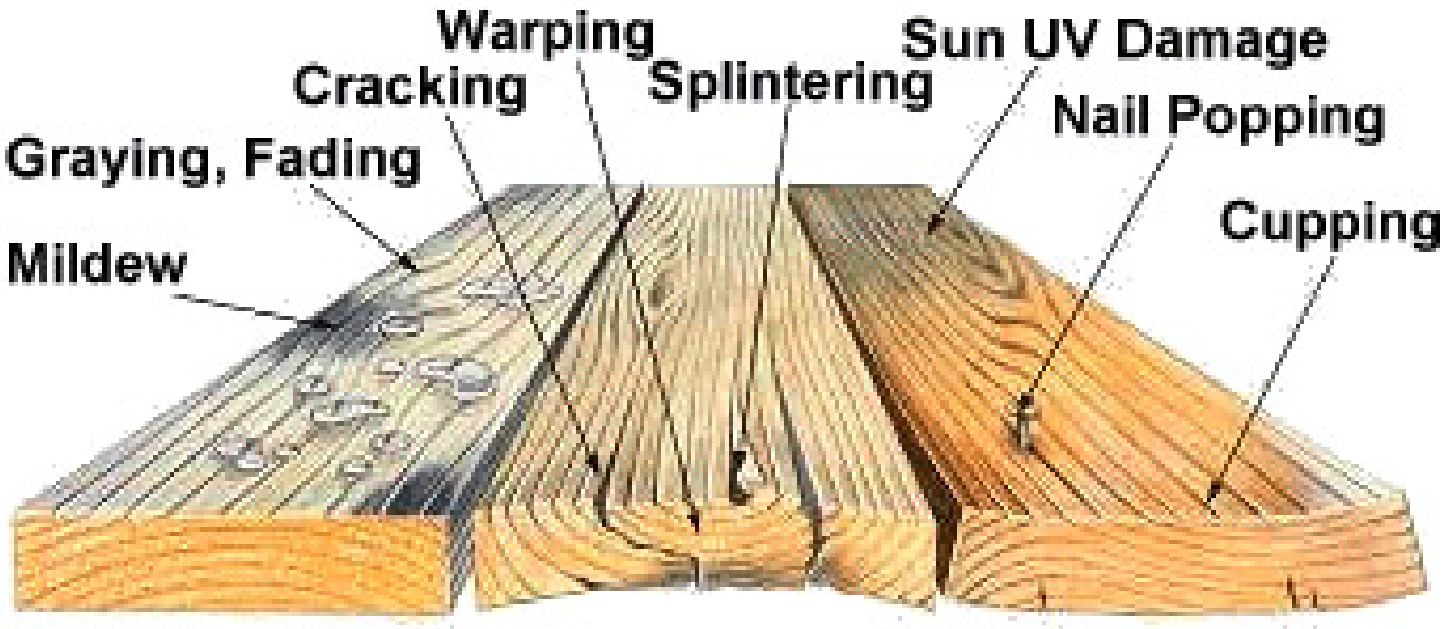
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΛΟΧΡΗΣΤΙΚΗΣ ΑΠΘ

ΡΙΚΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΓΚΩΣΗ



Δρ. Πέτρος Α. Τσιώρας

ΡΙΚΝΩΣΗ - ΔΙΟΓΚΩΣΗ: ΟΡΙΣΜΟΙ & ΕΝΝΟΙΕΣ

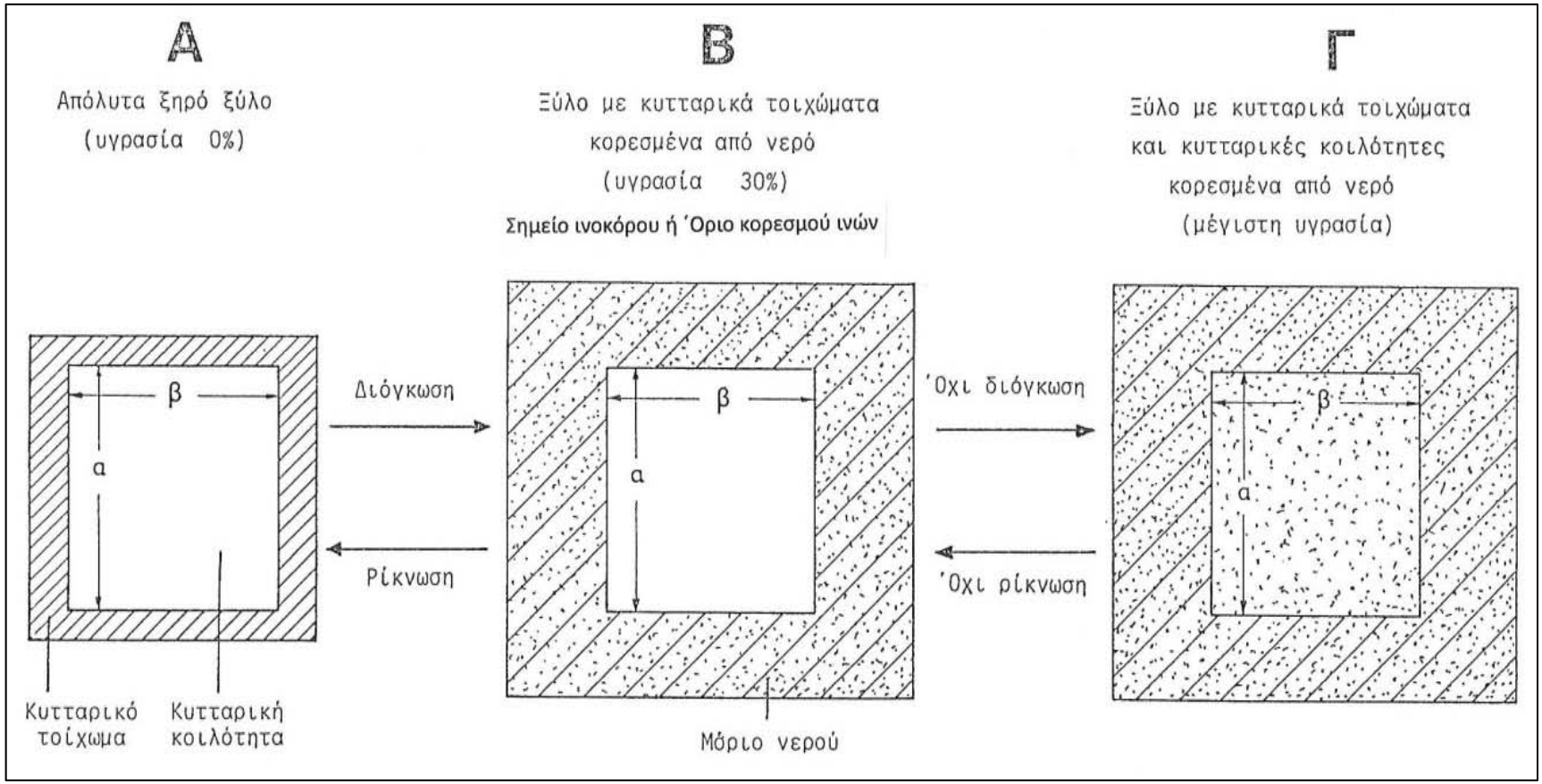
- **ΡΙΚΝΩΣΗ:**
  Η ελάττωση (μείωση) των διαστάσεων του ξύλου, όταν αποβάλλει υγρασία κάτω από το σημείο ινοκόρου (30%).

  Στη μεταβολή αυτή, έχουμε αντίστοιχα, μείωση των διαστάσεων του ξύλου και στις τρεις κατευθύνσεις του (αξονική, ακτινική, εφαπτομενική κατεύθυνση).

- **ΔΙΟΓΚΩΣΗ:**
  Το ξύλο αυξάνει τις διαστάσεις του, όταν η υγρασία του αυξάνεται από μία χαμηλή υγρασία (ή υγρασία 0%) μέχρι το σημείο ινοκόρου.

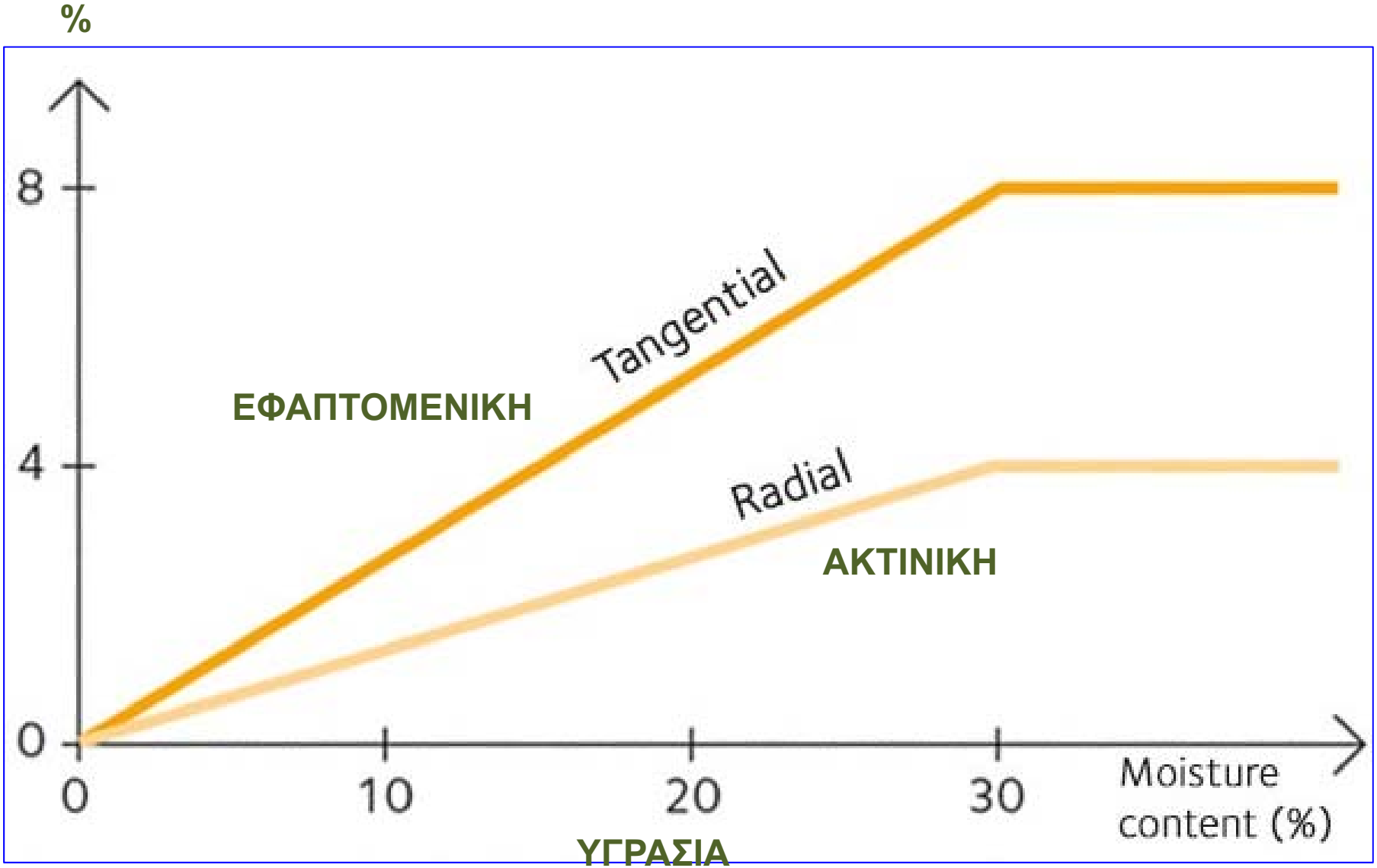
  Για μεταβολές της υγρασίας πάνω από το σημείο ινοκόρου, δεν παρατηρούνται μεταβολές στις διαστάσεις του ξύλου.

ΡΙΚΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΣΕ ΕΠΙΠΕΔΟ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

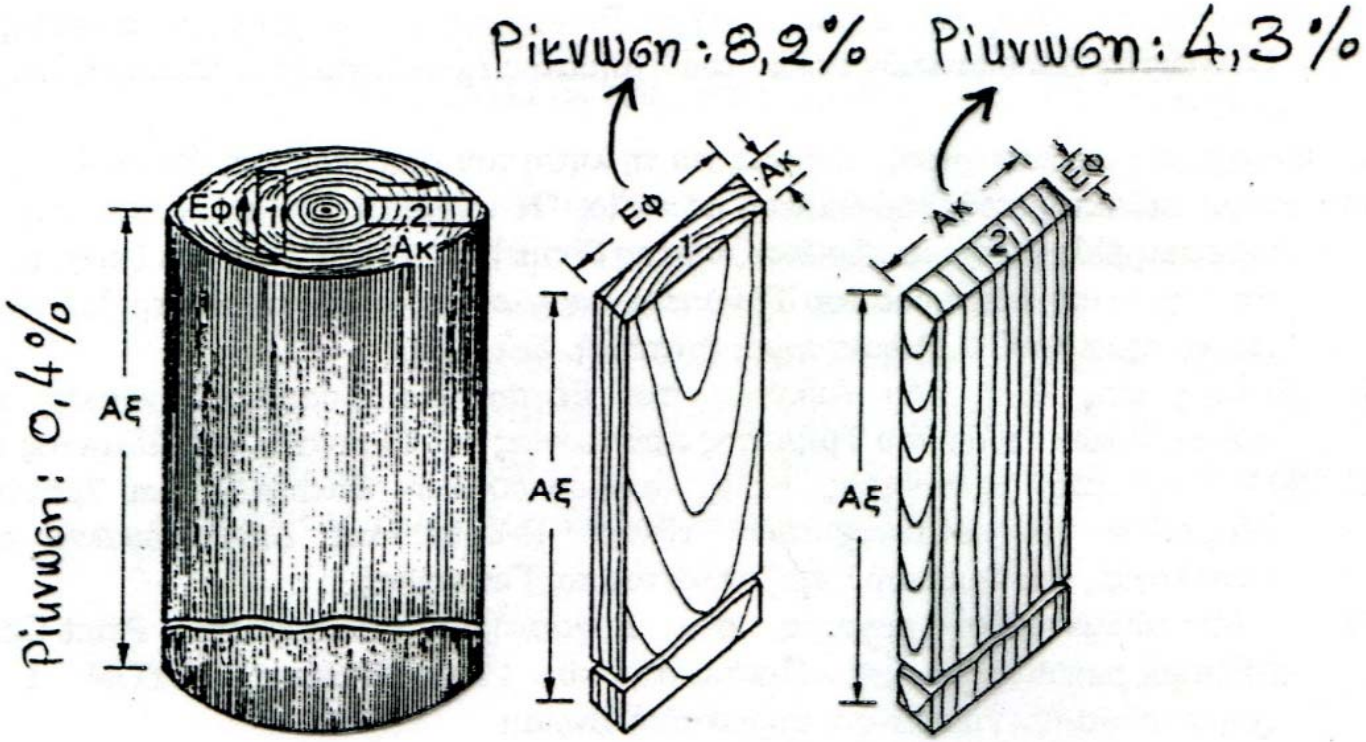


Διαστασιακές μεταβολές (ρίκνωση, διόγκωση) στο κύτταρο ξύλου σε σχέση με τις μεταβολές της υγρομετρικής του κατάστασης. Το κυτταρικό τοίχωμα ρικνώνεται από την κατάσταση Β προς Α και διογκώνεται από την Α προς Β, ενώ οι διαστάσεις της κυτταρικής κοιλότητας (α,β) παραμένουν σταθερές. Οι διαστάσεις του κυτταρικού τοιχώματος (και της κυτταρικής κοιλότητας) από Γ προς Β και από Β προς Γ δεν μεταβάλλονται *(Βουλγαρίδης, 1983).*

*******Οι κυτταρικές κοιλότητες μένουν αμετάβλητες)**


%
8
4
0
Tangential
ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗ
Radial
ΑΚΤΙΝΙΚΗ
0
10
20
30
Moisture content (%)
ΥΓΡΑΣΙΑ

Οι 3 βασικές κατευθύνσεις σε κορμοτεμάχιο και σε πριστά (εφαπτομενικά και ακτινικά κομμένα)



Ἀξονική, ἐφαπτομενική καί ἀκτινική διεύθυνση σέ κορμοτεμάχιο καί παράγωγα πριστά. Ἀνάλογα μέ τή θέση στό κορμοτεμάχιο, ἡ διάταξη τῶν αὐξητικῶν δακτυλίων (καί ἡ σχεδίαση) διαφέρουν στά παράγωγα (1, 2). Ἐπειδή στό (1) ἡ πλατιά ἐπιφάνεια προέρχεται μέ κατεργασία ἐφαπτομενική στούς αὐξητικούς δακτυλίους, τό πριστό λέγεται καί «ἐφαπτομενικό» (flat-sawn), ἐνῶ στό (2) «ἀκτινικό» (quarter-sawn). Σέ ὅλες τίς περιπτώσεις ὑπάρχουν οἱ τρεῖς διευθύνσεις (ἐπίφάνειες).

Πίνακας 7. Ρίκνωση*

(Μέσοι όροι καί διακυμάνσεις)

Διεύθυνση	Ρίκνωση (%)
'Αξονική	0,4 (0,1-0,6)
'Ακτινική	4,3 (2,3-6,8)
'Εφαπτομενική	8,2 (6,0-11,8)
'Ογκομετρική	12,9 (8,5-18,8)

Ταξινόμηση ξύλων σε πέντε κατηγορίες ανάλογα με το μέγεθος της ρίκνωσης (Bolza & Keating, 1972)

Κωδικός κατηγορίας	Ρίκνωση (%)			
	Εφαπτομενική		Ακτινική	
	Ολική ρίκνωση	Από 30% ως υγρασία 12%	Ολική ρίκνωση	Από 30% ως υγρασία 12%
1	0,0 - 3,5	0,0 - 2,5	0,0 - 2,0	0,0 - 1,0
2	3,6 - 5,0	2,6 - 4,0	2,1 - 3,0	1,1 - 2,0
3	5,1 - 6,5	4,1 - 5,5	3,1 - 4,0	2,1 - 3,0
4	6,6 - 8,0	5,6 - 7,0	4,1 - 5,0	3,1 - 4,0
5	> 8,1	> 7,1	> 5,1	> 4,1

Μεταβολή διαστάσεων ξύλου εκτεθειμένου πρώτα σε υγρασία 90 % και μετά σε υγρασία 60 %

Διαστασιακή σταθερότητα	Ακτινική + Εφαπτο-μενική ρίκνωση (%)
I - Μεγάλη	< 3
II - Μέτρια	3-4,5
III - Μικρή	> 4,5

Στην πράξη έχει μεγάλη σημασία η διαστασιακή σταθερότητα των διαφόρων ξύλων, η οποία υπολογίζεται με το άθροισμα της ακτινικής και εφαπτομενικής ρίκνωσης που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες μεταβολές σχετικής υγρασίας της ατμόσφαιρας (60-90% για τις βόρειες χώρες της Ευρώπης και 43-80% για τη χώρα μας).

*****Όσο μικρότερο είναι το άθροισμα αυτό τόσο πιο διαστασιακά σταθερό είναι το ξύλο

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΡΙΚΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΓΚΩΣΗ

1. ΥΓΡΑΣΙΑ
2. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ
3. ΔΟΜΗ
4. ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΑ
5. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ
6. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

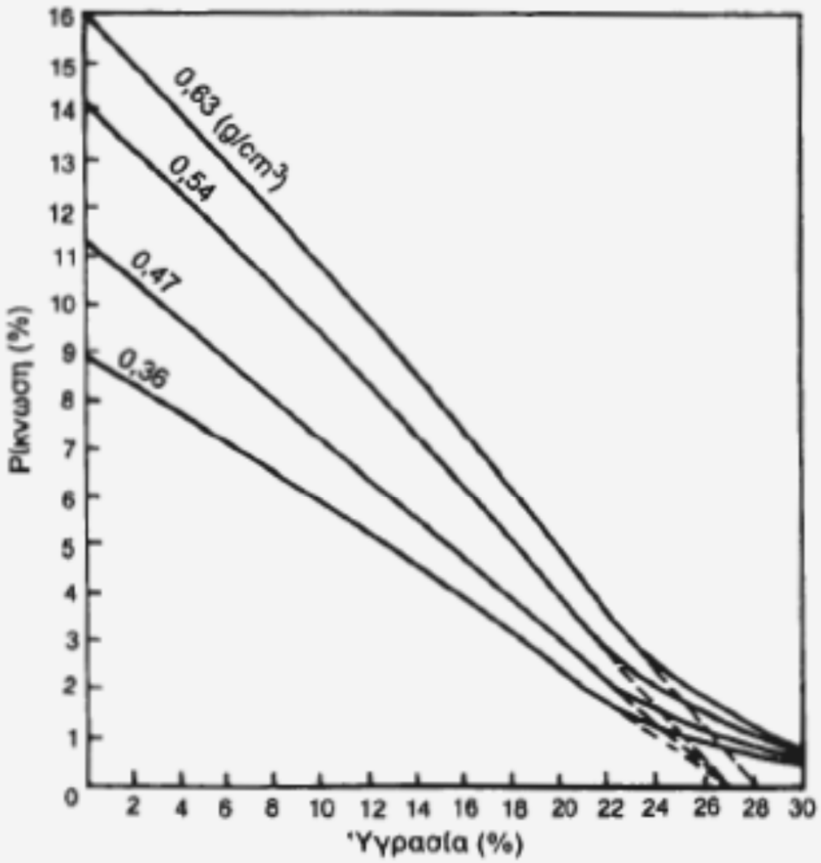
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΡΙΚΝΩΣΗ & ΔΙΟΓΚΩΣΗ

1. ΥΓΡΑΣΙΑ

- **Το μέγεθος της ρίκνωσης ή διόγκωσης του ξύλου είναι ανάλογο με την υγρασία που αποβάλλεται ή προσλαμβάνεται.**
- **Η σχέση της ρίκνωσης-διόγκωσης με την υγρασία σχετίζεται και με το επίπεδο πυκνότητας του ξύλου (ελαφρύ, βαρύ).**
- **Για τον προσδιορισμό της ρίκνωσης και διόγκωσης χρησιμοποιούνται μικρά δείγματα. Σε μεγάλα δείγματα αναπτύσσονται τάσεις και μπορεί να έχουμε ρίκνωση ή διόγκωση πέρα από το σημείο ινοκόρου, γεγονός που οδηγεί σε μη συγκρίσιμα αποτελέσματα .**

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ Ρ & Δ

1. ΥΓΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ



Σχ. 46. Σχέσεις ρικνώσεως όγκου καί ύγρασίας ξύλου πεύκης μέ διαφορετική πυκνότητα.

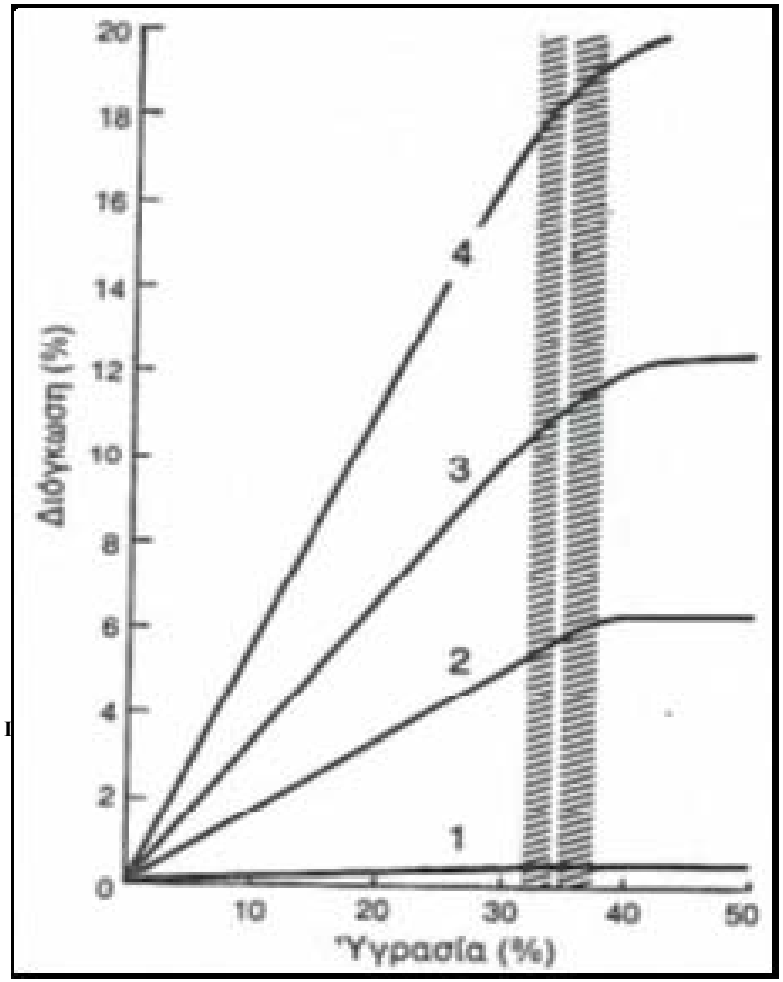
(Stamm)

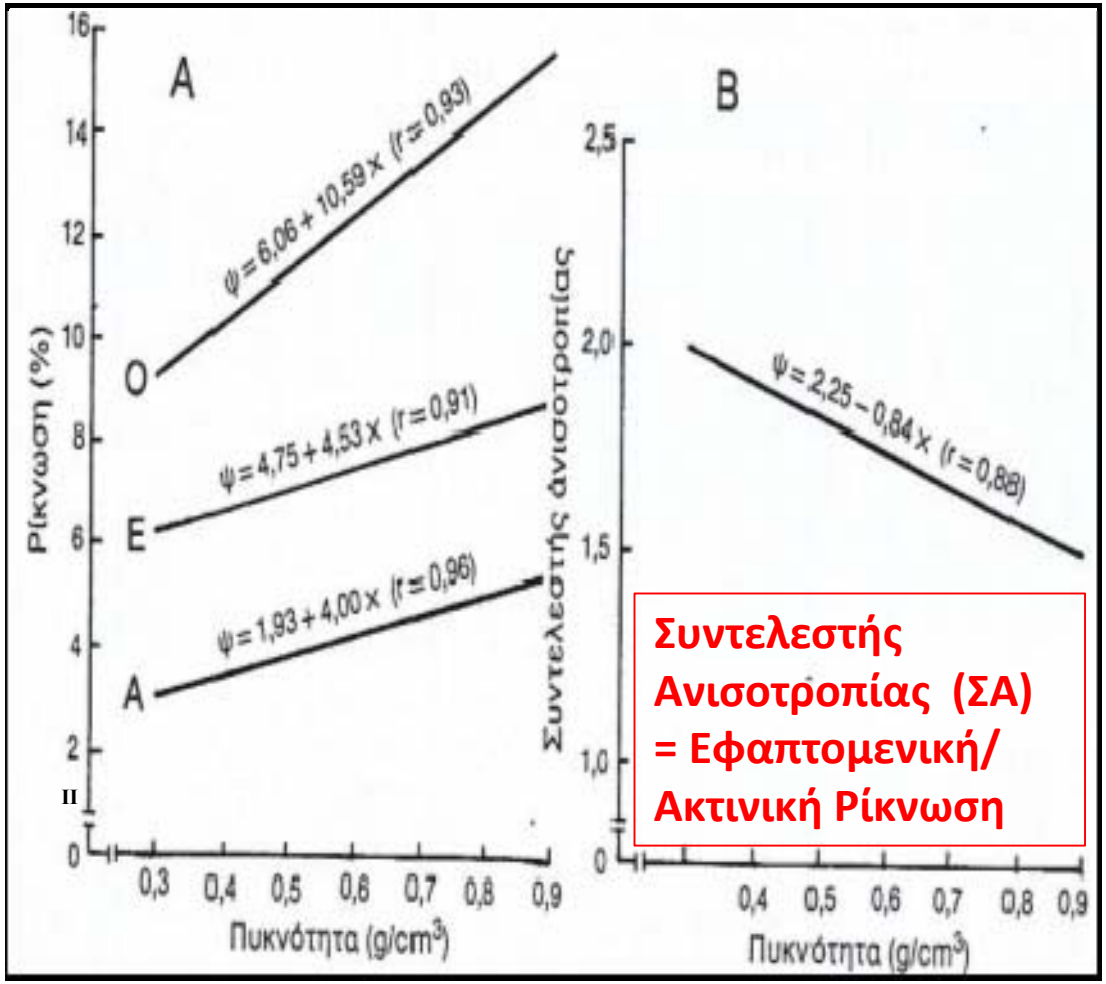
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΡΙΚΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΓΚΩΣΗ

2. ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

- **Η ρίκνωση ή διόγκωση αυξάνονται ανάλογα, όταν αυξάνεται και η πυκνότητα του ξύλου (πρόσληψη υγρασίας = κυτταρικές κοιλότητες αμετάβλητες)**
- **Ξύλα με μεγάλη πυκνότητα ρικνώνονται και διογκώνονται σε μεγαλύτερο βαθμό.**
- **Η επίδραση της πυκνότητας εξηγείται από τη μεγαλύτερη συγκέντρωση ξυλώδους ύλης και το μεγαλύτερο πάχος κυτταρικών τοιχωμάτων σε ξύλα με μεγάλη πυκνότητα.**
- **Σχέση υγρασίας – πυκνότητας – ρίκνωσης & διόγκωσης**
- **Μεγάλη πυκνότητα = μικρότερος συντελεστής ανισοτροπίας**

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΡΙΚΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΓΚΩΣΗ (ΥΓΡΑΣΙΑ ΚΑΙ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ)





Συντελεστής Ανισοτροπίας (ΣΑ) = Εφαπτομενική/ Ακτινική Ρίκνωση

Ανισοτροπία διόγκωσης σε ξύλο οξιάς (1. αξονικά. 2. ακτινικά, 3. εφαπτομενικά. 4. σε όγκο) κάτω του σημείου ινοκόρου (30-35%). ΙΙ. Α. Σχέσεις πυκνότητας και ακτινικής (Α), εφαπτομενικής (Ε) και ογκομετρικής (Ο) ρίκνωσης και Β. πυκνότητας και συντελεστή ανισοτροπίας.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΡΙΚΝΩΣΗ & ΔΙΟΓΚΩΣΗ

3. ΔΟΜΗ

- **Η δομή του ξύλου είναι η κύρια αιτία διαφορετικής συμπεριφοράς της ρίκνωσης-διόγκωσης του ξύλου.**

- **Η συμπεριφορά αυτή είναι χαρακτηριστική στις τρεις κατευθύνσεις του ξύλο (ανισοτροπία). Δηλαδή:**

Εφαπτομενική >> Ακτινική >>>>>>>>> Αξονική

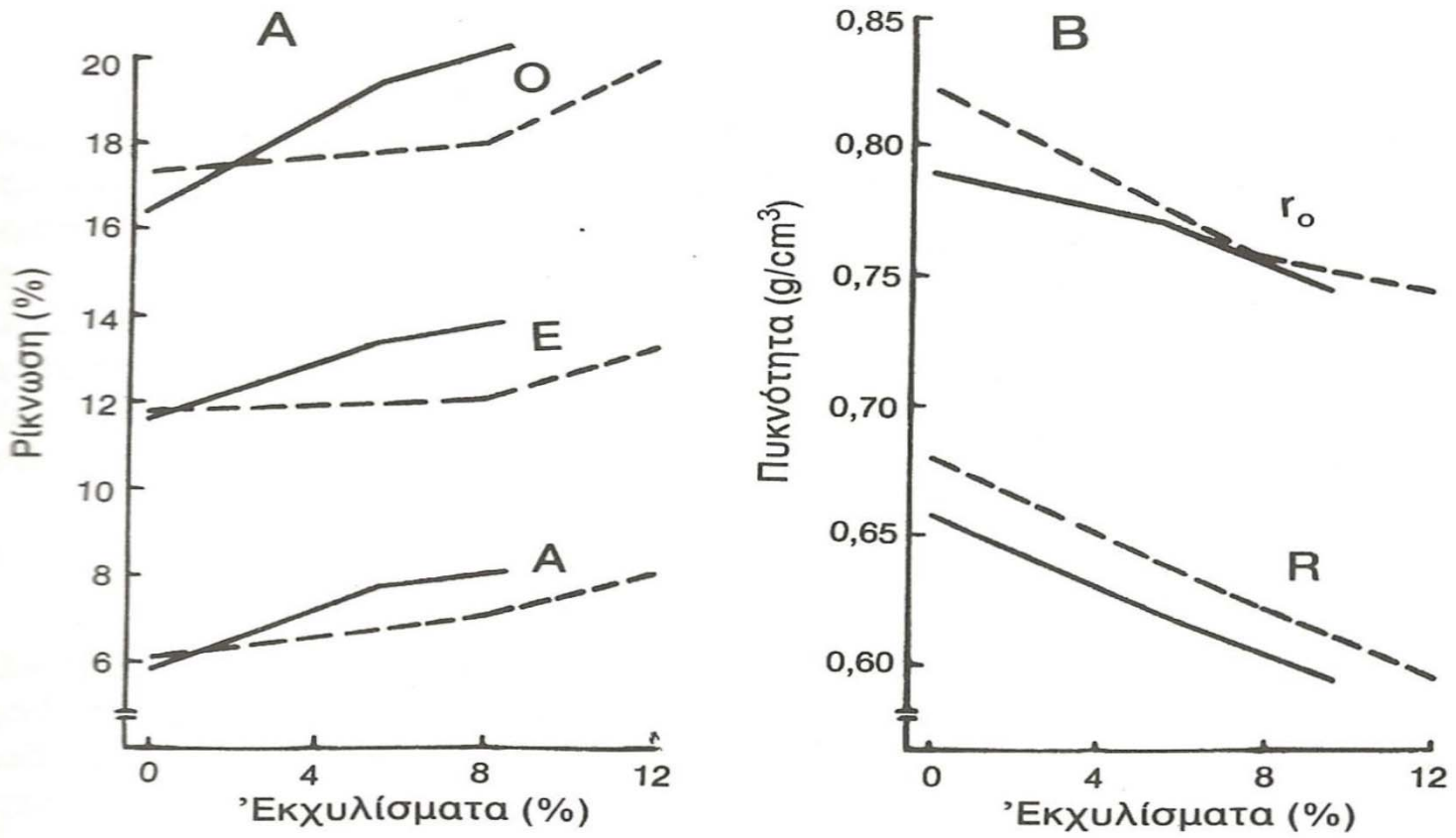
- **Διαφορές δομής στο ξύλο (λ.χ. τύποι ξυλωδών κυττάρων, πάχος τοιχωμάτων, ποσοστό όψιμου / πρώιμου ξύλου, σχέση εγκάρδιου / σομφού) επηρεάζουν με διαφορετικό τρόπο.**

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΡΙΚΝΩΣΗ & ΔΙΟΓΚΩΣΗ

4. ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΑ

- **Υψηλή περιεκτικότητα του ξύλου σε εκχυλίσματα συντελεί σε μείωση της ρίκνωσης - διόγκωσης του.**
- **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 ρίκνωσης και διόγκωσης του ξύλου.**

Επίδραση εκχυλισμάτων στη ρίκνωση και στην πυκνότητα



Σχ. 49. Ἐπίδραση ἐκχυλισμάτων στή ρίκνωση (Α) καί στήν πυκνότητα (Β) ξύλου πλατυφύλλου δρυός ——— σομφό ξύλο – – – ἐγκάρδιο ξύλο. Α = ἀκτινική, Ε = ἐφαπτομενική Ο = ὀγκομετρική ρίκνωση, R = βασική πυκνότητα, r₀ = ξηρή πυκνότητα. ('Απομακρυνθέντα ἐκχυλίσματα % τοῦ ξηροῦ βάρους τοῦ ξύλου).

(Βουλγαρίδης-Κέζος-Πασιαλῆς)

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΡΙΚΝΩΣΗ & ΔΙΟΓΚΩΣΗ

5. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

- **Η χημική σύσταση του ξύλου επηρεάζει σε μικρό βαθμό τις ιδιότητες αυτές (δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ διαφορετικών ειδών ιδιαίτερα στην περιεκτικότητα κυτταρίνης)**
- **Η λιγνίνη έχει περιοριστική επίδραση. Απομάκρυνση της λιγνίνης με χημικό τρόπο προκαλεί την αύξηση της ρίκνωσης και της διόγκωσης του ξύλου.**
- **Μειωμένο ποσοστό λιγνίνης συνεπάγεται αυξημένη πυκνότητα και επομένως μεγαλύτερη ρίκνωση.**

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΡΙΚΝΩΣΗ & ΔΙΟΓΚΩΣΗ

6. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

- Ανάπτυξη μηχανικών τάσεων που προκαλούνται:

  (1) από επίδραση εξωτερικών φορτίων

  (2) από πρόσληψη υγρασίας.
- Όταν οι μηχανικές τάσεις είναι > από το όριο ελαστικό-τητας του ξύλου, προκαλείται μόνιμη παραμόρφωση των κυττάρων με αποτέλεσμα αύξηση ή μείωση της ρίκνωσης και διόγκωσης.
- Ισχυρή πίεση (θλίψη) → > ρίκνωση από την κανονική
- Ισχυρές τάσεις εφελκυσμού → < ρίκνωση από την κανονική

ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΣΤΗ ΡΙΚΝΩΣΗ & ΔΙΟΓΚΩΣΗ

- **Η ρίκνωση και η διόγκωση δεν είναι ίδιες στις τρεις βασικές 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.**
- **Η κατά μήκος του άξονα (αξονική ρίκνωση και διόγκωση) είναι αμελητέα στο κανονικής δομής ξύλο, που από πρακτικής άποψης δεν λαμβάνεται καθόλου υπόψη.**

**Η μέγιστη εφαπτομενική ρίκνωση και διόγκωση για τα ευρωπαϊκά είδη ξύλου 6-12%. Η αντίστοιχη ακτινική ρίκνωση είναι περίπου 2,5-7%. Η αξονική ρίκνωση είναι μόνον 0,1-0,6%.*

ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΣΤΗ ΡΙΚΝΩΣΗ & ΔΙΟΓΚΩΣΗ

Διακύμανση Πυκνότητας καί Ρικνώσεως

Είδος	Πυκνότητα (g/cm³)	Ρίκνωση (%)			
		Ἀξονική	Ἀκτινική	Ἐφαπτομ.	Ὄγκου
Ἐρυθρελάτη	0,32-0,55*	0,1-0,5	1,4-6,1	4,7-12,1	6,8-16,5
Ἐλάτη, λευκή	0,35-0,52*	0,1-0,6	1,3-4,5	4,0-10,6	5,8-14,2
Ἐλάτη, κεφαλληνιακή	0,36-0,49	—	—	—	9,5-14,5
Ἐλάτη, ὑβριδογενής	0,32-0,68	—	—	—	—
Πεύκη, τραχεία	0,41-0,87	—	—	—	11,3-17,3
Πεύκη, μαύρη	0,46-0,78	—	—	—	10,4-16,8
Δρῦς, ἀπόδισκη	0,53-0,89	0,1-0,4	3,0-7,7	5,9-13,7	8,9-19,6
Δρῦς, ποδισκοφόρα	0,63-0,77*	0,1-0,4	3,9-6,5	7,8-13,8	11,8-19,0
Καστανιά	0,51-0,65	—	—	—	9,4-14,2
Ὀξιά	0,66-0.78	0,1-1,1	3,0-9,8	8,6-18,2	12,3-21,8
Λεύκη (ὑβρίδια)	0,28-0,38	—	—	—	8,5-11,8

*Φαινομενική πυκνότητα (ὑγρασία 12-15%). Οἱ ὑπόλοιπες εἶναι τιμές ξηρῆς πυκνότητας.

ΑΝΙΣΟΤΡΟΠΙΑ ΣΤΗ ΡΙΚΝΩΣΗ & ΔΙΟΓΚΩΣΗ

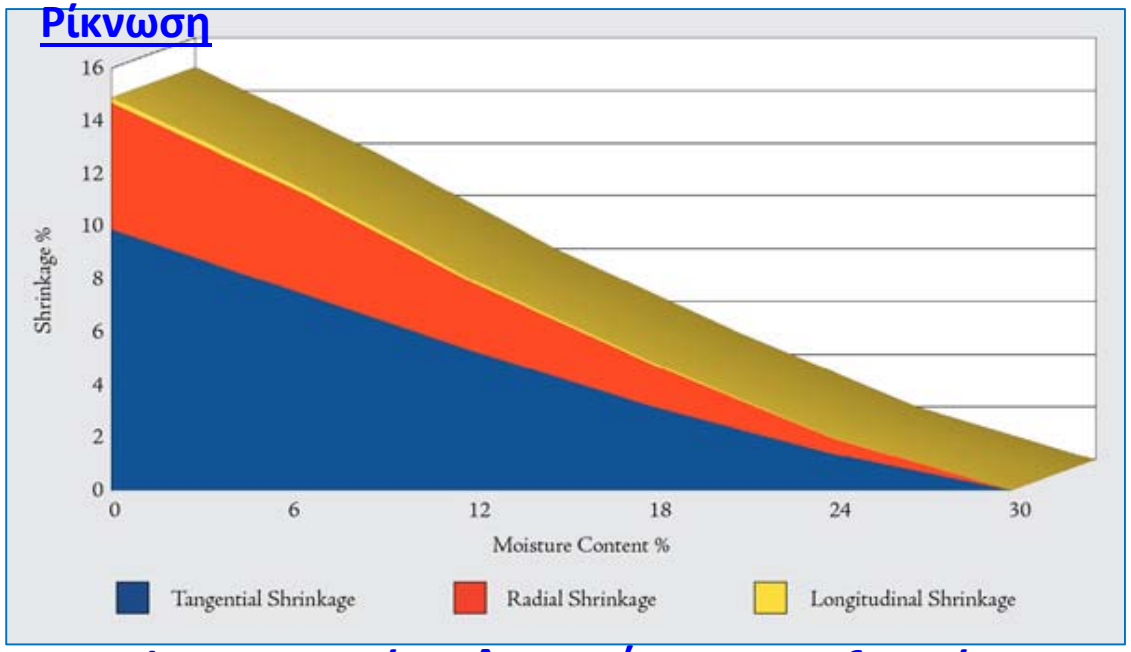
******* Συντελεστής Ανισοτροπίας (ΣΑ) = Πηλίκο Εφαπτομενικής(Ε)/Ακτινική (Α) Ρίκνωση → 1,3 – 2,5**

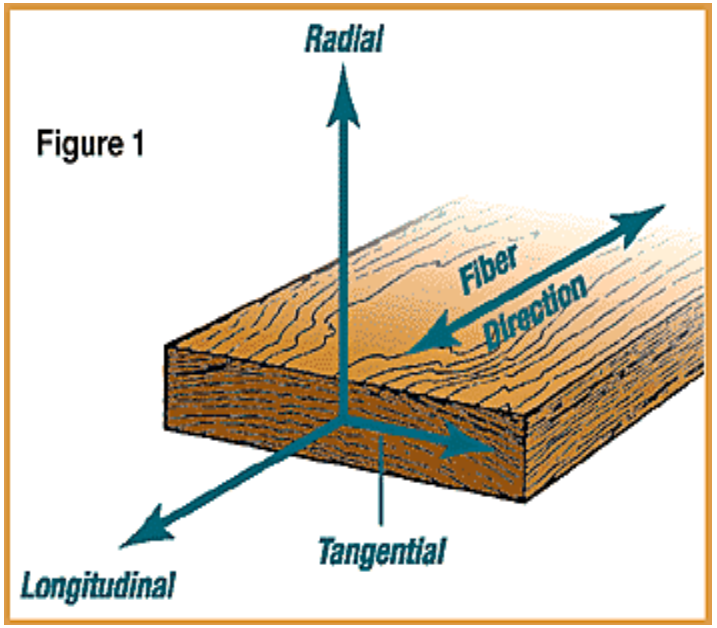
Πίνακας 9. Ρίκνωση Πρώιμου και Ώψιμου Ξύλου*

Είδος	Ρίκνωση%			
	Πρώιμο		Ώψιμο	
	Ε	Α	Ε	Α
Έλάτη, λευκή	6,3	3,4	8,8	5,8
Πεύκη, δασική	8,2	2,9	11,3	8,1
Ψευδοτσούγκα	9,9	2,9	10,9	5,7
Λάρικα	10,2	3,2	12,3	7,1

*Ε = εφαπτομενική και Α = ακτινική ρίκνωση

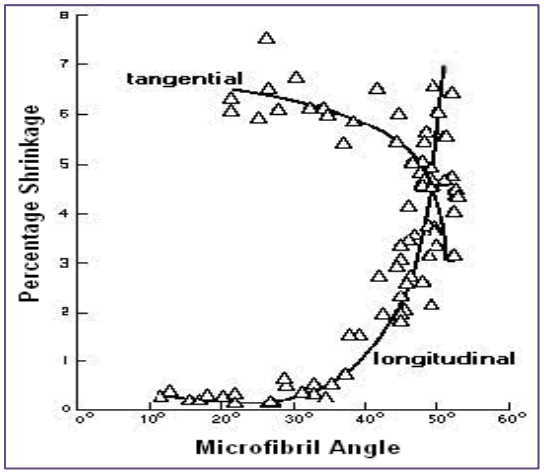
Ανισοτροπία ρίκνωσης στις τρεις βασικές κατευθύνσεις

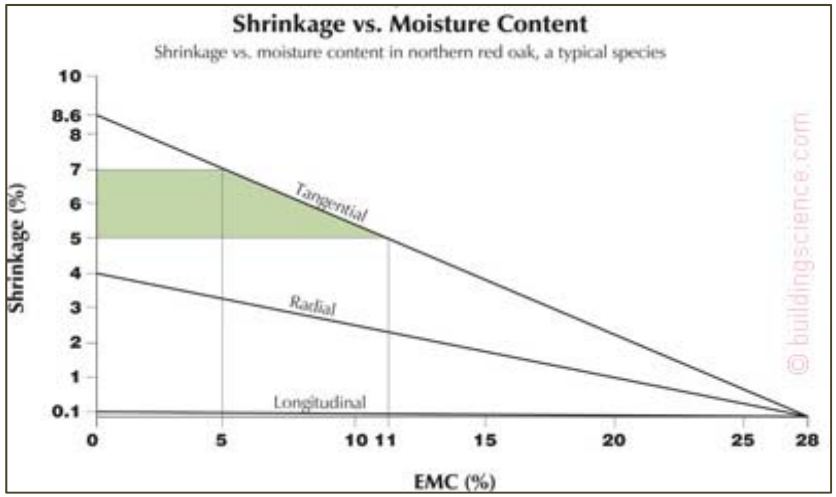




Εφαπτομενική Ακτινική Αξονική

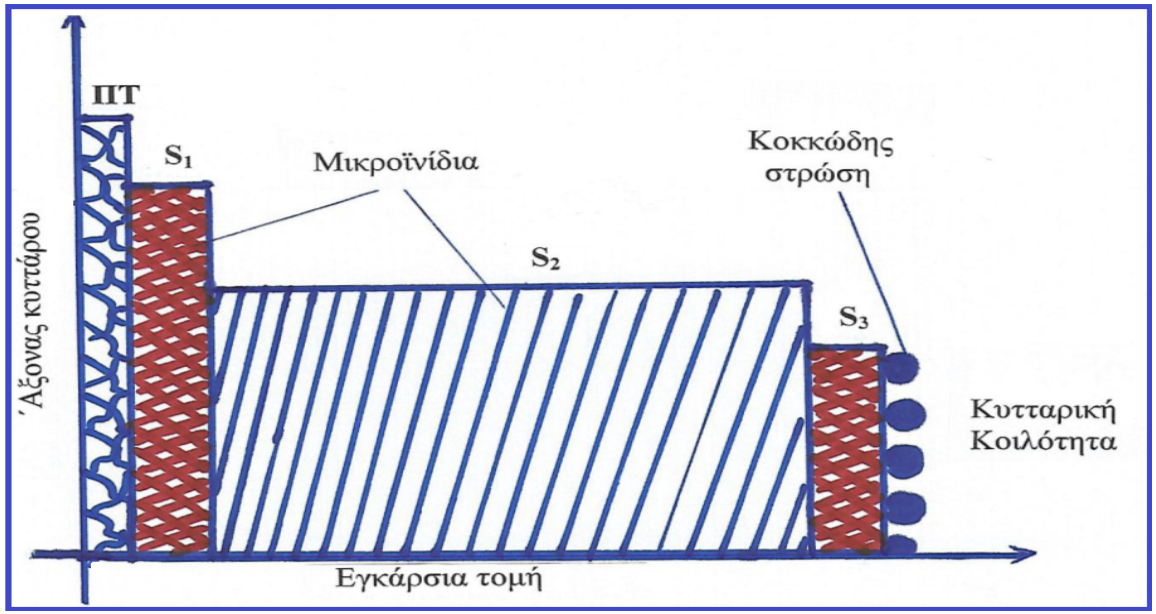
Σχέση γωνίας μικροϊνιδίων με εφαπτομενική και αξονική ρίκνωση →





ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΕΤΑΞΥ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΡΣΙΑΣ (ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗΣ Ή ΑΚΤΙΝΙΚΗΣ) ΡΙΚΝΩΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ

Γωνία μικροϊνιδίων στα κυτταρικά τοιχώματα



Αξονική ρίκνωση και διόγκωση πολύ μικρή: ΛΟΓΟΙ :

1. Σχεδόν // διάταξη των μικροϊνιδίων στη S_2 στρώση

2. Μεγάλο πάχος της S_2 στρώσης

3. Ρίκνωση και διόγκωση κατά μήκος των μικροινιδίων : Αμελητέα

4. Η S_2 λόγω του πάχους της κυριαρχεί των άλλων 2 στρώσεων S_1 και S_3 και συντελεί στη μικρή αξονική ρίκνωση

5. Για τον ίδιο λόγο η S_2 στρώση εξηγεί την πολύ μεγαλύτερη εγκάρσια (ακτινική ή εφαπτομενική) ρίκνωση και διόγκωση

Υπόμνημα

Στρώσεις κυτταρικού τοιχώματος	ΠΤ (Πρωτ. τοίχωμα)	S_1 στρώση	S_2 στρώση	S_3 στρώση
Γωνία μικροϊνιδίων		50^0-90^0	20^0-30^0	50^0-90^0
Αριθμός υποστρώσεων		4-6	30-150	0-6
Πάχος (μm)	0,23-0,34	0,12-0,35	1,77-3,68	0,10-0,15

ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΗΣ & ΑΚΤΙΝΙΚΗΣ ΡΙΚΝΩΣΗΣ/ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ

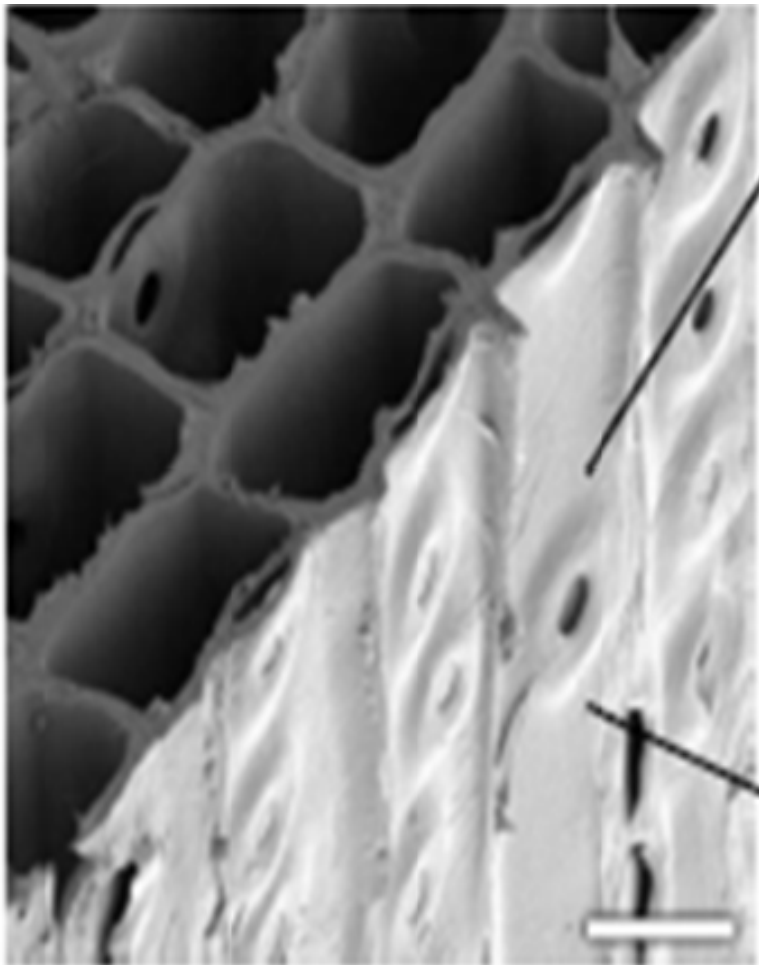
Συντελεστής Ανισοτροπίας = εφαπτομενική/ ακτινική ρίκνωση

Ο Σ.Α. μικραίνει με την αύξηση της πυκνότητας, δηλαδή βαρύτερα ξύλα έχουν μικρότερη ανισοτροπία.

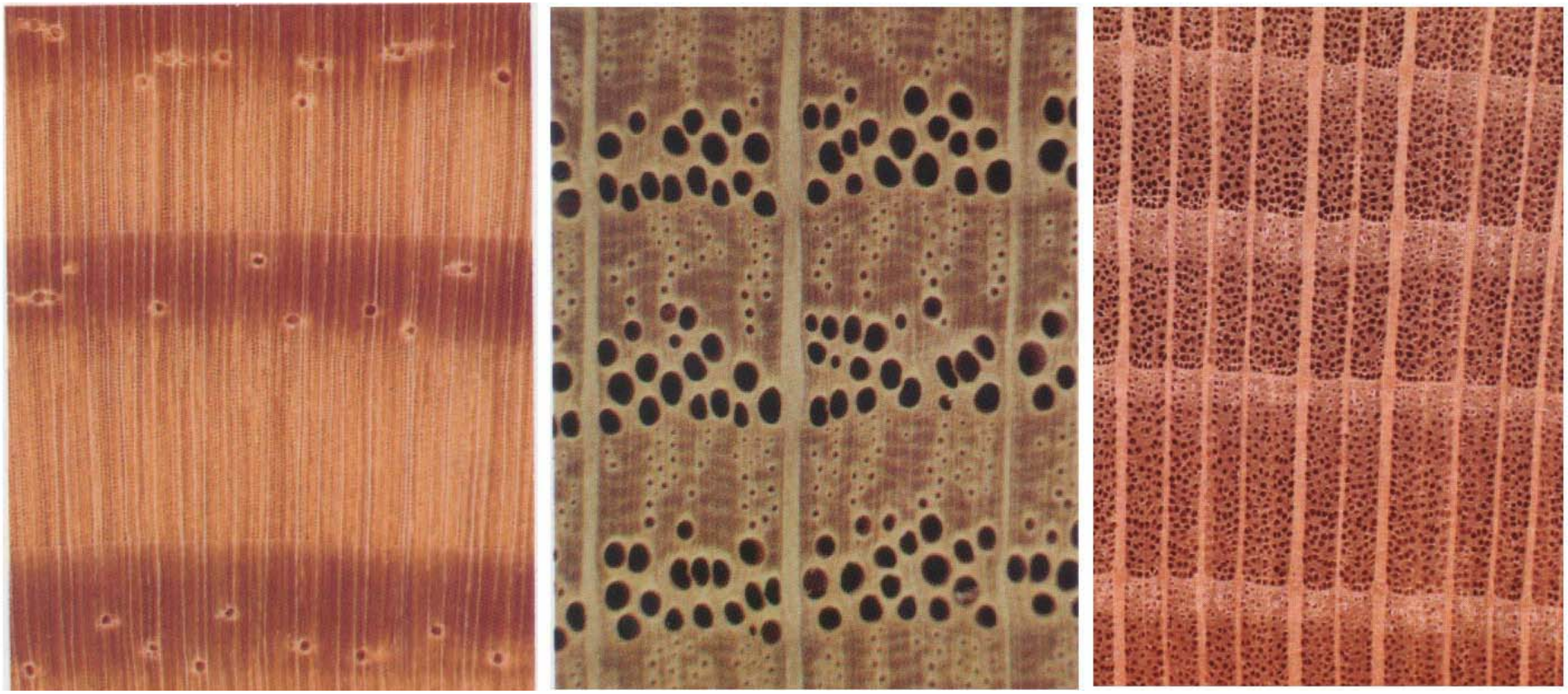
ΑΙΤΙΕΣ (προτεινόμενες θεωρίες):

1. **Περιοριστική επίδραση των ακτίνων στην ακτινική κατεύθυνση.**
2. **Παρουσία πολυάριθμων βοθρίων στα ακτινικά τοιχώματα των τραχεϊδών προκαλεί αποκλίσεις των μικροϊνιδίων.**
3. **Μεγαλύτερη πυκνότητα του όψιμου ξύλου από το πρώιμο. Οι αυξητικοί δακτύλιοι έχουν εφαπτομενική διεύθυνση.**
4. **Περισσότερη λιγνίνη στα ακτινικά κυτταρικά τοιχώματα**
5. **> πάχος κυτταρικών τοιχωμάτων στην εφαπτομενική κατεύθυνση**

Πολυάριθμα βοθρία στα ακτινικά κυτταρικά τοιχώματα των τραχειδών κωνοφόρων ειδών



Μεγαλύτερη πυκνότητα των εφαπτομενικών ζωνών του πυκνότερου όψιμου ξύλου σε σχέση με το πρώιμο ξύλο → ενισχύει την εφαπτομενική ρίκνωση



ΑΜΕΛΗΤΕΑ ΑΞΟΝΙΚΗ ΡΙΚΝΩΣΗ / ΔΙΟΓΚΩΣΗ

ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΕΤΑΙ;

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 την εγκάρσια διόγκωση του ξύλου, η μεσαία στρώση τείνει να διογκωθεί, αλλά οι δύο άλλες στρώσεις την εμποδίζουν, λόγω της διαφορετικής διάταξης των μικροϊνιδίων!

Αντίθετα κατά την αξονική κατεύθυνση η μεσαία στρώση δεν διογκώνεται λόγω της παραλληλότητας των μικροινιδίων με τον άξονα του κυττάρου, ενώ οι άλλες 2 στρώσεις τείνουν να διογκωθούν.

*******Και στις 2 περιπτώσεις η ΜΕΣΑΙΑ ΣΤΡΩΣΗ ΚΥΡΙΑΡΧΕΙ**

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΙΚΝΩΣΗΣ

$$\text{Ρίκνωση} = \frac{l_1 - l_2}{l_1} * 100$$

l_1 = χλωρή διάσταση (cm)

l_2 = ξηρή διάσταση (cm)

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ

$$\text{Διόγκωση} = \frac{l_1 - l_2}{l_2} * 100$$

l_1 = χλωρή διάσταση (cm)

l_2 = ξηρή διάσταση (cm)

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΙΚΝΩΣΗΣ

Προσδιορισμός συνολικής γραμμικής ρίκνωσης (ΣΡ):

$$\Sigma P = \frac{\text{ΧΔ} - \text{ΞΔ}}{\text{ΧΔ}}(cm/cm) \quad (1) \qquad \text{ή} \qquad \Sigma P(\%) = \frac{\text{ΧΔ} - \text{ΞΔ}}{\text{ΧΔ}} \cdot 100 \quad (3)$$

$$\Sigma \Delta = \frac{\text{ΧΔ} - \text{ΞΔ}}{\text{ΞΔ}}(cm/cm) \quad (2) \qquad \text{ή} \qquad \Sigma \Delta(\%) = \frac{\text{ΧΔ} - \text{ΞΔ}}{\text{ΞΔ}} \cdot 100 \quad (4)$$

όπου:

ΧΔ = Χλωρή διάσταση ΞΔ = Ξηρή διάσταση

Από τις σχέσεις (1) και (2) προκύπτει:

$$\Sigma P = 1 - \frac{\text{ΞΔ}}{\text{ΧΔ}} \quad \text{και} \quad \Sigma \Delta = \frac{\text{ΧΔ}}{\text{ΞΔ}} - 1 \quad \text{ή}$$

$$1 - \Sigma P = \frac{\text{ΞΔ}}{\text{ΧΔ}} \quad \text{και} \quad \frac{1}{\Sigma \Delta + 1} = \frac{\text{ΞΔ}}{\text{ΧΔ}} \quad \text{ή} \quad 1 - \Sigma P = \frac{1}{\Sigma \Delta + 1}$$

Από την οποία προκύπτει:

$$\Sigma P = \frac{\Sigma \Delta}{\Sigma \Delta + 1} \qquad \Sigma \Delta = \frac{\Sigma P}{1 - \Sigma P}$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΙΚΝΩΣΗΣ

Παραδείγματα (1):

Αν ΧΔ = 20 εκ ., ΞΔ = 18,5 εκ να βρεθούν ΣΡ και ΣΔ

Λύση:

$$\Sigma P = \frac{\text{ΧΔ} - \text{ΞΔ}}{\text{ΧΔ}} = \frac{20 - 18{,}5}{20} = \frac{1{,}5}{20} = 0{,}075 cm/cm = 7{,}5\%$$

$$\Sigma \Delta = \frac{\text{ΧΔ} - \text{ΞΔ}}{\text{ΞΔ}} = \frac{20 - 18{,}5}{18{,}5} = \frac{1{,}5}{18{,}5} = 0{,}081 cm/cm = 8{,}1\%$$

Παραδείγματα (2):

Αν ΣΡ = 8% να βρεθεί η ΣΔ

Λύση:

$$\Sigma \Delta = \frac{\Sigma P}{1 - \Sigma P} = \frac{0{,}08}{1 - 0{,}08} = \frac{0{,}08}{0{,}92} = 0{,}08696 cm/cm = 8{,}696\%$$

ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΗΣ ΡΙΚΝΩΣΗΣ-ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ

Η βασική αιτία για πολλά σφάλματα που γίνονται σε κατασκευές ξύλου και έπιπλα.

Τα σφάλματα αυτά είναι κυρίως:

(1) στρεβλώσεις

(2) ραγαδώσεις άκρων και επιφάνειας

(3) εσωτερικές ραγαδώσεις (κυψελίδωση)

(4) εσωτερικές τάσεις

(5) κατάρρευση (=πλήρης μεταβολή εξωτερικής μορφής)

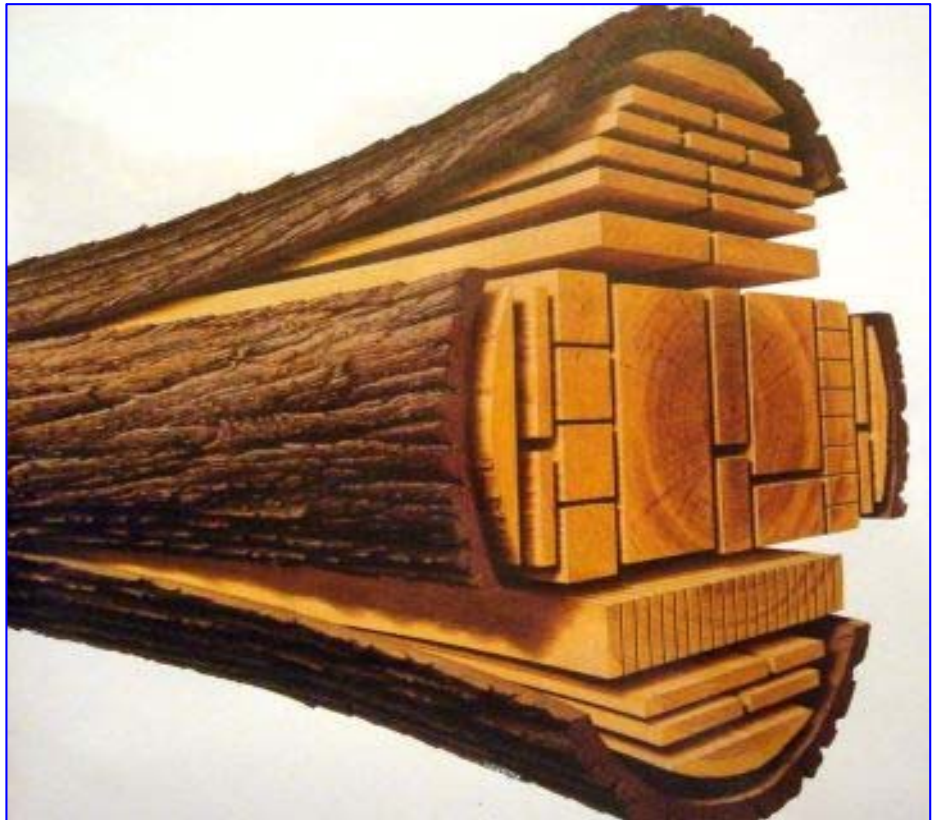
ΑΙΤΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΠΩΛΕΙΑ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΞΥΛΟ

- **Ανομοιόμορφη κατανομή υγρασίας μέσα στο ξύλο.**
- **Αδέξιοι χειρισμοί κατά την τεχνητή ξήρανση (απότομη και γρήγορη ρίκνωση και διόγκωση).**
- **Παρουσία ξύλου ακανόνιστης δομής (εφελκυσμογενές, θλιψιγενές).**

ΧΡΕΙΑΖΕΤΑΙ

1. **Να γίνεται σωστή φυσική ξήρανση**
2. **Να εφαρμόζεται το κατάλληλο πρόγραμμα τεχνητής για κάθε δασοπονικό είδος**
3. **Να γίνεται σωστή ποιοτική ταξινόμηση κορμοτεμαχίων στο δάσος και να μην περιλαμβάνονται σοβαρά σφάλματα στην τεχνική ξυλεία**

Πρίση κορμοτεμαχίων – Παραγωγή πριστών – Επιλογή του κατάλληλου προγράμματος πρίσης



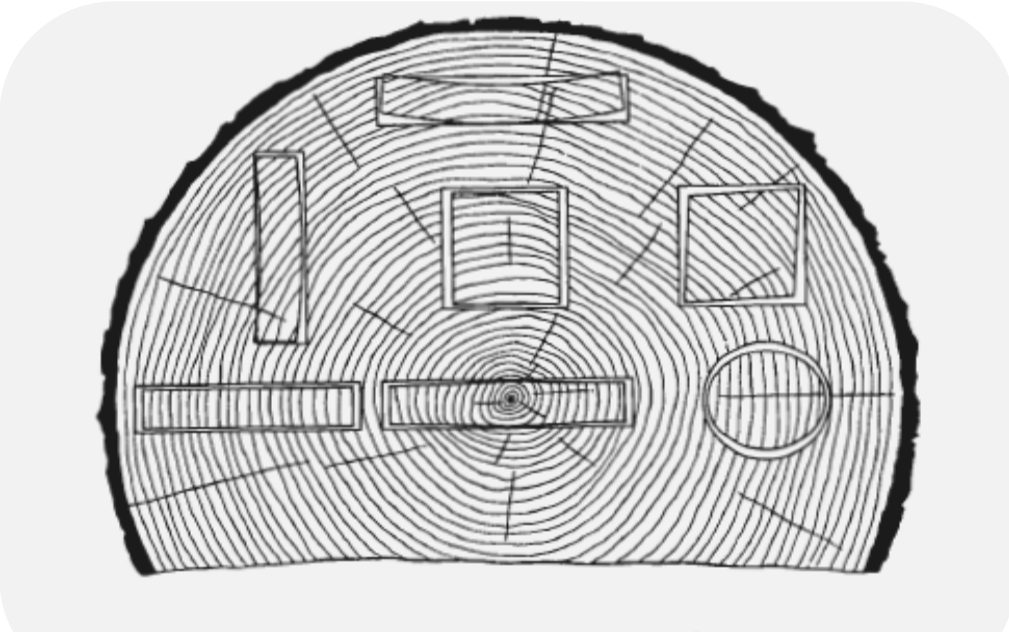
ΒΑΣΙΚΟ ΜΕΛΗΜΑ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΡΙΣΗ:

<u>Σωστή</u> και <u>επιμελημένη ξήρανση του ξύλου</u> μέχρι το ποσοστό υγρασίας του χώρου στον οποίο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σαν κατασκευή, δηλαδή:

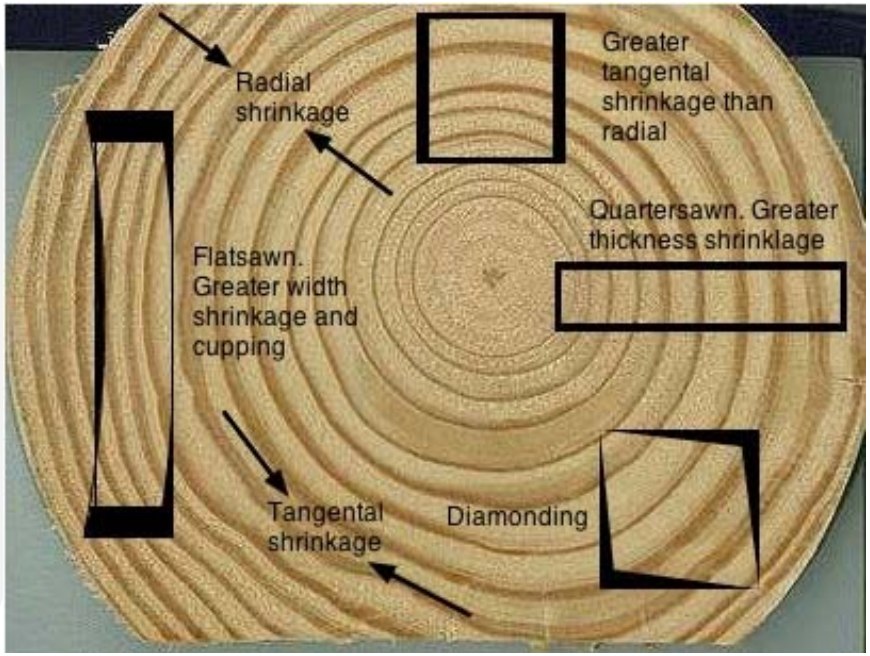
8% περίπου για εσωτερικούς χώρους

12-15% για εξωτερικούς χώρους

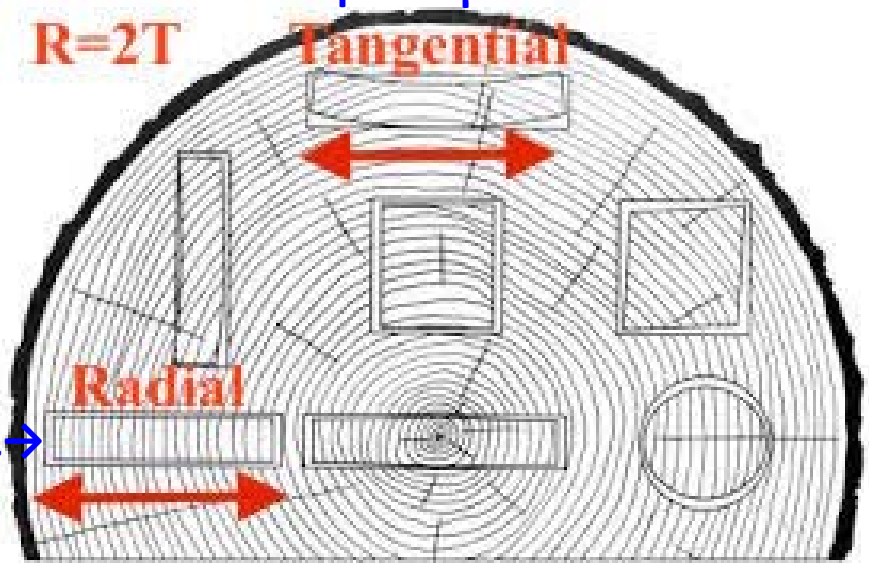
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ



Σχ. 52. Μεταβολή τοῦ σχήματος διαφόρων διατομῶν καί στρέβλωση λόγω διαφορετικής ἐφαπτομε-
ής καί ἀκτινικής ρικνώσεως



Εφαπτομενικά

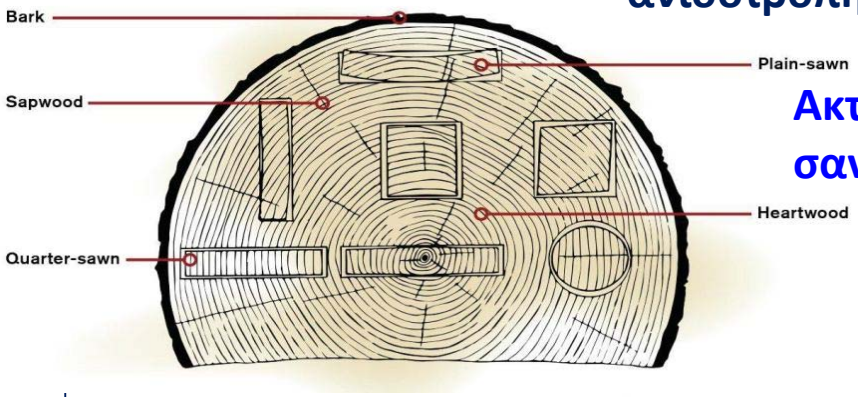


Ακτινικά→

Εφαπτομενική ρίκνωση 2πλάσια ή σχεδόν 2πλάσια της ακτινικής για διάφορα δασοπονικά είδη

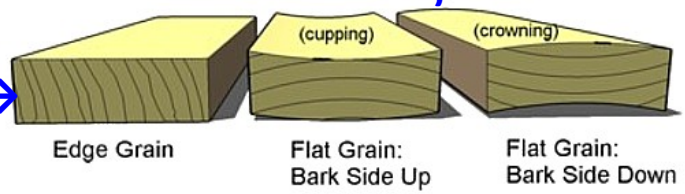
Σημασία της υγρασίας ισορροπίας

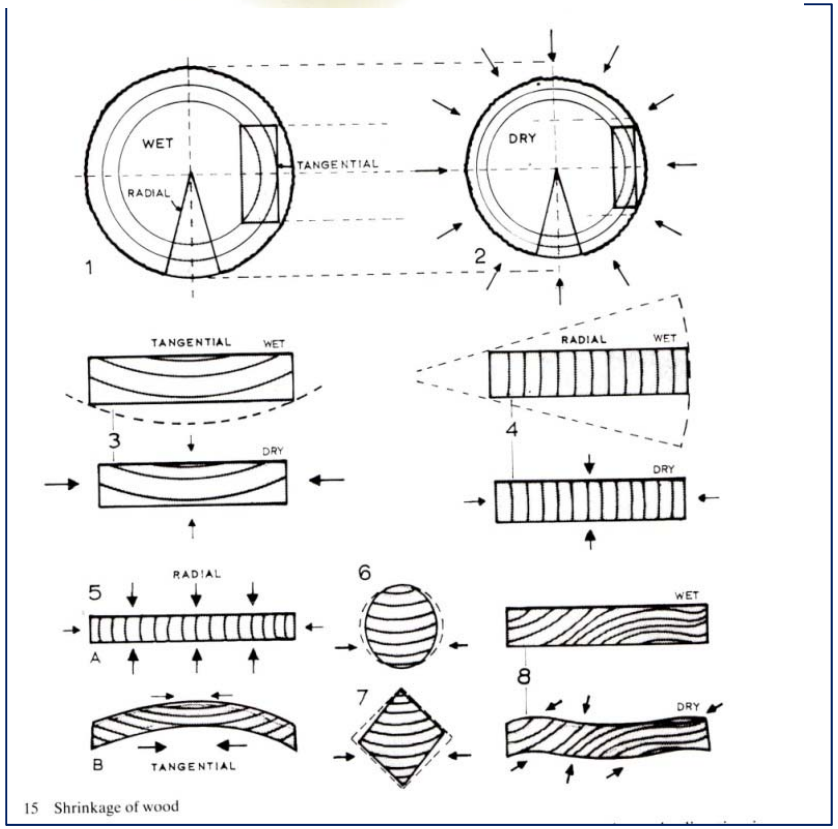
Μεταβολή του σχήματος των εγκάρσιων διατομών και εμφάνιση σφαλμάτων λόγω ανισότροπης ρίκνωσης



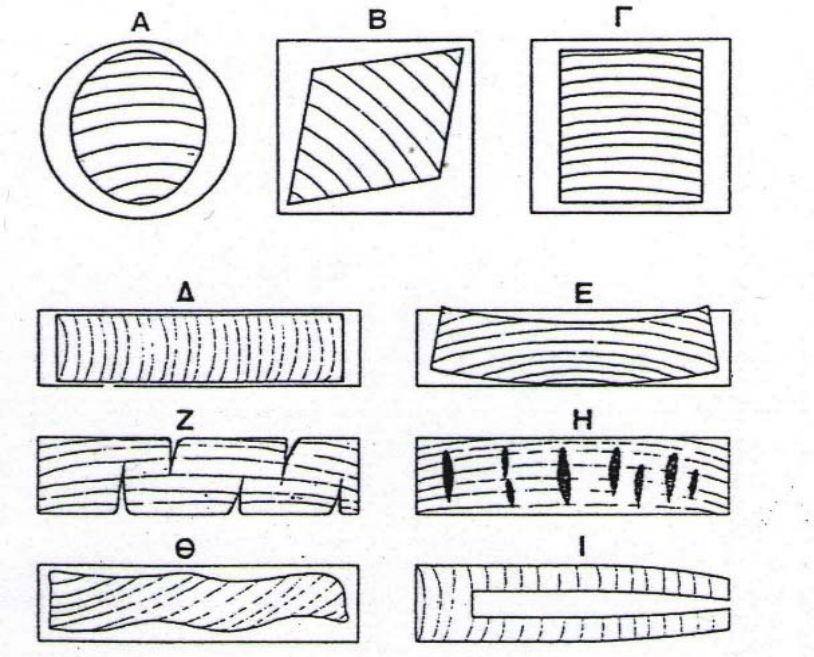
Εφαπτομενικές σανίδες

Ακτινική σανίδα →



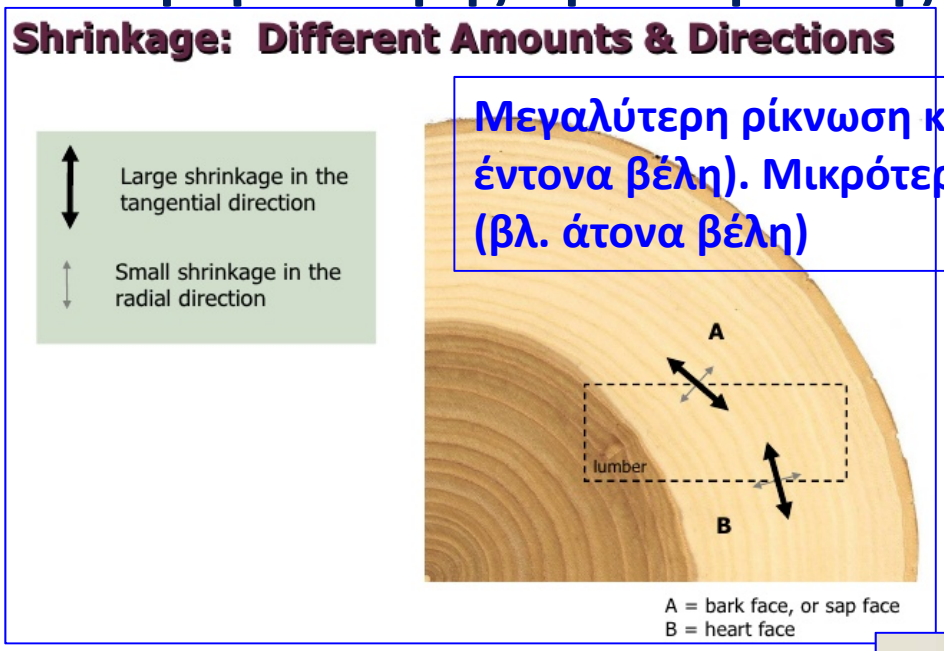


15 Shrinkage of wood



Σφάλματα που προκύπτουν στο ξύλο από απώλεια υγρασίας. Α,Β,Γ,Δ: Μεταβολή σχήματος εγκαρσίων διατομών. Ε: Στρέβλωση. Ζ,Η: Ραγδώσεις εξωτερικές (Ζ) και εσωτερικές (Η). Θ: Κατάρρευση. Ι: Κελύφωση.

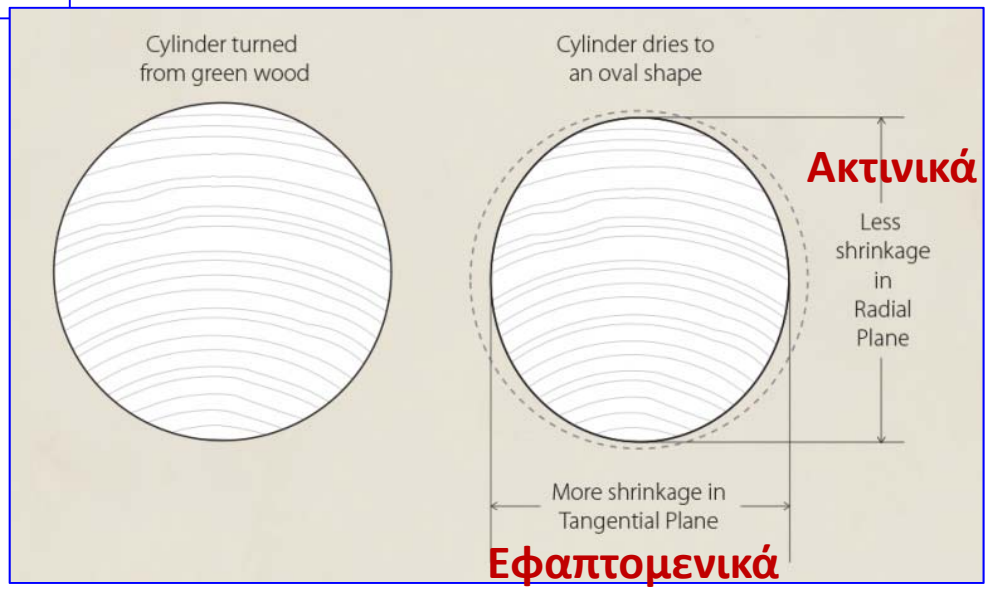
Μεταβολή αρχικής κυκλικής διατομής ξύλου σε σχήμα oval λόγω μεγαλύτερης εφαπτομενικής ρίκνωσης από την ακτινική



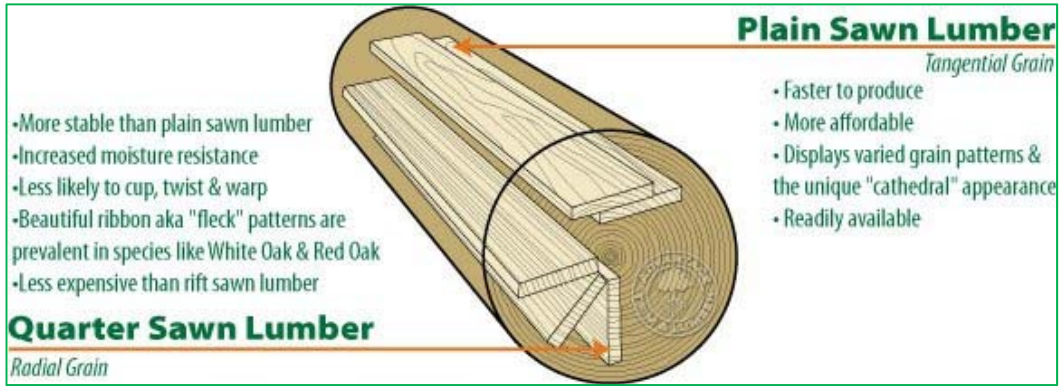
Μεγαλύτερη ρίκνωση κατά την εφαπτομενική κατεύθυνση (βλ. έντονα βέλη). Μικρότερη ρίκνωση κατά την ακτινική κατεύθυνση (βλ. άτονα βέλη)

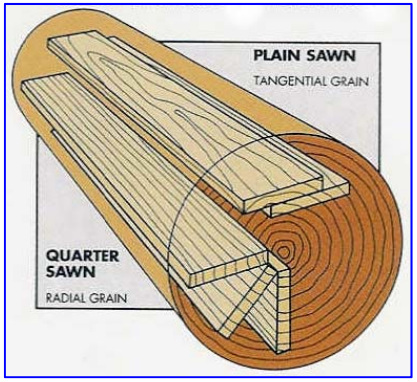
Εγκάρσια τομή σε σχήμα κύκλου μετατρέπεται σε σχήμα oval μετά από ρίκνωση λόγω > εφαπτομενικής ρίκνωσης →

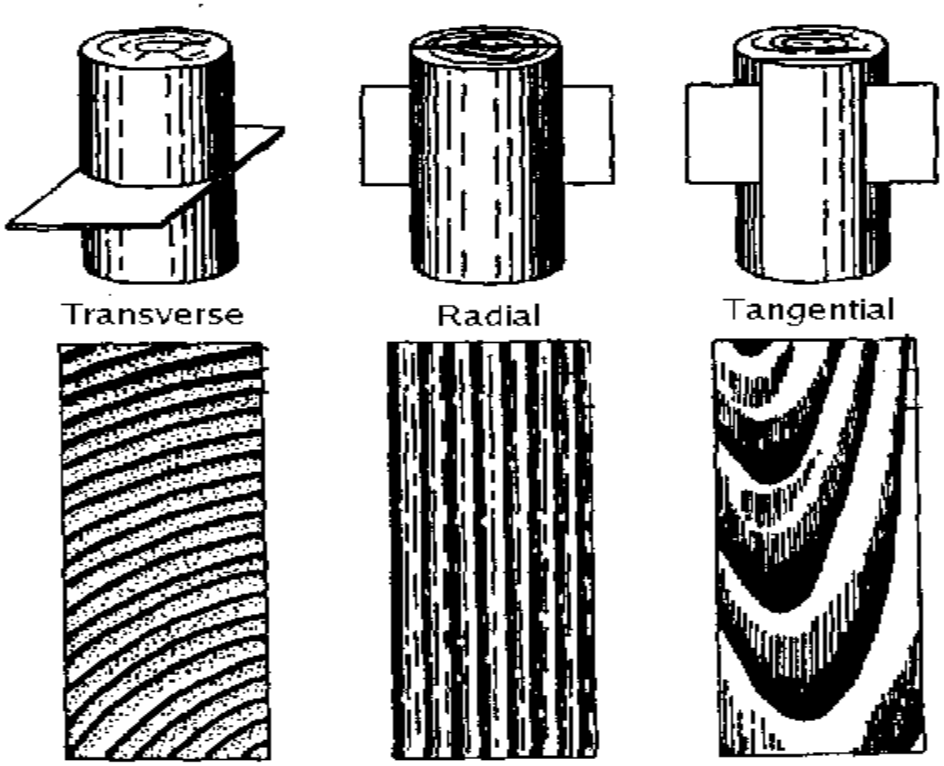
Χλωρό ξύλο **Ξηρό ξύλο**

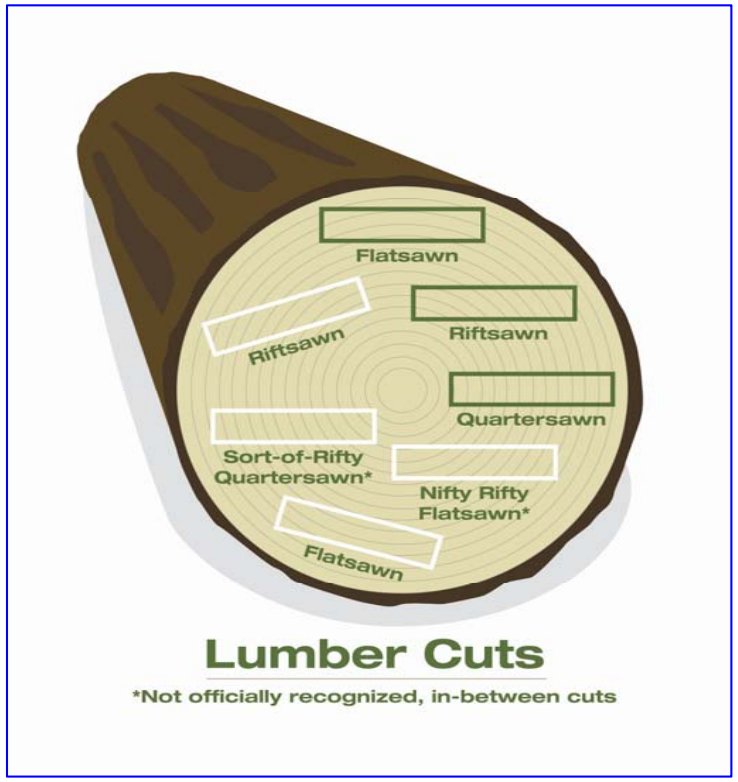


Πρίση κορμοτεμαχίων και παραγωγή εφαπτομενικών και ακτινικών σανίδων



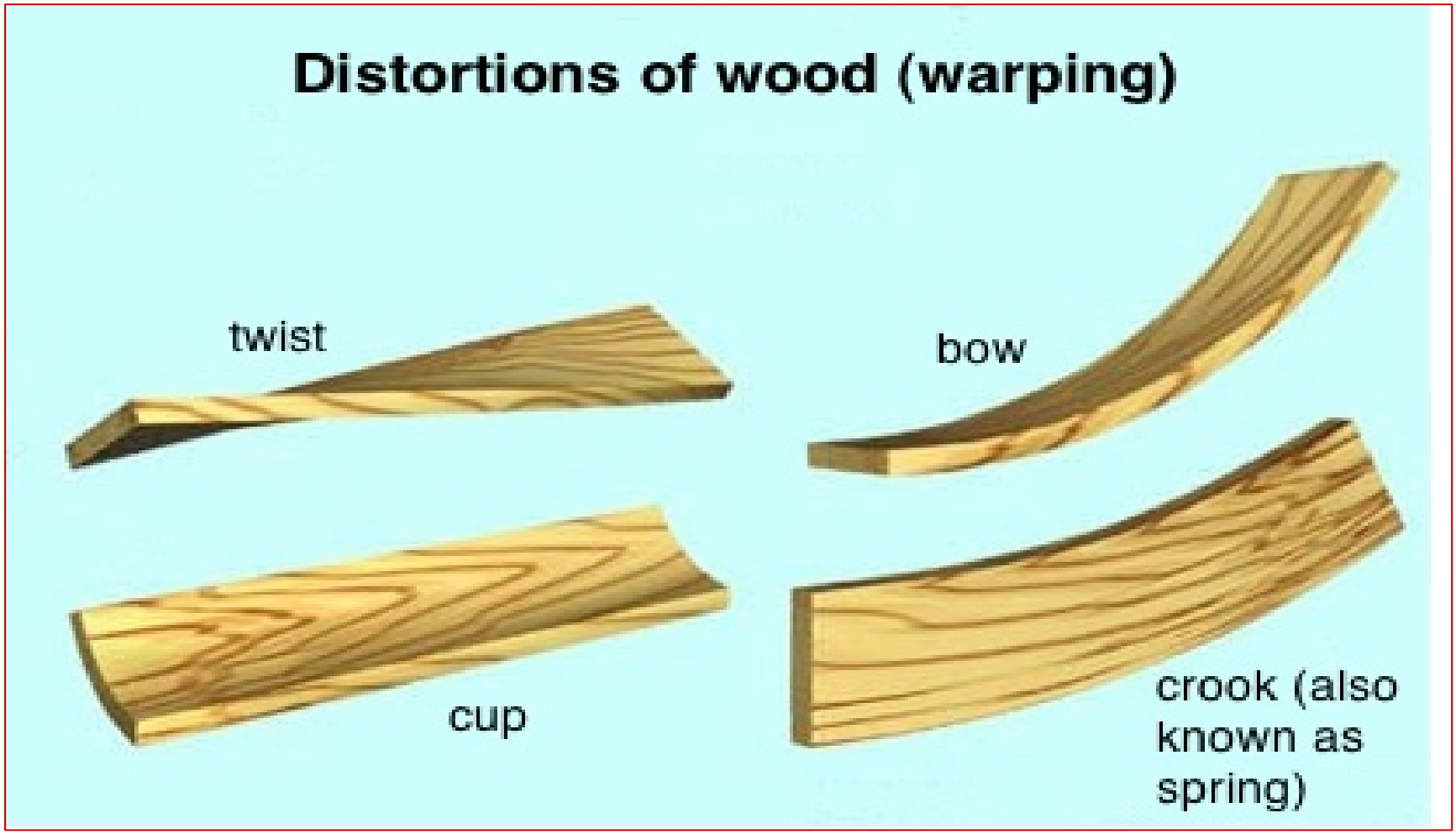






ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΡΙΚΝΩΣΗΣ & ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ

Στρέβλωση: διαφορές εφαπτομενικής και ακτινικής Ρ & Δ



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΡΙΚΝΩΣΗΣ & ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ

Ραγάδωση: άνιση μεταβολή διαστάσεων στην επιφάνεια και στο εσωτερικό ενός ξυλοτεμαχίου

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΡΙΚΝΩΣΗΣ & ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ

Κατάρρευση, στρέβλωση και εσωτερική ραγάδα: αποτελέσματα ακατάλληλης ξήρανσης του ξύλου

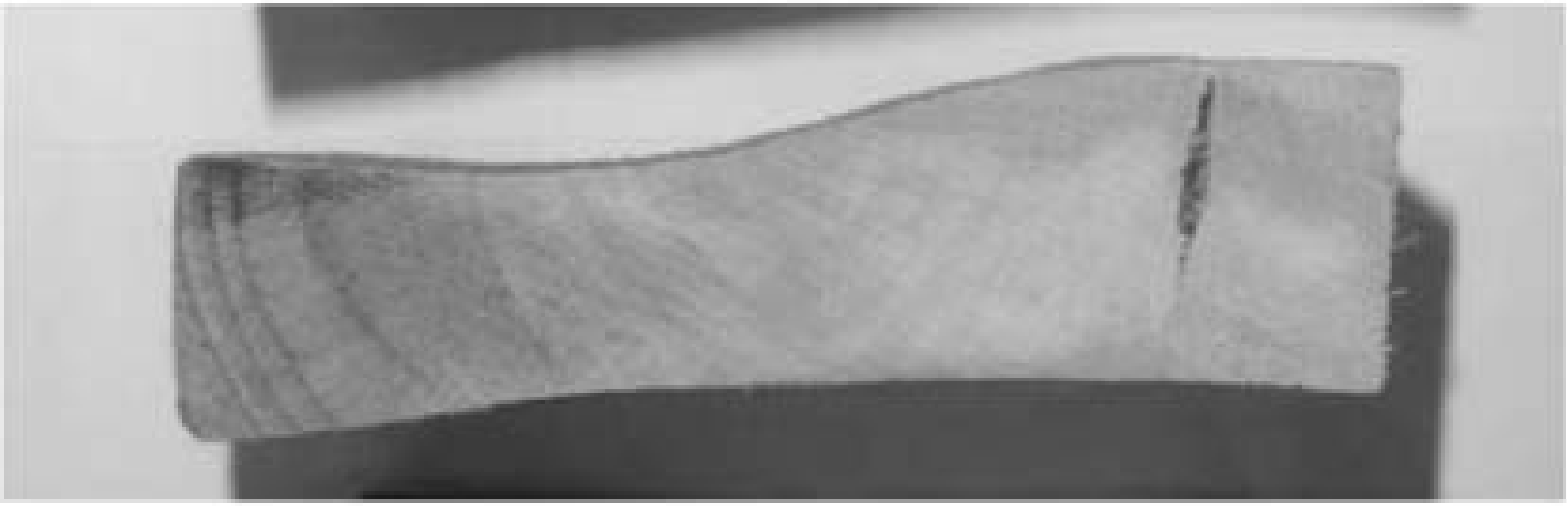
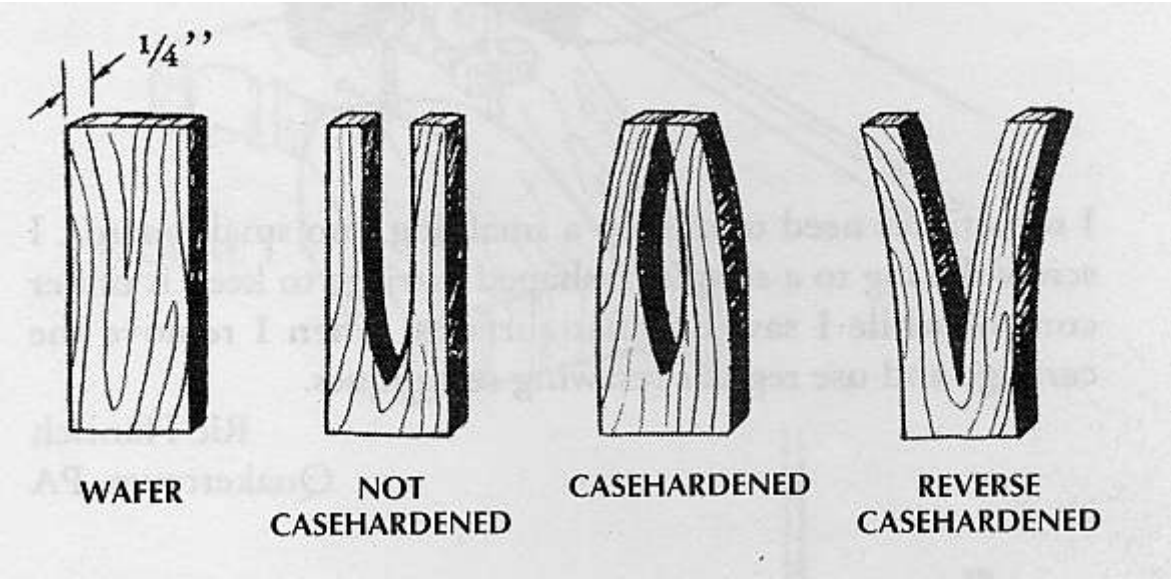
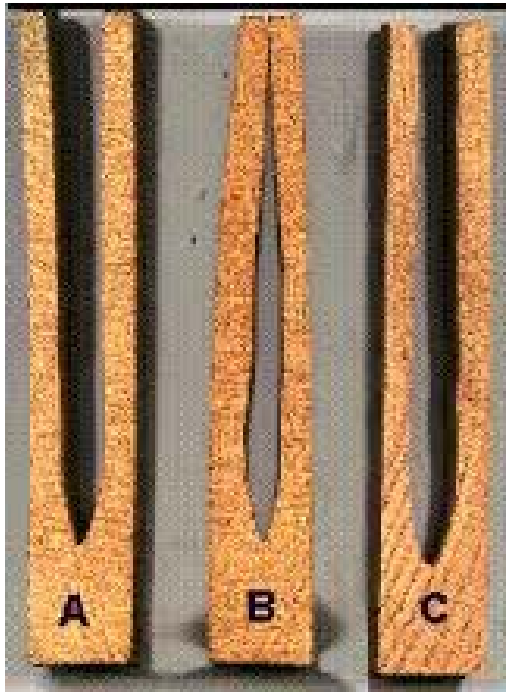
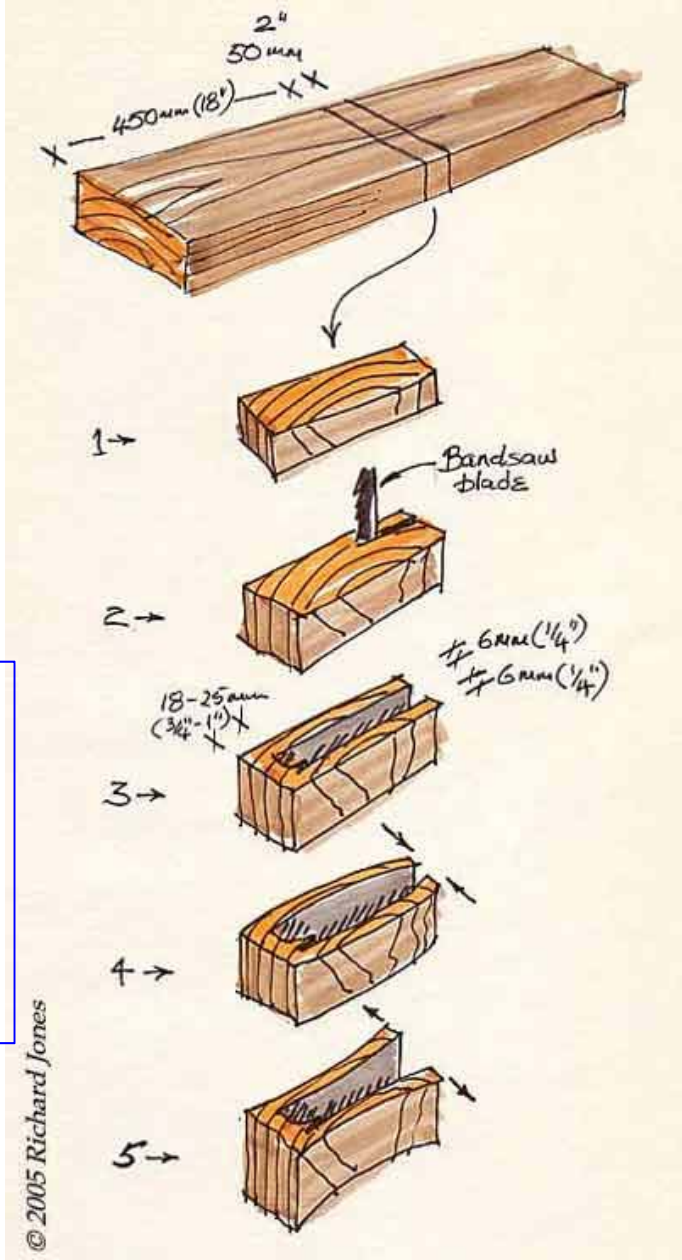


Figure 2. Cross section of a intermediary board of *Eucalyptus dunnii* presenting collapse, cupping and internal cracking.





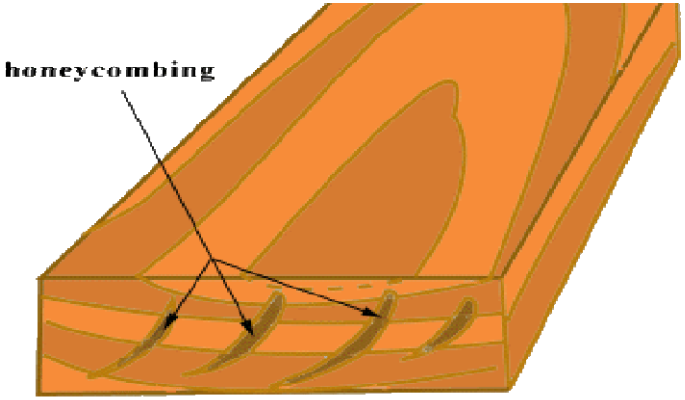
ΚΕΛΥΦΩΣΗ: Εξωτερικά δεν φαίνεται κάποια ακανονιστία ενώ υπάρχουν συσσωρευμένες τάσεις στη μάζα του ξύλου. Με επανάπριση φαίνεται το ελάττωμα (κάμψη των 2 μερών αντίστροφα) - Ανισοκατανομή υγρασίας

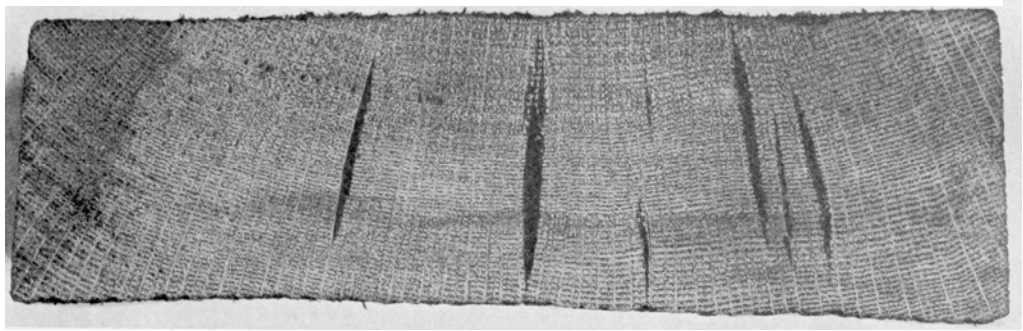


Ραγαδώσεις εξωτερικές

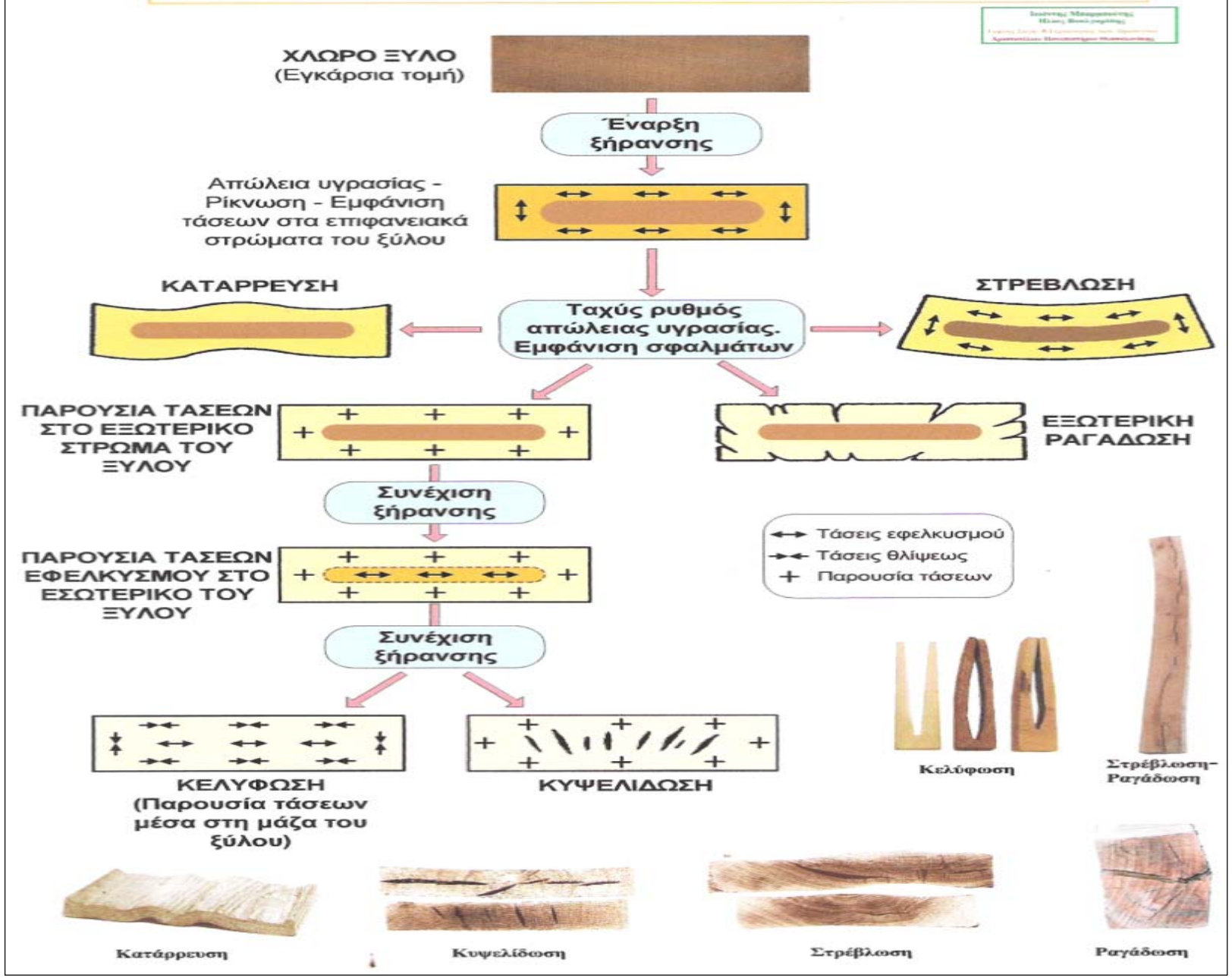
Honeycombing

Κυψελίδωση (Εσωτερικές ραγαδώσεις)





ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΞΥΛΟ
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΞΗΡΑΝΣΗΣ



ΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΥΓΡΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΞΥΛΟΥ ΜΕ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΚΗ ΓΛΥΚΟΛΗ

Studies in Conservation, 21 (1976), 154–158

WATERLOGGED WOOD PRESERVATION WITH POLYETHYLENE GLYCOL

BARBARA L. STARK

Abstract—Polyethylene glycol 1540 was tested in the preservation of a waterlogged, carved, and painted wooden bowl from a prehistoric site on Patarata Island, Veracruz, Mexico. The procedure successfully employed water and Carbowax 1540 in a partial substitution process.

1. INTRODUCTION

Archaeological excavation in 1969 near Alvarado, Veracruz, Mexico, recovered 10 waterlogged pieces of a carved wooden bowl, along with two fragments that may also have come from the bowl [1, 2]. Most of the pieces fitted together. Low relief carving decorated a panel on the bowl exterior (Fig. 1), as well as one non-joining fragment. Complicating the preservation problem were four small interior areas of stuccoed polychrome painting. Black, yellow, and red were visible on the white stucco coat. The non-joining carved piece had on its exterior a small patch of red paint, but no underlying stucco layer. However, the main part of the bowl now lacks any trace of exterior painting. The wood has been identified as *Gliricidia* sp. (B. F. Kukachka, personal communication).

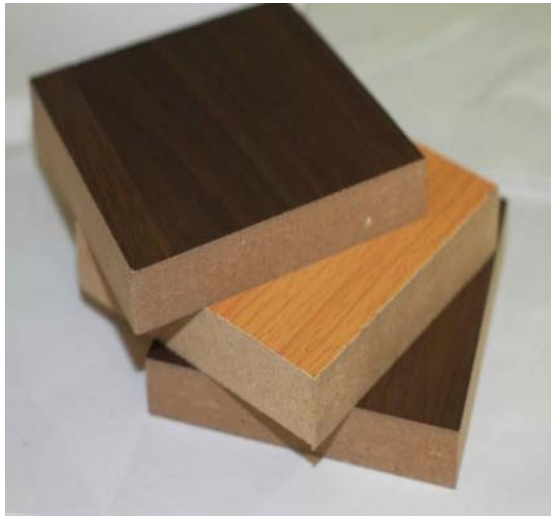
Preservation of wood in a tropical lowland setting is a rarity. The iconography of the carving and the rarity of such a find made this a specimen of unusual value. In this case the wood endured because it was thrown with other trash into shallow open water and presumably was rapidly silted over. Today the site (Patarata 52) is located in a mangrove swamp, and most of the strata are below the dry season water table. Reconstruction of the deposition conditions and the present location of the water table suggest that the bowl has remained waterlogged in anaerobic conditions. Its cultural associations, combined with stratigraphic and radiocarbon dating, date it around A.D. 300.

No field treatment was attempted, and the carving was kept wet. Because of the location of the site, the wood was saturated with brackish water. During unexpected delays in shipment from Mexico to New Haven, Connecticut, the pieces dried sufficiently to become damp rather than completely saturated; tiny pits on the surface were caused by salt crystallization, which prompt field treatment would have prevented.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΡΙΚΝΩΣΕΩΣ ΚΑΙ ΔΙΟΓΚΩΣΕΩΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

- **Μηχανική μεταποίηση του ξύλου → Νέα σύνθετα προϊόντα ξύλου (κόντρα-πλακέ, μοριοπλάκες, ινοπλάκες, χαρτί, σύνθετη ξυλεία) με περιορισμένη ρίκνωση και διόγκωση λόγω ανακατανομής της διεύθυνσης των ινών.**
- **Στα παραπάνω προϊόντα γίνεται μία ανακατανομή της μάζας του ξύλου ύστερα από μηχανική κατεργασία (μετατροπή του ξύλου σε τεμαχίδια, παραγωγή ξυλοφύλλων για αντικολλητά, αποϊνωση των ξυλοτεμαχιδίων), που ελαττώνει την ανισοτροπία του τελικού προϊόντος.**
- **Π.χ. στα αντικολλητά παράγονται με τοποθέτηση των διαδοχικών ξυλοφύλλων έτσι ώστε να σχηματίζουν ορθή γωνία**

Μοριοπλάκες και Ινοπλάκες (Επενδεδυμένες και μη)



Διακοσμητικά ξυλόφυλλα-Αντικολλητά και Πηχοπλάκες

Κάλυψη της εξωτερικής ή/και εσωτερικής επιφάνειας του ξύλου

Επιφανειακή κάλυψη – Κάλυψη της εξωτερικής ή/και της εσωτερικής επιφάνειας

- Επιφανειακή εφαρμογή βερνικιών, ελαιοχρωμάτων και άλλων επιφανειακών επικαλύψεων.
- Επάλειψη της επιφάνειας του ξύλου με λινέλαιο και άλλα διεισδυτικά ελαιώδη συντηρητικά και υδρόφοβες ουσίες, που καλύπτουν και μέρος της εσωτερικής επιφάνειας και κάνουν το ξύλο υδρόφοβο.
- **ΔΕΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΥΓΡΑΣΙΑ του ξύλου αλλά επιβραδύνουν την εναλλαγή υγρασίας μεταξύ ξύλου και ατμόσφαιρας και εμποδίζουν την είσοδο υγρού νερού μέσα στο ξύλο.**

Επάλειψη με λινέλαιο, υδρόφοβες ουσίες και άλλα ελαιώδη συντηρητικά

ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΟΓΚΩΣΕΩΣ ΜΕ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΚΗ ΓΛΥΚΟΛΗ (PEG) ΚΑΙ ΑΛΛΕΣ ΧΗΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

- **Εισάγονται διάφορες χημικές ουσίες (άλατα, σάκχαρα, παραφίνη, πολυαιθυλενική γλυκόλη-PEG, συνθετικές ρητίνες, κ.ά.) στα κυτταρικά τοιχώματα, οι οποίες διατηρούν το ξύλο σε κατάσταση μερικής η ολικής διογκώσεως και μειώνουν το μέγεθος των διαστασιακών μεταβολών του ξύλου.**

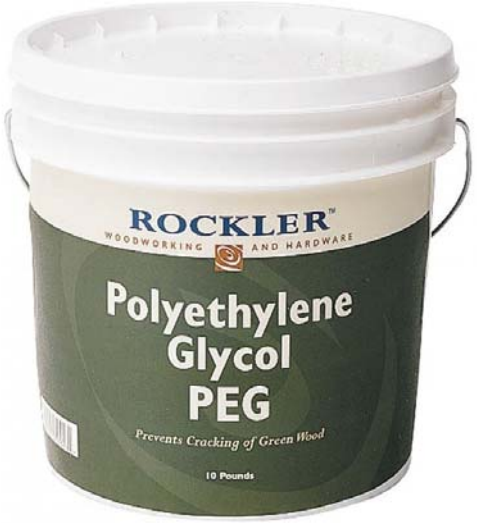
- **Η PEG χρησιμοποιείται σε διάφορα μοριακά διαλύματα (συνήθως PEG 1000). Η εφαρμογή της γίνεται με εμβάπτιση του ξύλου σε υδατικά διαλύματα με συγκέντρωση 10-50% ή εφαρμόζεται κενό και πίεση. Ο μηχανισμός είναι να εισχωρήσει στα κυτταρικά τοιχώματα , να αντικαταστήσει θέσεις νερού και να διατηρήσει το ξύλο σε κατάσταση μερικής/ολικής διογκώσεως.**

- **Η PEG εφαρμόζεται σε ξυλόγλυπτα, κοντάκια όπλων, δίσκους κορμών δέντρων, ξύλινα αρχαιολογικά ευρήματα,όπως π.χ. βυθισμένα πλοία, κ.ά.**

- **΄Εχει καλή αποτελεσματικότητα. Πρακτικά εξαλείφει τη ρίκνωση και διόγκωση. Επηρεάζει αρνητικά ορισμένες ιδιότητες (π.χ. μηχανική αντοχή), επιτρέπει τη συγκόλληση, βαφή, στίλβωση και έχει θετική επίδραση σε άλλες ιδιότητες (προσβολή από μύκητες, εύφλεκτο, κ.ά.)**

ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΟΓΚΩΣΕΩΣ ΜΕ ΠΟΛΥΑΙΘΥΛΕΝΙΚΗ ΓΛΥΚΟΛΗ PEG) – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ PEG ΣΕ ΑΝΕΛΚΥΣΘΕΝ ΠΛΟΙΟ

The remains of the 16th century carrack Mary Rose undergoing conservation treatment with PEG in the 1980s



Εφαρμογή σε ξυλόγλυπτα, κοντάκια όπλων, ναυάγια πλοίων, κ.ά.).

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΙΑΛΥΜΑΤΟΣ PEG ΣΕ ΞΥΛΙΝΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕ ΕΜΒΑΠΤΙΣΗ ΤΗΣ ΣΕ ΔΕΞΑΜΕΝΗ

Wood is treated in pools filled with polyethylene glycol at the ARC-Nucleart Laboratory(Grenoble)

ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΡΙΚΝΩΣΕΩΣ ΚΑΙ ΔΙΟΓΚΩΣΕΩΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

- **Εισαγωγή στο ξύλο υδατοδιαλυτών αλάτων, σακχάρων, παραφίνης, συνθετικών ρητινών, κ.ά.) στα κυτταρικά τοιχώματα**
- **Εμποτισμός του ξύλου με υδατοδιαλυτά άλατα (χλωριούχο νάτριο, χλωριούχο μαγνήσιο θει-κυανικό κάλιο) ή σάκχαρα (σακχαρόζη). Δρούν όπως και η PEG. Μειονεκτούν: Το ξύλο εμφανίζεται υγρό σε μεγάλες σχετικές υγρασίες λόγω της υγροσκοπικότητας των ουσιών αυτών, προκαλούν οξειδώσεις μεταλλικών στοιχείων.**
- **Εισαγωγή παραφίνης με ειδική τεχνική στη μάζα διογκωμένου ξύλου. Μειώνει τη ρίκνωση μέχρι 80%. Δύσκολη η εφαρμογή της σε ξύλα μεγάλων διαστάσεων. Έχει δυσμενή επίδραση στη συγκόλληση, στίλβωση, εφαρμογή χρωμάτων, κ.ά.**
- **Χρησιμοποίηση άλλων υδατοδιαλυτών αλάτων (βορίου, νατρίου, υδροξειδίου του βαρίου) και εφαρμογή τους με ειδικές τεχνικές.**

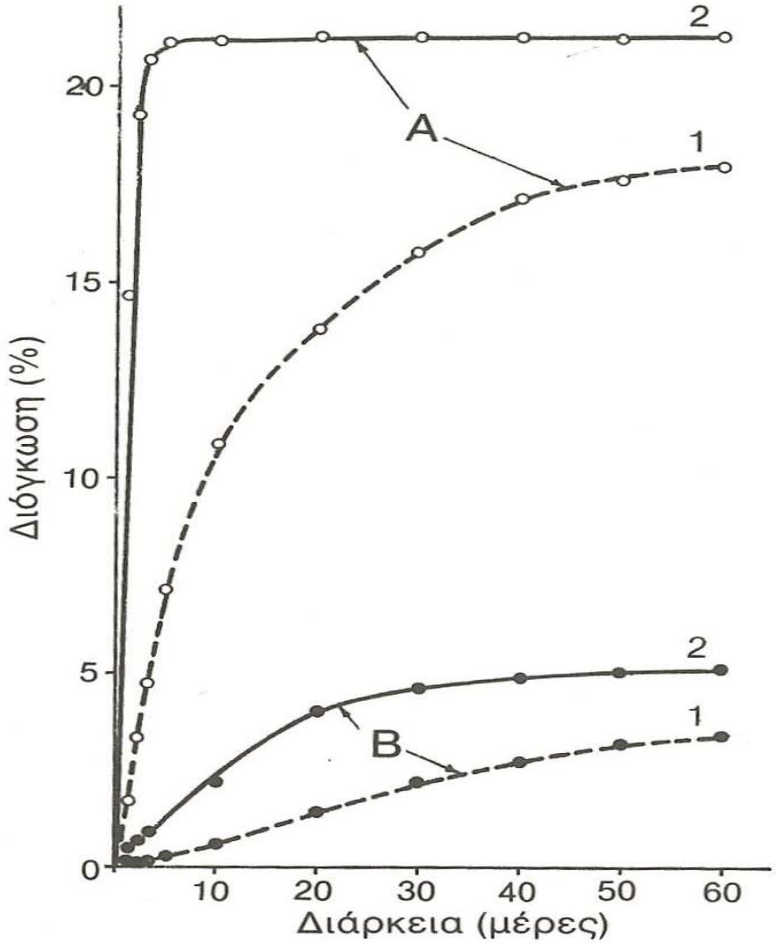
ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΡΙΚΝΩΣΕΩΣ ΚΑΙ ΔΙΟΓΚΩΣΕΩΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

- **Εισαγωγή συνθετικών ρητινών (θερμοσκληρυνόμενων), κυρίως φαινόλης-φορμαλδεΰδης (Φ-Φ) και πολυμερισμός τους μέσα στο ξύλο.**
- **Η Φ-Φ διογκώνει το ξύλο 25% περισσότερο από το νερό και, έτσι, τα κυτταρικά τοιχώματα εμποτίζονται ευκολότερα.**
- **Γίνεται εμποτισμός λεπτών ξυλοφύλλων και μετά αυτά συγκολλούνται.**
- **Παράγεται «βελτιωμένο ξύλο»→ξύλο με βελτιωμένες ιδιότητες → «Compreg» και «Impreg» (εμπορικές ονομασίες).**
- **«Compreg» → Εμποτισμός-συγκόλληση με μεγάλη θερμή πίεση (ελάττωση του πάχους κατά 1/3 ως 1/2).**
- **«Impreg» → Εμποτισμός-σκλήρυνση της ρητίνης σε κάθε ξυλόφυλλο- συγκόλληση σε κανονική πίεση.**
- **Χρήσεις: έλικες μικρών αεροπλάνων και ελικοπτέρων, λαβές, μήτρες, σαΐτες υφαντικής, κ.ά.**

ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΡΙΚΝΩΣΕΩΣ ΚΑΙ ΔΙΟΓΚΩΣΕΩΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

- **Εισαγωγή μονομερών (μεθακρυλικά, βινυλικά, στυρόλιο, κ.ά.) και πολυμερισμός μέσα στο ξύλο με θερμότητα ή ατομική ακτινοβολία.**
- **Προϊόντα (εμπορικά ονόματα): «Lignomer», «Wood – Polymer – Composite» ή WPC.**
- **Βελτιώνεται η ρίκνωση (μειώνεται σημαντικά) αλλά βελτιώνονται και άλλες ιδιότητες (π.χ. μηχανική αντοχή εκτός από την αντοχή σε κρούση, η φυσική αντοχή, σε ορισμένα είδη η αισθητική εμφάνιση).**
- **Χρήσεις: Αθλητικά είδη, δάπεδα (παρκέτα), καλαπόδια, λαβές εργαλείων, σαΐτες υφαντικής, κ.ά.**
- **Το κόστος υψηλό. Εφαρμογή περιορισμένη**

Μείωση διόγκωσης του ξύλου οξιάς μετά από εμποτισμό με στυρόλιο



Σχ. 54. Μείωση τῆς διογκώσεως ξύλου ὀξιᾶς ὕστερα ἀπό ἐμποτισμό. Α. ὄχι ἐμποτισμένο, Β. ἐμποτισμένο ξύλο. 1. ἐκτεθειμένο σέ ἀέρα κορεσμένο μέ ὑδρατμούς, 2. τοποθετημένο σέ νερό.

(Boiciuc-Petrician)

ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ ΡΙΚΝΩΣΕΩΣ ΚΑΙ ΔΙΟΓΚΩΣΕΩΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

Ελάττωση υγροσκοπικότητας

- **Μείωση της υγροσκοπικότητας με :**

➢ **(1) θερμική επεξεργασία (επίδραση υψηλών θερμοκρασιών-150-170 ^{o}C και πίεσης -π.χ. 6 atm).**

-Προκαλείται διάσπαση ημικυτταρινών, ροή λιγνίνης

-Προϊόντα (εμπορικές ονομασίες): «Staypack» με d= 1,30-1,35 g/cm^3 και «Staybwood» (με θέρμανση χωρίς αέρα).

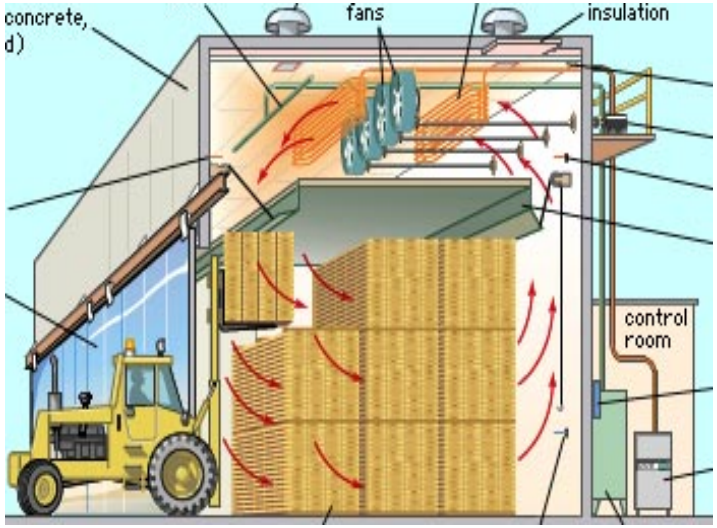
-Ελαττώνεται η ρίκνωση, μειώνεται η μηχανική αντοχή

➢ **(2) αντικατάσταση υδροξυλίων με άλλες λιγότερο υγροσκοπικές (υδρόφοβες) ουσίες, π.χ. με ακετυλικές ομάδες-ακετύλωση→οι ακετυλικές ομάδες έχουν μεγαλύτερο όγκο→κατάσταση μερικής διόγκωσης**

➢ **(3) Αλληλοκορεσμός υδροξυλίων και μικρότερη διαθεσιμότητα υδροξυλίων για δεσμούς H με τα μόρια νερού**

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥ Ρ & Δ

- **Μέθοδοι περιορισμού ρίκνωσης και διόγκωσης:** εργαστηριακές, συχνά δαπανηρές, περιορισμένες εφαρμογές, εκτός από την περίπτωση παραγωγής προϊόντων σε μορφή πλάκας

- **Απλούστερη μέθοδος:** Σωστή και επιμελημένη φυσική ή τεχνητή ξήρανση του ξύλου σε επίπεδα υγρασίας του χώρου τοποθέτησης του προϊόντος (ισοδύναμη υγρασία):

8-10 % περίπου για εσωτερικούς θερμαινόμουνους χώρους και 12-15 % για εξωτερικούς χώρους