λειτουργίας εκκαθάρισης της ρινικής βλεννογόνου σε εργαζόμενους βιομηχανιών ξύλου. Προβλήματα στη βλεννογόνο της μύτης ανάμεσα σε εργάτες κατεργασίας ξύλου, εκτιθέμενους σε σκόνη ξύλου συγκέντρωσης ακόμη και χαμηλότερης των 2 mg/m<sup>3</sup> (όριο έκθεσης) έχουν καταγραφεί σε πολλές χώρες. Από αυτούς το 50% παρουσίαζε απόφραξη της ρινικής κοιλότητας, το 30% ρινική καταρροή, το 40% φτάρνισμα και το 20% ρινορραγίες και απώλεια αίσθησης της όσφρησης.

Ρινικοί και άλλοι τύποι καρκίνου: Ο ρινικός καρκίνος είναι το σημαντικότερο πρόβλημα που συνδέεται με την κατεργασία ξύλου, ειδικότερα ξύλου πλατυφύλλων. Η έκθεση σε σκόνη ξύλου πλατυφύλλων έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί αδenoκαρκίνωμα, ενώ η έκθεση σε σκόνη ξύλου κωνοφόρων αυξάνει τον κίνδυνο πρόκλησης καρκίνου ρινικών κοιλοτήτων και ρινοφαρυγγικού καρκίνου. Έρευνες έχουν δείξει ότι ο ρινικός καρκίνος μπορεί να προληφθεί, αν η έκθεση σε συγκέντρωση σκόνης 5 mg/m<sup>3</sup> δεν ξεπερνά τις 8 ώρες κατά μέσο όρο. Ορισμένες μελέτες αναφέρουν ότι στους παράγοντες κινδύνου συμπεριλαμβάνονται η σκόνη ξύλου, τα τερπένια, οι οργανικοί διαλύτες, τα χημικά συντηρητικά και μυκητοκτόνα, που χρησιμοποιούνται ευρέως κατά την επεξεργασία του ξύλου.

### **Συμπεράσματα και προτάσεις**

Η σκόνη του ξύλου είναι αποδεδειγμένα επικίνδυνη για την υγεία του ανθρώπου. Ειδικά για τους εργαζόμενους σε περιβάλλοντα βιομηχανιών κατεργασίας ξύλου και παραγωγής επίπλων, όπου και η προσοχή θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα υψηλή. Μέτρα προστασίας και προφύλαξης πρέπει υποχρεωτικά να λαμβάνονται με ευθύνη του υπεύθυνου παραγωγής της βιομηχανίας. Τα μέτρα προφύλαξης έναντι της σκόνης του ξύλου περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τα ακόλουθα:

- Εγκατάσταση αποτελεσματικού συστήματος απορρόφησης της σκόνης, που θα μειώνει την έκθεση στη σκόνη κάτω από τα επικίνδυνα όρια έκθεσης.
- Χρησιμοποίηση κατάλληλου αναπνευστικού εξοπλισμού για επιπρόσθετη προστασία.
- Χρησιμοποίηση κατάλληλου ρουχισμού, που δεν θα επιτρέπει το δέρμα να έρθει σε επαφή με τη σκόνη.
- Τήρηση των όρων προσωπικής υγιεινής, η οποία θα περιλαμβάνει καλή πλύση μετά από έκθεση σε σκόνη ξύλου.

**Πίν. 1. Αλλεργικά συμπτώματα από τη σκόνη διαφόρων ειδών ξύλου**

<i>Είδος ξύλου</i>	<i>Αλλεργικά συμπτώματα</i>
<i>Κόκκινος κέδρος (Thuja plicata)</i>	<i>Άσθμα, ρινίτιδα, δερματίτιδα, ερεθισμός βλεννογόνου</i>
<i>Κέδρος Λιβάνου (Cedrus libanii)</i>	<i>Πνευμονικές διαταραχές, ρινίτιδα</i>
<i>Κλήθρα (Alnus glutinosa)</i>	<i>Δερματίτιδα, ρινίτιδα, πνευμονικά προβλήματα</i>
<i>Φράξος, δεσποτάκι (Fraxinus sp.)</i>	<i>Μείωση λειτουργίας πνευμόνων</i>
<i>Οξιά (Fagus silvatica)</i>	<i>Δερματίτιδα, μείωση λειτουργίας πνευμόνων, ενόχληση στα μάτια</i>
<i>Σημύδα (Betula sp.)</i>	<i>Δερματίτιδα</i>
<i>Καστανιά (Castanea sativa)</i>	<i>Δερματίτιδα</i>
<i>Ελάτη (Abies sp.)</i>	<i>Δερματίτιδα, ρινίτιδα, πνευμονικά προβλήματα</i>
<i>Τσούγκα (Tsuga sp.)</i>	<i>Πνευμονικά προβλήματα, ρινίτιδα</i>
<i>Καρδιά (Juglans regia)</i>	<i>Φτάρνισμα, ρινίτιδα, δερματίτιδα</i>
<i>Ερυθρελάτη (Picea sp.)</i>	<i>Πνευμονικές διαταραχές, Πιθανή φωτοευαισθησία</i>
<i>Λεύκη (Populus sp.)</i>	<i>Φτάρνισμα, ερεθισμός οφθαλμών, μπορεί να προκαλέσει φουσκάλες στο δέρμα</i>
<i>Δρυς (Quercus sp.)</i>	<i>Άσθμα, φτάρνισμα, ερεθισμός οφθαλμών</i>

**Μαντάνης Γ.** (1997). *Μεταχρωματισμός του ξύλου από καρφιά ή σιδερένιους συνδετήρες*. Περιοδικό 'Γεωτεχνική Ενημέρωση' τ. 99, σελ. 34-35.

---

Το ξύλο είναι ένα από τα παλαιότερα υλικά κατασκευών που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος και έχει παίξει σημαντικό ρόλο στην ιστορία των κατασκευών. Όμως, σαν βιολογικό υλικό παρουσιάζει στη χρήση του και κάποια προβλήματα. Ένα απ' αυτά τα προβλήματα είναι και ο μεταχρωματισμός (=αλλοίωση του χρώματος) του ξύλου ορισμένων ειδών από καρφιά ή σιδερένιους συνδετήρες, όταν βρεθούν σε συνθήκες υγρασίας. Ίσως πολλοί θα έχουν παρατηρήσει ότι το ξύλο ορισμένων δένδρων, όταν έλθει σε επαφή με σίδηρο ή ενώσεις σιδήρου γίνεται μαύρο ή μπλε-μαύρο. Ο μεταχρωματισμός αρχίζει γύρω από το καρφί ή το συνδετήρα και μπορεί να είναι έντονος και να καταστρέψει την εμφάνιση του ξύλου (βλ. εικόνες). Ο μεταχρωματισμός του ξύλου από σίδηρο (*iron stain*) προκαλείται από χημική αντίδραση του σιδήρου ή ενώσεων του σιδήρου με τις ταννίνες και τις πολυφαινόλες που υπάρχουν στο ξύλο. Από την αντίδραση αυτή παράγονται ενώσεις του σιδήρου σκούρου χρώματος, οι οποίες βάφουν το ξύλο. Στην ιδιότητα αυτή του σιδήρου βασίζεται και η παραγωγή της συνθετικής μελάνης γραφής. Οι ταννίνες και οι πολυφαινόλες υπάρχουν στο ξύλο ορισμένων ειδών.

Σε πολλά πλατύφυλλα είδη υπάρχουν σε αρκετά μεγάλη ποσότητα. Γι' αυτό και το ξύλο ορισμένων πλατυφύλλων είναι περισσότερο ευαίσθητο στο μεταχρωματισμό από σίδηρο. Τέτοια είδη πλατυφύλλων είναι η *δρυς*, η *καστανιά*, η *καρυδιά*, η *ακακία* και τα τροπικά είδη *Afrormosia*, *Idigbo*, *Makore*, *Kapur*. Τα περισσότερα κωνοφόρα είδη δεν περιέχουν ταννίνες αλλά ενώσεις παρεμφερείς των ταννινών (είδη πεύκου, όρεγκον πάιν, σεκόγιας) με αποτέλεσμα να μεταχρωματίζεται το ξύλο των ειδών αυτών από σίδηρο. Η αντίδραση του σιδήρου και των ταννινών γίνεται μόνο κάτω από συνθήκες υγρασίας, γι' αυτό και ο μεταχρωματισμός του ξύλου εμφανίζεται και σε εσωτερικούς χώρους (π.χ. πατώματα) από τυχαία επαφή σιδερένιων αντικειμένων παρουσία υγρασίας. Ακόμη, αλλοιώσεις του χρώματος παρατηρούνται και κατά τη διάρκεια της εκτύλιξης στα ξυλόφυλλα λόγω των συνθηκών υγρασίας που υπάρχουν κατά την εκτύλιξη του ξύλου.



### *Μεταχρωματισμοί σε ξυλοκατασκευές από καρφιά*

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο μεταχρωματισμός πολλές φορές δεν εμφανίζεται αμέσως μετά την επαφή του ξύλου με σίδηρο αλλά μετά από αρκετό χρόνο έκθεσής του στον αέρα και το φως. Αυτό δημιουργεί πρόβλημα στην ανεύρεση της πηγής που προκάλεσε το μεταχρωματισμό. Συνεπώς, μπορεί να παρουσιαστεί σε τοποθετημένη πόρτα από δρυ ή καστανιά αλλοίωση του χρώματος, εάν αυτή ήλθε σε επαφή με σίδηρο κατά τη διαδικασία παραγωγής της στο εργοστάσιο.

#### *Πως μπορεί να αποφευχθεί ο μεταχρωματισμός;*

Πρόληψη του μεταχρωματισμού μπορεί να γίνει με αποφυγή της απ' ευθείας επαφής του ξύλου ευαίσθητων ειδών με σίδηρο ή ενώσεις αυτού. Η χρήση καρφιών ή συνδετήρων

από ορείχαλκο, μπρούτζο και αλουμίνιο παρέχει προστασία από το μεταχρωματισμό. Εάν, όμως, δεν μπορούμε να αποφύγουμε το σίδηρο ή το ατσάλι, τότε θα πρέπει οπωσδήποτε τα υλικά σύνδεσης που θα χρησιμοποιήσουμε να είναι γαλβανισμένα ή καλά βαμμένα.

***Πως ανιχνεύεται και πως απομακρύνεται ο μεταχρωματισμός;***

Εάν στην επιφάνεια του ξύλου που έχει αλλοιωθεί το χρώμα από σίδηρο ρίξουμε λίγο ισχυρό υδροχλωρικό οξύ, ο μεταχρωματισμός εξαφανίζεται. Η παρουσία σιδήρου επιβεβαιώνεται και με μία σταγόνα διαλύματος 1% σιδηροκυανιούχου καλίου, οπότε η περιοχή αποκτά χρώμα γαλάζιο (*κυανούν του Βερολίνου*). Ο μεταχρωματισμός του ξύλου από σίδηρο μπορεί να εξαλειφθεί με επίδραση διαλύματος *οξαλικού οξέος*, αν και αλλοιώσεις του χρώματος από πολύ χρόνο πολύ δύσκολα απομακρύνονται. Σε πρώτη φάση αφαιρούμε το βερνίκι ή το λούστρο από την επιφάνεια. Κατόπιν, βάζουμε στην επιφάνεια το οξαλικό οξύ με σφουγγάρι ή σφουγγαρόπανο και το αφήνουμε μέχρι να εξαφανιστεί η αλλοίωση. Στη συνέχεια καθαρίζουμε την επιφάνεια με άφθονο καθαρό νερό. Εάν παραμείνουν ίχνη από το οξύ στο ξύλο είναι δυνατόν να επανεμφανιστεί ο μεταχρωματισμός ή να προκύψει άλλος από την αντίδραση του οξέος με άλλα χημικά συστατικά του ξύλου. Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη χρήση του *οξαλικού οξέος* απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, διότι αυτό είναι επιβλαβές.

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ.**

***ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ***

***ΟΡΓΑΝΑ & ΣΥΣΚΕΥΕΣ***

## Ηλεκτρονικό παχύμετρο ή βερνιέρος (παχύμετρο, μικρόμετρο, caliper)



Απλό φορητό ηλεκτρονικό όργανο.

Όργανο με το οποίο μετράμε διαστάσεις σε δείγματα ξύλου, μικρά πριστά ή άλλα δοκίμια προϊόντων ξύλου· συνήθως μετράμε με ακρίβεια το πάχος και το πλάτος (φάρδος) των δοκιμίων.

Τα παλαιότερα χρόνια υπήρχαν παχύμετρα (βερνιέροι απλοί), όχι ηλεκτρονικοί. Νοείται ότι σήμερα τα ηλεκτρονικά παχύμετρα είναι ευκολότερα στη χρήση, και υψηλής ακριβείας. Λειτουργούν με μπαταρίες και είναι φορητά. Οι μετρήσεις γίνονται σε χιλιοστά (*mm*).

Το ηλεκτρονικό παχύμετρο είναι ένα απαραίτητο 'εργαλείο' μέσα στα εργαστήρια επιστήμης και τεχνολογίας ξύλου. Κάθε φορά θα πρέπει να 'μηδενίζεται' το παχύμετρο, με πλήρες κλείσιμο των δύο 'δαγκανών' του.

Χρήσεις: α. μέτρηση πάχους δειγμάτων, β. μέτρηση φάρδους δειγμάτων, γ. μέτρηση διαστάσεων εξαρτημάτων ή δειγμάτων, για ακρίβεια σε κοπές ή κατεργασίες με μηχανήματα (βλ. ξυλουργική, κατασκευές επίπλων, μηχανικές κατεργασίες, προετοιμασία δοκιμίων ξύλου για πειράματα) και άλλα.

Βλ.: <https://en.wikipedia.org/wiki/Calipers>



**Πυριατήριο ή θάλαμος ξήρανσης (εργαστηριακός κλίβανος, κλίβανος, drying chamber)**



Σταθερή εργαστηριακή συσκευή.

Απαραίτητη συσκευή του εργαστηρίου. Λέγεται *πυριατήριο* διότι παράγει θερμότητα και *ξηραίνει / ζεσταίνει* δείγματα ξύλου σε μια επιθυμητή θερμοκρασία. Το καλής ποιότητας πυριατήριο είναι με σύστημα κυκλοφορίας & ανανέωσης του αέρα.

Για τις εργαστηριακές δοκιμές είναι απαραίτητη συσκευή, ιδίως όταν ξηραίνουμε μικρά δείγματα ξύλου, *χλωρά* ή *ξηρά στον αέρα*, συνήθως στους  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Χρήσεις: α. θέρμανση δοκιμίων ξύλου σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία (λ.χ.  $60^\circ\text{C}$ ), β. ξήρανση δειγμάτων ξύλου στο απόλυτο επίπεδο (0%), με τη μέθοδο της *ξηράνσης & ζύγισης* (λ.χ. στους  $103^\circ\text{C}$ ).

Βλ.: <https://www.memmert.com/products/heating-drying-ovens/>

## Ξηραντήρας ή γυάλινος ξηραντήρας (*desiccator*)



Εργαστηριακό σκεύος.

Γυάλινο και μετακινούμενο. Ο ξηραντήρας μοιάζει με ένα μεγάλο (γυάλινο) δοχείο, κλεισμένο αεροστεγώς, στον πυθμένα του οποίου υπάρχει μια χημική ουσία (άνυδρο χλωριούχο ασβέστιο,  $CaCl_2$ ) η οποία δεσμεύει την ελάχιστη υγρασία που υπάρχει μέσα στο σκεύος, και δεν επιτρέπει στα αποθηκευμένα δείγματα ξύλου να την προσροφήσουν.

Χρήσεις: α. ασφαλής, προσωρινή αποθήκευση δειγμάτων, β. τοποθέτηση δειγμάτων ξύλου για 'κρύωμα', μετά από διαδικασία ξήρανσης), γ. δοκιμές εμποτισμού δοκιμίων ξύλου, υπό κενό (βλ. *vacuum desiccator*, με την ανάλογη τροποποίηση) και δ. ο ξηραντήρας χρησιμοποιείται (με άλλη τροποποίηση), για μετρήσεις έκλυσης φορμαλδεΰδης από συγκολλημένα προϊόντα ξύλου (Ιαπωνικές μέθοδοι *Desiccator*, βλ. JIS A 1460, JAS 233).

Βλ.: <https://en.wikipedia.org/wiki/Desiccator>

## Υγρόμετρο ξύλου ή υγρασιόμετρο (*wood moisture meter, wood hygrometer*)



Εργαστηριακή φορητή συσκευή.

Το ηλεκτρικό υγρόμετρο μετράει την περιεχόμενη υγρασία του ξύλου (ή προϊόντων του), με βάση την *ηλεκτρική αντίσταση* του υλικού. Είναι συσκευή ακριβείας για υγρασίες μεταξύ 5-35%. Είναι μια απαραίτητη συσκευή διότι η υγρασία του ξύλου επηρεάζει τα πάντα. Η ορθή χρήση της αυστηρά προϋποθέτει ορισμένα απαραίτητα στάδια (βλ. *calibration* και λοιπές αρχικές ρυθμίσεις).

Χρήσεις: α. Εκτίμηση της υγρασίας χλωρών δοκιμίων, β. Μέτρηση της υγρασίας ξυλείας, στρογγυλής ή πριστής, κατά την παραλαβή της, γ. Μέτρηση Υ στο εργαστήριο, δ. Μέτρηση της Υ σε ξυλεία μέσα στο ξηραντήριο (*kiln dryer*).

Βλ.: [https://en.wikipedia.org/wiki/Moisture\\_meter](https://en.wikipedia.org/wiki/Moisture_meter)

## Θάλαμος κλιματισμού (*climatic chamber, conditioning chamber*)



*Μικρός θάλαμος*



*Μεγάλος θάλαμος κλιματισμού*

Εργαστηριακή συσκευή.

Σταθερή συσκευή που δεν μετακινείται. Με το θάλαμο αυτό *κλιματίζουμε* δοκίμια ξύλου ή προϊόντων ξύλου σε μια οποιαδήποτε τελική (επιθυμητή) υγρασία. Οι ρυθμίσεις της αφορούν στη θερμοκρασία στον εσωτερικό χώρο του θαλάμου, και τη σχετική υγρασία του αέρα (*relative humidity*). Πολύ σημαντική συσκευή για πλήθος μετρήσεων και πειραμάτων. Δύναται να χρησιμοποιηθεί και σαν *ξηραντήριο* ξύλου (με κατάλληλο πρόγραμμα).

Χρήσεις: α. Απλή, αργή ξήρανση (χλωρών) δοκιμίων ξύλου, β. κλιματισμός δοκιμίων στο 12% επίπεδο υγρασίας (βλ. κανονικές κλιματικές συνθήκες), γ. κλιματισμός δοκιμίων ξύλου σε μια επιθυμητή είτε υψηλή, είτε χαμηλή υγρασία, δ. κλιματισμός σε ακραίες συνθήκες π.χ. 20/30 ή 20/90, για καταπόνηση δειγμάτων και έλεγχο της ποιότητάς τους και άλλες χρήσεις.

Βλ.: [https://en.wikipedia.org/wiki/Environmental\\_chamber](https://en.wikipedia.org/wiki/Environmental_chamber)

## Ζυγός ακριβείας (ζυγός, weighing balance, balance, weighing scale)



Εργαστηριακή (μετακινούμενη) συσκευή.

Ζυγός ακριβείας (είτε 1, είτε 2, είτε 3 δεκαδικών ψηφίων)▪ εργαστηριακή ζυγαριά που χρησιμοποιείται κατά κόρον σε πειράματα και δοκιμές που γίνονται στο εργαστήριο.

Χρήσεις: Οποιαδήποτε ζύγιση σε δείγματα ξύλου, για χρήση σε δοκιμές (ελέγχου ποιότητας) ή πειράματα του εργαστηρίου.

Βλ.: [https://en.wikipedia.org/wiki/Weighing\\_scale](https://en.wikipedia.org/wiki/Weighing_scale)

## Υδατόλουτρο (*bath, water bath*)



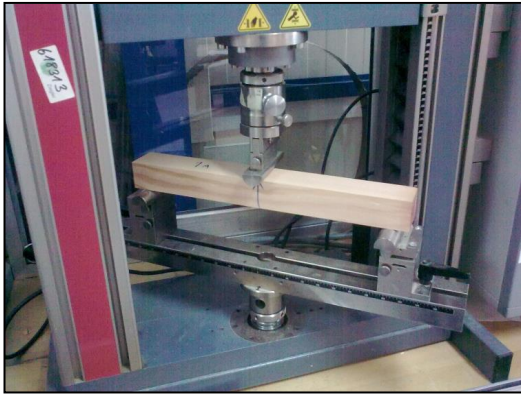
Εργαστηριακή συσκευή.

Το υδατόλουτρο είναι μια απαραίτητη συσκευή του εργαστηρίου. Περιέχει ύδωρ (νερό), συνήθως βρύσης, και μπορεί να θερμαίνεται σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Το χρησιμοποιούμε για μέτρηση ιδιοτήτων του ξύλου ή προϊόντων του ξύλου (συνήθως σταθερά, στους 40°C ή 60°C). Ορισμένες φορές και για χημικές αντιδράσεις.

Χρήσεις: Διάφορες δοκιμές και πειράματα (θέρμανσης, διόγκωσης, εκχύλισης, κ.α.).

Βλ.: [https://en.wikipedia.org/wiki/Laboratory\\_water\\_bath](https://en.wikipedia.org/wiki/Laboratory_water_bath)

## Συσκευή μηχανικών αντοχών (*Zwick machine, universal testing machine*)



*Δοκιμή αντοχής σε κάμψη*



*Δοκιμή αντοχής σε διάτμηση*



*Εργαστηριακή συσκευή Zwick*

Βασική εργαστηριακή συσκευή, πολυδύναμη και πολυσύνθετη.

Η συσκευή παρέχει τη δυνατότητα μέτρησης των μηχανικών ιδιοτήτων διαφόρων υλικών του ξύλου και προϊόντων του ξύλου (συγκολλημένων ή άλλων σύνθετων), αφού γίνουν οι προβλεπόμενες προσαρμογές στοιχείων σε αυτή. Απαιτεί εξειδικευμένο χειρισμό.

Χρήσεις: Διάφορες δοκιμές μηχανικής αντοχής (MOE, MOR, IB, hardness) και άλλα.

Βλ.: [https://en.wikipedia.org/wiki/Universal\\_testing\\_machine](https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_testing_machine)

## Μύλος Wiley ή εργαστηριακός σφυρόμυλος (θρυμματιστής, lab hammermill)



Μετακινούμενη εργαστηριακή συσκευή.

Μεταλλική συσκευή που είναι ουσιαστικά ένας μικρός σφυρόμυλος. Έχει τη δυνατότητα και της κοπής και του θρυμματισμού μικρών τεμαχιδίων ξύλου ή λοιπών υλικών ξύλου, και τη μετατροπή των σε ξυλόσκονη. Λέγεται και μύλος του *Wiley*.

Χρήσεις: Χρήση για προετοιμασία δειγμάτων (κόνης) σε πειράματα ή/και αναλύσεις.

Βλ.: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hammermill>



## Συσκευή *MTG Timber Grader* (όργανο ταξινόμησης σε κλάσεις μηχανικής αντοχής)



Ειδικό (φορητό) όργανο. Αυτόματη ταξινόμηση ξυλείας σε κλάσεις.

Το πιστοποιημένο αυτό όργανο, *MTG Timber Grader*, είναι χρήσιμο για μετρήσεις επιτόπου, σε μεγάλα δοκίμια δομικής ξυλείας (κολώνες, δοκούς, μαδέρια, καδρόνια, τάβλες) για χρήση. Με κατάλληλο λογισμικό, είναι εφικτή η ποιοτική διαβάθμιση ξυλείας σε κλάσεις μηχανικής αντοχής (π.χ. κωνοφόρα: C22, C24, C30 κτλ.). Απαιτείται εξειδικευμένη γνώση για την ορθή χρήση αυτής της συσκευής.

Χρήσεις: Διαβάθμιση της δομικής ξυλείας σε κλάσεις αντοχής.

Βλ.: <http://brookhuis.sw-dev.nl/portfolio-item/hardware/>

Συσκευή **Grindosonic** (όργανο μη καταστρεπτικής δοκιμής, Grindosonic)



Σταθερή εργαστηριακή συσκευή.

Όργανο πολύ εξειδικευμένο και σύγχρονο, για τη μη καταστρεπτική μέτρηση μηχανικών αντοχών του ξύλου, μετά από εξωτερική έκθεση ή σειρά κλιματικών καταπονήσεων. Χρησιμοποιείται σε μικρά δοκίμια ξύλου ή προϊόντων ξύλου, με απλό σχετικό τρόπο, και είναι εφικτό έτσι να εκτιμηθεί π.χ. το μέτρο ελαστικότητας (MOE) του υλικού χωρίς αυτό να καταστραφεί (δηλ. δοκιμή θραύσης), όπως και να επαναληφθεί αυτό, σε τακτικά χρονικά διαστήματα.

Χρήσεις: Μέτρηση μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου (μη καταστρεπτική).

Βλ.: [https://www.grindosonic.com/products/GrindoSonic\\_MK7.html](https://www.grindosonic.com/products/GrindoSonic_MK7.html)

## Συσκευή εκχύλισης (Soxhlet extractor, εκχυλιστήρας)



Σταθερή εργαστηριακή συσκευή για εκχυλίσεις.

Σύστημα (βλ. παραπάνω) πολλαπλών εκχυλιστήρων, το οποίο χρησιμοποιείται για την εκχύλιση ουσιών από το ξύλο, ή από άλλα υλικά (π.χ. φυτικής προέλευσης) για την απομόνωση τους, με χρήση οργανικών διαλυτών και υψηλής θερμοκρασίας. Η συσκευή αυτή είναι απαραίτητη για ένα χημικό εργαστήριο.

Χρήσεις: Πειράματα εκχυλίσεων σε υλικά ξύλου και άλλες φυτικές ύλες.

Βλ.: [https://en.wikipedia.org/wiki/Soxhlet\\_extractor](https://en.wikipedia.org/wiki/Soxhlet_extractor)

## Μαγνητικός αναδευτήρας (*magnetic stirrer*)



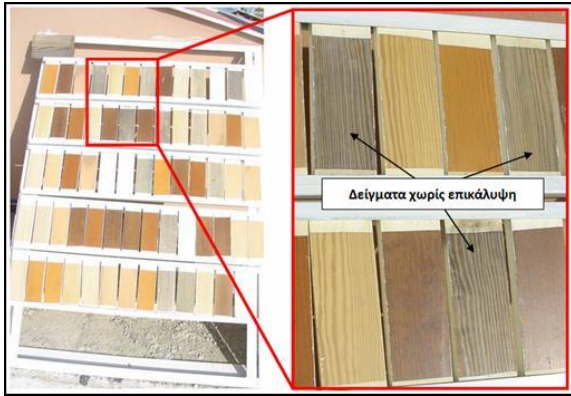
Εργαστηριακή συσκευή.

Μεταλλική και μετακινούμενη. Ο αναδευτήρας αυτός είναι μια μικρή, απαραίτητη συσκευή στο εργαστήριο για διαλύσεις, για παρασκευή διαλυμάτων και σκευασμάτων κ.α. Παρέχει τη δυνατότητα και της θέρμανσης, αλλά και της ανάδευσης των υγρών.

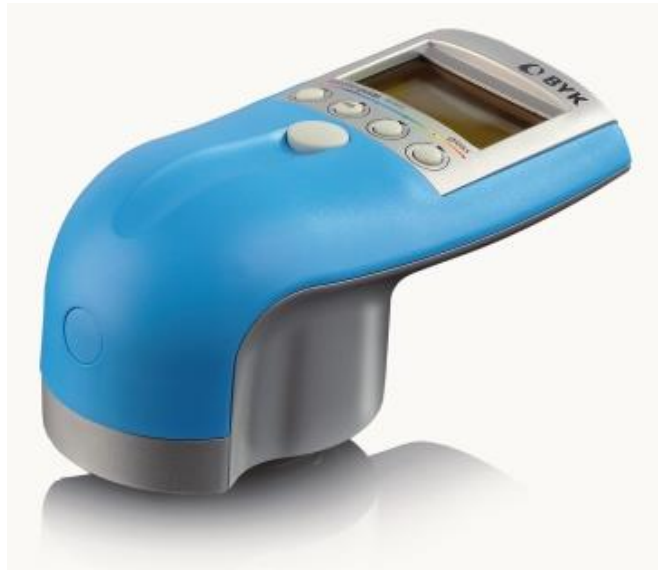
Χρήσεις: Πολλές χρήσεις για πειράματα και χημικές δοκιμές στο εργαστήριο.

Βλ.: [https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic\\_stirrer](https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_stirrer)

## Χρωματόμετρο ή μετρητής χρώματος (*colourimeter, colorimeter, colour meter CIELab*)



*Δοκιμή βερνικιών σε δοκίμια ξύλου*



Φορητή εργαστηριακή συσκευή.

Το χρωματόμετρο με βάση το *μετρικό σύστημα CIELab*, της θεωρίας χρώματος (*lightness – redness - yellowness*), μετράει αυτόματα το χρώμα, δηλ. τις μεταβολές χρώματος, σε δείγματα ξύλου ή προϊόντων ξύλου, φινιρισμένα ή μη.

Χρήσεις: Σε δοκιμές και πειράματα, είτε φυσικής είτε τεχνητής γήρανσης (*weathering*).

Βλ.: [https://en.wikipedia.org/wiki/Colorimeter\\_\(chemistry\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Colorimeter_(chemistry))

## Συσκευή αποτέφρωσης ή αποτεφρωτής (*ashing furnace, ashing chamber*)



Σταθερή εργαστηριακή συσκευή.

Χρησιμοποιείται μερικές φορές για τη θέρμανση δοκιμίων ξύλου ή κλασμάτων του σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, και πρωτίστως για την *αποτέφρωση* ξυλόσκονης, δειγμάτων ξύλου ή πελλετών (βλ. θερμοκρασίες 580-600°C) για προσδιορισμό των *ανόργανων ουσιών (τέφρα)*.

Χρήσεις: α. μέθοδος υπολογισμού τέφρας σε ξύλο, β. μέθοδος υπολογισμού τέφρας σε πελλέτες ξύλου (*wood pellets*), και άλλες δοκιμές.

Βλ.: [https://en.wikipedia.org/wiki/Muffle\\_furnace](https://en.wikipedia.org/wiki/Muffle_furnace)



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

---

**«Ιδιότητες Εύλου»**

του Καθηγητή Γεωργίου Ι. Μαντάνη