

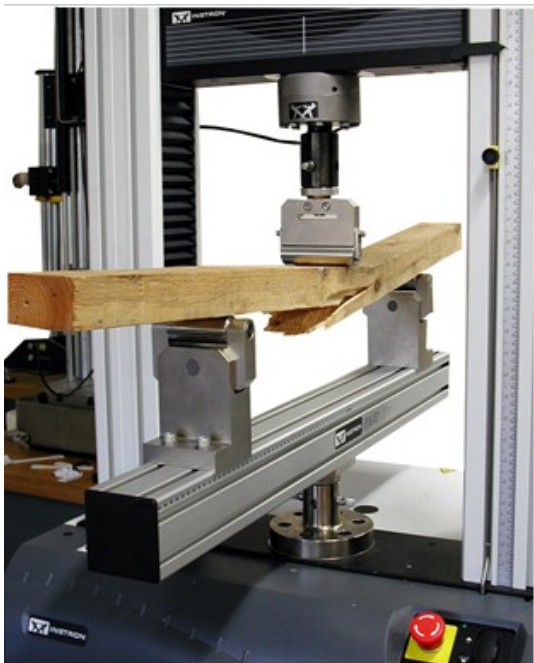


Τ.Ε.Ι. Λάρισα  
Παράρτημα  
Καρδίτσας



Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου

## *Εργαστηριακές Σημειώσεις* **«ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΞΥΛΟΥ»**



**Δρ. Δημητρίου Μπιρμπίλη**

*Εργαστηριακού Συνεργάτη του Τμήματος  
Σχεδιασμού & Τεχνολογίας Ξύλου & Επίπλου  
Παράρτημα Καρδίτσας, - ΤΕΙ Λάρισα*

Απρίλιος 2012

# Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

	<i>σελίδα</i>
<b><u>1</u> ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ &amp; ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΞΥΛΟΥ</b>	<b>2</b>
<b><u>2</u> ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ</b>	<b>6</b>
<b><u>3</u> ΥΓΡΑΣΙΑ</b>	<b>17</b>
<b><u>4</u> ΡΙΚΝΩΣΗ &amp; ΔΙΟΓΚΩΣΗ</b>	<b>27</b>
<b><u>5</u> ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ</b>	<b>31</b>
<b>ΑΣΚΗΣΕΙΣ</b>	<b>38</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ (ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ)</b>	<b>41</b>

## 1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΞΥΛΟΥ

Το ξύλο ακόμα και σήμερα χρησιμοποιείται, ιδιαίτερα στις φτωχές χώρες, κυρίως σαν θερμαντική και καύσιμη ύλη. Υπάρχει όμως, ιδιαίτερα στις ανεπτυγμένες χώρες, μια πλειάδα προϊόντων (χρήσεων) που στηρίζεται στο ξύλο σαν πρώτη ύλη. Η αξιοποίηση του ξύλου για την παραγωγή διαφόρων προϊόντων υπάρχει σαν δραστηριότητα από την εμφάνιση του ανθρώπου στη γη. Σήμερα, όμως, με την εξέλιξη της τεχνολογίας, τα προϊόντα που παράγονται είναι πολυάριθμα και καταναλώνουν σημαντικές ποσότητες της ξυλείας που παράγεται σε όλον τον πλανήτη κάθε χρόνο. Και μόνο αν αναλογιστεί κάποιος ότι η πρώτη ύλη για την παραγωγή χαρτιού είναι το ξύλο, μπορεί να φανταστεί το μέγεθος των ποσοτήτων σε ξυλεία που καταναλώνονται.

Ένας από τους πολλούς λόγους που οδήγησαν στην μεγάλη αυτή ποικιλία προϊόντων που υπάρχει σήμερα, είναι η προσπάθεια των τεχνολόγων ξύλου να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα και να εξαλείψουν τα μειονεκτήματα που έχει το ξύλο σαν υλικό. Σ' αυτό το κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά στα βασικότερα από αυτά τα πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα γιατί σχετίζονται άμεσα με τις **ιδιότητες** του ξύλου που θα αναλυθούν διεξοδικά στη συνέχεια.

### Πλεονεκτήματα του ξύλου:

α) Είναι **ανανεώσιμη** πρώτη ύλη: Αναπαράγεται από τη φύση σε αντίθεση με άλλες ορυκτές πρώτες ύλες (πετρέλαιο, μεταλλεύματα) που εξαντλούνται συνεχώς (σχήμα 1.1).

β) Έχει μεγάλη **αισθητική** αξία, διότι είναι διαθέσιμο σε πολλούς συνδυασμούς χρωμάτων και σχεδίασης. Είναι ζεστό υλικό με ιδιαίτερη αίσθηση στην αφή και στην όραση (π.χ. σύγκριση ενός ξύλινου μ' ένα μεταλλικό ή πλαστικό έπιπλο).

γ) Έχει μεγάλη μηχανική **αντοχή** σε σχέση με το βάρος του (σχήμα 1.2) - Είναι άριστο δομικό υλικό με μεγάλες κατασκευαστικές δυνατότητες και αρχιτεκτονική αξία (σχήμα 1.3).

δ) Είναι **μονωτικό** υλικό στη θερμότητα και στον ηλεκτρισμό.

ε) Δεν οξειδώνεται (δεν σκουριάζει) – Δεν ρυπαίνει το περιβάλλον.

στ) Η κατεργασία του είναι σχετικά εύκολη και απαιτεί μικρή κατανάλωση ενέργειας.



*Σχήμα 1.1. Η φύση χρησιμοποιώντας το φως του ήλιου, το έδαφος, το νερό και στοιχεία του ατμοσφαιρικού αέρα ( $CO_2$ ,  $O_2$ ) παράγει το ξύλο μέσω των δέντρων.*



*Σχήμα 1.2. Φέροντα στοιχεία ξύλου σε στέγη.*



*Σχήμα 1.3. Ξύλινο σπίτι.*

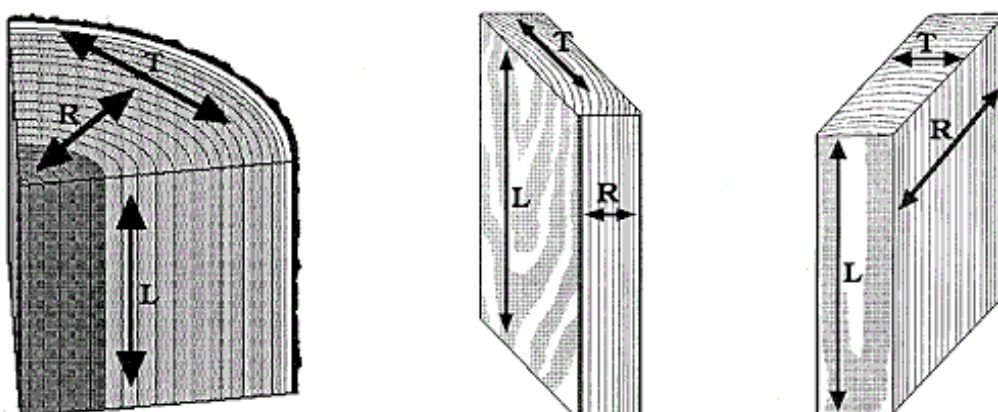


### Μειονεκτήματα του ξύλου:

- α) Είναι **υγροσκοπικό** υλικό, δηλαδή απορροφά ή χάνει υγρασία και αντίστοιχα ρικνώνεται ή διογκώνεται με την απώλεια ή πρόσληψη υγρασίας (σχήμα 1.4).
- β) Είναι **ανισότροπο** υλικό, δηλαδή διαφέρει η δομή του, η μηχανική αντοχή του και άλλες ιδιότητές του στις τρεις κύριες διευθύνσεις / τομές του (σχήμα 1.5).
- γ) Προσβάλλεται από μύκητες, έντομα και μικροοργανισμούς και κατά συνέπεια **αλλοιώνεται** (σχήμα 1.6).
- δ) **Καίγεται** σχετικά εύκολα (σχήμα 1.7).



Σχήμα 1.4. Στρέβλωση και ραγάδες σε ξύλο εξαιτίας απότομων μεταβολών υγρασίας.



Σχήμα 1.5. Ανισοτροπία του ξύλου: πολλές ιδιότητες του ξύλου διαφέρουν ανάλογα με την διεύθυνση στην οποία αναφερόμαστε (L=αξονική, R=ακτινική, T=εφαπτομενική).



*Σχήμα 1.6. Ξύλο που έχει προσβληθεί από μύκητες (αλλοίωση).*



*Σχήμα 1.7. Το ξύλο είναι εύφλεκτο υλικό  
(\*\* Σημ: Ωστόσο, σε πολύ μεγάλες διατομές, το ξύλο δεν αναφλέγεται εύκολα)*

## 2. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ\*

Πυκνότητα ενός υλικού εννοούμε την ποσότητα της μάζας του που περιέχεται (περικλείεται) σε ορισμένο όγκο. Εκφράζεται σε  $\text{g/cm}^3$  και δίνεται από τον τύπο:

$$R = \frac{M}{V}$$

**R:** η πυκνότητα (σε γραμμάρια ανά κυβικό εκατοστό,  $\text{g/cm}^3$ )

**M:** η μάζα (σε γραμμάρια, g)

**V:** ο όγκος (σε κυβικά εκατοστά,  $\text{cm}^3$ )

Παράδειγμα 1: Εάν ένα κομμάτι ξύλου ζυγίζει  $M = 50 \text{ g}$  και έχει όγκο  $V = 100 \text{ cm}^3$  τότε η πυκνότητά του θα είναι  $R = 0,50 \text{ g/cm}^3$

Η πυκνότητα, σαν έννοια, περιγράφει ουσιαστικά το πόσο «βαρύ» είναι ένα υλικό. Ο λόγος για τον οποίο δεν μας αρκεί η έννοια βάρους, είναι ότι εκτιμώντας το πόσο βαρύ είναι κάποιο υλικό πρέπει απαραίτητα να λαμβάνεται υπόψη και ο όγκος του:

Παράδειγμα 2: Τι είναι πιο βαρύ, ένα κιλό βαμβάκι ή ένα κιλό σίδηρο; Φυσικά, ζυγίζουν και τα δύο ακριβώς το ίδιο, από ένα κιλό, επομένως για τη μεταφορά τους θα χρειαστεί η ίδια ακριβώς δύναμη. Το σίδηρο όμως, είναι γενικά πολύ πιο βαρύ σαν υλικό (μεγαλύτερης πυκνότητας) γιατί το ένα κιλό πιθανόν να είναι ένα μικρό κομματάκι ενώ αντίστοιχα το βαμβάκι πιθανόν να είναι ένα ολόκληρο «τσουβάλι».

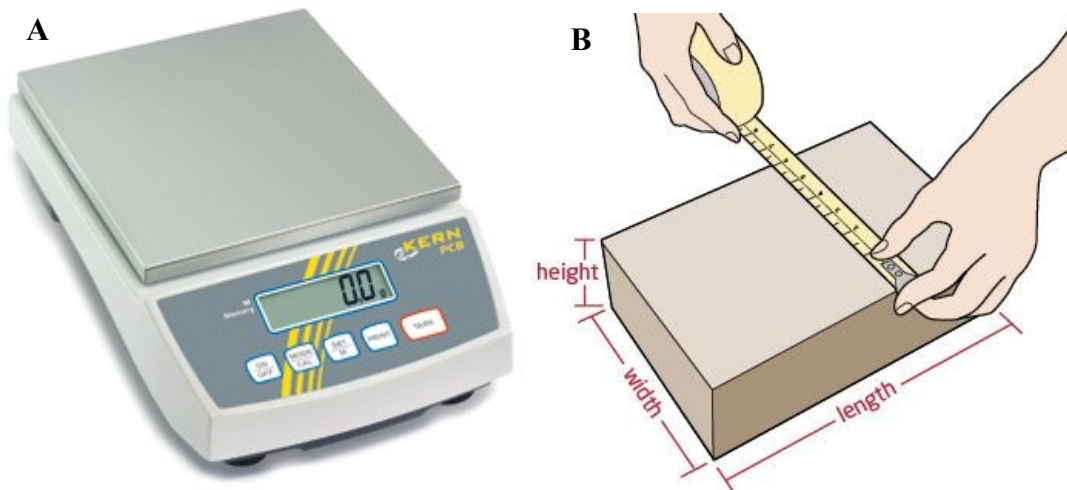
### Υπολογισμός της πυκνότητας

Για να υπολογίσουμε την πυκνότητα ενός υλικού (π.χ. ένα δείγμα ξύλου) χρειάζεται να υπολογίσουμε πρώτα τα μεγέθη **μάζα** και **όγκος**. Για τον προσδιορισμό της μάζας, μας χρειάζεται συνήθως ένας **ζυγός ακριβείας** (είδος ζυγαριάς, βλ. σχήμα 2.1A). Ο προσδιορισμός του όγκου, όμως, μπορεί να είναι ιδιαίτερα περίπλοκος. Αν το δείγμα μας έχει ένα κανονικό σχήμα, η ογκομέτρηση μπορεί να γίνει με μέτρηση των διαστάσεων (σχήμα 2.1B) και απλές μαθηματικές πράξεις (σχήμα 2.2). Εάν δεν έχει κανονικό σχήμα, θα χρειαστεί να εφαρμόσουμε κάποιες άλλες μεθόδους μερικές από τις οποίες θα αναλυθούν στη συνέχεια. Προτού αποφασιστεί όμως ποιες μέθοδοι θα χρησιμοποιηθούν πρέπει να ληφθούν υπόψη κάποιες ιδιαιτερότητες που αφορούν το ξύλο σαν υλικό.

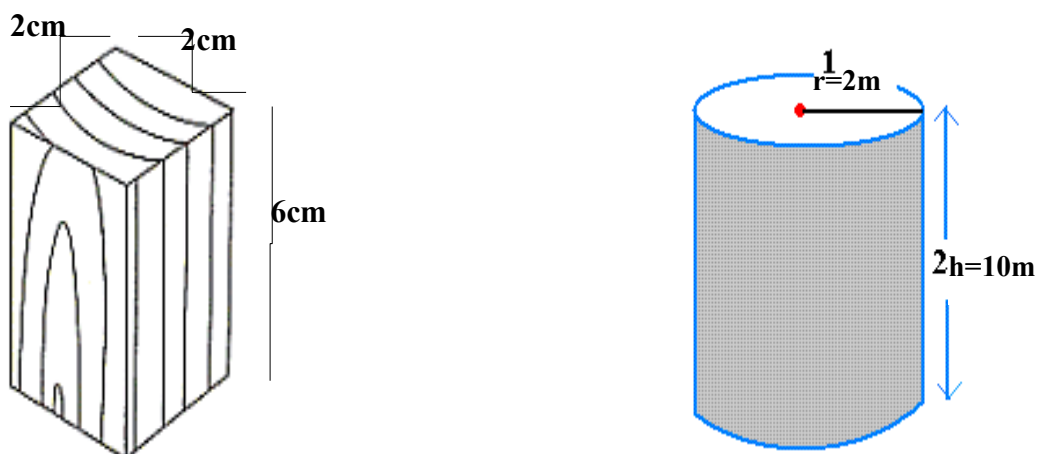
---

\* Η πυκνότητα του ξύλου - η σημαντικότερη φυσική ιδιότητά του - είναι ένα μέγεθος το οποίο παίζει καθοριστικό ρόλο στην εκτίμηση της ποιότητας και της μηχανικής αντοχής του αλλά και των εφαρμογών του σε διάφορες χρήσεις στην πράξη.





Σχήμα 2.1. A: ζυγός ακριβείας, B: μέτρηση διαστάσεων πρισματικού (ορθογωνικού) σχήματος (height=ύψος, width=πλάτος, length=μήκος).



Σχήμα 2.2. Δύο κλασικές μορφές με τις οποίες μπορεί να συναντήσουμε το ξύλο είναι το πριστό τεμάχιο (αριστερά) και η κυλινδρική (στρόγγυλη) μορφή (δεξιά). Ας υπολογίσουμε τον όγκο τους:  $V_{\text{πριστού}} = 2 \times 2 \times 6 = 24\text{cm}^3$  &  $V_{\text{στρόγγυλη}} = h \cdot \pi \cdot r^2 = 10 \times 3,14 \times 2^2 = 31,4 \times 4 = 125,6\text{m}^3$ .

### Διάκριση πυκνοτήτων ξύλου με βάση την υγρασία

Η κυριότερη ιδιαιτερότητα του ξύλου σαν υλικό είναι πως με οποιαδήποτε μορφή κι αν το συναντήσουμε είτε στη φύση είτε σε κάποια κατασκευή θα περιέχει πάντα μέσα του κάποια ποσότητα υγρασίας. Κατά συνέπεια, εάν υπολογίσουμε την πυκνότητα ενός τυχαίου δείγματος ξύλου που βρέθηκε στα χέρια μας, δεν θα έχουμε να κάνουμε με μια «καθαρή» πυκνότητα ξύλου (θα συμπεριλαμβάνεται μέσα και κάποια, πιθανώς άγνωστη, υγρασία) και δεν θα μπορούμε να το συγκρίνουμε ούτε με κάποιο άλλο υλικό ούτε με κάποιο άλλο ξύλο. Η πυκνότητα αυτή ονομάζεται **φαινομενική πυκνότητα  $R_x$**  του ξύλου και αφορά μόνο ένα συγκεκριμένο επίπεδο υγρασίας  $x$ .



Μόλις η υγρασία του ξύλου μεταβληθεί (βλέπε 1<sup>ο</sup> μειονέκτημα-υγροσκοπικότητα ξύλου, σελ. 4) αυτομάτως θα τροποποιηθούν η μάζα, ο όγκος\* και η πυκνότητά του:

$$R_x = \frac{M_x}{V_x}$$

$R_x$  = πυκνότητα σε υγρασία  $x$  (σε g/cm<sup>3</sup>), (φαινομενική πυκνότητα)

$M_x$  = μάζα σε υγρασία  $x$  (σε g)

$V_x$  = όγκος σε υγρασία  $x$  (σε cm<sup>3</sup>)

Θεωρητικά, οι τιμές φαινομενικής πυκνότητας που μπορούμε να έχουμε για το ίδιο δείγμα ξύλου είναι όσες και οι τιμές υγρασίας που μπορεί να περιέχει αυτό το ξύλο. Όπως θα δούμε, όμως, στο επόμενο κεφάλαιο, εάν γνωρίζουμε (ή υπολογίσουμε) την υγρασία που περιέχει ένα ξύλο, μπορούμε να ορίσουμε συγκεκριμένες τιμές φαινομενικής πυκνότητας (με δεδομένη δηλαδή την υγρασία που περιέχει το ξύλο) κάποιες από τις οποίες έχουν πρακτική σημασία:

Παράδειγμα 3: Εάν ένα κομμάτι ξύλου που περιέχει υγρασία 12%, ζυγίζει  $M = 60$  g και έχει όγκο  $V = 100$  cm<sup>3</sup>, ποιά πυκνότητά του μπορούμε να υπολογίσουμε; Τη φαινομενική πυκνότητα  $R_{12} = 0,60$  g/cm<sup>3</sup>

Για να υπολογίσουμε μία τιμή πυκνότητας που θα αποτελεί συγκρίσιμο μέγεθος αλλά και θα είναι αντιπροσωπευτική για το ξύλο, η ιδανική προϋπόθεση θα ήταν να έχουμε στη διάθεσή μας ένα δείγμα ξύλου που δεν θα περιέχει καθόλου υγρασία. Αυτήν η προϋπόθεση, όπως είπαμε, δεν συναντάται από μόνη της στη φύση. Μπορούμε όμως να τη δημιουργήσουμε τεχνητά (εργαστηριακά). Μετρώντας λοιπόν τη μάζα και τον όγκο ενός δείγματος που βρίσκεται σε απόλυτα ξηρή κατάσταση (περιεχόμενη υγρασία 0%) υπολογίζουμε την **ξηρή πυκνότητα  $r_o$**  με βάση τον τύπο:

$$r_o = \frac{M_o}{V_o}$$

$r_o$  = **ξηρή πυκνότητα** (σε g/cm<sup>3</sup>)

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

$V_o$  = ξηρός όγκος (σε cm<sup>3</sup>), δηλ. ο όγκος σε 0% υγρασία

**Υπολογισμός ξηρής μάζας και ξηρού όγκου (εργαστηριακή μέθοδος ξήρανσης-ζύγισης).**

---

\* Ο όγκος θα τροποποιηθεί μόνο αν μιλάμε για υγρασίες κάτω από ένα επίπεδο της τάξης του 30-35%. Σε μεγαλύτερες υγρασίες, όπως θα επεξηγηθεί λεπτομερώς στα επόμενα κεφάλαια, δεν παρατηρείται μεταβολή του όγκου με τις διακυμάνσεις της υγρασίας, αλλά μόνο μεταβολή της μάζας.

Προτού προχωρήσουμε σε μετρήσεις μάζας και όγκου, το πρώτο μας μέλημα είναι να φέρουμε το δείγμα ξύλου που πρόκειται να μετρηθεί στην επιθυμητή (ξηρή) κατάσταση (επίπεδο υγρασίας 0%). Αυτό επιτυγχάνεται σε 2 στάδια:

1) Τοποθέτηση του δείγματος σε πυριατήριο (κλίβανος) με θερμοκρασία  $103 \pm 2$  °C για 24-48 ώρες, μέχρι να αποκτήσει σταθερό βάρος (σχήμα 2.3A).

2) Τοποθέτηση του δείγματος (για λίγη ώρα) σε ξηραντήρα\* για κλιματισμό του δείγματος (σχήμα 2.3 B,Γ,Δ).



Σχήμα 2.3. A: πυριατήριο (κν. κλίβανος), B: ξηραντήρας, Γ: ξηραντήρες με ξηραντική ουσία και επιφάνεια τοποθέτησης δειγμάτων

Στο πρώτο στάδιο, καλό είναι να γίνονται συνεχείς ζυγίσεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα (1-2 ώρες). Θα παρατηρήσουμε ότι το βάρος του δείγματος συνεχώς θα μειώνεται μέχρι κάποια τιμή που θα σταθεροποιηθεί και δεν θα αλλάζει, γιατί πλέον

\* Ο ξηραντήρας μοιάζει με ένα μεγάλο δοχείο κλεισμένο αεροστεγώς, στον πυθμένα του οποίου υπάρχει μια ουσία (π.χ χλωριούχο ασβέστιο:  $\text{CaCl}_2$ ) η οποία δεσμεύει την ελάχιστη υγρασία που κυκλοφορεί μέσα στο δοχείο και δεν επιτρέπει στο δείγμα ξύλου να την απορροφήσει.

δεν θα υπάρχει άλλη υγρασία να εξατμιστεί. Αυτή η τιμή είναι και το **ξηρό βάρος** (καθαρό ξύλο) του δείγματος.

Για να προσδιοριστεί βέβαια με ακρίβεια το ξηρό βάρος, πρέπει η τελική μέτρηση να γίνει μετά το δεύτερο στάδιο (κλιματισμός του δείγματος). Στο δεύτερο στάδιο, τοποθετούμε το δείγμα σε ξηραντήρα μέχρι να αποκτήσει θερμοκρασία παρόμοια με αυτή του περιβάλλοντος χώρου.

Έχοντας λοιπόν έτοιμο το δείγμα μας, μπορούμε να μετρήσουμε και τον **ξηρό όγκο** είτε με παχύμετρο (σχήματα 2.4 & 2.5) αν το δείγμα έχει κανονικό σχήμα είτε με την ακριβέστερη μέθοδο της εμβάπτισης (σχήμα 2.6) που στηρίζεται στην *Αρχή του Αρχιμήδη\**. Στην δεύτερη περίπτωση, προτού βυθίσουμε το δείγμα μέσα στο νερό, το βυθίζουμε σε θερμή παραφίνη ώστε να καλυφθεί με ένα λεπτό στρώμα αυτής της ουσίας (ανθυγρασκοπική ουσία που εμποδίζει το νερό να περάσει μέσα στο ξύλο).

Ύστερα ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

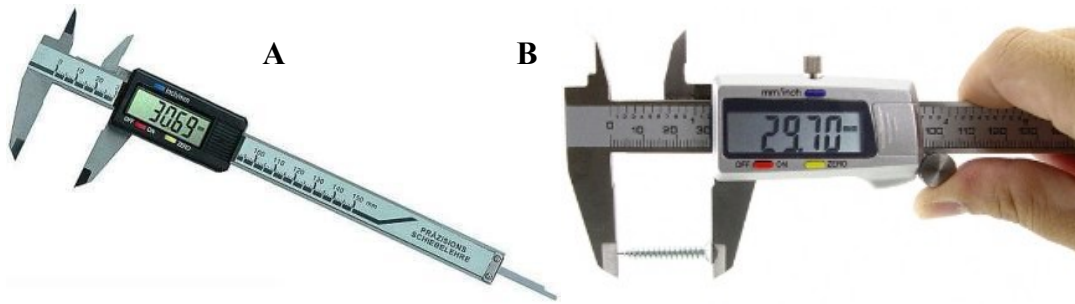
- Ζύγιση δοχείου με νερό στο ζυγό ακριβείας (πρώτη ένδειξη ζυγού).
- Εμβάπτιση του δείγματος στο νερό με τρόπο ώστε να μην εφάπτεται στα τοιχώματα του δοχείου (δεύτερη ένδειξη ζυγού).
- Η διαφορά των δύο ζυγίσεων (ενδείξεων) δίνει τον ξηρό όγκο του δείγματος επειδή  $1\text{g νερού} = 1\text{ cm}^3$ .

Εναλλακτικά, μπορούμε απλά να μηδενίσουμε την ένδειξη του ζυγού την ώρα που βρίσκεται το νερό επάνω του και στη συνέχεια βυθίζοντας το δείγμα ξύλου να πάρουμε απ' ευθείας τη μέτρηση (σχήμα 2.6).

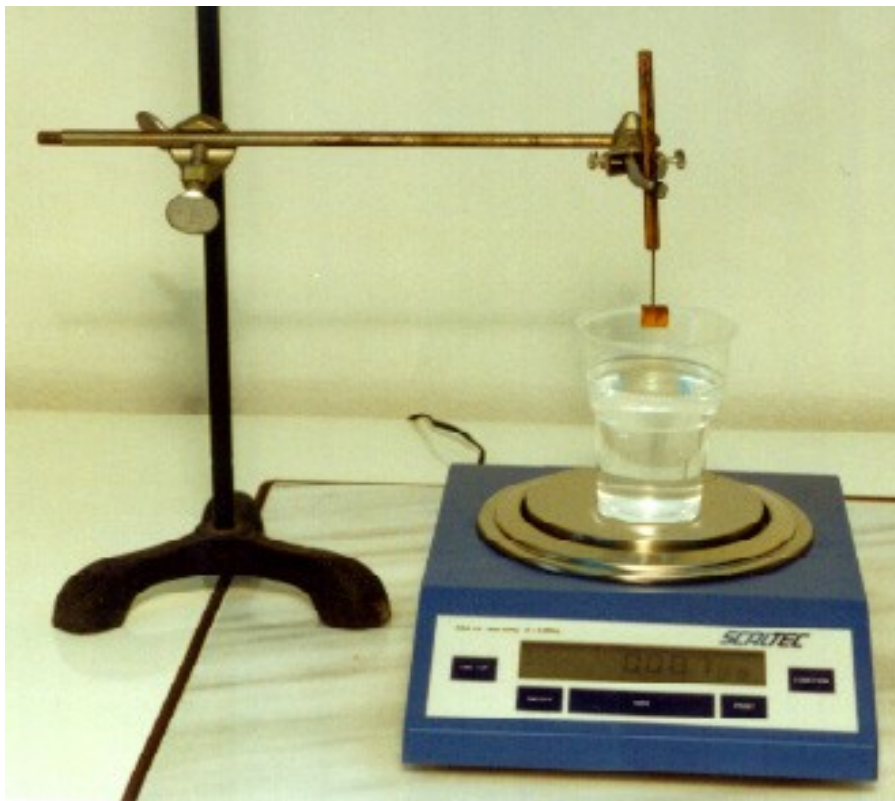


Σχήμα 2.4. Ηλεκτρικό παχύμετρο μέσα στη θήκη του μαζί με μπαταρία.

\* Εάν επιχειρήσουμε να βυθίσουμε ένα στερεό σώμα που επιπλέει πάνω στο νερό, η αντίσταση του νερού (άνωση) θα είναι ακριβώς ίση με τη δύναμη που εξασκούμε πάνω σε αυτό το σώμα.



Σχήμα 2.5. A: ηλεκτρικό παχύμετρο σε πλήρη έκταση, B: μέτρηση βίδας με μήκος 29,70mm = 2,970cm



Σχήμα 2.6. Μηδενίζουμε τον ζυγό την ώρα που βρίσκεται το νερό επάνω του. Βυθίζουμε το δείγμα ξύλου μέχρι να καλυφθεί ολόκληρο και εκείνη τη στιγμή η ένδειξη του ζυγού σε γραμμάρια (g) ισοδυναμεί με τον όγκο του δείγματος σε κυβικά εκατοστά ( $cm^3$ ).

### Ξυλώδης ύλη – Κενοί χώροι

Τα κυτταρικά τοιχώματα που οικοδομούν τα κύτταρα του ξύλου (σχήμα 2.7), σχηματίζονται από τα δέντρα με την ίδια διαδικασία και αποτελούν ένα προϊόν της φύσης που ονομάζεται ξυλώδης ύλη. Η πυκνότητα ( $r_w$ ) της ξυλώδους ύλης (πρακτικά δηλαδή του υλικού από το οποίο φτιάχνονται τα κυτταρικά τοιχώματα) είναι φυσικά περίπου ίδια για όλα τα ξύλα:  $r_w = 1,50 \text{ g/cm}^3$ .



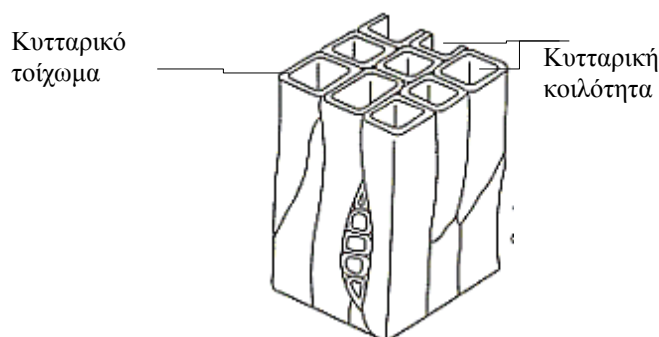
Γιατί όμως τότε κάθε είδος ξύλου αλλά και ξύλα από το ίδιο είδος ή και από τον ίδιο κορμό έχουν εντελώς διαφορετική πυκνότητα; Διότι κάθε ξύλο δεν αποτελείται μόνο από τη συμπαγή ξυλώδη μάζα αλλά και από πολλούς κενούς χώρους (π.χ. κυτταρικές κοιλότητες, σχήμα 2.7) που το ποσοστό τους διαφέρει σε μεγάλο βαθμό. Το ποσοστό των κενών χώρων του ξύλου (C%) μπορεί περίπου να εκτιμηθεί από τη σχέση:

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

Η ξηρή πυκνότητα επομένως είναι και δείκτης των κενών χώρων που υπάρχουν: όσο μικρότερη σ' ένα ξύλο τόσο μεγαλύτερο το ποσοστό των κενών χώρων του. Το ποσοστό των κενών χώρων του ξύλου κυμαίνεται από 95% σε πολύ ελαφρά ξύλα έως 15% σε πολύ βαριά ξύλα.

Σ' αυτό το σημείο, θα αναφέρουμε ενδεικτικά κάποιες από τις αιτίες που διαφοροποιούν την πυκνότητα στο ξύλο:

- Τύποι και διαστάσεις κυττάρων που το συγκροτούν
- Πάχος κυτταρικών τοιχωμάτων και κοιλοτήτων
- Πρώιμο – όψιμο ξύλο (το όψιμο έχει μεγαλύτερη πυκνότητα)
- Πλάτος δακτυλίου σε συνάρτηση με ποσοστό πρώιμου – όψιμου ξύλου
- Σομφό – εγκάρδιο σε συνάρτηση με το ποσοστό εκχυλισμάτων κ.α.



Σχήμα 2.7. Κύτταρα ξύλου (τραχειίδες) με το τοίχωμα και την κοιλότητά τους.

### Πυκνότητα ειδών ξύλου

Η πυκνότητα του ξύλου είναι πολύ σημαντική ιδιότητα γιατί επηρεάζει όλες τις άλλες ιδιότητες και χρήσεις του ξύλου και αποτελεί δείκτη της ποσότητας ξύλου που περιέχεται σ' ένα συγκεκριμένο όγκο. Είδαμε όμως ότι σαν ιδιότητα του ξύλου παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα στις τιμές της μεταξύ ειδών αλλά και δειγμάτων ξύλου από το ίδιο είδος. Ωστόσο, από μετρήσεις που έχουν γίνει στο παρελθόν, είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε ότι τουλάχιστον η ξηρή πυκνότητα ενός συγκεκριμένου είδους ξύλου μπορεί να εκφραστεί σαν ένας ενιαίος μέσος όρος (πίνακας 1) με την παραδοχή βέβαια ότι υπάρχει μια σημαντική διακύμανση γύρω

από αυτόν τον μέσο όρο. Έτσι, μπορούμε να έχουμε μια γενική εικόνα σχετικά με το πόσο βαρύ (σαν υλικό) είναι το κάθε είδος ξύλου.

Ιδιαίτερα για τα ελληνικά είδη ξεχωρίζουμε τις εξής κατηγορίες ξύλου με βάση την ξηρή πυκνότητα:

**ΕΛΑΦΡΑ (0,30 – 0,45 g/cm<sup>3</sup>):** Ελάτη, Ερυθρελάτη, Λεύκη, Ιτιά

**ΜΕΤΡΙΑ (0,45 – 0,65 g/cm<sup>3</sup>):** Τα περισσότερα από τα ελληνικά είδη ξύλου, εκτός των εξαιρέσεων που αναφέρονται στις υπόλοιπες κατηγορίες

**ΒΑΡΙΑ (0,65 – 0,80 g/cm<sup>3</sup>):** Δρυς, Οξιά, Χαλέπιος Πεύκη, Ακακία, Φράξος, Γαύρος, Σημύδα

**ΠΟΛΥ ΒΑΡΙΑ (> 0,80 g/cm<sup>3</sup>):** Πουρνάρι, Ελιά

Πίνακας 1. Ξηρή πυκνότητα διαφόρων ειδών ξύλου.

Ελάτη	0,40	Πουρνάρι	0,90	Dibetou	0,71
Πεύκο, σουηδικό	0,49	Πλατάνι	0,58	Teak	0,63
Ερυθρελάτη	0,40	Μουριά	0,61	Zebrano	0,69
Πεύκο, μαύρο	0,52	Ακακία	0,80	Makore	0,59
Ρόμπολο	0,47	Ελιά	0,88	Sapele	0,62
Κυπαρίσσι	0,55	Σφενδάμι	0,59	Sipo	0,59
Αρκεύθος	0,57	Φλαμούρι	0,50	Μαόνι	0,55
Λεύκη	0,38	Φράξος	0,66	Balsa	0,10
Καρυδιά	0,64	Oregon pine	0,49	Okoume	0,41
Οξιά	0,70	Pitch pine	0,52	Acajou	0,49
Καστανιά	0,58	Afzelia	0,80	Niangon	0,65
Δρυς	0,75	Padauk	0,65	R.Meranti	0,70

### Ειδικό βάρος – Μέθοδος PAUL

Η πυκνότητα αποτελεί πρακτικά και το λεγόμενο «ειδικό βάρος» κάθε υλικού. Το ειδικό βάρος εκφράζεται και σαν λόγος του βάρους ενός υλικού προς το βάρος ίσου

όγκου νερού. Αυτό συμβαίνει γιατί το νερό είναι το μόνο ελεύθερο στη φύση υλικό με ειδικό βάρος

(πυκνότητα) ακριβώς  $1 \text{ g/cm}^3$ , που σημαίνει ότι κάθε ένα κυβικό εκατοστό ( $\text{cm}^3$ ) νερού θα ζυγίζει ακριβώς ένα γραμμάριο (g):

$$1 \text{ g νερού} = 1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ ml}$$

$$1 \text{ κιλό (kg) νερού} = 1 \text{ λίτρο (lit)} = 1 \text{ κυβικό δεκατόμετρο (dm}^3) = 1000 \text{ ml} = 1000 \text{ cm}^3$$

$$1 \text{ τόνος (tn) νερού} = 1000 \text{ lit (ή dm}^3) = 1.000.000 \text{ ml (ή cm}^3) = 1 \text{ κυβικό μέτρο (m}^3)$$

Έτσι λοιπόν, το νερό χρησιμοποιείται σαν σημείο αναφοράς για να χαρακτηριστεί το βάρος κάθε υλικού. Πέρα από το χαρακτηρισμό, όμως, υπάρχει και η πρακτική σημασία του, καθώς όποιο υλικό έχει ειδικό βάρος μεγαλύτερο από  $1 \text{ g/cm}^3$  είναι βαρύτερο από το νερό και επομένως βυθίζεται, ενώ όποιο υλικό έχει ειδικό βάρος μικρότερο από  $1 \text{ g/cm}^3$  είναι ελαφρύτερο από το νερό και επομένως επιπλέει. Η πυκνότητα όλων των ελληνικών ξύλων κυμαίνεται από  $0,30$ - $0,90 \text{ g/cm}^3$  άρα εάν τα αφήσουμε ελεύθερα μέσα στο νερό θα επιπλέουν. Υπάρχουν όμως και είδη ξύλου όπως το τροπικό IPE (σιδηρόξυλο) με πυκνότητα  $1,20 \text{ g/cm}^3$  (μεγαλύτερη του νερού) που βυθίζονται στο νερό (σχήμα 2.8). Το βαρύτερο είδος ξύλου στον πλανήτη είναι το τροπικό Lignum Vitae (*Guaiacum officinale*) με πυκνότητα  $1,30 \text{ g/cm}^3$  (σχήμα 2.9) και το ελαφρύτερο είναι το επίσης τροπικό Balsa (*Ochroma lagopus*) με πυκνότητα  $0,10 \text{ g/cm}^3$ .

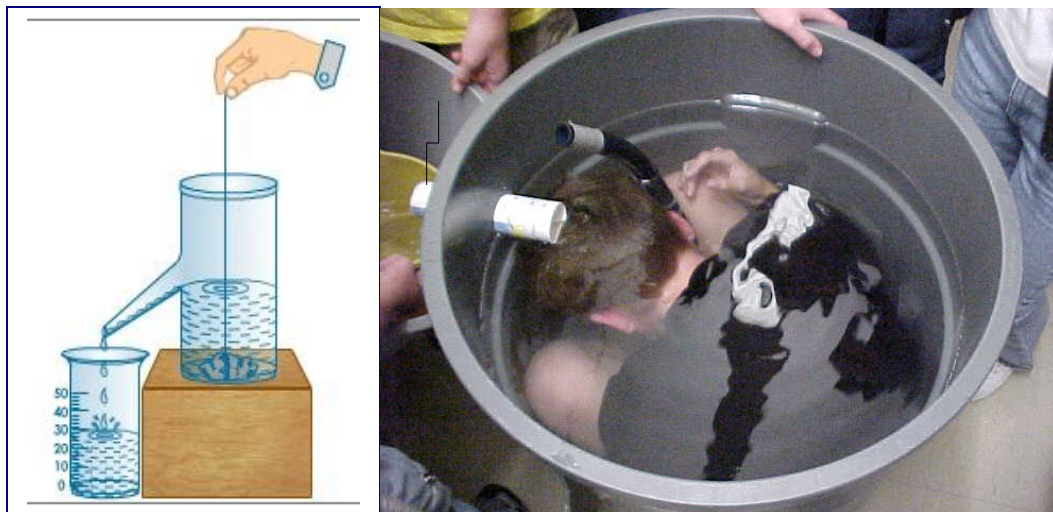


Σχήμα 2.8. Δείγμα ξύλου με πυκνότητα μικρότερη του  $1 \text{ g/cm}^3$  (αριστερά) και σιδηρόξυλο (πυκνότητα  $1,20 \text{ g/cm}^3$ ) στο δοχείο με νερό που βρίσκεται στα δεξιά.



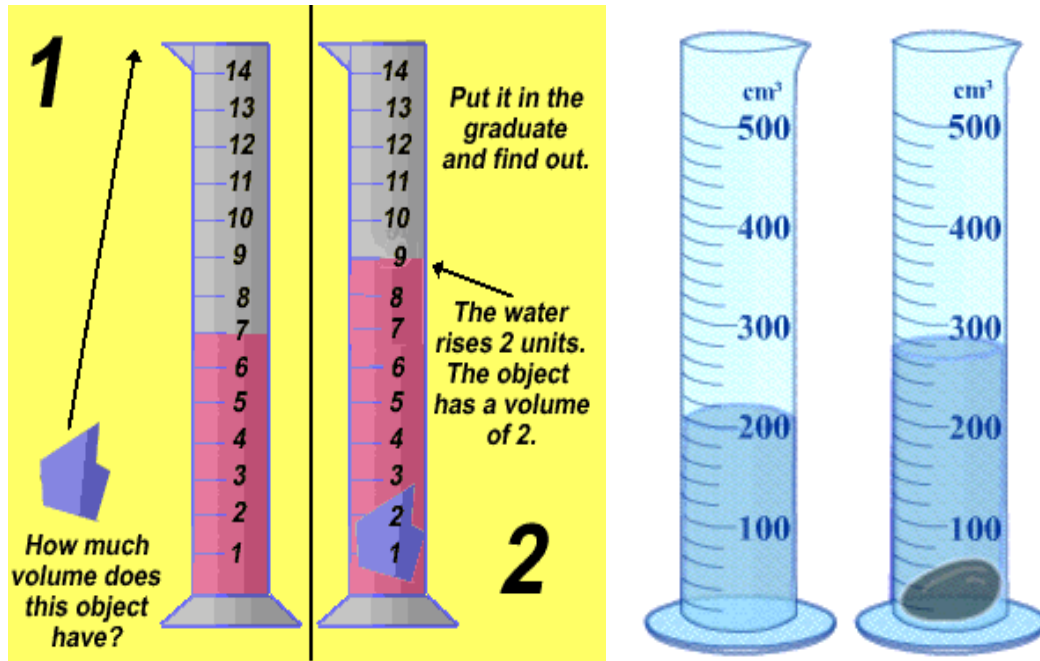
Σχήμα 2.9. Ξύλο με πυκνότητα  $1,30 \text{ g/cm}^3$  (*Lignum Vitae*) αριστερά και το ίδιο ξύλο μαζί με δείγμα από πεύκο, μέσα σε άλλο δοχείο δεξιά.

Μια εφαρμογή αυτής της ιδιότητας του νερού (ειδικό βάρος  $1 \text{ g/cm}^3$ ) είναι η ογκομέτρηση ακανόνιστων σωμάτων. Η ποσότητα νερού (σε g) που εκτοπίζεται από ένα σώμα, αν ζυγιστεί είναι ίση με τον όγκο του (σε  $\text{cm}^3$ ). Φυσικά, σε εργαστηριακό επίπεδο η ποσότητα αυτή μπορεί και να ογκομετρηθεί απ' ευθείας (σχήματα 2.9 & 2.10). Τέλος, μια ακόμα σημαντική εφαρμογή είναι και η πρόχειρη μέτρηση της πυκνότητας με τη **μέθοδο PAUL**: Πρισματικό δείγμα ξύλου αφήνεται σιγά-σιγά να βυθιστεί σε δοχείο με νερό και στη συνέχεια διαιρούμε το μήκος του ξύλου που βυθίστηκε δια το συνολικό του μήκος (σχήμα 2.11).

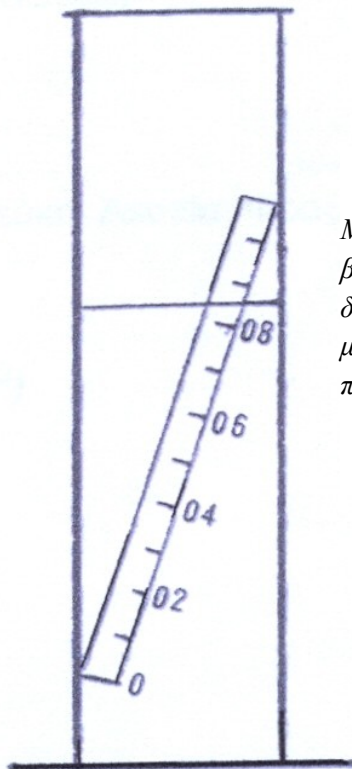


Σχήμα 2.9. Το νερό που εκτοπίζεται συλλέγεται είτε απ' ευθείας σε ογκομετρικό σωλήνα (αριστερά) είτε σε δοχείο για να ζυγιστεί (δεξιά). Έτσι μας δίνεται η δυνατότητα να ογκομετρήσουμε οποιοδήποτε ακανόνιστο σώμα όπως π.χ. το ανθρώπινο.





Σχήμα 2.10. Βύθιση απ' ευθείας σε ογκομετρικό σωλήνα. Το αντικείμενο στα αριστερά βλέπουμε ότι εκτοπίζει 2 ml νερού (7 → 9) δηλαδή έχει όγκο 2 cm<sup>3</sup>, ενώ το αντικείμενο στα δεξιά εκτοπίζει (και άρα έχει ισοδύναμο όγκο) 60 cm<sup>3</sup> (200 → 260).



Σχήμα 2.11. Μέθοδος PAUL

Μπορούμε είτε να μετρήσουμε πόσο μήκος βυθίστηκε σε σχέση με το συνολικό και να διαιρέσουμε, είτε να χωρίσουμε το δείγμα σε 10 ίσα μέρη και να τα σημειώσουμε πάνω στο ξύλο. Η πυκνότητα του ξύλου στην εικόνα είναι 0,85 g/cm<sup>3</sup>.

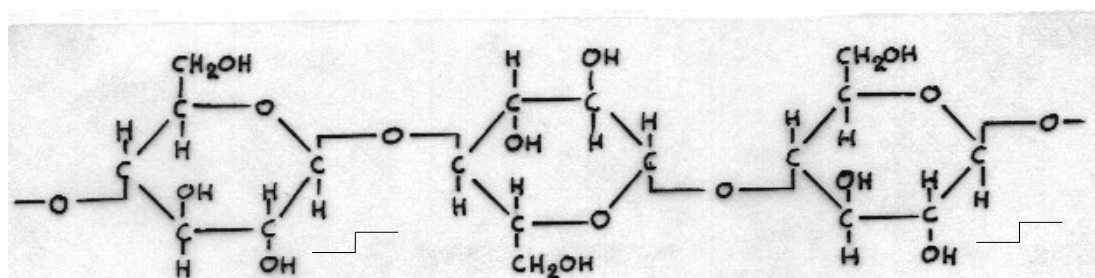
### 3. ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ

Η υγροσκοπικότητα, μαζί με την πυκνότητα, είναι οι σπουδαιότερες ιδιότητες του ξύλου. Προτού λοιπόν εξετάσουμε θέματα που έχουν μεγάλη πρακτική σημασία όπως η ποσότητα υγρασίας που περιέχεται μέσα στη μάζα του ξύλου, το πώς μεταβάλλεται και το πώς επηρεάζει τη συμπεριφορά του ξύλου, πρέπει να προσδιορίσουμε την **υγροσκοπικότητα** (βλέπε 1<sup>ο</sup> μειονέκτημα ξύλου, σελ. 4), ιδιότητα στην οποία οφείλεται αυτή η συμπεριφορά του ξύλου σαν υλικό.

Υγροσκοπικότητα είναι η ιδιότητα του ξύλου να προσλαμβάνει υγρασία από το περιβάλλον και είναι η αιτία που το ξύλο **πάντοτε** περιέχει υγρασία, ως σώμα των ζωντανών δένδρων και ως υλικό. Η υγρασία αυτή προσλαμβάνεται είτε,

- σε υγρή μορφή (απευθείας επαφή με νερό)
- σε μορφή υδρατμών (από την ατμόσφαιρα)

Η υγροσκοπικότητα οφείλεται στη χημική σύσταση του ξύλου, και ειδικά στην παρουσία **υδρόφιλων** συστατικών, όπως λ.χ. κυτταρίνη (σχήμα 2.1), ημικυτταρίνες, πηκτινικές ουσίες, κ.τ.λ. Τα συστατικά αυτά ονομάζονται 'υδρόφιλα' λόγω της ιδιότητάς τους να έλκουν και να συγκρατούν μόρια νερού.



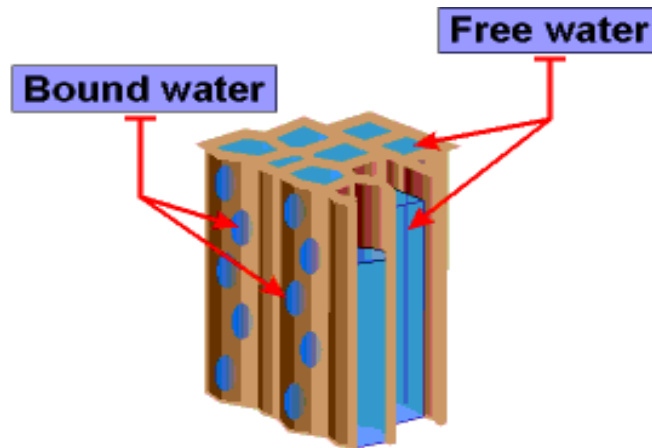
Σχήμα 2.1. Ένα από τα χημικά συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος (των μικροϊνιδίων) είναι η κυτταρίνη, μια αλυσίδα από μόρια άνυδρης γλυκόζης. Κατά μήκος αυτής της αλυσίδας εξέχουν ελεύθερες ρίζες υδροξυλίου (OH) που έχουν την τάση να έλκουν και να συγκρατούν μόρια νερού (H<sub>2</sub>O).

Όπως ήδη αναφέρθηκε λοιπόν, το ξύλο ποτέ δεν παραμένει εντελώς ξηρό στη φύση και πάντα περιέχει ένα ποσοστό υγρασίας δεσμευμένο μέσα του\*. Πού βρίσκεται όμως αυτή η υγρασία; Η υγρασία αυτή συγκεντρώνεται σε 2 περιοχές (σχήμα 2.2):

**α) στις κυτταρικές κοιλότητες**

**β) στα κυτταρικά τοιχώματα**

\* Για να εξαφανιστεί πλήρως η υγρασία που περιέχεται σ' ένα ξύλο, πρέπει να τοποθετηθεί σε κλίβανο (αεροστεγός κλεισμένος φούρνος) σε θερμοκρασία περίπου 100°C



Σχήμα 2.2. *Bound water*: η υγρασία των κυτταρικών τοιχωμάτων, *Free water*: η υγρασία των κυτταρικών κοιλιοτήτων

### Περιεχόμενη υγρασία

Ένα άλλο ερώτημα που τίθεται είναι πόση υγρασία υπάρχει συνολικά στο ξύλο, από τι εξαρτάται και πως την υπολογίζουμε. Διότι η υγρασία του ξύλου είναι ένα μέγεθος το οποίο δεν παραμένει σταθερό αλλά εξαρτάται σημαντικά από τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο τοποθετείται το ξύλο και κυμαίνεται από 0% του ξηρού βάρους του αλλά μπορεί να φτάσει και το 1000% αυτού (θα εξηγηθεί στη συνέχεια).

Η περιεχόμενη υγρασία ενός ξύλου υπολογίζεται σε % της ξηρής μάζας του ξύλου και δίδεται από τη σχέση:

$$Y = \frac{M_x - M_o}{M_o} \times 100$$

$Y$  = Περιεχόμενη υγρασία του ξύλου (%)

$M_x$  = Αρχικό βάρος ή 'υγρό' βάρος (g), (ξύλο + υγρασία μαζί)

$M_o$  = Απόλυτα ξηρό βάρος (g), («καθαρό» ξύλο)

$M_x - M_o$  = Βάρος νερού που περιέχεται στο ξύλο (g), («καθαρό» νερό)

Άρα από τον τύπο προκύπτει ότι προκειμένου να προσδιορίσουμε την υγρασία του ξύλου θα πρέπει να γνωρίζουμε το υγρό (αρχικό) βάρος και το ξηρό (τελικό) βάρος.

Παράδειγμα 1: Δείγμα ξύλου έχει αρχικό βάρος 125 g με άγνωστη υγρασία. Το ξηραίνουμε και το ξηρό βάρος μετριέται 95 g. Πόση ήταν η περιεχόμενη υγρασία  $Y$  που είχε το ξύλο προτού ξηραθεί, δηλαδή όταν ζύγιζε 125 g ;

$$Y = \frac{M_x - M_o}{M_o} \times 100 = \frac{125 - 95}{95} \times 100 = \frac{30}{95} \times 100 = 0,316 \times 100 = 31,6\%$$

**Προσοχή:** Πάντοτε η υγρασία αναφέρεται σε σχέση με την ξηρή μάζα του ξύλου. Θεωρητικά δηλαδή, απομονώνουμε το νερό ( $M_x - M_o$ ) και διαιρούμε το βάρος του δια το ξηρό («καθαρό») βάρος του ξύλου ( $M_o$ ). Αυτό σημαίνει ότι το νερό είναι πιθανό σαν βάρος να ζυγίζει περισσότερο απ' ότι το ξύλο μόνο του και έτσι να προκύψουν τιμές πάνω από 100% υγρασία. Πρέπει, λοιπόν, να θυμόμαστε **πάντα** ότι η υγρασία του ξύλου είναι μια αναλογία μάζας και **όχι** περιεκτικότητα (όγκου) σε νερό.

Λύνοντας τον τύπο υπολογισμού της περιεχόμενης υγρασίας ως προς  $M_x$ , παρατηρούμε ότι αν γνωρίζουμε το ξηρό βάρος ( $M_o$ ) ενός ξύλου μπορούμε να γνωρίζουμε πόσο θα ζυγίζει σε κάθε τιμή υγρασίας που μπορεί να περιέχει:

$$Y = \frac{M_x - M_o}{M_o} \times 100 \Rightarrow \frac{Y}{100} = \frac{M_x}{M_o} - \frac{M_o}{M_o} \Rightarrow \frac{Y}{100} = \frac{M_x}{M_o} - 1 \Rightarrow \frac{Y}{100} + 1 = \frac{M_x}{M_o} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M_x = M_o \times \left( \frac{Y}{100} + 1 \right)$$

Παράδειγμα 2: Έστω ότι το ξηρό βάρος ενός δείγματος ξύλου είναι 160 g. Ποιο θα είναι το βάρος αυτού του ξύλου, αν απορροφήσει υγρασία 50% ;

$$M_x = M_o \times \left( \frac{Y}{100} + 1 \right)$$

$$\Rightarrow M_{50} = 160 \times \left( \frac{50}{100} + 1 \right) \Rightarrow M_{50} = 160 \times (0,5 + 1) \Rightarrow M_{50} = 160 \times 1,5 \Rightarrow M_{50} = 240g$$

Αντίστοιχα, αν λύσουμε ως προς  $M_o$  (ξηρό βάρος) παρατηρούμε ότι αν γνωρίζουμε το βάρος ενός ξύλου ( $M_x$ ) σε μια συγκεκριμένη υγρασία ( $Y$ ) μπορούμε να υπολογίσουμε απευθείας το ξηρό του βάρος:

$$M_x = M_o \times \left( \frac{Y}{100} + 1 \right) \Rightarrow M_o = \frac{M_x}{\frac{Y}{100} + 1}$$

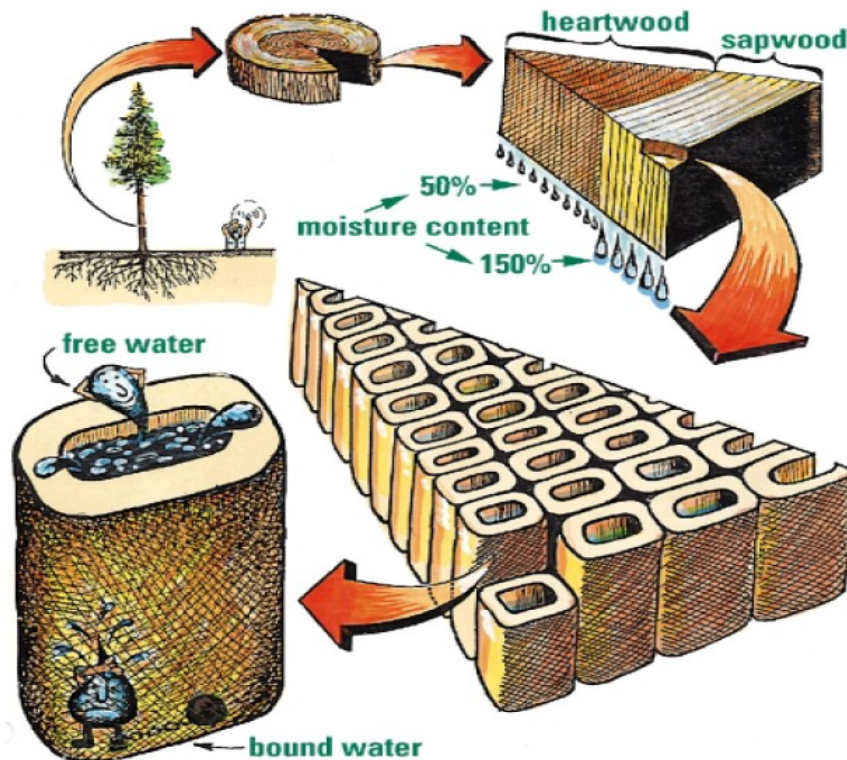
Παράδειγμα 3: Έχουμε ένα δείγμα ξύλου που ζυγίζει 150 g και περιέχει υγρασία 40%. Πόσο θα ζυγίζει αν χάσει όλη την υγρασία του;

$$M_o = \frac{M_x}{\frac{Y}{100} + 1} = \frac{M_{40}}{\frac{40}{100} + 1} = \frac{150}{0,4 + 1} = \frac{150}{1,4} = 107g$$



## Σημείο ινοκόρου

Στο σχήμα 2.3 παρατηρούμε την περιεχόμενη υγρασία σομφού (150%) και εγκάρδιου (50%) ξύλου, λογικές τιμές για ένα ιστάμενο δέντρο, καθώς και την υγρασία κοιλότητας και τοιχώματος σε μια τραχειίδα (κύτταρο κωνοφόρου).



Σχήμα 2.3. Moisture content: περιεχόμενη υγρασία, Heartwood: εγκάρδιο, Sapwood: σομφό, Bound water: υγρασία των κυτταρικών τοιχωμάτων, Free water: υγρασία των κυτταρικών κοιλότητων

Γνωρίζοντας, λοιπόν, ότι η υγρασία του ξύλου συγκεντρώνεται στις κυτταρικές κοιλότητες και τα κυτταρικά τοιχώματα, ας δούμε τι θα συμβεί όταν κόψουμε ένα δέντρο. Όπως είδαμε στο σχήμα 2.3, η περιεχόμενη υγρασία του ξύλου προτού κοπεί το δέντρο ήταν 50-150%. Μόλις το δέντρο κοπεί, η υγρασία του χλωρού ξύλου αρχίζει σταδιακά να μειώνεται (φυσική ξήρανση). Όταν ένα χλωρό ξύλο αρχίζει να ξηραίνεται, πρώτα εξατμίζεται η υγρασία των κυτταρικών κοιλότητων και μετά των κυτταρικών τοιχωμάτων.

Η θεωρητική εκείνη κατάσταση κατά την οποία τα κυτταρικά τοιχώματα του ξύλου είναι πλήρως κορεσμένα με νερό και οι κυτταρικές κοιλότητες τελείως άδειες είναι το λεγόμενο **σημείο ινοκόρου** με υγρασία περίπου 30% (25% - 35%).

Όταν η υγρασία πέσει κάτω από το σημείο ινοκόρου αρχίζει να εξατμίζεται από το ξύλο και η υγρασία εκείνη που βρίσκεται δεσμευμένη μέσα στα κυτταρικά

τοιχώματα. Σε αυτό το σημείο ξεκινούν και οι διαστασιακές μεταβολές του ξύλου για τις οποίες θα μιλήσουμε αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

### Μέγιστη υγρασία

Η περιεχόμενη υγρασία του ξύλου ενός ζωντανού δέντρου μπορεί να κυμαίνεται από την υγρασία στο σημείο ισοκόρου (περίπου 30%) έως τη **μέγιστη** δυνατή υγρασία που μπορεί να συγκρατήσει το ξύλο. Η μέγιστη υγρασία ( $Y_{max}$ ) που μπορεί να συγκρατήσει ένα ξύλο εξαρτάται από την ξηρή του πυκνότητα ( $r_o$ ) και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$Y_{max} = 100 \cdot \left( \frac{1}{r_o} - 0,67 \right) + 30$$

### Βασική πυκνότητα

Εκτός από την ξηρή και την φαινομενική πυκνότητα που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, υπάρχει ένας ακόμα τύπος πυκνότητας που ονομάζεται **βασική πυκνότητα R** και υπολογίζεται με βάση δυο σταθερά μεγέθη για κάθε δείγμα

$$R = \frac{M_o}{V_{max}}$$

ξύλου:

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

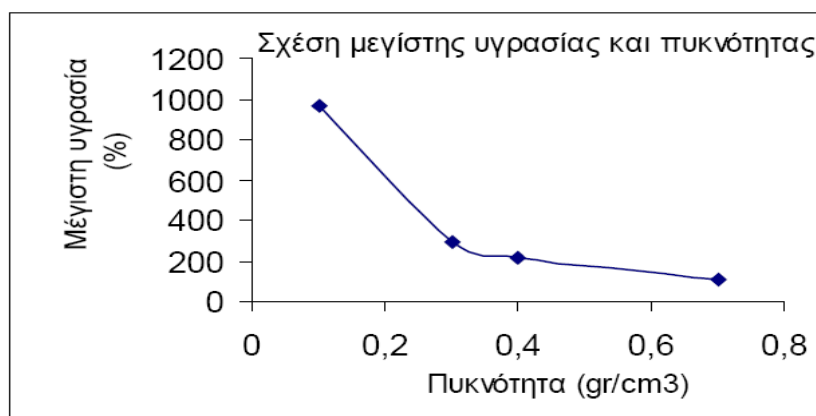
$V_{max}$  = χλωρός (μέγιστος) όγκος (σε  $cm^3$ ), δηλ. ο όγκος σε τιμές υγρασίας πάνω από 30% ο οποίος σε αυτές τις μεγάλες τιμές είναι σταθερός και δεν μεταβάλλεται.

Από την βασική πυκνότητα προκύπτει και ένας ακόμα τύπος υπολογισμού της

μέγιστης υγρασίας:

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

Όπως γίνεται αντιληπτό από τους δυο μαθηματικούς τύπους, όσο αυξάνεται η πυκνότητα ενός ξύλου ελαττώνεται το ποσοστό μέγιστης υγρασίας που μπορεί αυτό το ξύλο να συγκρατήσει και αντίστροφα (σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4. Η μέγιστη υγρασία είναι αντιστρόφως ανάλογη με την πυκνότητα.

### Ισοδύναμη υγρασία

Το ποσοστό υγρασίας που περιέχει ένα ξύλο, είναι ένα χαρακτηριστικό που συνεχώς μεταβάλλεται και δύσκολα μένει απόλυτα σταθερό. Αυτό συμβαίνει γιατί το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας των ξύλων εξαρτάται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται και πιο συγκεκριμένα από τη **θερμοκρασία** και τη **σχετική υγρασία** του αέρα. Ο συνδυασμός των τιμών των δύο αυτών παραμέτρων, δίνει κάθε φορά στο περιβάλλον που βρίσκονται τα ξύλα μια τιμή περιεχόμενης υγρασίας την οποία τείνουν να αποκτήσουν. Η υγρασία αυτή ονομάζεται **ισοδύναμη υγρασία** ή και **υγρασία ισορροπίας**, γιατί όταν την αποκτήσει το ξύλο σταματάει προσωρινά είτε να χάνει είτε να προσλαμβάνει υγρασία μέχρι να μεταβληθεί εκ νέου κάποια από τις δυο παραμέτρους (θερμοκρασία – σχετική υγρασία του αέρα) που επηρεάζουν την υγρασία του ξύλου.

Ανάλογα, λοιπόν, με τις συνθήκες που επικρατούν, το ξύλο συμπεριφέρεται με τους εξής δυο τρόπους, εκτός βέβαια από την σπάνια (συνήθως τεχνητή) περίπτωση που περιέχει υγρασία ακριβώς ίση με την ισοδύναμη υγρασία του περιβάλλοντος οπότε η υγρασία του παραμένει αμετάβλητη:

**Εκρόφηση:** Όταν ένα ξύλο περιέχει υγρασία μεγαλύτερη από την ισοδύναμη υγρασία του περιβάλλοντος αρχίζει να αποβάλλει της υγρασία του

**Προσρόφηση:** Όταν ένα ξύλο περιέχει υγρασία μικρότερη από την ισοδύναμη υγρασία του περιβάλλοντος αρχίζει να απορροφά υγρασία

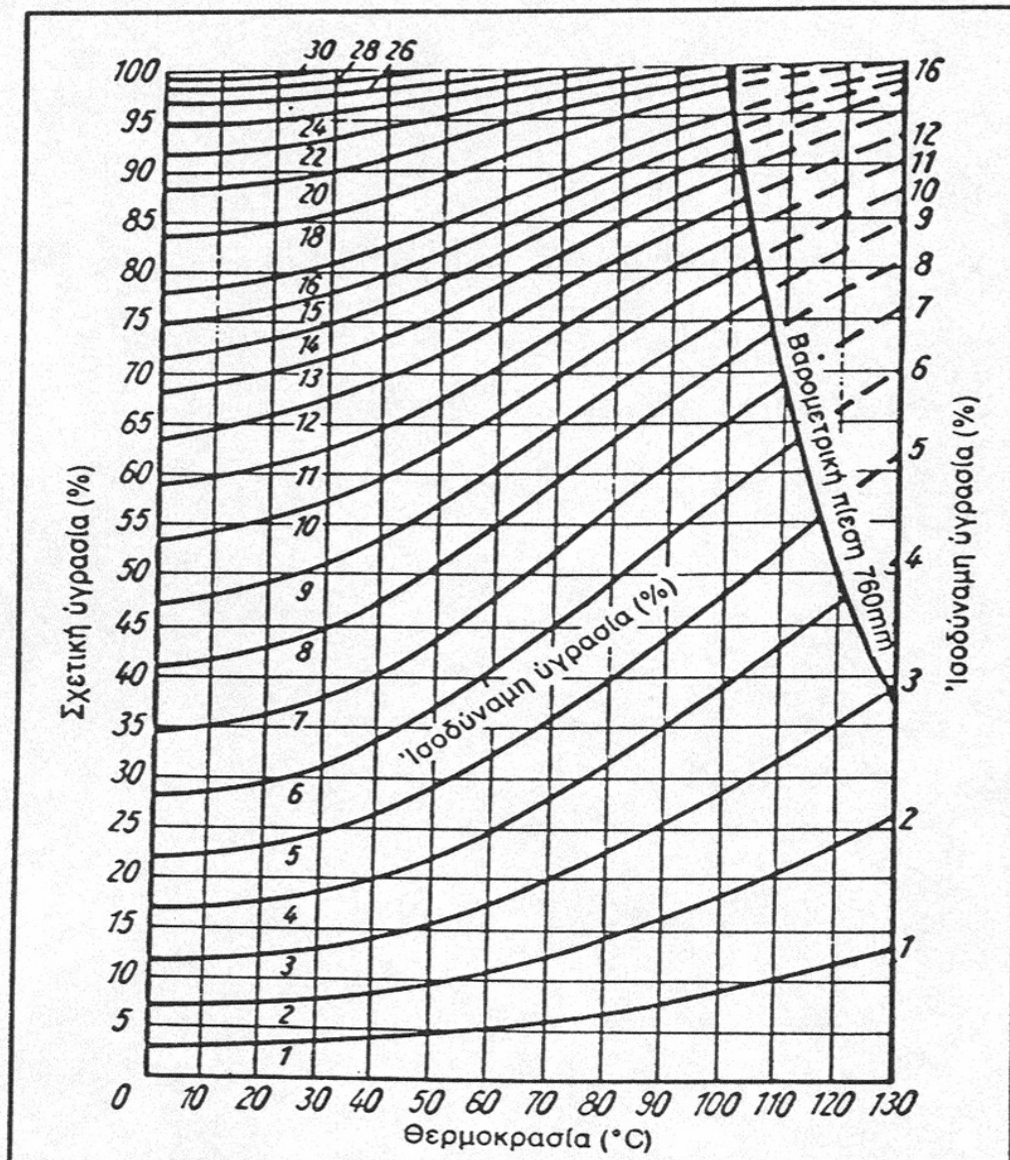
**Προσοχή:** Έχει μεγάλη σημασία όταν ξηραίνεται το ξύλο κατά την επεξεργασία του, να αφήνεται περίπου στην υγρασία που θα ισοδυναμεί με την υγρασία ισορροπίας του περιβάλλοντος στο οποίο θα τοποθετηθεί ως τελικό προϊόν. Σε αντίθετη περίπτωση θ' αρχίσει είτε να χάνει είτε να προσλαμβάνει υγρασία προκαλώντας προβλήματα (π.χ. ραγαδώσεις, στρεβλώσεις)

Κάποιες ενδεικτικές τιμές που μπορούν να δοθούν για την ισοδύναμη υγρασία του ξύλου σε διάφορες χρήσεις είναι:

8% - 10% για εσωτερικούς κλιματιζόμενους χώρους

12% - 15% για ξύλο εκτεθειμένο στην ατμόσφαιρα (εξωτερικοί χώροι)

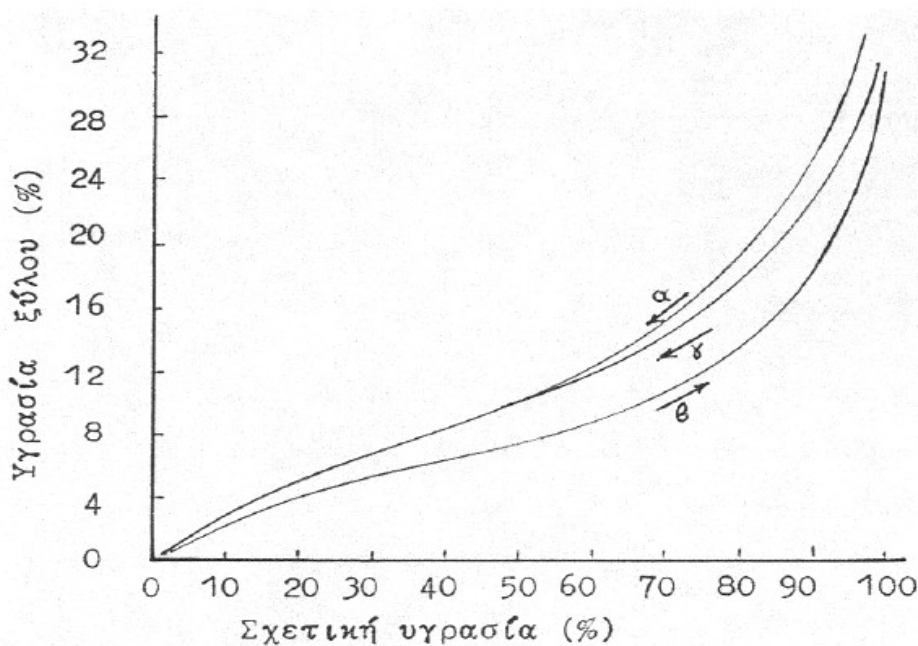
Η ισοδύναμη υγρασία ενός χώρου μπορεί να υπολογιστεί από το γράφημα του σχήματος 2.5, αρκεί να γνωρίζουμε τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του χώρου. Στον πίνακα 2 δίνεται ενδεικτικός πίνακας με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές ισοδύναμης υγρασίας (εξωτερικών χώρων) για διάφορες περιοχές της ελληνικής επικρατείας. Στο σχήμα 2.6 απεικονίζεται το φαινόμενο της υστέρησης, ένα χαρακτηριστικό των υγροσκοπικών κυτταρινικών ουσιών όπως το ξύλο, σύμφωνα με το οποίο η υγρασία είναι μεγαλύτερη στην εκρόφηση παρά στην προσρόφηση.



Σχήμα 2.5. Υπολογισμός ισοδύναμης υγρασίας.

Πίνακας 2. Ενδεικτικές τιμές ισοδύναμης υγρασίας

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



Σχήμα 2.6. Φαινόμενο υστέρησης του ξύλου: (α) καμπύλη πρώτης εκρόφησης (χλωρού) ξύλου, (β) καμπύλη προσρόφησης, (γ) καμπύλη δεύτερης εκρόφησης ξύλου

## Μέθοδοι μέτρησης περιεχόμενης υγρασίας ξύλου

### 1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ & ΖΥΓΙΣΗΣ

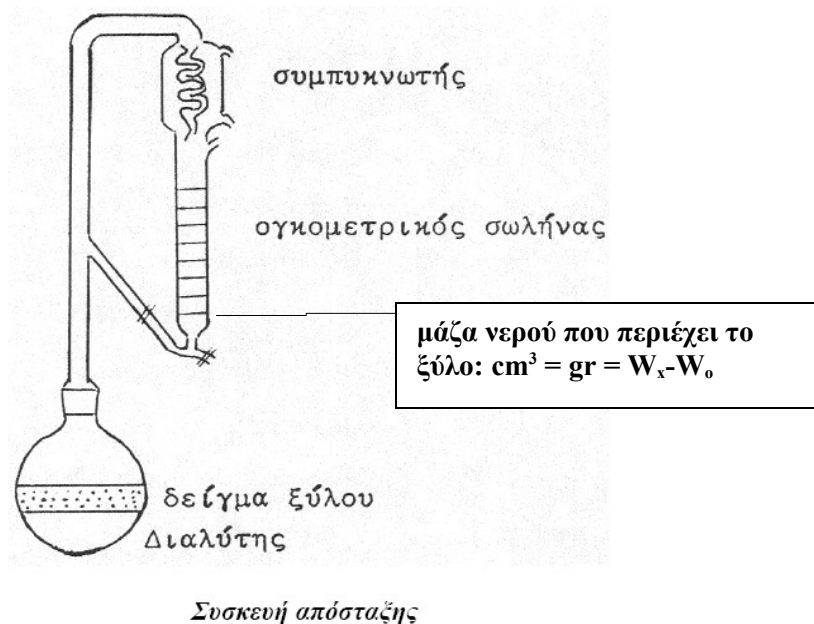
- Παίρνουμε δοκίμια ξύλου χωρίς σφάλματα 15-22 mm πάχους και μήκους περίπου 20 mm
- Ζύγιση σε ζυγό ακριβείας για υπολογισμό αρχικού βάρους ( $W_x$ )
- Τοποθέτηση σε αεριζόμενο πυριατήριο (κλίβανο) θερμοκρασίας  $103 \pm 2$  °C για 24-48 ώρες μέχρι την απόκτηση 'σταθερού βάρους' (ξηρανση)
- Τοποθέτηση στον ξηραντήρα μέχρι κλιματισμού σε θερμοκρασία δωματίου



- Ζύγιση σε ζυγό ακριβείας για υπολογισμό τελικού βάρους (απόλυτα ξηρού βάρους)  $W_0$ .

## 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ (σχήμα 2.7)

- Το δείγμα ξύλου σχίζεται σε μικρά τεμαχίδια βάρους 20-50 g , ζυγίζεται αμέσως σε ζυγό ακριβείας ( $W_x$ ), και ύστερα τοποθετείται σε δοχείο με υγρό που δεν αναμιγνύεται με το νερό, συνήθως τολουόλη ή ξυλόλη.
- Η υγρασία του ξύλου συγκεντρώνεται σε αριθμημένο σωλήνα της συσκευής απόσταξης ως νερό (σε υγρή μορφή), και όπως είναι γνωστό, ο όγκος του σε  $cm^3$  μετρά το βάρος του σε g.
- Η υγρασία του ξύλου μπορεί να υπολογιστεί όταν βρεθεί το απόλυτα ξηρό βάρος του ξύλου ( $W_0$ ), με αφαίρεση του βάρους του νερού που έχει συγκεντρωθεί στον αριθμημένο σωλήνα από το αρχικό βάρος ( $W_x$ ).



Σχήμα 2.7. Η απόσταξη γίνεται με ειδική συσκευή και διαρκεί μισή ώρα περίπου.

## 3. ΜΕΘΟΔΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΥΓΡΟΜΕΤΡΩΝ (σχήμα 2.8)

- Τοποθετούμε τα ηλεκτρόδια του υγρομέτρου είτε σε βάθος του ξύλου είτε επίπεδα και πιεσμένα στην επιφάνεια του δείγματος. Τα ηλεκτρόδια των υγρομέτρων είναι αιχμηρά (σαν καρφιά) και το μέγεθος τους ποικίλει ανάλογα με το βάθος στο οποίο θέλουμε να εισχωρήσουν.
- Μετά την τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στο ξύλο γίνεται ο κατάλληλος καθορισμός της θερμοκρασίας του χώρου και ρύθμιση του οργάνου (λ.χ. κλίμακα

1 έως 5) ανάλογα με το είδος του ξύλου και την πυκνότητα του (παράδειγμα, κλίμακα 1 ξύλα από πυκνότητα 0,30 έως 0,45, κλίμακα 2 ξύλα από πυκνότητα 0,45 έως 0,65, κ.ο.κ.)

- Η ένδειξη του οργάνου δείχνει την περιεχόμενη υγρασία του ξύλου κατά προσέγγιση. Τα ηλεκτρικά υγρόμετρα δίνουν μετρήσεις με μεγάλη ακρίβεια για υγρασία μεταξύ των τιμών 7-25%. Πριν την χρήση των μετρήσεων θα πρέπει να γίνεται έλεγχος για την σωστή λειτουργία του οργάνου.





*Σχήμα 2.8. Ηλεκτρικό υγρόμετρο και τοποθέτησή του πάνω σε στοιβαγμένη ξυλεία για μέτρηση της περιεχόμενης υγρασίας.*

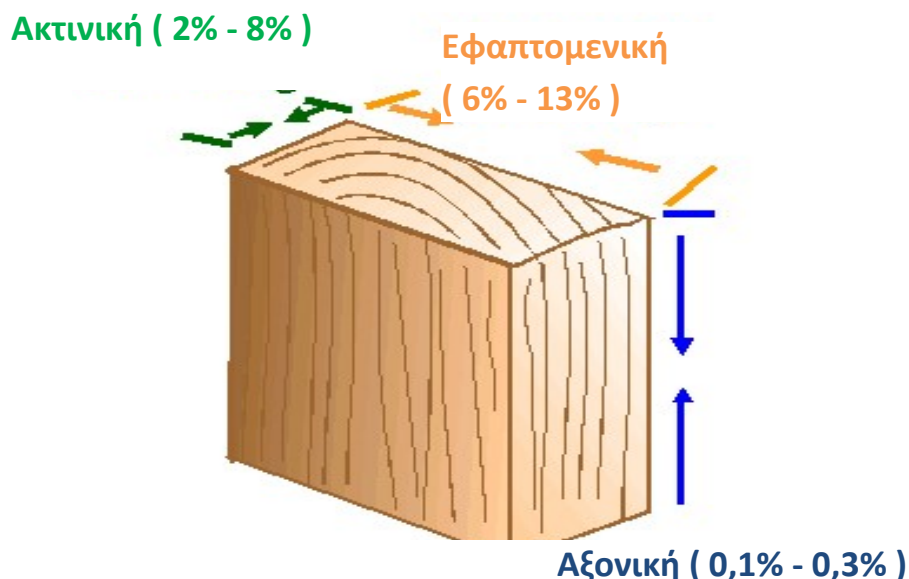
#### 4. ΡΙΚΝΩΣΗ & ΔΙΟΓΚΩΣΗ

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του ξύλου, να χάνει ή να απορροφά υγρασία ανάλογα με τις συνθήκες στις οποίες βρίσκεται, έχει σαν αποτέλεσμα να αυξομειώνεται και το βάρος του. Όταν μάλιστα η υγρασία μεταβάλλεται σε ένα εύρος τιμών που βρίσκονται πάνω από το σημείο ινοκόρου τότε το μόνο που αλλάζει είναι το βάρος του. Όταν, όμως, η υγρασία του μεταβάλλεται σε τιμές που βρίσκονται κάτω από το σημείο ινοκόρου τότε δεν αλλάζει μόνο το βάρος του αλλά και οι διαστάσεις του ξύλου. Οι μεταβολές αυτές συμβαίνουν με δύο τρόπους:

1) ΡΙΚΝΩΣΗ = Μείωση των διαστάσεων του ξύλου όταν αυτό αποβάλλει υγρασία και βρίσκεται κάτω απ' το σημείο ινοκόρου (από 30% υγρασία μέχρι 0% υγρασία)

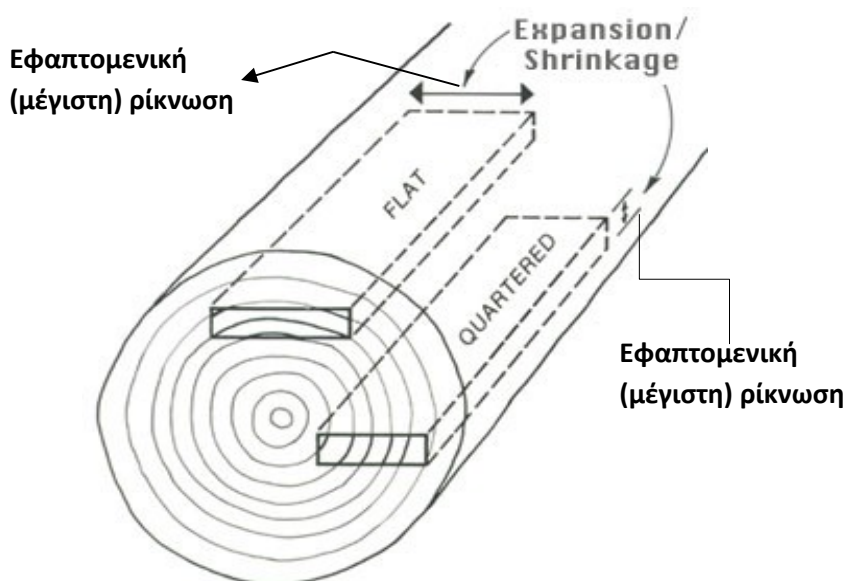
2) ΔΙΟΓΚΩΣΗ = Αύξηση των διαστάσεων του ξύλου όταν αυτό προσλαμβάνει υγρασία και βρίσκεται κάτω από το σημείο ινοκόρου (από 0% υγρασία μέχρι περίπου 30% υγρασία)

Επιπρόσθετα, επειδή το ξύλο όπως έχει αναφερθεί είναι ένα ανισότροπο υλικό, οι μεταβολές αυτές δεν συμβαίνουν ομοιόμορφα σε όλες τις διευθύνσεις του ξύλου (σχήμα 4.1). Οι αυξομειώσεις των διαστάσεων του ξύλου στην αξονική διεύθυνση είναι ελάχιστες (0,1% - 0,3%) και τις περισσότερες φορές πρακτικά δεν λαμβάνονται καθόλου υπόψη. Στην ακτινική διεύθυνση είναι μεγαλύτερες (2% - 8%) ενώ στην εφαπτομενική είναι περίπου διπλάσιες (6% - 13%) σε σχέση με την ακτινική.



Σχήμα 4.1. Διαστασιακές μεταβολές του ξύλου στις 3 διαφορετικές διευθύνσεις.

Στο σχήμα 4.2 παρατηρούμε μια πρακτική επίπτωση του φαινομένου της ανισοτροπίας. Ανάλογα με τον τρόπο που κόβεται η ξυλεία, η πλευρά του πριστού που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αστάθεια (ρίκνωση/διόγκωση) είναι διαφορετική:



Σχήμα 4.2. Μέγιστη ρίκνωση ανάλογα με τη θέση του ξύλου μέσα στον κορμό

Ο υπολογισμός της ρίκνωσης και της διόγκωσης μπορεί να γίνει με τους παρακάτω τύπους:

$$P (\%) = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100, \quad \Delta (\%) = \frac{L_1 - L_2}{L_2} \times 100$$

$P$  = ρίκνωση επί της αρχικής χλωρής διάστασης

$\Delta$  = διόγκωση επί της αρχικής ξηρής διάστασης

$L_1$  = χλωρή (μεγαλύτερη) διάσταση

$L_2$  = ξηρή (μικρότερη) διάσταση

Η ρίκνωση και η διόγκωση υπολογίζονται ξεχωριστά για κάθε διάσταση ενός ξύλου (αξονική, ακτινική, εφαπτομενική). Αν όμως στη θέση των  $L_1$  και  $L_2$  αντί για το μήκος κάποιας συγκεκριμένης διάστασης, βάλουμε τον όγκο του ξύλου, τότε μπορούμε φυσικά να υπολογίσουμε τη μεταβολή που υφίσταται ένα ολόκληρο πριστό τεμάχιο ξύλου.

Παράδειγμα 1: Ένα πριστό τεμάχιο ξύλου έχει ακτινική πλευρά 5cm. Κάποια στιγμή ελαττώνεται η υγρασία του και η πλευρά αυτή γίνεται 4,8cm. Πόση ήταν η ρίκνωση?

$$P (\%) = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \times 100 = \frac{5 - 4,8}{5} \times 100 = \frac{0,2}{5} \times 100 = 0,04 \times 100 = 4\%$$



Στους παραπάνω τύπους, εάν στη θέση των  $L_1$  και  $L_2$  βάλουμε αντίστοιχα τη μέγιστη διάσταση (υγρασία ξύλου 30% και πάνω) και την ελάχιστη διάσταση (υγρασία ξύλου 0%) υπολογίζουμε τη συνολική διόγκωση ( $\Sigma\Delta$ ) ή τη συνολική ρίκνωση ( $\Sigma P$ ) που είναι δυνατό να υποστεί η συγκεκριμένη διάσταση σε αυτό το ξύλο. Εάν γνωρίζουμε αυτές τις δύο τιμές, μπορούμε με βάση τους παρακάτω τύπους να υπολογίσουμε την ρίκνωση ( $P_\mu$ ) ή τη διόγκωση ( $\Delta_\mu$ ) που θα συμβεί σε αυτή την διάσταση για μια συγκεκριμένη μεταβολή υγρασίας ( $MY$ ):

$$P_\mu = \frac{\Sigma P \cdot MY}{30} \quad , \quad \Delta_\mu = \frac{\Sigma \Delta \cdot MY}{30}$$

Παράδειγμα 2: Ένα πριστό τεμάχιο ξύλου έχει περιεχόμενη υγρασία 20%. Το μεταφέρουμε σε κλιματιζόμενο χώρο όπου χάνει υγρασία και η περιεχόμενη υγρασία του πέφτει στο 10% (άρα μεταβολή υγρασίας  $MY=20\%-10\%=10\%$ ). Αν η συνολική εφαπτομενική ρίκνωση ( $\Sigma P$ ) που παθαίνει είναι 10%, πόσο % ελαττώθηκε (ρικνώθηκε) η εφαπτομενική του διάσταση με την πτώση αυτή της υγρασίας του;

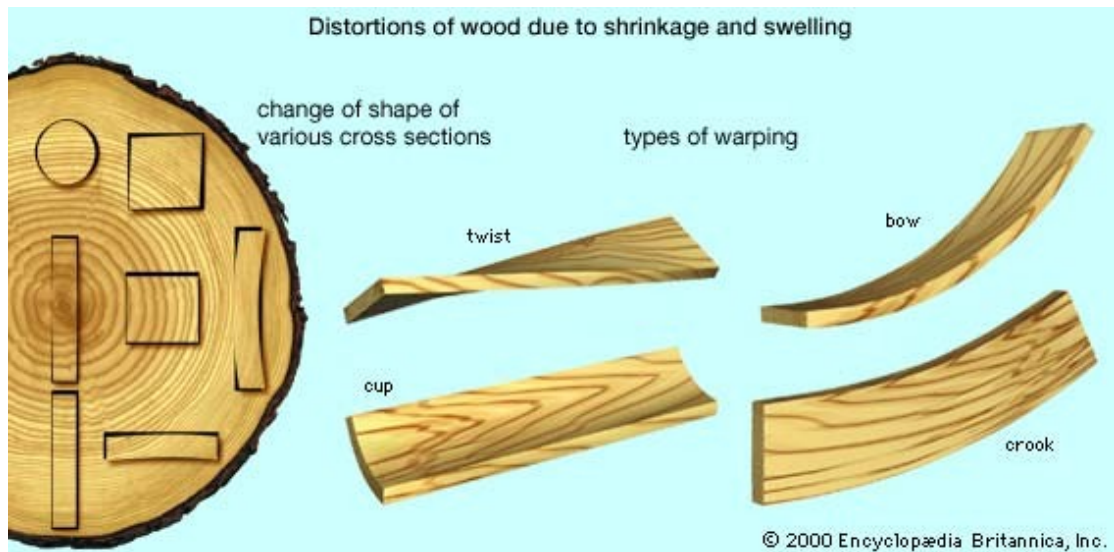
$$P_\mu = \frac{\Sigma P \cdot MY}{30} = \frac{10 \cdot 10}{30} = \frac{100}{30} = 3,33\% \quad ,$$

### Πειραματικός προσδιορισμός της συνολικής ρίκνωσης – διόγκωσης

Τα στάδια του πειράματος είναι τα ακόλουθα:

1. Παίρνουμε δείγματα ξύλου πλανισμένα, που να έχουν κοπεί με δίσκο καλής ποιότητας (λείες εγκάρσιες τομές), και να προέρχονται από ξύλο καλής ποιότητας (χωρίς σφάλματα).
2. Βυθίζουμε τα δείγματα σε νερό για 2-3 ημέρες μέχρις ότου κορεσθούν τα κυτταρικά τους τοιχώματα, δηλ. αποκτήσουν υγρασία γύρω στο 30-32% (σημείο ινοκόρου). Την διαδικασία αυτή ακολουθούμε εφόσον το ξύλο έχει υποστεί ξήρανση. Μπορούμε βέβαια να χρησιμοποιήσουμε χλωρό ξύλο, πολύ πρόσφατα υλοτομημένο, το οποίο περιέχει υγρασία πάνω από το σημείο ινοκόρου.
3. Μετράμε τις ακριβείς διαστάσεις ( $L_1$ ) των χλωρών δειγμάτων με ακρίβεια εκατοστού του χιλιοστού.
4. Τοποθετούμε τα δείγματα σε αεριζόμενο κλίβανο στους  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , μέχρι να αποκτήσουν σταθερό βάρος δηλ. μέχρι να χάσουν όλη την υγρασία τους:  $Y=0\%$ . Ο απαιτούμενος χρόνος είναι συνήθως πάνω από 24 ώρες.
5. Τοποθετούμε τα δείγματα σε ειδικό δοχείο (ξηραντήρα), πάνω από χλωριούχο ασβέστιο ( $\text{CaCl}_2$ ) ή πεντοξείδιο του φωσφόρου ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), και παίρνοντας ένα-ένα τα δείγματα μετράμε τις ξηρές διαστάσεις ( $L_2$ ) με μικρόμετρο.

Οι αυξομειώσεις των διαστάσεων του ξύλου ως συνέπεια των μεταβολών της περιεχόμενης υγρασίας του, είναι ένα μεγάλο μειονέκτημα του ξύλου γιατί μπορεί να προκαλέσουν ελαττώματα όπως στρεβλώσεις (σχήμα 4.3), ραγαδώσεις κλπ. Το πρόβλημα αυτό, γίνεται προσπάθεια να αντιμετωπιστεί στην πράξη με διάφορους τρόπους όπως εμποτισμός του ξύλου με κατάλληλες ουσίες, μηχανική μεταποίηση, επιμελημένη ξήρανση κ.ο.κ.



Σχήμα 4.3. Διάφορες παραμορφώσεις (στρεβλώσεις) του ξύλου που οφείλονται σε μεταβολές υγρασίας και τις αντίστοιχες διαστασιακές μεταβολές.

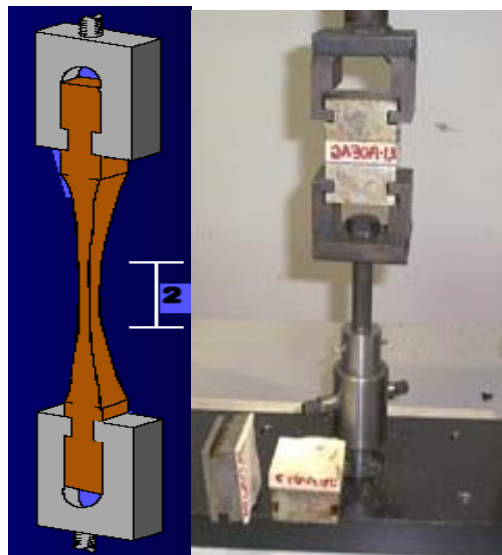
## 5. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Το ξύλο λόγω της πολύπλοκης μικροσκοπικής δομής του και της χημικής του σύστασης είναι ανισότροπο και ανομοιογενές υλικό. Για τους λόγους αυτούς έχει διαφορετική μηχανική αντοχή προς τις διάφορες αυξητικές διευθύνσεις.

Με βάση τον τρόπο φόρτισης του ξύλου διακρίνουμε τις διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες (αντοχές) που το χαρακτηρίζουν.

### Αντοχή σε εφελκυσμό

Φόρτιση σε εφελκυσμό (tension) σημαίνει προσπάθεια αποκόλλησης του ξύλου με 2 αντίρροπες δυνάμεις που ενεργούν στα άκρα του (σχήμα 5.1).



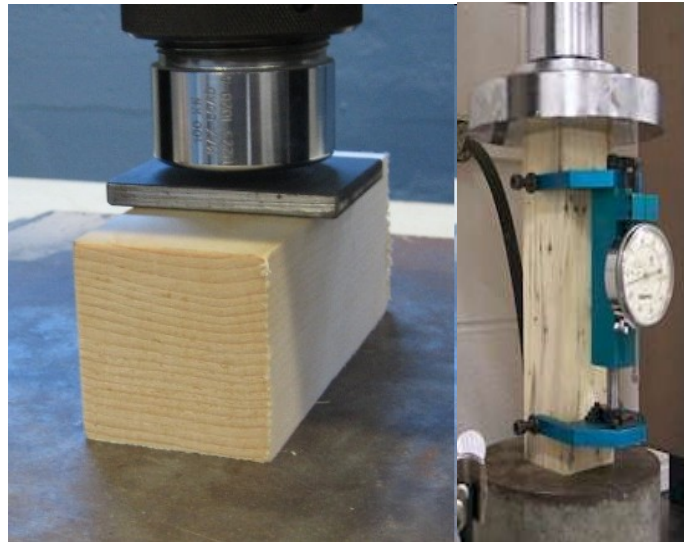
Σχήμα 5.1. Αριστερά παρατηρούμε μια σχηματική αναπαράσταση φόρτισης μασιφ ξύλου σε εφελκυσμό. Δεξιά παρατηρούμε τη μέτρηση της αντοχής σε εφελκυσμό συγκολλημένου ξύλου.

### Αντοχή σε θλίψη

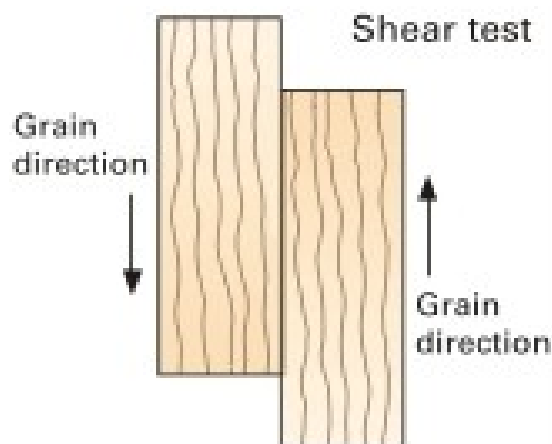
Θλίψη (compression) είναι η συμπίεση του ξύλου ώστε να σπάσει μέσα στη μάζα του (σχήμα 5.2).

### Αντοχή σε διάτμηση

Διάτμηση (shear) είναι η πλευρική αποκόλληση του ξύλου (σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.2. Αριστερά έχουμε φόρτιση σε εγκάρσια θλίψη και δεξιά φόρτιση σε αξονική θλίψη του ξύλου.



Σχήμα 5.3. Διάτμηση του ξύλου

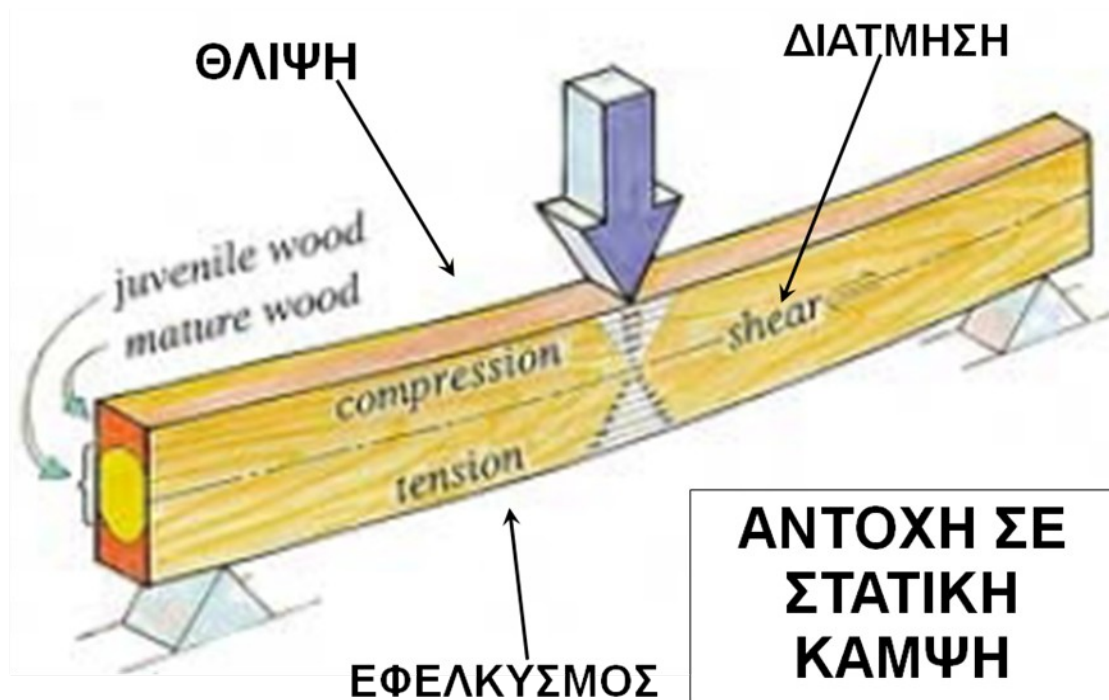
### Αντοχή σε στατική κάμψη

Είναι η σταδιακή φόρτιση δοκού που είναι πακτωμένη σε δύο άκρα (σχήμα 5.4). Κατά τη διάρκεια αυτής της φόρτισης, σε διαφορετικά επίπεδα μέσα στο ξύλο, αναπτύσσονται δυνάμεις και θλίψης και εφελκυσμού και διάτμησης (σχήμα 5.5). Όσο αυξάνεται η δύναμη πάνω στο ξύλο μέχρι να σπάσει εντελώς (όριο θραύσεως), διακρίνουμε δύο στάδια φόρτισης που χωρίζονται από το όριο ελαστικότητας (σχήμα 5.6). Στο πρώτο στάδιο όπου η δύναμη δεν ξεπερνά το όριο ελαστικότητας βρισκόμαστε στην **ελαστική περιοχή** του ξύλου στην οποία το ξύλο συμπεριφέρεται σαν απόλυτα ελαστικό υλικό, δηλαδή όταν σταματήσει να φορτίζεται επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση χωρίς να παραμορφωθεί. Στο δεύτερο στάδιο όπου η δύναμη ξεπερνά το όριο ελαστικότητας βρισκόμαστε στην **πλαστική περιοχή** του ξύλου στην οποία το ξύλο συμπεριφέρεται σαν πλαστικό υλικό, δηλαδή όταν

σταματήσει να φορτίζεται δεν επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση αλλά διατηρεί κάποια παραμόρφωση.

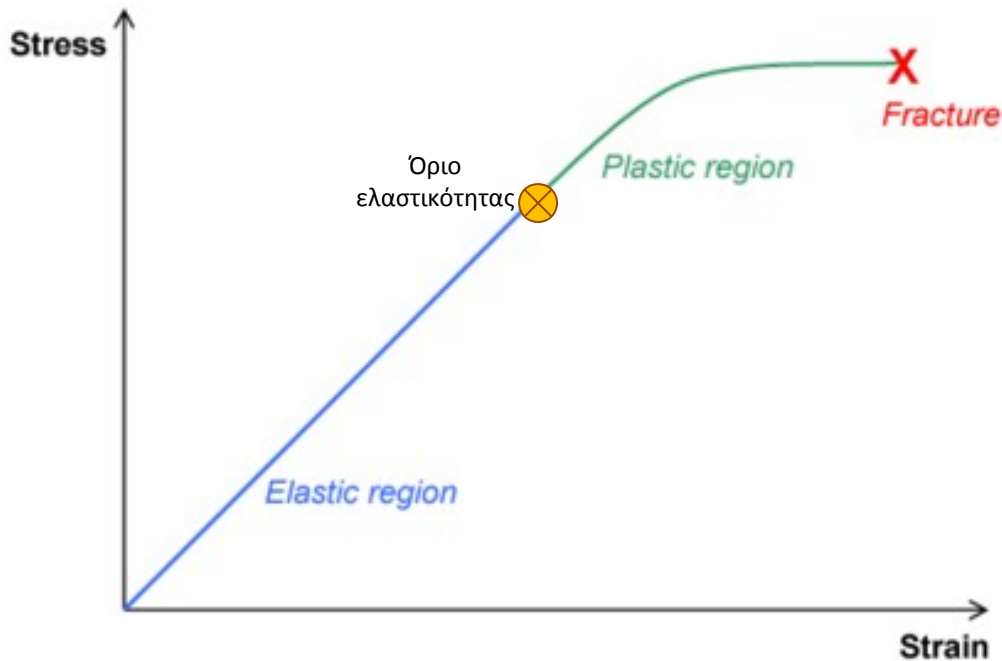


Σχήμα 5.4. Φόρτιση σε κάμψη



Σχήμα 5.5. Ανάπτυξη διαφορετικών τάσεων κατά την διάρκεια της κάμψης.





Σχήμα 5.6. Στον άξονα  $Y$  αποτυπώνεται η δύναμη (Stress) που ασκείται πάνω στο ξύλο (συνήθως σε  $Nt$  ή  $Kp$ ) ενώ στον άξονα  $x$  αποτυπώνεται η αντίστοιχη παραμόρφωση (Strain) του ξύλου (συνήθως σε  $mm$  ή  $cm$ ). Η σχέση δύναμης-παραμόρφωσης στην ελαστική (μπλε) περιοχή του ξύλου είναι μια ευθεία γραμμή της οποίας η κλίση (μέτρο ελαστικότητας) μας δείχνει πόσο εύκαμπτο είναι το ξύλο (όσο αποκλίνει από τον άξονα  $Y$  τόσο πιο εύκαμπτο είναι το ξύλο και αντίστροφα). Στη συνέχεια συναντάμε το όριο ελαστικότητας που αν ξεπεραστεί το ξύλο παραμορφώνεται οριστικά χωρίς να επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση αν σταματήσουμε τη φόρτιση (πλαστική περιοχή με το πράσινο χρώμα). Η σχέση δύναμης-παραμόρφωσης γίνεται απότομη καμπύλη και μετά από λίγο το ξύλο σπάει εντελώς καθώς η δύναμη φτάνει στο όριο θραύσεως (Fracture).

### Αντοχή σε κρούση

Κρούση είναι η απότομη (και όχι σταδιακή) θραύση του ξύλου (σχήμα 5.7).

### Αντοχή σε σκληρότητα

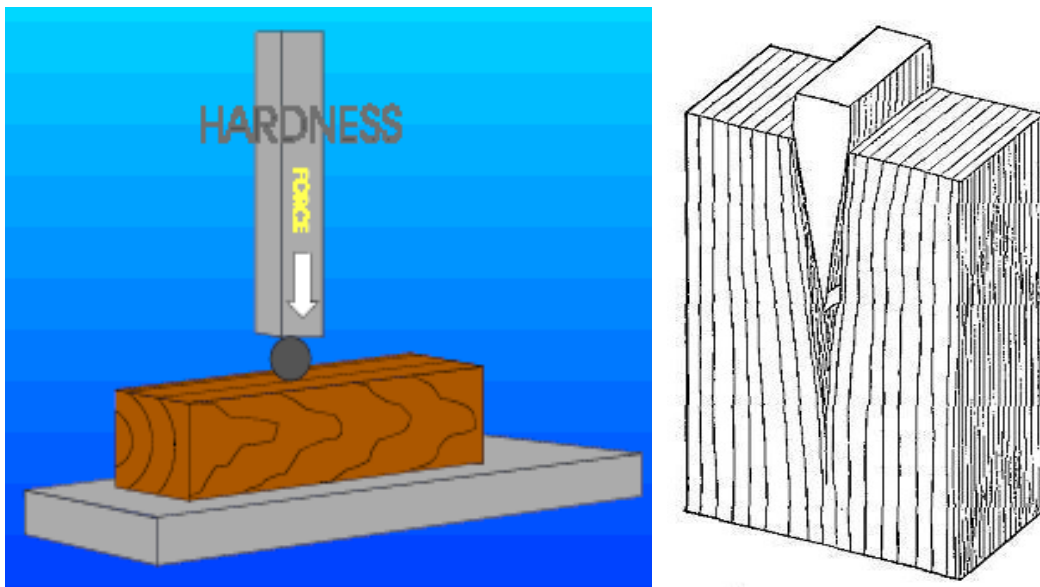
Σκληρότητα είναι η αντίσταση του ξύλου στη διείσδυση ενός ξένου υλικού μέσα στη μάζα του (σχήματα 5.8, 5.9 & 5.10).

### Αντοχή σε σχίση

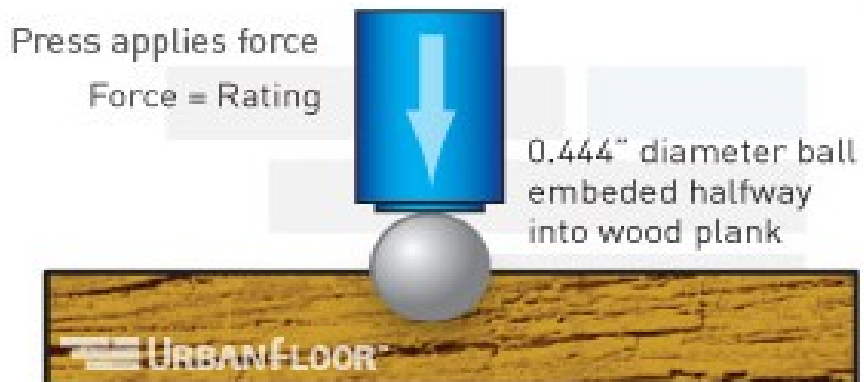
Είναι η αντίσταση του ξύλου όταν ένα αιχμηρό υλικό επιχειρεί να διαπεράσει τη μάζα του (σχήμα 5.8).



Σχήμα 5.7. Συσκευή για απότομη θραύση (κρούση) του ξύλου



Σχήμα 5.8. Αριστερά σκληρότητα και δεξιά σχίσση του ξύλου.



Σχήμα 5.9. Μέτρηση σκληρότητας με τη μέθοδο Brinell (με μεταλλική σφαίρα)



Σχήμα 5.10. Μέτρηση σκληρότητας με τη μέθοδο Janka (με έμβολο)

Τα προϊόντα μηχανικής κατεργασίας ξύλου (αντικολλητά, επικολλητό ξύλο, μοριοσανίδες, ινοσανίδες), όπως και το ίδιο το ξύλο, πρέπει να έχουν μηχανικές ιδιότητες, οι οποίες να ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις των κατασκευών που θα χρησιμοποιηθούν, ώστε να εξασφαλίζεται ασφάλεια κατά τη χρήση της κατασκευής, ευστάθεια, στερεότητα και μεγάλη διάρκεια χρήσης. Για τους λόγους αυτούς, οι μηχανικές ιδιότητες πρέπει να είναι μέσα στα όρια που προβλέπουν συγκεκριμένες προδιαγραφές.

Για να ορισθούν αυτές οι προδιαγραφές διεξάγονται πειραματικές μετρήσεις με ειδικά μηχανήματα τα οποία συνήθως μετρούν τη δύναμη (μέχρι το μέγιστο φορτίο που ασκήθηκε για να υποχωρήσει το δείγμα) και την παραμόρφωση που προκαλείται σε κάθε φόρτιση του ξύλου. Γνωρίζοντας αυτές τις τιμές και τις διαστάσεις των δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν, υπολογίζονται οι μηχανικές ιδιότητες του ξύλου με τη χρήση τύπων μερικοί από τους οποίους δίνονται στη συνέχεια ως παράδειγμα:

Αντοχή σε **εφελκυσμό** (S) και σε **θλίψη** (C) :  $S = \frac{F}{A}$  ,  $C = \frac{F}{A}$

F = μέγιστο φορτίο (Kp ή N) , A=διατομή δείγματος (cm<sup>2</sup> ή mm<sup>2</sup>)\*

Αντοχή σε κάμψη:

$$M\theta = \frac{1,5 \cdot F_{max} \cdot L}{b \cdot d^2} , \quad ME = \frac{F_{ελ} \cdot L^3}{4D \cdot b \cdot d^3} , \quad OE = \frac{1,5 \cdot F_{ελ} \cdot L}{b \cdot d^2}$$

Mθ = μέτρο θραύσεως, ME = μέτρο ελαστικότητας, OE = όριο ελαστικότητας

Fmax = μέγιστο φορτίο , Fελ = φορτίο στο όριο ελαστικότητας

L = απόσταση υποστήριξης (μήκος δείγματος μεταξύ των σημείων στήριξης)

b = πλάτος δείγματος (επιφάνεια φόρτισης)

d = ύψος δείγματος (κατεύθυνση φόρτισης)

D = παραμόρφωση στο όριο ελαστικότητας

Αντοχή σε **σκληρότητα** (H):  $H = \frac{2F}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

F = μέγιστο φορτίο

π = 3,14

D = διάμετρος μεταλλικής σφαίρας που εισδύει στη μάζα του ξύλου

d = διάμετρος αποτυπώματος που αφήνει η σφαίρα πάνω στο ξύλο

---

\* Οι ίδιες μονάδες μέτρησης μηχανικής αντοχής ισχύουν και για τους υπόλοιπους τύπους (Kp/cm<sup>2</sup> ή N/mm<sup>2</sup>)

## ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Δείγμα ξύλου έχει βάρος 10 g και όγκο 20 cm<sup>3</sup> σε απόλυτα ξηρή κατάσταση, και 13 g και 25 cm<sup>3</sup> όταν η περιεχόμενη υγρασία του είναι 12%. Να προσδιοριστούν η ξηρή και φαινομενική πυκνότητα R<sub>12</sub> του δείγματος καθώς και το ποσοστό των κενών χώρων που περιέχονται στη μάζα του.
2. Έχουμε ένα δείγμα ξύλου με ακανόνιστο σχήμα που γνωρίζουμε ότι έχει υγρασία x = 15 %, το ζυγίζουμε με ζυγό ακριβείας και βρίσκουμε ότι είναι 35 g. Το επαλείφουμε με θερμή παραφίνη. Με τη μέθοδο της εμβάπτισης σε νερό (αρχή του Αρχιμήδη) βλέπουμε ότι η πρώτη ένδειξη του ζυγού μόνο με το δοχείο του νερού και προτού βάλουμε το δείγμα ξύλου είναι 680 g. Το εμβαπτίζουμε στο νερό και βλέπουμε ότι η δεύτερη ένδειξη του ζυγού είναι 730 g. Ποια είναι η φαινομενική πυκνότητα R<sub>15</sub> του ξύλου αυτού.
3. Παίρνουμε ένα μικρό δείγμα ξύλου, που έχει τη μορφή κύβου, το τοποθετούμε μέσα σε πυριατήριο (θερμοκρασία 103 βαθμοί Κελσίου) και το αφήνουμε για 24 ώρες. Στη συνέχεια το βγάζουμε, το βάζουμε σε ξηραντήρα και το ζυγίζουμε με ζυγό ακριβείας. Είναι 1,45 g. Με ένα μικρόμετρο μετράμε μία πλευρά του. Έχει πλευρά μήκους ακριβώς 1,30 cm. Στη συνέχεια το τοποθετούμε σε νερό και το αφήνουμε να διογκωθεί για 2 ημέρες. Μετά το βγάζουμε από το νερό, και βρίσκουμε ότι ο όγκος του (μέγιστος όγκος) είναι 2,25 cm<sup>3</sup>. Υπολογίστε, (α) την ξηρή πυκνότητά του και (β) τη βασική πυκνότητά του.
4. Πρισματικό δοκίμιο ξύλου με μήκος 50cm, πλάτος 2,5cm και πάχος 2cm βυθίζεται σε γυάλινο σωλήνα με νερό και παρατηρούμε ότι βρέχεται μέχρι το μήκος των 30cm. Να υπολογίσετε: (α) κατ' εκτίμηση την πυκνότητά του (β) να ονομάσετε ελληνικά είδη ξύλου που «ταιριάζουν» σε αυτήν την πυκνότητα.
5. Δείγμα ξύλου έχει μάζα 50g και όγκο 60cm<sup>3</sup> σε υγρασία 0%. (α) Να υπολογιστεί το ποσοστό κενών χώρων του ξύλου. (β) Ποια ελληνικά είδη ξύλου μπορεί να είναι?
6. Ποιο από τα είδη ξύλου Α με ρ<sub>ο</sub>= 0,80g/cm<sup>3</sup> και Β με ρ<sub>ο</sub>= 0,60g/cm<sup>3</sup> έχει το μεγαλύτερο ποσοστό κενών χώρων και να το υπολογίσετε.
7. Να εκτιμήσετε το ποσοστό κενών χώρων (C) στα είδη ξύλου: Λεύκη, Καστανιά
8. Ένα ξύλο έχει ποσοστό κενών χώρων 72%. Τι ξηρή πυκνότητα έχει. Ποιο ελληνικό είδος θα μπορούσε να είναι?
9. Λέμε ότι η πυκνότητα της ξυλώδους ύλης είναι περίπου 1,50 g/cm<sup>3</sup> και ταυτόχρονα η πυκνότητα του ξύλου, που αποτελείται από αυτή την ξυλώδη ύλη είναι λ.χ. για τη Λεύκη μόνον 0,35 g/cm<sup>3</sup>! Πως αυτό δικαιολογείται; Υπάρχει ξύλο που να έχει πυκνότητα 1,50 g/cm<sup>3</sup>?



10. Δείγμα ξύλου έχει αρχικό (υγρό) βάρος 130g. Μετά από ξήρανση σε κλίβανο για 24 ώρες, αποκτά ξηρό βάρος 112 g και ξηρό όγκο  $130 \text{ cm}^3$ . Ποια είναι η υγρασία του δείγματος και ποια η ξηρή πυκνότητα του. Ποιο είδος ελληνικού ξύλου θα μπορούσε να είναι.
11. Εάν το αρχικό βάρος ενός ξύλου είναι 125 g και το ξηρό είναι 95 g, πόση είναι η αρχική υγρασία που είχε το ξύλο?
12. Έστω ότι  $Y = 50\%$  και το ξηρό βάρος είναι 160 g, πόσο ήταν το αρχικό βάρος?
13. Να υπολογίσετε την περιεχόμενη υγρασία (%) ενός «υγρού» ξύλου που γνωρίζουμε ότι ζυγίζει 150g, και εξ' αυτών η υγρασία που περιέχει είναι 80g.
14. Ξηραίνουμε ένα δείγμα ξύλου στο απόλυτο 0% και βρίσκουμε ότι το ξηρό βάρος του είναι 100g. Να βρεθεί το «υγρό» βάρος που θα έχει το δείγμα αυτό, όταν θα αποκτήσει υγρασία σε επίπεδο: α) 10% β) 16% γ) 32% δ) 80%
15. Ένα δείγμα ξύλου σε υγρασία 20% έχει βάρος περίπου 100g. Να βρεθεί το βάρος που θα έχει το δείγμα αυτό όταν θα αποκτήσει υγρασία σε επίπεδο: α) 10% β) 20% (γ) 35% δ) 100%
16. Σε εφαρμογή προγράμματος ξήρανσης ξύλου με αρχική υγρασία  $x=48\%$ , η επιθυμητή τελική υγρασία του ξύλου είναι 8%. Πότε θα σταματήσουμε το πρόγραμμα (δηλ. σε πόσα kg βάρους του ξύλου), εάν υποθέσουμε ότι το αρχικό (υγρό) βάρος του δείγματος ξύλου ήταν  $Mx = 100 \text{ kg}$ .
17. Ένα ξύλο A έχει  $Y_{\max} = 150\%$  και ένα ξύλο B έχει  $Y_{\max} = 100\%$ . Ποια είναι η ξηρή πυκνότητα των ξύλων A και B; Να εκτιμήσετε το C του ξύλου A και του ξύλου B.
18. Κατά τη ξήρανση ξυλείας ελάτης με αρχική υγρασία 120%, η διαδικασία ξήρανσης γίνεται με ελεγχόμενο τρόπο σε μεγάλο κλίβανο. Το τελικό ξύλο (πριστή ξυλεία) προορίζεται για παραγωγή επίπλων σαλονιών. Πότε εσείς θα πρέπει να σταματήσετε τη ξήρανση (σε πόσα Kg βάρος του ξύλου), αν γνωρίζατε ότι η αρχική μάζα του ξύλου, πριν την έναρξη της ξήρανσης, ήταν 176 Kg.
19. Να υπολογισθεί η *Υγρασία Ισορροπίας* ενός χώρου αποθήκης ξυλείας, όταν η σχετική υγρασία του χώρου είναι 75% και η θερμοκρασία  $12^\circ\text{C}$ . Να εκτιμηθεί κατά πόσο ο χώρος αυτός είναι κατάλληλος για αποθήκευση ξυλείας που προορίζεται για έπιπλα. Όταν η θερμοκρασία της αποθήκης είναι  $15^\circ\text{C}$ , πόση πρέπει να είναι η σχετική υγρασία μέσα στην αποθήκη, για να είναι κατάλληλος ο χώρος για την αποθήκευση της ξυλείας.
20. Βιομηχανία επίπλων στη Λάρισα χρησιμοποιεί ξυλεία για ξήρανση (στη μέση του χειμώνα) σε αποθήκη μη κλιματιζόμενη και μη θερμαινόμενη. Τι πρόβλημα θα προκύψει. Εάν τοποθετήσει τον χειμώνα κλιματιστικό που θα φέρει στον χώρο

Σχετική Υγρασία 40%, πόση πρέπει να είναι η θερμοκρασία του χώρου για να παράγει την κατάλληλη ξυλεία για έπιπλα.

21. Ένα μικρό δείγμα οξιάς από το σαλόνι του σπιτιού μας κόβεται, παίρνεται και ζυγίζεται να έχει βάρος 60g. Ποιο θα είναι το βάρος του δείγματος αφού το ξηράνουμε σε κλίβανο 48h στους 103°C; Το πετάμε έξω από το σπίτι σε συνθήκες περιβάλλοντος και αποκτά υγρασία 13%. Πόσο είναι τώρα το βάρος του?
22. Παίρνουμε ένα δείγμα ξύλου που έχει τη μορφή κύβου και το τοποθετούμε μέσα σε νερό. Το αρχικό του πάχος ήταν 3,2 cm. Το αφήνουμε μέσα για 24 ώρες και μετά το βγάζουμε. Με ένα μικρόμετρο μετράμε ξανά το πάχος του. Έχει ακριβώς 3,56 cm. Υπολογίστε τη διόγκωσή του (%).
23. Δείγμα ξύλου Α ξηρό με μήκος 5cm (εφαπτομενικά) και πλάτος 4cm (ακτινικά) διογκώνεται και αποκτά διαστάσεις αντίστοιχα 5,5cm και 4,2cm. Να υπολογιστούν η εφαπτομενική και η ακτινική διόγκωση.
24. Υγρό δείγμα ξύλου με διαστάσεις (εφαπτ. – ακτ. – αξον.) 5 x 5 x 1 cm ρικνώνεται σιγά-σιγά και αποκτά απόλυτα ξηρές διαστάσεις 4,6 x 4,8 x 1 cm. Να υπολογίσετε την εφαπτομενική, την ακτινική και την αξονική ρίκνωση καθώς και την ογκομετρική ρίκνωση του ξύλου.
25. Απόλυτα ξηρό δείγμα με διαστάσεις 5x5x1cm προσροφά υδρατμούς και τελικά φτάνει στο σημείο ισοκόρου όπου ζυγίζεται να έχει βάρος 20g, 5g περισσότερα από ότι είχε σε ξηρή κατάσταση. Να υπολογίσετε την ξηρή πυκνότητα του ξύλου, τη βασική πυκνότητα R και τη φαινομενική πυκνότητα  $R_{30}$ , εάν γνωρίζετε ότι το ξύλο αυτό είχε ογκομετρική διόγκωση 20%.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

(Ιδιότητες μαθηματικών εξισώσεων)

$$\alpha = \beta x \Rightarrow x = \frac{\alpha}{\beta} \quad , \quad \frac{\alpha + \beta}{\alpha} = \frac{\alpha}{\alpha} + \frac{\beta}{\alpha} = 1 + \frac{\beta}{\alpha}$$

$$\frac{\alpha - \beta}{\beta} = \frac{\alpha}{\beta} - \frac{\beta}{\beta} = \frac{\alpha}{\beta} - 1 \quad , \quad \frac{\alpha}{\alpha\beta} = \frac{1}{\beta}$$

$$\alpha - \beta = \gamma + \delta \Rightarrow \alpha = \beta + \gamma + \delta \Rightarrow \alpha - \beta - \gamma = \delta$$

$$\alpha - \beta - \gamma - \delta = 0 \Rightarrow 0 = -\alpha + \beta + \gamma + \delta$$

$$\frac{\alpha x}{\beta} + \gamma = \delta \Rightarrow \frac{\alpha x}{\beta} = \delta - \gamma \Rightarrow \alpha x = \beta(\delta - \gamma) \Rightarrow x = \frac{\beta(\delta - \gamma)}{\alpha}$$

$$\alpha x + \beta x - \gamma x = \delta \Rightarrow x(\alpha + \beta - \gamma) = \delta \Rightarrow x = \frac{\delta}{\alpha + \beta - \gamma}$$

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\gamma}{\delta} \Rightarrow \frac{\alpha}{\gamma} = \frac{\beta}{\delta} \Rightarrow \alpha\delta = \beta\gamma \Rightarrow \alpha = \frac{\beta\gamma}{\delta} \Rightarrow \frac{\alpha}{\beta\gamma} = \frac{1}{\delta}$$

$$\frac{\alpha - \beta}{\gamma\delta} = \frac{\alpha}{\gamma\delta} - \frac{\beta}{\gamma\delta} \quad , \quad \frac{\alpha + \beta}{\gamma} = \frac{\delta}{\varepsilon} \Rightarrow \frac{\varepsilon(\alpha + \beta)}{\gamma} = \delta \Rightarrow \varepsilon\alpha + \varepsilon\beta = \gamma\delta$$