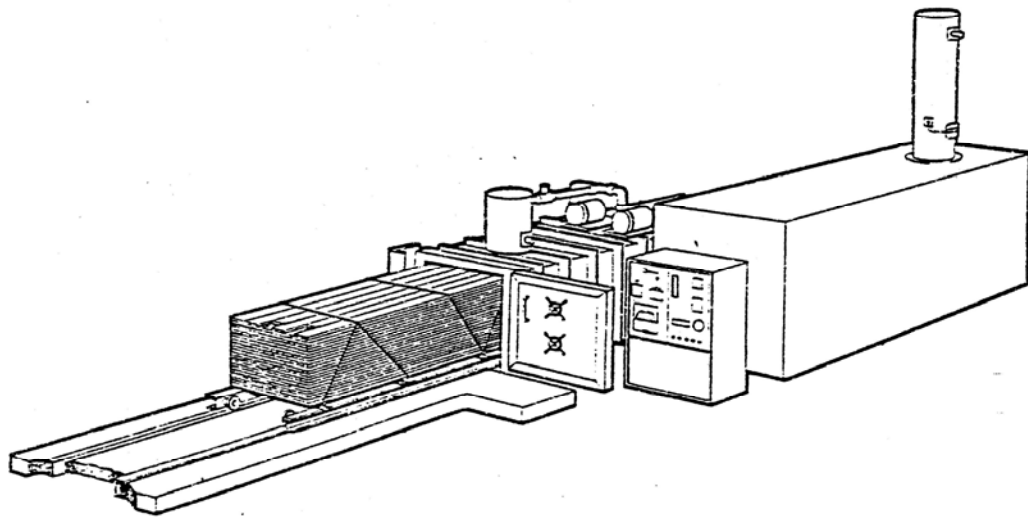


**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ**

**ΗΛΙΑΣ ΒΟΥΛΓΑΡΙΔΗΣ**  
Καθηγητής

**ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΞΥΛΟΥ**  
(Πανεπιστημιακές Παραδόσεις)



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΕΚΔΟΣΗ  
ΤΜΗΜΑ ΕΚΔΟΣΕΩΝ  
2005 - 2006

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

<u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>	Σελίδα
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΛΛΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΣΕ ΥΠΗΡΕΣΙΑ</u>	1
1. ΓΕΝΙΚΑ	1
2. ΦΥΤΙΚΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ	5
2.1. Μύκητες	5
2.1.1. Είδη μυκητικών προσβολών	7
2.1.2. Κυριότερα είδη μυκήτων σε σχέση με τις συνθήκες χρησιμοποίησης του ξύλου	10
2.1.3. Συνέπειες μυκητικών προσβολών	13
2.2. Βακτήρια	16
3. ΖΩΙΚΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ	17
3.1. Έντομα	17
3.2. Θαλάσσιοι οργανισμοί	23
4. ΑΒΙΟΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΛΛΟΙΩΣΗΣ	26
4.1. Κλιματικοί παράγοντες	26
4.2. Μηχανικοί παράγοντες	28
4.3. Χημικοί παράγοντες	28
4.4. Θερμότητα	30
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ, ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ</u>	32
1. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ	32
2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΜΗΣ	35
3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	37
3.1. Φυσική αντοχή	39
3.2. Πορώδες του ξύλου	43
3.2.1. Γενικά	43
3.2.2. Κύριο τριχοειδές σύστημα του ξύλου	44
3.2.2.1. Κωνοφόρα	45
3.2.2.1.1. Φύση των τριχοειδών και τρό- πος σύνδεσής τους	45
3.2.2.1.2. Διαστάσεις τριχοειδών	47
3.2.2.2. Πλατύφυλλα	47
3.2.2.1.1. Φύση των τριχοειδών και τρόπος σύνδεσής τους	47

3.2.2.3. Μεταβολές του τριχοειδούς συστήματος κατά την ξήρανση	50
3.2.2.3.1. Κυτταρικές κοιλότητες	50
3.2.2.3.2. Βοθρία	51
3.2.2.3.1.1. Μηχανισμός απόφραξης αλωφόρων βοθρίων	51
3.2.2.3.3. Δημιουργία νέων κενών χώρων	57
3.2.3. Μικροτριχοειδές σύστημα κυτταρικών τοιχωμάτων	57
3.3. Διαπερατότητα του ξύλου	61
3.3.1. Γενικά	61
3.3.2. Ροή (κίνηση) των ρευστών στο ξύλο	61
3.3.3. Νόμοι ροής των ρευστών στο ξύλο	62
3.4. Υγροσκοπικότητα	72
3.4.1. Υγρασία του ξύλου	72
3.4.2. Δεσμοί νερού και ξύλου	77
3.4.3. Επίδραση υγροσκοπικότητας στον εμποτισμό	79
3.3.4. Μεταβλητότητα της διαπερατότητας σε διάφορα είδη ξύλων και παράγοντες που την επηρεάζουν	66
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο. ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ</u>	83
1. ΓΕΝΙΚΑ	83
2. ΕΙΔΗ ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ	86
2.1. Έλαια	86
2.2. Οργανικά διαλύματα	89
2.2.1. Πενταχλωροφαινόλη	89
2.2.2. Ναφθιονικός χαλκός	89
2.2.3. Οργανομεταλλικά σύμπλοκα	90
2.2.4. Υδρόφοβα διαλύματα	91
2.3. Υδατοδιαλυτά εμποτιστικά	94
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΓΙΑ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟ</u>	98
1. ΑΠΟΦΛΟΙΩΣΗ	98
2. ΞΗΡΑΝΣΗ	99
3. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΕΝΤΟΜΩΝ	102
4. ΑΤΜΙΣΗ	104
5. ΣΥΜΠΙΕΣΗ	105
6. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΕ ΝΕΡΟ Ή ΡΑΝΤΙΣΜΟΣ	106
7. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΣΤΙΣ ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	106

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο. ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΣΤΟ ΞΥΛΟ</u>	107
1. ΓΕΝΙΚΑ	107
2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΩΡΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΙΕΣΗΣ	108
2.1. Επάλειψη και ψεκασμός	108
2.2. Καταιωνισμός	109
2.3. Εμβάπτιση	110
2.4. Διάχυση	113
2.5. Μέθοδος του θερμού και ψυχρού λουτρού σε ανοικτές δεξαμενές	115
3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΙΕΣΗΣ	120
3.1. Μέθοδοι με εφαρμογή χαμηλών πιέσεων	120
3.1.1. Μέθοδος του διπλού κενού	120
3.1.2. Μέθοδος υδροστατικής πίεσης ή εκτόπισης χυμών	123
3.2. Μέθοδοι με εφαρμογή υψηλής πίεσης	124
3.2.1. Μέθοδος των πλήρων κυττάρων	127
3.2.2. Μέθοδος των κενών κυττάρων	128
3.2.3. Μέθοδος υγραερίων	130
3.2.4. Μέθοδος διαδοχικών ή εναλασσόμενων πιέσεων	131
3.2.5. Μέθοδος Boulton	133
3.2.6. Μέθοδος πολύ υψηλής πίεσης	133
3.3. Αποτελέσματα εμποτισμού με μεθόδους πίεσης	134
4. ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	136
4.1. Μέθοδοι έγχυσης	136
4.2. Τοποθέτηση στύλων σε πέτρες και τσιμέντο	137
4.3. Μέθοδος μεθυλενοχλωριδίου	138
5. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ	138

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο. ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ	140
1. ΓΕΝΙΚΑ	140
2. ΠΛΑΤΕΙΑ ΥΠΟΔΟΧΗΣ, ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ, ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΥΛΕΙΑΣ	140
3. Η ΚΥΡΙΩΣ ΜΟΝΑΔΑ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ Ή ΕΜΠΟΤΙΣΤΗΡΙΟ	142
4. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΜΠΟΤΙΣΤΗΡΙΟΥ	148
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ	154
1. ΓΕΝΙΚΑ	
2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΥΛΟΥ ΑΠΟ ΜΥΚΗΤΕΣ	156
3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΝΤΟΜΑ	159
4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΥΛΟΥ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΙ- ΝΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ	161
5. ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΑΦΗΣ, ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ, ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΥΛΟΥ	161
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο. ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΕΡΙ- ΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	163
1. ΓΕΝΙΚΑ	163
2. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ	163
3. ΑΣΦΑΛΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΩΝ	165
4. ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΠΛΥΣΗ ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΕΥΛΟ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΕ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	169
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9ο. ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΟΥ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΥΛΟΥ	174
1. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ	174
2. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ	178
3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	180
4. ΤΟ ΕΥΦΛΕΚΤΟ	181
5. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΕΥΛΟΥ	182
	183



(iii) Άλλοι ανυδρίτες και χημικά	246
β. Αντιδράσεις με αλδεΐδες	248
γ. Αντιδράσεις αιθεροποίησης	250
(i) Μεθυλίωση	250
(ii) Αντιδράσεις με αλκυλοχλωρίδια	250
(iii) Αντιδράσεις με λακτόνες	250
(iv) Αντιδράσεις με ακρυλονιτρίλια	25f
(v) Αντιδράσεις με εποξειδία	252
11.4.1.3. Εισαγωγή υγρών μονομερών και πολυμερισμός τους στις κυτταρικές κοιλότητες	259
11.4.1.31. Μεθακρυλικό μεθύλιο	260
11.4.1.32. Εποξεικές ρητίνες	261
11.4.1.4. Συμπύεση του ξύλου σε υψηλές θερμοκρασίες	262
11.4.1.41. Συμπύεση όχι εμποτισμένου ξύλου σε υψηλές θερμοκρασίες (Staypak)	262
11.4.1.42. Συμπύεση εμποτισμένου ξύλου με ρητίνες σε υψηλές θερμοκρασίες (Compreg)	263
11.4.1.5. Χρησιμοποίηση υψηλών θερμοκρασιών (staybwood)	265

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΛΛΟΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΣΕ ΥΠΗΡΕΣΙΑ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Από επιστημονική άποψη, ξύλο είναι ένα σύνθετο, τρισδιάστατο βιο-πολυμερές υλικό που αποτελείται κυρίως από τα πολυμερή κυτταρίνη, ημικυτταρίνες και λιγνίνη. Τα πολυμερή αυτά συγκροτούν τα κυτταρικά τοιχώματα και είναι υπεύθυνα για τις περισσότερες φυσικές και χημικές ιδιότητες του ξύλου. Η προτίμηση του ξύλου σαν υλικού σε ποικίλες κατασκευές οφείλεται στο ότι είναι σχετικά φθηνό, χρειάζεται λίγη ενέργεια για την κατεργασία του, είναι ανανεώσιμο και βρίσκεται παντού, παρουσιάζει ικανοποιητική μηχανική αντοχή και είναι αισθητικά ευχάριστο. Το ξύλο όμως έχει και ορισμένα μειονεκτήματα όπως η αλλοίωσή του από βιοτικούς παράγοντες (βακτήρια, μύκητες, έντομα και θαλάσσιους οργανισμούς), οι διαστασιακές του μεταβολές (ρίκνωση και διόγκωση) όταν παίρνει ή χάνει υγρασία και η ιδιότητά του να καίγεται σχετικά εύκολα. Το ξύλο αλλοιώνεται, και όταν εκτεθεί στην επίδραση αβιοτικών παραγόντων όπως π.χ. κλιματικών (νερό, ηλιακό φως, θερμότητα, άνεμος) ή άλλων παραγόντων (μηχανικών, χημικών) (Σχ. 1.1). Η αλλοίωση του ξύλου από τους κλιματικούς παράγοντες, γνωστή σαν "weathering" (γήρανση), είναι αργή διαδικασία και περιορίζεται στο επιφανειακό στρώμα του ξύλου αλλά με την πάροδο του χρόνου, καθώς τα επιφανειακά κύτταρα του ξύλου απομακρύνονται, προχωρεί βαθύτερα.

Το είδος και ο βαθμός αλλοίωσης του ξύλου εξαρτάται από τις συγκεκριμένες συνθήκες χρησιμοποίησής του, το είδος των παραγόντων αλλοίωσης και τη φυσική αντοχή του ξύλου. Η φυσική αντοχή ή διάρκεια του ξύλου στους παραπάνω παράγοντες αλλοίωσης εκτιμάται με το χρόνο στον οποίο το ξύλο διατηρεί την αξία χρήσης του χωρίς προστατευτικό εμποτισμό. Σε συνθήκες όπου δεν δρούν παράγοντες αλλοίωσης, το ξύλο μπορεί να διαρκέσει απεριόριστα. Τέτοιες όμως περιπτώσεις σπάνια υπάρχουν στην καθημερινή πρακτική.

Για την αντιμετώπιση όλων αυτών των παραγόντων αλλοίωσης που συνεπάγονται φυσικές και χημικές μεταβολές στο ξύλο και μειώνουν τη διάρκεια ζωής κατά την υπηρεσία του χρησιμοποιείται πληθώρα εμποτιστικών χημικών ουσιών οι οποίες εισάγονται μέσα στη μάζα του με διάφορες τεχνικές.

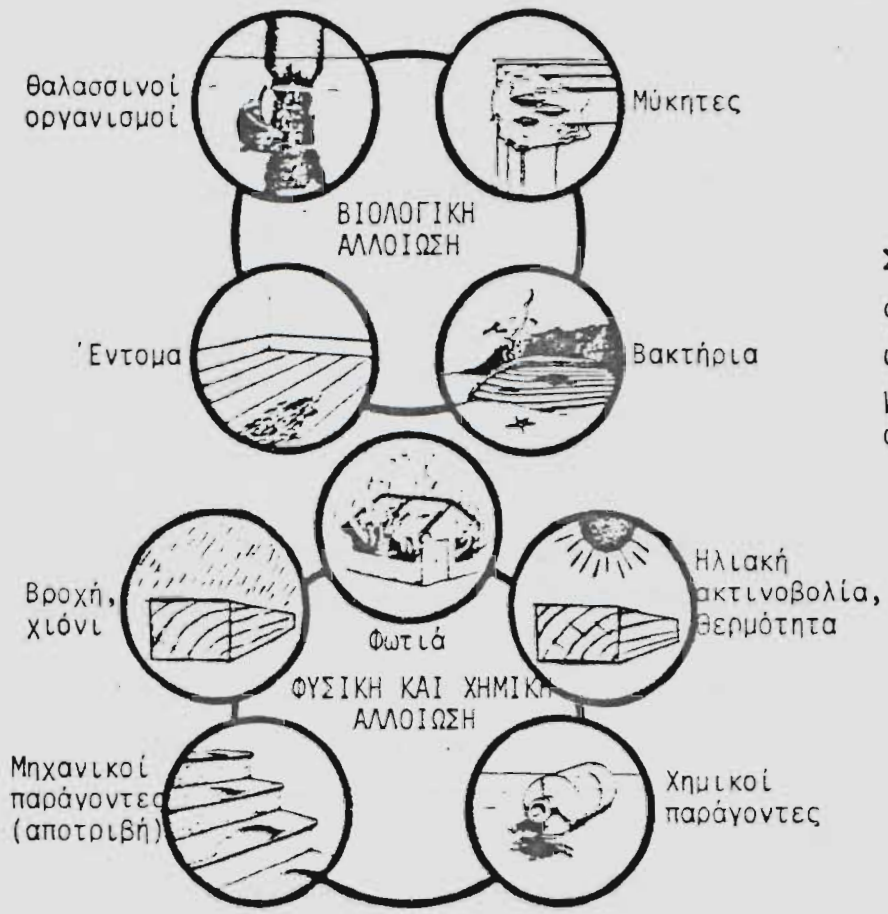


Η εισαγωγή συντηρητικών ουσιών στη μάζα του ξύλου το προστατεύει από την καταστρεπτική επίδραση των παραγόντων αλλοίωσης σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, το συντηρεί στην κατάσταση που είναι ή, σε άλλες περιπτώσεις, βελτιώνει σημαντικά τις ιδιότητές του με σκοπό την αύξηση της διάρκειάς του σε υπηρεσία και τη βελτίωση του σαν υλικού.

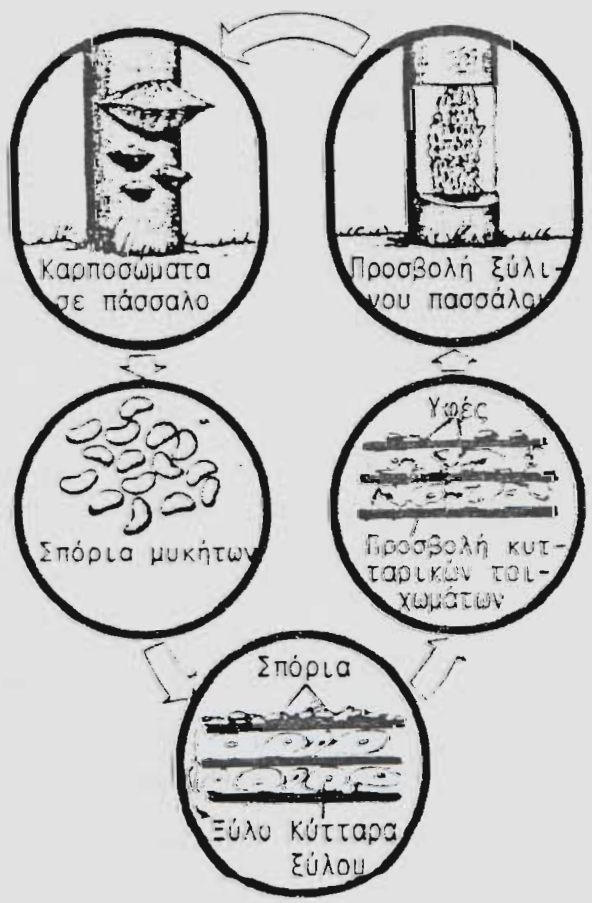
Οι μύκητες και τα έντομα είναι από τους σπουδαιότερους παράγοντες αλλοίωσης του ξύλου. Οι οργανισμοί αυτοί προσβάλλουν ζωντανά δέντρα, κορμητομάχια που βρίσκονται στο δάσος ή είναι αποθηκευμένα στα εργοστάσια αλλά πολλά είδη προσβάλλουν και πριστή ξυλεία ή άλλα προϊόντα ξύλου και ξύλο σε υπηρεσία. Η προσβολή προϊόντων ξύλου ή ξύλου σε υπηρεσία παρουσιάζει τεράστιο ενδιαφέρον γιατί προχωρημένη αλλοίωση του ξύλου συνεπάγεται σημαντικές δαπάνες για την αντικατάστασή του. Για την αντιμετώπιση του κινδύνου αλλοίωσης του ξύλου από μύκητες και έντομα έχει γίνει συνήθης πρακτική, εδώ και πολλά χρόνια, ο εμποτισμός του ξύλου με κατάλληλες προστατευτικές χημικές ουσίες οι οποίες πρέπει να είναι αποτελεσματικές αλλά όχι τοξικές στο περιβάλλον και τον άνθρωπο, και να έχουν μεγάλη διάρκεια και μικρό κόστος.

Τα διάφορα είδη ξύλου παρουσιάζουν διαφορετική ευαισθησία σε προσβολές μυκήτων και εντόμων. Η διαφορετική αυτή φυσική αντοχή των ειδών ξύλου οφείλεται κυρίως στη διαφορετική περιεκτικότητα τοξικών εκχυλισμάτων. Αύξηση της περιεκτικότητας εκχυλισμάτων προσδίδει στο ξύλο σκοτεινότερο χρώμα και μεγαλύτερη φυσική αντοχή (διάρκεια) στις προσβολές μυκήτων και εντόμων. Το εγκάρδιο ξύλο λόγω των περισσότερων εκχυλισμάτων που περιέχει από το σομφό είναι πολλές φορές σκοτεινότερο και πιο ανθεκτικό. Για πρακτικούς σκοπούς μπορεί να γίνει γενικά δεκτό ότι όσο το ξύλο έχει σκοτεινότερο χρώμα και είναι βαρύτερο τόσο η φυσική αντοχή του σε προσβολές μυκήτων και εντόμων είναι μεγαλύτερη. Ορισμένα είδη μυκήτων και εντόμων προσβάλλουν μόνο κωνοφόρα, άλλα είδη μόνο πλατύφυλλα και άλλα κωνοφόρα και πλατύφυλλα. Μερικοί μύκητες ή έντομα περιορίζονται σε ένα ή σε πολύ λίγα είδη ξύλου.

Στη χώρα μας τα κυριότερα είδη ξύλου που χρησιμοποιούνται σε διάφορα προϊόντα και κατασκευές κατά σειρά σπουδαιότητας (από άποψη παραγωγής και οικονομικότητας) και κατά κατηγορία φαίνονται στον Πίνακα 1. Άλλα ελληνικά είδη που παράγουν ξύλο για διάφορες χρήσεις αλλά σε μικρές ποσότητες είναι από τα κωνοφόρα: κυπαρίσσι, άρκευθος, ίταμος, και από τα πλατύφυλλα: καρυδιά, πλάτανος, φτελιά, σφενδάμι, σημύδα, φιλύρα, κλήθρα, γαύρος, φουντουκιά, σορβιά, οστριά, ελιά, ιπποκαστανιά, ακακία, μουριά, ευκάλυπτος, ιτιά, αείφυλλα πλατύφυλλα. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι το ποσοστό τεχνι-



Σχ. 1.1. Βιολογική, φυσική και χημική αλλοίωση του ξύλου (Από Wilkinson, 1979- διασκευή).



Σχ. 1.2. Βιολογικός κύκλος μυκήτων (Από Wilkinson, 1979).

Πίνακας 1.1. Κυριότερα ελληνικά είδη ξύλου και χρήσεις τους.

Κατηγορία	Είδος ξύλου	Χρήσεις
ΚΩΝΟΦΟΡΑ	Ετήσια παραγωγή <u>Πεύκη</u> , (μαύρη, δασική, λευκόδερμος χαλέπιος, τραχεία κ.ά) Παραγωγή: 300.000 κ.μ. περίπου	Οικοδομικές κατασκευές, πατώματα, κιβώτια, στύλοι, στρωτήρες, έπιπλα, βαρέλια, βαρκες, ιστοί πλοίων, μοριοπλάκες, ινοπλάκες, χαρ- τοπολτός, αντικολλητά, ξυλεία μεταλλείων (χαλέπιος, τραχεία), ξυλόγλυπτα (λευκόδερμος)
	<u>Ελάτη</u> Παραγωγή: 250.000 κ.μ. (μαζί με ερυθρελάτη)	Οικοδομικές κατασκευές, πατώματα, κιβώτια, στύλοι, έπιπλα, ιστοί, στρωτήρες, τορνευτά, χαρτοπολτός, μοριοπλάκες, ινοπλάκες.
	<u>Ερυθρελάτη</u>	Όπως και η ελάτη. Επιπλέον μουσικά όργα- να, ναυπηγικές κατασκευές.
ΠΛΑΤΥΦΥΛΛΑ	<u>Οξιά</u> Παραγωγή: 450.000 κ.μ.	Έπιπλα (ύστερα από άτμιση), στρωτήρες, πατώματα, ξυλόφυλλα, αντικολλητά, μοριοπλά- κες, ινοπλάκες, χαρτοπολτός, λαβές εργαλείων μέρη μουσικών οργάνων, πλοία, παιγνίδια, καυσόξυλα.
	<u>Δρύς</u> (διάφορα είδη) Παραγωγή: 1.200.000 κ.μ.	Οικοδομικές και ναυπηγικές κατασκευές, έπιπλα, πατώματα, πάσσαλοι, στρωτήρες, βα- ρέλια, τορνευτά, κάρρα, καυσόξυλα, κάβουνα.
	<u>Λεύκη</u> Παραγωγή: Περί τα 500.000 κ.μ.	Οικοδομικές κατασκευές. Ξυλόφυλλα, αντι- κολλητά, κιβώτια, εσωτερικά επίπλων, σπύρα. τεχνητά μέλη, παιγνίδια, μοριοπλάκες, ινο- πλάκες, χαρτοπολτός.
	<u>Καστανιά</u> Παραγωγή: 30.000 κ.μ.	Πατώματα, έπιπλα, πάσσαλοι, στύλοι, δο- κοί, ξυλεία μεταλλείων, οικιακά σκεύη, βα- ρέλια, μοριοπλάκες, ινοπλάκες, χαρτοπολτός.

κού ξύλου από την εγχώρια παραγωγή είναι μικρό (περί το 25-30%) ενώ το υπόλοιπο είναι καυσόξυλο.

Πέρα όμως από τα εγχώρια είδη ξύλου, στη χώρα μας εισάγονται και ξενικά είδη σε στρόγγυλη μορφή ή σε πριστή ξυλεία τα οποία κατεργάζονται παραπέρα για διάφορα προϊόντα ξύλου. Οι εισαγωγές αυτές περιλαμβάνουν είδη δρυός και πεύκης και πολλά πλατύφυλλα τροπικά ξύλα (Teak, Zebrano, Amazakoue, Palissander, Padouk, Bubinga, Afzelia, Inoko, Afaia, Aka, Difou, Ramin, Framire, Kosipo, Makore, Tiama, Sapele, Sipo, μαόνι, Bete, Balsa, Canarium, Okoume, Obeche, Acajou, Seraya, Lauan, Bilinga, Meranti, Dibetou, Niangon, Abura, κ.ά.

Από άποψη προστασίας του ξύλου και των προϊόντων του από βιολογικούς εχθρούς (π.χ. μύκητες, έντομα), η εισαγωγή μεγάλου αριθμού τροπικών πλατύφυλλων ξύλων στη χώρα μας έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί μπορεί να γίνει ταυτόχρονα και "εισαγωγή" μυκήτων και εντόμων που ζουν και αναπτύσσονται σε τροπικές χώρες αλλά μπορούν να προσβάλλουν και εγχώρια είδη ξύλου και να γίνουν επικίνδυνα. Ανεξάρτητα από το αν πρόκειται για εγχώρια ή εισαγόμενα ξύλα, η προστασία τους από βιολογικούς εχθρούς κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας τους έχει την ίδια σημασία και είναι απαραίτητο να γίνεται με τη χρησιμοποίηση των κατάλληλων κάθε φορά εμποτιστικών ουσιών. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε δύσκολες συνθήκες χρησιμοποίησης του ξύλου (π.χ. στρωτήρες, στύλοι, κλπ.) η αύξηση της διάρκειάς του μετά τον εμποτισμό είναι πολλαπλάσια της φυσικής αντοχής του και μπορεί να φθάσει από 1-10 χρόνια τα 30-70 χρόνια.

## 2. ΦΥΤΙΚΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

### 2.1.1. Μύκητες

Οι μύκητες είναι φυτικοί οργανισμοί αλλά διαφέρουν από τα περισσότερα φυτά στο ότι δεν περιέχουν χλωροφύλλη και γι' αυτό δεν έχουν τη δυνατότητα να παράγουν την τροφή τους με φωτοσύνθεση. Έτσι προσβάλλουν φυτά και ζώα, τα αλλοιώνουν και τα μετατρέπουν σε διαλυτές μορφές τροφής τις οποίες σφομοιώνουν με τα κύτταρά τους.

Υπάρχουν πάνω από 5.000 είδη μυκήτων και το ετήσιο κόστος από τις προσβολές που προκαλούν στο ξύλο είναι τεράστιο. Οι μύκητες προσβάλλουν ιστάμενα δέντρα, κορμοτεμάχια ή ξυλεία κατά την αποθήκευση, ξήρανση ή μεταφορά τους και ξύλο ή προϊόντα ξύλου σε υπηρεσία. Στις ΗΠΑ εκτιμήθη-

κε ότι κατά το 1975 το κόστος λόγω προσβολών του ξύλου από μύκητες ήταν 28 τρισεκατομμύρια δραχμές.

Οι μύκητες αρχίζουν τη ζωή τους με τα σπόρια (στρόγγυλα ή αυγοειδούς μορφής) τα οποία είναι ορατά μόνο με τη βοήθεια μικροσκοπίου. Κάτω από ευνοϊκές συνθήκες βλαστάνουν και παράγουν λεπτές υφές οι οποίες συνήθως με τη βοήθεια ενζύμων που εκκρίνουν προκαλούν χημικές αντιδράσεις με το υπόστρωμα με σκοπό τη μετατροπή του σε αφομοιώσιμες μορφές. Ο κύκλος ζωής ενός μύκητα φαίνεται στο Σχ. 1.2 .

Για να αναπτυχθούν οι μύκητες χρειάζονται τροφή (στην προκειμένη περίπτωση το ξύλο), κατάλληλη θερμοκρασία, υγρασία και αέρας (οξυγόνο). Αν ένας από τους παραπάνω παράγοντες λείπει, οι μύκητες είτε πεθαίνουν είτε παραμένουν αδρανείς μέχρις ότου επικρατήσουν καλύτερες συνθήκες. Στην πράξη, ο κυριότερος παράγοντας που ρυθμίζει το βαθμό προσβολής του ξύλου από τους μύκητες είναι η περιεχόμενη υγρασία του ξύλου. Κατά κανόνα, ένα υγρό ξύλο πάντα προσβάλλεται από μύκητες. Κάτω από 20% περιεχόμενη υγρασία, το ξύλο θεωρείται αρκετά ξηρό ώστε να μην μπορούν να δραστηριοποιηθούν οι μύκητες. Το άριστο της περιεχόμενης υγρασίας για τη δραστηριότητα των μυκήτων είναι λίγο παραπάνω από το σημείο ισοκόρου (30-35% περίπου). Σ' αυτή την υγρομετρική κατάσταση τα κυτταρικά τοιχώματα είναι κορεσμένα και υπάρχουν μικρές ποσότητες ελεύθερου νερού στις κυτταρικές κοιλότητες που διευκολύνουν τη διάχυση των ενζύμων των υφών των μυκήτων προς τα τοιχώματα.

Οι μύκητες χρειάζονται οξυγόνο για την ανάπτυξή τους. Όταν το ξύλο περιέχει πολύ μεγάλες ποσότητες νερού, είναι κάτω από νερό ή υγρό έδαφος και γενικά διατηρείται πολύ υγρό, τότε ο αέρας (οξυγόνο) περιορίζεται σε επίπεδα κάτω των ελάχιστων ορίων που χρειάζονται για τη δραστηριοποίηση των μυκήτων. Ο περιορισμός αυτός του οξυγόνου με τη διατήρηση της περιεχόμενης υγρασίας του ξύλου σε υψηλά επίπεδα χρησιμοποιείται και στην πράξη (αποθήκευση του ξύλου σε δεξαμενές, ραντισμός κορμοτεμαχίων ) για προσωρινή προστασία του ξύλου από προσβολές μυκήτων.

Κατάλληλη θερμοκρασία είναι επίσης απαραίτητη για την ανάπτυξη των μυκήτων με άριστο το επίπεδο των 20-25°C. Κάτω από 0°C και πάνω από 30°C η δράση των μυκήτων αναστέλλεται εντελώς ενώ σε πολύ χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες οι μύκητες θανατώνονται. Στην πράξη, θάνατος των μυκήτων επέρχεται με την τεχνητή ξήρανση ή άτμιση του ξύλου όπου οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται είναι σχετικά υψηλές. Η αποστείρωση όμως αυτή του ξύλου δεν το απαλλάσσει από μελλοντικές προσβολές κατά τη διάρκεια χρήσης του αν δεν ενισχυθεί η φυσική αντοχή του με προστατευτικό εμπότισμό. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε πασσάλους και στύλους η προσβολή από

από μύκητες γίνεται κυρίως στην περιοχή αμέσως κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Αυτό συμβαίνει γιατί το μέρος του ξύλου πάνω από το έδαφος σπάνια είναι υγρό για μεγάλο χρονικό διάστημα ώστε να αναπτυχθούν οι μύκητες ενώ βαθιά στο έδαφος υπάρχει τροφή και υγρασία αλλά ανεπαρκείς ποσότητες οξυγόνου και όχι άριστη θερμοκρασία. Στη ζώνη μεταξύ 10 και 30 εκ. κάτω από την επιφάνεια του εδάφους οι συνθήκες είναι ιδανικές για την ανάπτυξη των μυκήτων.

### 2.1.1. Είδη μυκητικών προσβολών

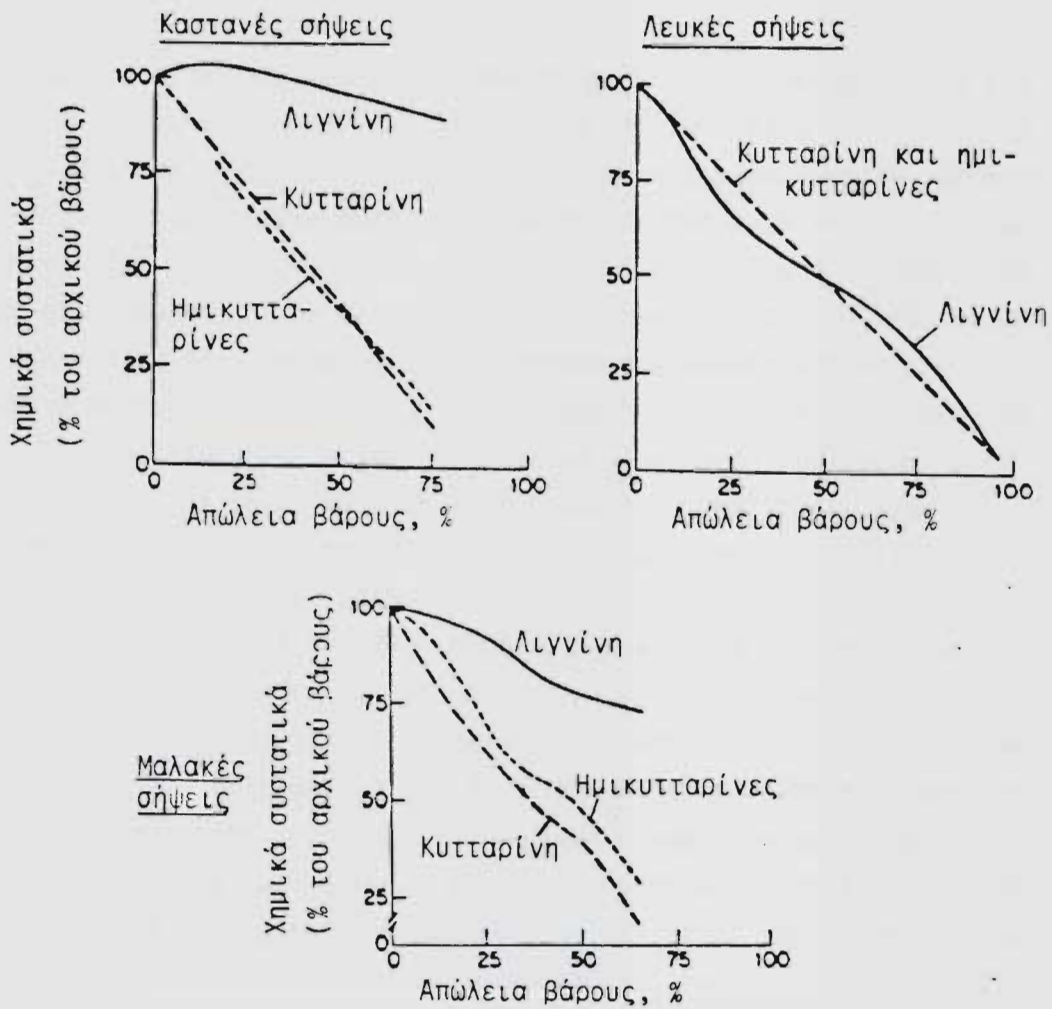
Οι μύκητες που προσβάλλουν το ξύλο κατά την υπηρεσία του προκαλούν σήψεις (σηπτικοί μύκητες) ή κυρίως μεταχρωματισμούς (χρωστικοί μύκητες).

Οι σήψεις διακρίνονται σε τρεις κυρίως τύπους, τις καστανές (brown rots), τις λευκές (white rots) και τις μαλακές (soft rots) σήψεις.

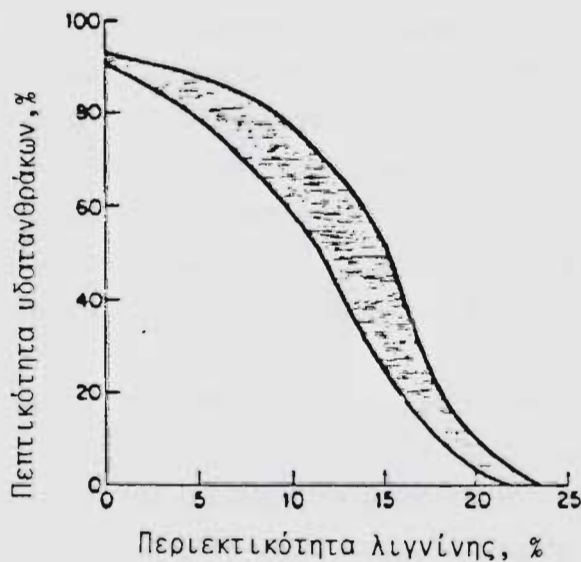
Οι μύκητες καστανών σήψεων ανήκουν στους Βασιδιομύκητες και καταναλώνουν κυρίως υδατάνθρακες (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες) αλλά αλλοιώνουν και τη λιγνίνη χωρίς να την καταναλώνουν σε σημαντική έκταση (Σχ.1.3). Όσο αυξάνει το ποσοστό λιγνίνης τόσο μειώνεται η ικανότητα πέψης των πολυσακχαριτών από τους μύκητες των καστανών σήψεων (Σχ.1.4). Με την πρόοδο της σήψης, το ξύλο γίνεται σκοτεινότερο γιατί σχετικά μεγαλύτερο ποσοστό χημικών συστατικών (λιγνίνη, ταννίνες, κ.ά.) που έχουν σκοτεινό χρώμα παραμένει άθικτο στο ξύλο. Το ξύλο γίνεται καστανό, ρικνώνεται, ραγαδώνεται, υφίσταται κατάρρευση και με μικρή πίεση σπάζει και γίνεται σκόνη. Οι μύκητες καστανών σήψεων διακρίνονται σε δύο ομάδες ανάλογα με την περιεχόμενη υγρασία του ξύλου όπου αναπτύσσονται. Μύκητες που προκαλούν τις "ξηρές σήψεις" (dry rots) αναπτύσσονται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα υγρασίας (20-40%) και ορισμένοι μπορούν να μεταφέρουν νερό από υγρότερες περιοχές του ξύλου σε ξηρότερες. "Υγρές σήψεις" (wet rots) προκαλούνται σε ξύλο με υψηλότερη περιεχόμενη υγρασία (40-50%).

Οι μύκητες λευκών σήψεων ανήκουν επίσης στους Βασιδιομύκητες αλλά μπορούν να αποσυνθέσουν και να καταναλώσουν και υδατάνθρακες και λιγνίνη καθώς και άλλα συστατικά με σκοτεινό χρώμα (Σχ.1.3). Υπάρχουν πάνω από 2.000 είδη σε παγκόσμιο επίπεδο. Όσο προχωρεί η λευκή σήψη, το ξύλο γίνεται ανοιχτότερο, σπογγώδες με ινώδη εμφάνιση. Τα πλατύφυλλα θεωρούνται ιδιαίτερα ευπαθή στους μύκητες αυτούς και μερικά είδη (οξιό, φράξος) δείχνουν χαρακτηριστικές σκοτεινές ζώνες.

Οι μύκητες των μαλακών σήψεων ανήκουν στους Ασκομύκητες και Fungi Imperfecti και προσβάλλουν το ξύλο όταν αυτό βρίσκεται σε υγρές συνθήκες (π.χ. σε ψυκτικούς πύργους, στο έδαφος, σε μεταλλεία, κ.ά.). Αποσυνθέτουν



Σχ. 1.3 . Απώλεια βάρους κυτταρίνης, ημικυτταρινών και λιγνίνης λόγω προσβολών του ξύλου από λευκές (*Coriulus versicolor* σε ξύλο *Liquidambar styraciflua*), καστανές (*Poria placenta* σε ξύλο *Liquidambar styraciflua*) και μαλακές (*Chaetomium globosum* σε ξύλο οξιός) σήψεις (Από Smith et al., 1983).



Σχ. 1.4 . Σχέση μεταξύ περιεκτικότητας του ξύλου σε λιγνίνη και πεπτικότητας κυτταρίνης και ημικυτταρινών από μύκητες καστανών σήψεων (Από Smith et al., 1983).

και καταναλώνουν κυρίως υδατάνθρακες και, πολύ λιγότερο, τη λιγνίνη αλλά πάντως περισσότερο από τους μύκητες καστανών σήψεων (Σχ.1.3). Οι μύκητες μαλακών σήψεων προσβάλλουν περισσότερα είδη ξύλου από τους μύκητες λευκών και καστανών σήψεων. Τα πλατύφυλλα είδη είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε προσβολές από τους μύκητες μαλακών σήψεων. Ξύλο που έχει προσβληθεί διατηρεί το αρχικό του σχήμα αλλά το επιφανειακό του στρώμα γίνεται, με την πρόοδο της προσβολής, σκοτεινότερο και μαλακό και διαβρώνεται. Τα επιφανειακά στρώματα του ξύλου κατά την ξήρανση ρυτιδώνονται, εμφανίζουν ραγαδώσεις και σχισμές και γίνονται εύθρυπτα.

Οι υφές λευκών και καστανών σήψεων βρίσκονται στις κυτταρικές κοιλότητες ενώ των μαλακών σήψεων και στις κυτταρικές κοιλότητες και μέσα στα δευτερογενή κυτταρικά τοιχώματα. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι μύκητες προτιμούν τις πιο εύκολες διόδους μέσα στο ξύλο και τις περιοχές με τα περισσότερα θρεπτικά συστατικά γι' αυτό στην αρχή προσβάλλουν ακτίνες, ρητινοφόρους αγωγούς και αγγεία. Η διείσδυση των υφών από κύτταρο σε κύτταρο γίνεται αρχικά διά μέσου των βοθρίων ενώ αργότερα και με διάτρηση των κυτταρικών τοιχωμάτων. Στην αρχή της προσβολής οι υφές λευκών και καστανών σήψεων μπορούν να παρατηρηθούν σε κάθε κύτταρο όπου οι συνθήκες είναι ευνοϊκές. Με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο έχουν παρατηρηθεί διαβρώσεις κυτταρικών τοιχωμάτων που προέρχονται από έκκριση ενζύμων κατά μήκος των υφών καθώς επίσης και από τις κορυφές τους. Μικροσκοπικές μελέτες έχουν δείξει ότι οι μύκητες λευκών σήψεων λεπτύνουν βαθμιαία και συχνά ομοιόμορφα τα δευτερογενή κυτταρικά τοιχώματα και αρχίζουν τη διάβρωσή τους από τις επιφάνειες των κοιλοτήτων. Σε προσβολές καστανών σήψεων δεν παρατηρείται τέτοια βαθμιαία λέπτυνση αλλά οι διάφορες στρώσεις των κυτταρικών τοιχωμάτων προσβάλλονται συγχρόνως και τα κύτταρα που έχουν προσβληθεί ρικνώνονται και καταρρέουν γεγονός που οφείλεται στην αποσύνθεση της κυτταρίνης. Μικροσκοπικές και χημικές μελέτες έδειξαν ότι η αποσύνθεση των κυτταρικών τοιχωμάτων από μύκητες λευκών σήψεων γίνεται στις επιφάνειες που εκτίθενται ενώ στις καστανές σήψεις οι μύκητες διεισδύουν μέσα στα τοιχώματα από τα αρχικά στάδια προσβολής.

Ο τρόπος αλλοίωσης του ξύλου από μύκητες μαλακών σήψεων διαφέρει εκείνου των λευκών και καστανών σήψεων και, γενικά, η αλλοίωση περιορίζεται στα εξωτερικά στρώματα του ξύλου. Η αλλοίωση προχωρεί σε εσωτερικά στρώματα μόνον όταν καταστραφούν τα εξωτερικά. Στις μαλακές σήψεις εμφανίζονται μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα και γύρω από την υφή ή και στις επιφάνειες των κυτταρικών τοιχωμάτων χαρακτηριστικές κοιλότητες σχήματος αδραχτιού ή διαμαντιού.



Στους χρωστικούς μύκητες περιλαμβάνονται μύκητες που προκαλούν μεταχρωματισμό του ξύλου (αλλαγή αρχικού χρώματος). Οι μύκητες αυτοί δεν προκαλούν σήψη του ξύλου και τρέφονται με υδατάνθρακες που υπάρχουν μέσα στα παρεγχυματικά κύτταρα και ιδιαίτερα στις ακτίνες. Αναπτύσσονται σε κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας και άλλων παραγόντων και μπορούν να προκαλέσουν μεταχρωματισμούς στο ξύλο ακόμα και σε διάστημα μιας ημέρας. Τα κωνοφόρα είδη είναι πιο ευπαθή από τα πλατύφυλλα. Οι μύκητες προτιμούν το σομφό ξύλο ενώ το εγκάρδιο σπάνια προσβάλλεται επειδή κατά τη διάρκεια του σχηματισμού του οι αποθηκευμένες θρεπτικές ουσίες των παρεγχυματικών κυττάρων μετακινούνται.

Οι πιο γνωστές προσβολές από χρωστικούς μύκητες είναι η κυάνωση και η ευρωτίαση. Η κυάνωση (sap-stain, blue-stain) είναι σοβαρότερη και, σε ξύλο που έχει προσβληθεί, είναι δυνατό όλο το σομφό να μεταχρωματιστεί και να γίνει κυανότεφο μέχρι κυανόμαυρο λόγω των υφών ή χρωστικών που παράγονται από τους μύκητες. Οι απώλειες λόγω κυάνωσης υπολογίζονται στις ΗΠΑ στο ποσό των 1.500.000.000 δραχμών κάθε χρόνο. Στην Ελλάδα, το πρόβλημα είναι επίσης σοβαρό και εμφανίζεται κυρίως στη μαύρη πεύκη είτε στα κορμωτεμάχια μετά την υλοτομία και κατά την αποθήκευσή τους στα εργοστάσια είτε μετά την κατεργασία. Άλλα είδη που προσβάλλονται στη χώρα μας από μύκητες κυάνωσης είναι είδη πεύκης, ερυθρελάτη, ελάτη, λεύκη και λιγότερο οξιά και δρυς. Στα κωνοφόρα λόγω της αποκλειστικής σχεδόν ακτινικής διάταξης των παρεγχυματικών κυττάρων η κυάνωση παρουσιάζεται συχνά σε σφηνοειδείς θέσεις. Οι μύκητες κυάνωσης (*Ceratocystis*, *Graphium*, κ.ά.) περνούν από κύτταρο σε κύτταρο κυρίως δια μέσου των βοθρίων και λιγότερο με διάτρηση των κυτταρικών τοιχωμάτων.

Άλλοι μεταχρωματισμοί, όπως π.χ. η ευρωτίαση (μούχλα), μπορεί να είναι επιφανειακοί αλλά είναι δυνατό να προχωρήσουν και σε βάθος και να προκαλέσουν διάβρωση των κυτταρικών τοιχωμάτων. Οι μύκητες αυτοί αναπτύσσονται σε υγρές επιφάνειες του ξύλου και ανήκουν σε διάφορα γένη όπως *Penicillium*, *Trichoderma*, *Gliocladium*, κ.ά.

### 2.1.2. Κυριότερα είδη μυκήτων σε σχέση με τις συνθήκες χρησιμοποίησης του ξύλου

Κάτω από ορισμένες συνθήκες ένας αριθμός μυκήτων είναι δυνατό να προσβάλλει ξύλο σε υπηρεσία και να το αλλοιώσει σε βαθμό που να χρειάζεται αντικατάστασή του. Οι κυριότεροι σηπτικοί μύκητες που

προσβάλλουν ξυλεία και ξυλινες κατασκευές ανήκουν στα γένη *Lentinus*, *Lenzites*, *Polyporus*, *Coniophora*, *Poria*, *Merulius*, *Peniophora*, *Fomes*, *Trametes*, *Schizophyllum*, κ.ά. Πιο συγκεκριμένα τα κυριότερα είδη μυκήτων που συνδέονται με προσβολές κατά ομάδες προϊόντων ξύλου έχουν ως εξής:

1. Σε κορμοτεμάχια, πριστή ξυλεία, τεμαχίδια ξύλου που δεν έχουν ακόμη ξηραθεί. *Poria incrassata*, *P. cinerascens*, *Polyporus versicolor*, *Fomes pini*, *Peniophora gigantea*, *Lenzites saepiaria*, *Stereum purpureum*.
2. Σε στύλους, πασσάλους, γέφυρες, ξυλεία μεταλλείων, στρωτήρες σιδηροδρόμων κ.λ.π. *Lentinus lepideus*, *Lenzites trabea*, *L. saepiaria*, *Poria carbonica*, *P. monticola*, *P. radiculosa*, *P. vaillantii*, *P. xantha*, *Peniophora gigantea*, *Schizophyllum commune*, *Merulius tremellosus*, *Daedalea berkeleyi*, *Stereum hirsutum*, *S. frustulatum*, *Polystictus versicolor*, *Trametes squalens*, *Daedalea quercina*, *Coniophora cerebella*.
3. Ξυλινες κατασκευές σε συγκοινωνιακό μέσο (αυτοκίνητα, βάρκες, πλοία, βανόνια τρένων, αεροπλάνα). *Lenzites trabea*, *L. saepiaria*, *Poria monticola*, *P. xantha*, *P. olivacea*, *P. carbonica*, *Polyporus versicolor*, *P. palustris*, *Daedalea quercina*, *Stereum frustulatum*.
4. Ξύλινα σπίτια, οικισμούς: *Poria incrassata*, *P. vaillantii*, *P. monticola*, *Lenzites trabea*, *Paxillus panusoides*, *Coniophora puteana*, *Merulius tachymans*, *Trametes serialis*.

Ένας αριθμός μυκήτων παρουσιάζει εκλεκτικότητα και προσβάλλει μόνον κωνοφόρα ή μόνο πλατύφυλλα ενώ πολλοί μύκητες προσβάλλουν και κωνοφόρα και πλατύφυλλα. Η σχέση των μυκήτων με το είδος του ξύλου και με τον τύπο προσβολής παρουσιάζεται στον Πίνακο 2.

Μεταχρωματισμός του σκουρού ξύλου (sapstain, bluestain) προκαλούν Ασκομύκητες του γένους *Ceratocystis* (*Ceratostomella*) αλλά και ένας αριθμός μυκήτων των Fungi Imperfecti (σε κωνοφόρα) από τους οποίους σπουδαιότεροι είναι οι: *Pullularia pullulans*, *Homphiscium gelatinosum*, *Glaesporium herbarum*, *Cadophora fastigiata*, *Diplodia* spp and *Graphium* spp.

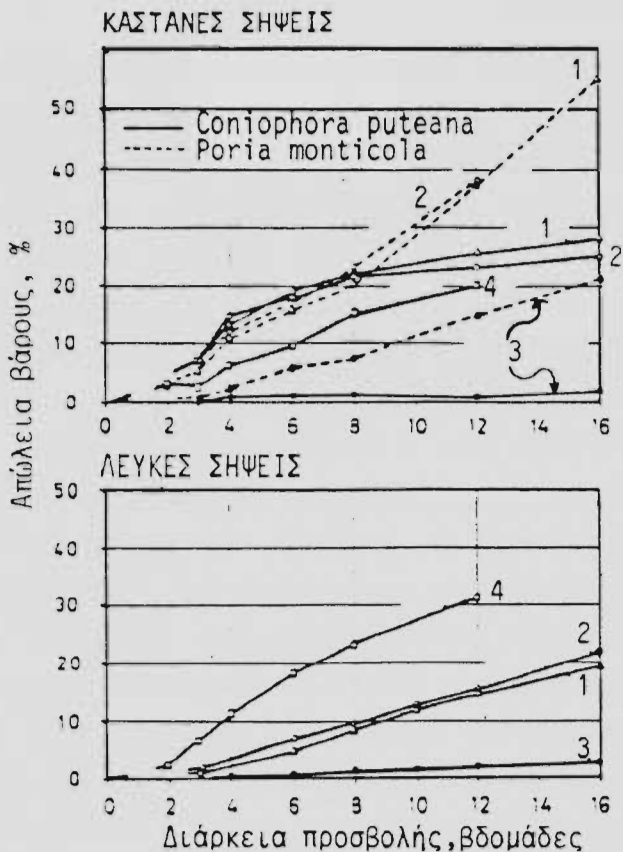
Πίνακας 1.2. Είδη μυκήτων σε σχέση με το είδος ξύλου που προσβάλλουν και τον τύπο της προσβολής

Κατηγορία ξύλου	Είδη μυκήτων	Τύπος προσβολής
Κωνοφόρα	Lentinus lepideus, Lenzites saepta, Poria vaillantii, P. carbonica, P. cocos, P. raticulosa, Polyporus scheinitzii, P. palustris, Coniophora puteana, C. cerebella, C. olivacea, Merulius lacrymans, Fomes officinalis, Trametes serialis, Paxillus panusoides, Peniophora gigantea, Daedalia juniperina, D. herkeleyi, Ptychogaster pubescens, Fomes officinalis	Καστανές σήψεις
	Poria nigrescens, P. cinerascens, Fomes pini, Schizophyllum commune, Odontia bicolor, O. spathulata, Polystictus abietinus	Λευκές σήψεις
Πλατύφυλλα	Polyporus palustris, Daedalia quercina	Καστανές σήψεις
	Stereum frustulatum, Schizophyllum commune, Stereum purpureum, S. complicatum, Polyporus adustus, Phellinus megaloporus	Λευκές σήψεις
Κωνοφόρα και Πλατύφυλλα	Lenzites trabea, Poria monticola, P. xantha, P. pleracea, P. incrassata, Coniophora arida	Καστανές σήψεις
	Polyporus versicolor, Polystictus versicolor	Λευκές σήψεις
Κωνοφόρα και Πλατύφυλλα	Chaetomium globosum, Allescheria terrestris, Gloeophyllum trabeum, Trichoderma sp., Fusarium sp., Skytalidium sp.	Μαλακές σήψεις

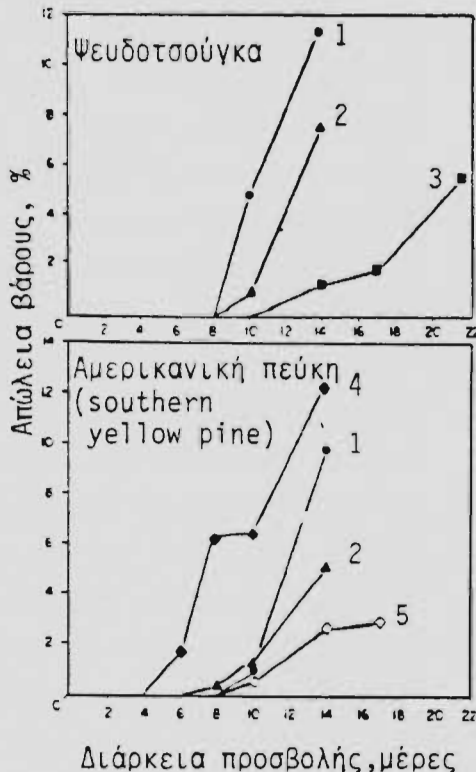
### 2.1.3. Συνέπειες μυκητικών προσβολών

Με τα όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως γίνεται φανερό ότι η προσβολή του ξύλου από μύκητες επηρεάζει τις ιδιότητες του πράγμα που έχει συνέπειες στην αξιοποίησή του. Η επίδραση αυτή αρχίζει από τα αρχικά στάδια της προσβολής αλλά η δομή και οι ιδιότητες του ξύλου διαφοροποιούνται όλο και πιο έντονα με την πρόοδο της προσβολής. Η δράση των μυκήτων είναι βιοχημική. Συγκεκριμένα, η σήψη του ξύλου προκαλεί μεταβολές στο χρώμα, δομή και χημική σύστασή του και οι οποίες περιγράφηκαν προηγουμένως. Η πυκνότητα και η μηχανική αντοχή του ξύλου ελαττώνονται ανάλογα με τό στάδιο της προσβολής (Σχ. 1.5-1.9) Γι' αυτό η μείωση του βάρους ή της μηχανικής αντοχής του ξύλου μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε επιστημονικές μελέτες σαν μέτρο του βαθμού προσβολής. Οι μεταβολές της μηχανικής αντοχής στα αρχικά στάδια σήψης μπορούν να χρησιμεύσουν και για πρακτικό έλεγχο της υγείας του ξύλου (Σχ. 1.10). Από τις μηχανικές ιδιότητες, η αντοχή η αντοχή σε κρούση επηρεάζεται περισσότερο (Σχ. 1.8). Προσβολές από μύκητες καστανών σήψεων προκαλούν αύξηση της διαλυτότητας σε άλκαλι (Σχ. 1.7) η οποία αποδίδεται σε θραύσεις των αλυσίδων κυτταρίνης. Η διαπερατότητα του ξύλου από συντηρητικά υγρά και ο ρυθμός προσρόφησης του νερού αυξάνονται. Η ρίκνωση μπορεί να παραμένει κανονική ή να γίνεται μεγαλύτερη ιδίως σε καστανές σήψεις και κατά την αξονική κατεύθυνση. Άλλες ιδιότητες του ξύλου (θερμικές, ακουστικές, ηλεκτρικές) είναι φανερό ότι επίσης επηρεάζονται. Προβλήματα παρουσιάζονται στην αξιοποίηση ξύλου που έχει προσβληθεί από μύκητες καστανών σήψεων για παραγωγή ξυλοπολτού (χαμηλή ποσότητα, κακή ποιότητα ινών) ενώ στην περίπτωση των λευκών σήψεων η ποσότητα και η ποιότητα του παραγόμενου ξυλοπολτού είναι όμοιες με υγιές ξύλο.

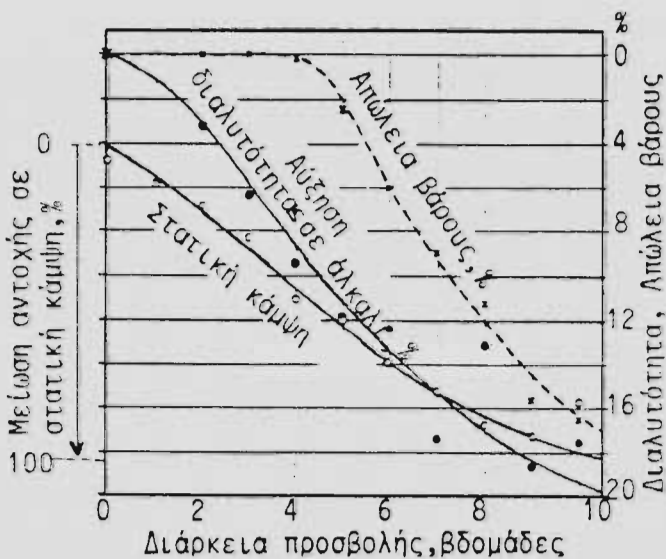
Οι συνέπειες της κυάνωσης εντοπίζονται κυρίως στην αλλοίωση του χρώματος που παρατηρείται σε βάθος του ξύλου και έχει δυσμενή επίδραση από άποψη εμφάνισης σε διάφορες κατασκευές (πατώματα, έπιπλα). Αποτελέσματα σχετικών μελετών δείχνουν ότι οι μηχανικές ιδιότητες δεν επηρεάζονται πολύ (συνήθως ελαττώνονται λίγο) αλλά η αντοχή σε κρούση μειώνεται σημαντικά (15-30% ή και περισσότερο) και γι' αυτό συνιστάται να αποφεύγεται έντονα κυανωμένο ξύλο σε κατασκευές που δέχονται απότομα φορτία (στειλιάρια εργαλείων, σκάλες, αθλητικά είδη, ικριώματα, μέλη μηχανών, κ.ά.). Η κυάνωση επηρεάζει τη διαπερατότητα του ξύλου από συντηρητικά υγρά ή νερό αλλά η επίδραση δεν είναι σαφής (βρέθηκε άλλοτε να αυξάνεται και άλλοτε να ελαττώνεται η συγκράτηση και το βάθος διείσδυσης των υγρών). Η παραγωγή ξυλοπολτού από κυανωμένο ξύλο δεν επηρεάζεται ποσοτικά αλλά χρειάζεται πρόσθετη δαπάνη για λεύκανση. Η βαφή σε ξηρό κυανωμένο ξύλο δεν επηρεάζεται αλλά είναι δυνατό η επανύγρανση του ξύλου με τη βαφή να δραστηριοποιήσει ζωντανές υφές των μυκήτων κυάνωσης και να προκαλέσει επιφανειακή αλλοί-



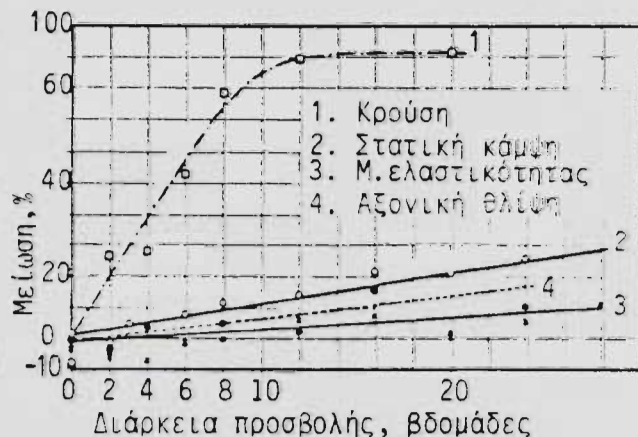
Σχ. 1.5. Απώλεια βάρους σε δείγματα ξύλου ερυθρελάτης(1), σομφού(2) και εγκαρδίου(3) πεύκης και οξιός (4) σε σχέση με τη διάρκεια προσβολής από μύκητες (Από Bariska et al.1983).



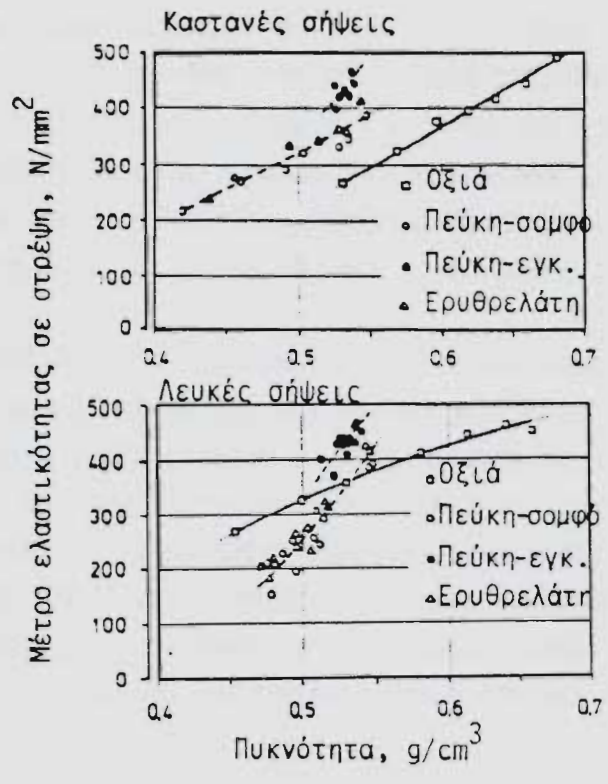
Σχ.1.6 . Απώλεια βάρους σε δείγματα ξύλου μετά από προσβολή μυκήτων καστανής σήψης (Από Gibson et al.,1985). (1. Poria placenta, 2. Lentinus lepideus, 3. Poria xantha, 4. Gloeophyllum trabeum, 5. G. saepiarium).



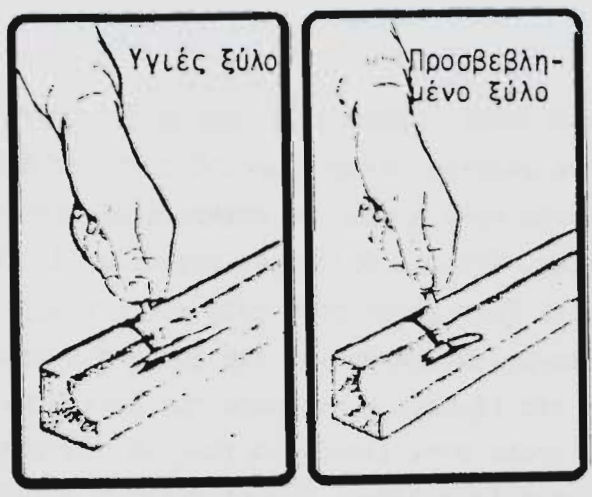
Σχ. 1.7 . Επίδραση μυκητικής προσβολής (*Poria microspora*) ξύλου ερυθρελάτης στο βάρος, διαλυτότητα σε άλκαλι και στην αντοχή σε στατική κάμψη (Από Cartwright/Findlay, 1969).



Σχ. 1.8 . Μείωση της μηχανικής αντοχής φράξου σε σχέση με τη διάρκεια προσβολής από μύκητες (Από Cartwright/Findlay, 1969)



Σχ.1.9 . Μεταβολές στο μέτρο ελαστικότητας σε στρέψη σε σχέση με την απώλεια βάρους (μείωση πυκνότητας) λόγω προσβολών από μύκητες (Από Bariska et al., 1983).



Σχ.1.10 . Πρακτικός τρόπος διαπίστωσης αρχικών στάδων σήψης σε ξύλο. Στο προσβεβλημένο ξύλο, ανασήκωση στρώματος ξύλου με αιχμηρό εργαλείο οδηγεί σε θραύση χωρίς σχίσση (Από Wilkinson, 1979).

ωση του χρώματος. Από άποψη δομής, το ξύλο δεν αλλοιώνεται εκτός από τις διόδους που δημιουργούν οι μύκητες στα βοθρία και, σπάνια, στα κυτταρικά τοιχώματα. Η ενζυματική δράση των μυκήτων κυάνωσης είναι περιορισμένη. Πρέπει να διευκρινιστεί ότι η κυάνωση δεν είναι σήψη αλλά οι συνθήκες για την εμφάνιση κυάνωσης είναι κατάλληλες και για προσβολές από μύκητες σήψης. Υπάρχει επίσης και η άποψη ότι η κυάνωση μπορεί να προδιαθέσει το ξύλο για σήψη.

Οι συνέπειες άλλων μεταχρωματισμών (π.χ. ευρωτίαση) στις ιδιότητες του ξύλου εξαρτώνται από το είδος του μύκητα και τις συνθήκες της προσβολής. Επιφανειακοί μεταχρωματισμοί μπορούν να απομακρυνθούν με πλάνιση αλλά λόγω της δυσάρεστης οσμής του ξύλου δεν είναι κατάλληλο για ορισμένες χρήσεις (π.χ. υλικό συσκευασίας). Σε άλλες περιπτώσεις, τέτοιοι μεταχρωματισμοί προχωρούν σε βάθος και μπορούν να προκαλέσουν διάβρωση κυτταρικών τοιχωμάτων. Επίσης, έχουν παρατηρηθεί επιδράσεις των μεταχρωματισμών αυτών στη συγκόλληση και στη διαπερατότητα του ξύλου.

## 2.2. Βακτήρια

Τα βακτήρια είναι πολύ μικροί οργανισμοί (συνήθως ενός κυττάρου) και υπάρχουν σχεδόν παντού σε μεγάλους πληθυσμούς. Ο κίνδυνος αλλοίωσης του ξύλου από τα βακτήρια είναι πολύ μικρός σε σύγκριση με τους άλλους οργανισμούς αλλοίωσης (μύκητες, έντομα, θαλάσσιοι οργανισμοί). Συγκεκριμένα τα βακτήρια προσβάλλουν το ξύλο μόνον όταν αυτό είναι εξαιρετικά υγρό π.χ. σε περιπτώσεις μακροχρόνιας παραμονής του ξύλου στο νερό (ποταμοί, λίμνες, θάλασσα) ή μέσα στο έδαφος. Η παρουσία των βακτηρίων στις παραπάνω υγρές συνθήκες οφείλεται στην ικανότητά τους να αναπτύσσονται με πολύ λίγο ή καθόλου οξυγόνο (αναερόβια) ενώ οι μύκητες αδυνατούν να επιβιώσουν σε τέτοια περιβάλλοντα. Χρησιμοποίηση του ξύλου σε υγρές συνθήκες γίνεται σε μεταλλεία, αποβάθρες, ψυκτικούς πύργους, θαλάσσια σκάφη, κ.ά.

Η δράση των βακτηρίων είναι βιοχημική όπως και των μυκήτων. Έχει παρατηρηθεί σε κωνοφόρα ότι τα βακτήρια αυξάνουν σημαντικά τη διαπερατότητα του ξύλου όταν αυτό διατηρείται μέσα στο νερό για ορισμένο χρονικό διάστημα (π.χ. η αξονική διαπερατότητα αυξάνεται 100 ή και περισσότερες φορές σε σομό ξύλο δασικής πεύκης με επίδραση βακτηρίων). Η αύξηση αυτή της διαπερατότητας του ξύλου από τη δράση των βακτηρίων αποτελεί σε ορισμένες περιπτώσεις βιολογική μέθοδο για καλύτερα αποτελέσματα διεϊσδυσης εμποτιστικών ουσιών μέσα στο ξύλο ιδιαίτερα σε κωνοφόρα δύσκολα στον

εμποτισμό (ερυθρελάτη, ψευδοτσούγκα, κ.ά.). Στην Ιρλανδία π.χ. κορμοτεμάχια ερυθρελάτης που πρόκειται να εμποτισθούν, αποφλοιώνονται και αποθηκεύονται σε νερό περίπου 15°C για μερικές εβδομάδες (10 ως 12). Σχετικά με την επίδραση των βακτηρίων σε ξύλο πλατυφύλλων λίγα είναι γνωστά.

Η αύξηση της διαπερατότητας του ξύλου από τα βακτήρια οφείλεται στη δράση τους η οποία περιλαμβάνει διάτρηση η καταστροφή μεμβρανών βοθρίων σε σομό ξύλο, διάβρωση κυτταρικών τοιχωμάτων και κατανάλωση του περιεχομένου των παρεγχυματικών κυττάρων. Οι αλλοιώσεις αυτές μπορούν να οδηγήσουν και σε ελάτωση της μηχανικής αντοχής του ξύλου (κρούση, κάμψη, θλίψη). Η μείωση της μηχανικής αντοχής του ξύλου μπορεί να είναι σημαντική αν η δράση των βακτηρίων είναι μακροχρόνια. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπως μεταχρωματισμοί, μαλάκυνση εξωτερικών στρωμάτων και υπερβολική ρίκνωση του ξύλου αποδίδονται επίσης στη δράση βακτηρίων. Σε βακτήρια έχει αποδοθεί από ορισμένους συγγραφείς και το "υγρό εγκάρδιο" ή "υγρό ξύλο" (wetwood, Nasskern) που παρουσιάζεται σε ζωντανά δέντρα διαφόρων ειδών (ελάτη, λεύκη, κ.ά.). Πάντως οι ιδιότητες του "υγρού εγκάρδιου" ελάτης δεν είναι πάντα διαφοροποιημένες από τη φυσιολογική κατάσταση. Ορισμένοι συσχετίζουν την παρουσία του "υγρού εγκάρδιου" και με άλλα αίτια όπως πληγώσεις, ηλικία, ασθενικά δέντρα, κλπ. Συσχέτιση του "υγρού εγκάρδιου" γίνεται και με διάφορα σφάλματα που εμφανίζονται κατά την ξήρανση τέτοιου ξύλου (ραγάδες, αποκόλληση δακτυλίων, κυψελίδωση, κατάρρευση, κλπ.). Το "υγρό εγκάρδιο" εμφανίζεται με σκοτεινότερο χρώμα και, μερικές φορές, με δυσάρεστη οσμή αλλά και τα δυο αυτά χαρακτηριστικά μπορούν πρακτικά να εξαφανιστούν ή να ελαττωθεί σημαντικά η έντασή τους κατά την ξήρανση πριστής ξυλείας ή άλλων προϊόντων ξύλου.

Τα κυριότερα είδη βακτηρίων που μπορούν να αναπτυχθούν στο ξύλο ανήκουν στα γένη *Bacillus*, *Aerobacter*, *Pseudomonas*, κ.ά. Σε πολλές περιπτώσεις, βακτήρια μπορούν να δράσουν ταυτόχρονα με μύκητες ή να ευνοήσουν μυκητικές προσβολές.

### 3. ΖΩΙΚΟΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

#### 3.1. Έντομα

Η αλλοίωση του ξύλου που μπορούν να προκαλέσουν τα έντομα είναι μηχανικής φύσεως σε αντίθεση με τη βιοχημική δραστηριότητα των βακτηρίων και μυκήτων. Κατά τη διάρκεια προσβολής, τα έντομα απομακρύνουν πολύ μικρά τεμάχια ξύλου με μηχανικό τρόπο.



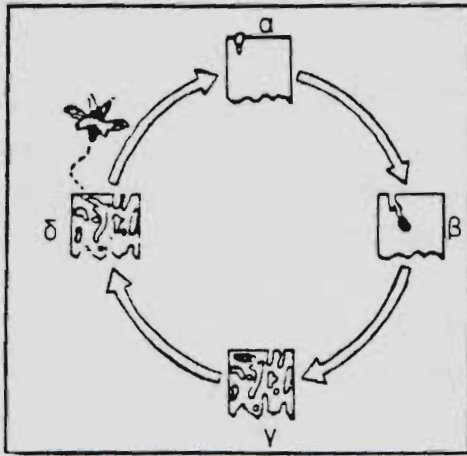
Τα έντομα μπορούν να προσβάλλουν, όπως και οι μύκητες, ζωντανά δέντρα, κορμοτεμάχια μετά την υλοτομία των δέντρων ή κατά την αποθήκευσή τους αλλά και ξύλο σε υπηρεσία. Οι συνθήκες για την ανάπτυξη των εντόμων είναι ίδιες περίπου με εκείνες των μυκήτων αλλά τα έντομα δεν αντέχουν πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές θερμοκρασίες και υγρασίες. Η ανάπτυξή τους ευνοείται σε σχετικά ζεστό περιβάλλον και μπορούν να προσβάλουν ξύλο σε υπηρεσία με περιεχόμενη υγρασία πολύ πιο κάτω από το ελάχιστο όριο του 20% που ισχύει για τους μύκητες. Έτσι, κατασκευές εσωτερικών χώρων (ιδιαίτερα των θερμαινόμενων), όπου το ξύλο έχει υγρασία περί τα 8-10% περίπου και δεν υγραίνεται, δεν κινδυνεύουν να προσβληθούν από μύκητες αλλά από ξυλοφάγα έντομα.

Ο βιολογικός κύκλος των εντόμων περιλαμβάνει 4 στάδια: αυγά (eggs), προνύφη (larva), νύφη (pupa) και τέλειο έντομο (adult) (Σχ. 1.11). Στο στάδιο της προνύφης, το οποίο διαρκεί περισσότερο και είναι και το πιο καταστρεπτικό στάδιο, δημιουργούνται οπές και στοές στο ξύλο με ποικίλη διάμετρο τις οποίες γεμίζουν πολλές φορές με απορρίμματα ή πολύ μικρά τεμαχίδια ξύλου. Στο στάδιο της νύφης, το έντομο δεν τρέφεται αλλά μένει σε νάρκη και επομένως δεν καταστρέφει το ξύλο. Οι νύφες μετατρέπονται σιγά-σιγά σε τέλεια έντομα, τα οποία δεν τρέφονται με ξύλο παρά μόνο το διατρύπουν για να βγούν έξω και, στη μικρή διάρκεια της ζωής τους, αποθέτουν τα αυγά τους για να ξαναρχίσει ο ίδιος κύκλος ζωής. Ολόκληρος ο βιολογικός κύκλος μπορεί να διαρκέσει από λίγους μήνες ως 10 και περισσότερα χρόνια και εξαρτάται από το είδος του εντόμου, τις συνθήκες του περιβάλλοντος και το είδος του ξύλου που προσβάλλεται. Ο βιολογικός κύκλος των τερμιτών παρουσιάζει κάποιες αποκλίσεις και περιγράφεται με συντομία παρακάτω.

Τα κυριότερα έντομα που προσβάλλουν ξυλεία ή ξυλίνες κατασκευές ανήκουν στις τάξεις: κολέοπτερα, λυγνοπτερα και ισόπτερα.

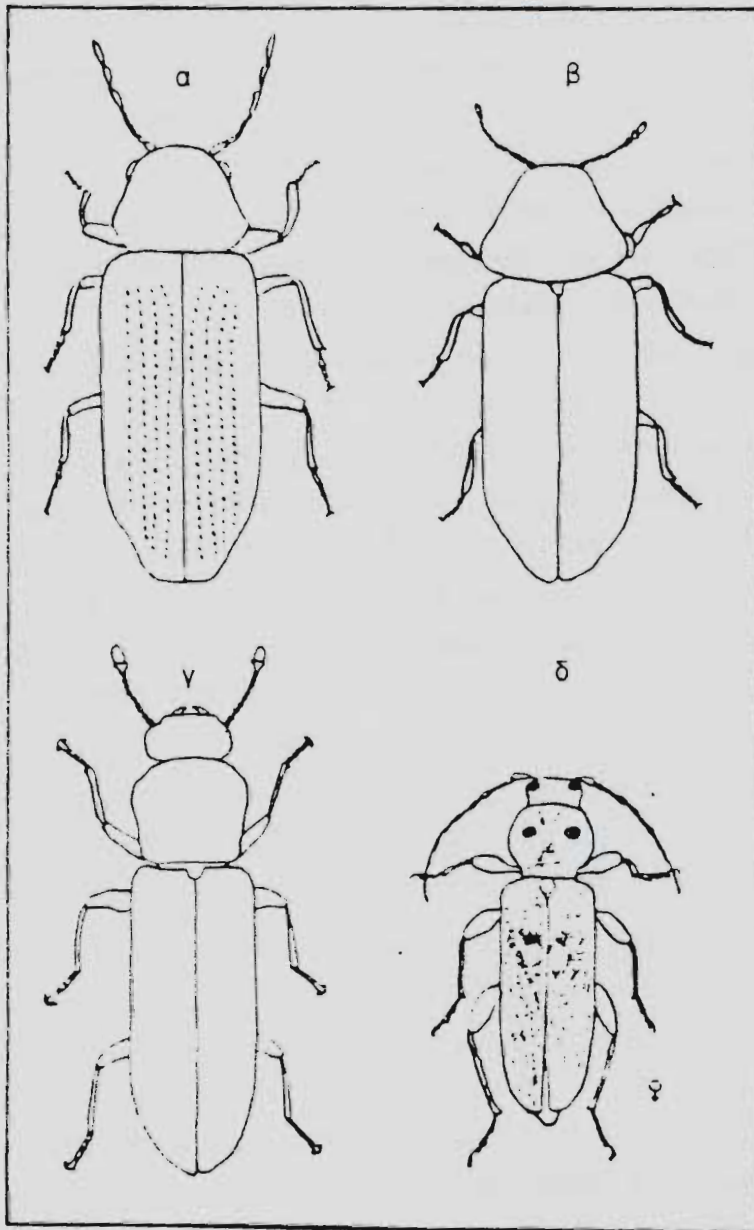
Το κολέοπτερο το οποίο χαρακτηρίζεται από δυο σκληρά εξωτερικά στρώματα (έλυτρο) για να σκαπαίνει και προστατεύει το πραγματικό τους στρώμα (Σχ. 1.12) περιλαμβάνονται:

(1) Anobium punctatum Deg. (common furniture beetle, "έντομο επίπλων")- Οικογένεια Anobiidae. Προσβάλλει ξυλίνες κατασκευές σε εσωτερικούς χώρους όπως έπιπλα, πατώματα, έργα τέχνης, επενδύσεις, οροφές, κουφώματα κ.ά. Προτιμά συνήθως σομφό ξύλο κωνοφόρων ή πλατυφύλλων σε



Σχ.1.11. Βιολογικός κύκλος εντόμων (Από TRADA, 1968).

- α. Τοποθέτηση αυγού σε πόρους, σχισμές του ξύλου.
- β. Ανάπτυξη προνύφης που τρέφεται από ξύλο και δημιουργεί στοές για 1-50 χρόνια ανάλογα με το είδος του εντόμου.
- γ. Εξέλιξη προνύφης σε νύφη κοντά την επιφάνεια του ξύλου.
- δ. Εξέλιξη νύφης σε τέλειο έντομο που βγαίνει από το ξύλο και ξαναρχίζει το βιολογικό κύκλο.



Σχ.1.12. Κυριότερα ξυλοφάγα έντομα της τάξης των Κολεοπτέρων που προσβάλλουν ξύλο σε υπηρεσία (Από Richardson, 1978).

- α. *Anobium punctatum*
- β. *Xestobium rufovillosum*
- γ. *Lyctus brunneus*
- δ. *Xylotrupes bajulus*

κατάσταση ξηρή στον αέρα. Χαρακτηριστικά της προσβολής είναι: δημιουργία δικτύου οπών μικρού μήκους μέσα στο ξύλο γεμάτες με απορρίμματα, οπές εξόδου κυκλικές διαμέτρου 1-2 mm, τεμαχίδια απορριμμάτων ελλειψοειδή, έξοδος τέλειων εντόμων μεταξύ Μαΐου-Αυγούστου, βιολογικός κύκλος 3-5 χρόνια (Σχ. 1.13).

(2). Xestobium rufovillosum (death-watch beetle, "ρολόγι θανάτου")  
Οικογένεια: Anobiidae. Προσβάλλει σομφό και εγκάρδιο ξύλο πλατυφύλων σε εσωτερικές ξύλινες κατασκευές (δρύς, καστανιά, φτελιά, καρυδιά, κ.ά.) κατα προτίμηση προσβλημένου (έστω και ελαφρά) από μύκητες σήψης. Η προσβολή ευνοείται από συνθήκες μεγάλης σχετικά υγρασίας, π.χ. από συμπύκνωση υδρατμών, επαφή με υγρούς τοίχους, κλπ.). Κνωφόρα προσβάλλονται σπάνια και μόνο όταν βρίσκονται σε επαφή με προσβλημένα πλατύφυλλα. Χαρακτηριστικά της προσβολής είναι: χαρακτηριστικός θόρυβος από τα τέλεια έντομα που βρίσκονται μέσα στο ξύλο, δημιουργία κυκλικών οπών εξόδου, διαμέτρου περί τα 3 mm, γεμάτες με απορρίμματα, τεμαχίδια απορριμμάτων δισκοειδή και σχετικά ευδιάκριτα, έξοδος τέλειων εντόμων την Άνοιξη, βιολογικός κύκλος 3-10 χρόνια.

(3). Lyctus (κυρίως L. linearis Goetze, L. brunneus Steph.) - παρκετοέντομο (Οικογένεια Lyctidae).

Προσβάλλει μόνο πλατύφυλλα είδη και ιδιαίτερα εκείνα που έχουν μεγάλη διάμετρο πόρων (αγγείων) για την τοποθέτηση αυγών και είναι πλούσια σε άμυλο. Προτίμησε το σομφό ξύλο και προσβάλλει πολλά είδη που έχουν εμπορική σημασία όπως δρύς, φτελιά, φράξος, καρυδιά, ορισμένα τροπικά ξύλα. Η προσβολή εμφανίζεται σε ποιστή ξυλεία, ημιτελικά προϊόντα που προορίζονται για έπιπλα, έργα τέχνης, παρκέτα, επενδύσεις, αθλητικά είδη, αντικαλλήττα, κλπ. Χαρακτηριστικά της προσβολής είναι: οπές εξόδου κυκλικές 1-2 mm, στοές μικρού μήκους, τεμαχίδια απορριμμάτων μικρά, έξοδος τέλειων εντόμων τον Ιούλιο μέχρι Αυγούστου, βιολογικός κύκλος 1-2 χρόνια.

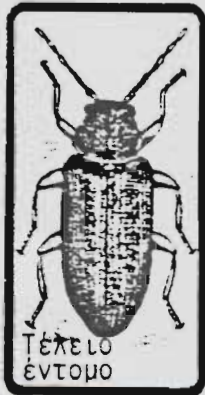
(4). Hyloterpes barbilus L. (house longhorn beetle, ξυλοσάνε εντομο παλαιών σπιτιών) - Οικογένεια Cerambycidae.

Προσβάλλει ξηρά σομφά ξύλα κνωφόρων ειδών σε πόστες, παράθυρα, ερσορές αλλά και σε στύλους ή πασσάλους. Χαρακτηριστικά της προσβολής είναι: οπές εξόδου ωριθείες (10x5 mm), σπασίματα από λεπτά τεμαχίδια ξύλου αναμεμιγμένα με μεγαλύτερα κυλινδρικά τεμαχίδια, έξοδος τέλειων εντόμων τον Ιούλιο ως το Σεπτέμβριο, βιολογικός κύκλος μέχρι 11 χρόνια.

Άλλα ξυλοφάγα έντομα που ανήκουν στο κολεόπτερο και έχουν σημασία για τη χώρα μας είναι το *Anobium pertinax*, *Nicobium castaneum*, *Helobia imperialis*, *Ennobius molis*, *Hesperophanes cinereus* (προσβάλλει κυρίως πλατύφυλλα), *Bostrychus carucinus* (προσβάλλει πλατύφυλλα), *Xyloterus lineatus* (προσβάλλει κωνοφόρα), κ.ά.

Από τα Υμενόπτερα ενδιαφέροντα είναι τα έντομα *Urocerus (Sirex) gigas* L. (προσβάλλει ασθενικά αλλά και υγιή δέντρα, κατακείμενους κορμούς και κορμοτεμάχια πλατυφύλλων κυρίως ειδών), *Campopatus herculeanus* L. και *C. ligniperda* Latr. (προσβάλλουν κυρίως ξύλο κωνοφόρων που έχει προσβληθεί από μύκητες σήψης).

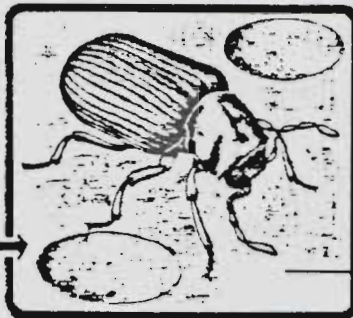
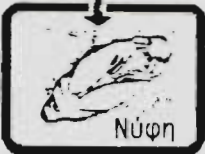
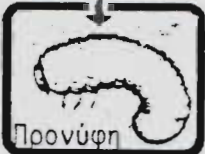
Στα ισόπτερα ανήκουν χιλιάδες είδη τερμιτών, οι οποίοι προσβάλλουν ξυλεία και ξύλινες κατασκευές και προκαλούν μεγάλες ζημιές σε σπίτια. Αναπτύσσονται κυρίως σε τροπικά κλίματα αλλά σημαντικός αριθμός βρίσκεται σε υποτροπικές περιοχές και στα θερμότερα μέρη της εύκρατης ζώνης. Όλοι οι τερμίτες αποφεύγουν το φώς. Τα έντομα αυτά τρώνε το εσωτερικό του ξύλου και αφήνουν ένα λεπτό στρώμα επιφανειακό γι' αυτό μπορούν να προκαλέσουν μεγάλες καταστροφές πριν γίνει η διάγνωσή τους. Διακρίνονται δύο κατηγορίες τερμιτών, οι υπόγειοι τερμίτες και οι τερμίτες ξηρών και υγρών ξύλων τα κυριότερα είδη των οποίων είναι το *Reticulitermes lucifugus* Rossi και *Calotermes flavicoelis* αντίστοιχα. Οι υπόγειοι τερμίτες ζούν κυρίως μέσα στο έδαφος όπου προσβάλλουν κωνοφόρα και πλατύφυλλα είδη ξύλου σε χρήση (π.χ. στύλοι, πάσσαλοι, ξυλεία ορυχείων, ξύλινες γέφυρες, ξύλινα σπίτια, παλαιά ιστορικά κτίρια). Μπορούν όμως να προσβάλλουν και υπέργειο τοποθετημένο ξύλο στα οποία φθάνουν με στοές από πηλό που δημιουργούν από το έδαφος μέχρι το υπέργειο τμήμα του ξύλου. Οι τερμίτες ξηρών και υγρών ξύλων δεν κατασκευάζουν στοές από πηλό όπως οι προηγουμενοι, αλλά προσβάλλουν απ'ευθείας το ξύλο σε ξηρή κατάσταση ή σε σχετικά υψηλή περιεχόμενη υγρασία αντίστοιχα. Οι υπόγειοι τερμίτες είναι ευρύτερα διαδεδομένοι γεωγραφικά και σε πιο καταστροφικοί από οικονομική άποψη. Έχει αναφερθεί ότι το 95% των ζημιών από τερμίτες οφείλεται στους υπόγειους τερμίτες. Στην Ελλάδα προκύπτει από παρατηρήσεις ότι οι τερμίτες των ξηρών και υγρών ξύλων είναι πιο επικίνδυνοι από τους υπόγειους. Προσβάλλες ξύλινων κατασκευών (πασκέ δαυός η πευκής, κουφωμάτων) πολλών σπιτιών από τερμίτες βρέθηκαν στην Αθήνα, Θεσσαλονίκη και άλλες περιοχές. Γενικά, οι αποικίες των τερμιτών είναι πολύπλοκες κοινω-



Σχ.1.13. Βιολογικός κύκλος *Anobium punctatum* (Από Wilkinson, 1979).

Στάδια βιολογικού κύκλου

1. Το θηλυκό έντομο γεννά περί τα 40 αυγά σε πόρους της επιφάνειας του ξύλου. Η επώαση διαρκεί περί τις 5 βδομάδες.
2. Οι νεαρές προνύφες που προέρχονται από τα αυγά εισχωρούν και διατρυπούν το ξύλο κάθετα προς την επιφάνειά του. Η δημιουργία στοών μέσα στο ξύλο διαρκεί περί τα 3-5 χρόνια.
3. Οι προνύφες εξελίσσονται σε νύφες κοντά στην επιφάνεια του ξύλου.
4. Σε 6-8 βδομάδες τα τέλεια έντομα βγαίνουν από το ξύλο (συνήθως τον Ιούνιο ή Ιούλιο) και ο βιολογικός κύκλος ξαναρχίζει.

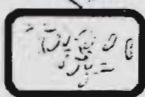


Τέλειο έντομο αμέσως μετά την έξοδό του από το ξύλο.

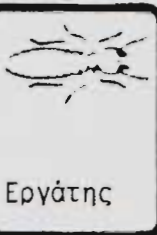
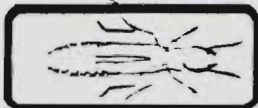


Σχ.1.14. Βιολογικός κύκλος υπόγειων τερμιτών (Από Wilkinson, 1979).

Αυγά



Νύφη



Φτερωτό αναπαραγωγικό άτομο

νίες. Κάθε αποικία έχει βασιλιά και βασίλισσα που είναι τα κυρίως αναπαραγωγικά άτομα (μερικές φορές υπάρχουν και συμπληρωματικά αναπαραγωγικά άτομα που αντικαθίστουν τη βασίλισσα αν αυτή σκοτωθεί). Από τα χιλιάδες αυγά που γεννά η βασίλισσα προκύπτουν οι νύφες που διαφοροποιούνται σε εργάτες (στείρα, άσπερο τυελά άτομα που καταστρέφουν το ξύλο), στρατιώτες (προστατεύουν την αποικία) και φτερωτά αναπαραγωγικά άτομα τα οποία μπορούν να δημιουργήσουν καινούργιες κοινωνίες (Σχ. 1.14).

### 3.2. Θαλάσσιοι οργανισμοί

Ξύλινες κατασκευές που χρησιμοποιούνται μέσα σε θαλασσινά ή υφάλμυρα νερά (π.χ. υποστηρίγματα αποβαθρών, ξύλινα σκάφη, στρογγύλη ξυλεία που αποθηκεύεται μέσα στο νερό, κλπ.) μπορεί να προσβληθούν από ορισμένους θαλάσσιους οργανισμούς οι οποίοι ανήκουν στο φύλο Μαλάκια (Mollusca) και στο φύλο Αρθρόποδα (της κλάσης Crustacea). Στα Μαλάκια ανήκουν τα γένη *Teredo*, *Bankia*, *Xylophaga*, *Martesia*, κ.ά. και στα Αρθρόποδα τα γένη *Limnoria*, *Chelura*, *Sphaeroma*, κ.ά. Οι ζωικοί αυτοί οργανισμοί είναι ευρύτατα διαδεδομένοι και είναι πολύ καταστρεπτικοί ιδιαίτερα σε ζεστά κλίματα. Όπως και τα έντομα, προσβάλλουν το ξύλο για καταφύγιο, τοποθέτηση αυγών και τροφή. Ορισμένοι οργανισμοί μπορούν να τρέφονται μερικά ή και αποκλειστικά με πλανγκτόν από τη θάλασσα.

Οι οργανισμοί *Teredo* και *Bankia* αναπαράγονται με αυγά από τα οποία προκύπτουν προνύφες. Οι προνύφες μετακινούνται στο νερό μέχρι να εγκατασταθούν στο ξύλο όπου δημιουργούν μικρές οπές (Σχ. 1.15). Μετά την εγκατάστασή τους αναπτύσσονται γρήγορα σε σχήμα σκουληκιού γι' αυτό και ονομάζονται "σκουλήκια πλοίων" (shipworms). Καθώς αναπτύσσονται δημιουργούν στοές τα τοιχώματα των οποίων έχουν ασβεστώδη επένδυση ενώ η είσοδος της στοάς (αρχική οπή) ελάχιστα αυξάνεται έτσι ώστε εξωτερικά να μην είναι εμφανής ο βαθμός προσβολής του ξύλου.

Το μήκος των οργανισμών *Teredo* κυμαίνεται από λίγα εκατοστά μέχρι 1 μέτρο ή και περισσότερο και το πάχος τους από 3-5 χιλιοστά. Το μέγεθός τους επηρεάζεται από την ένταση της προσβολής (π.χ. όταν σε ένα κομμάτι ξύλου υπάρχει μεγάλος αριθμός οργανισμών τότε το μέγεθός τους περιορίζεται), τη φυσική αντοχή του ξύλου, το είδος του οργανισμού και τις συνθήκες ανάπτυξης. Στο ξύλο μπαίνουν κάθετα προς τη διεύθυνση των ινών αλλά μετά δημιουργούν στοές παράλληλα προς τις ίνες (Σχ.1.15). Η διάτρηση του ξύλου γίνεται με τη βοήθεια ζεύγους οστράκων στο πάνω μέρος που

έχουν οδοντοειδείς προεξοχές. Από το πίσω μέρος μπορούν να προσροφούν νερό από το οποίο δεσμεύουν το οξυγόνο και το πλανγκτόν και στη συνέχεια να αποβάλλουν το νερό. Κυριότερα είδη είναι: *Teredo navalis*, *T. utriculus*, *T. pedicellatus*, *T. megotara*, *T. norvegica*, κ.ά.

Οι οργανισμοί του γένους *Xylophaga* έχουν μικρότερο μήκος από τους *Teredo* και οι στοές που δημιουργούν στο ξύλο είναι μικρού μήκους (δεν ξεπερνούν τα 4 cm) και δεν έχουν ασβεστώδη επικάλυψη.

Τα είδη του γένους *Martesia* ανοίγουν οπές εισόδου διαμέτρου 3 mm ή λιγότερο στην επιφάνεια του ξύλου και δεν φθάνουν σε μέγεθος τους *Teredo* και *Bankia* (σπάνια υπερβαίνουν <sup>σε μήκος</sup> τα 7 cm και σε διάμετρο τα 2,5 cm). Οι οργανισμοί αυτοί εμφανίζονται σε τροπικά νερά ενώ οι προηγούμενοι φθάνουν μέχρι τη Β. Ευρώπη.

Τα αρθρόποδα είναι πολύ μικροί οργανισμοί σε σύγκριση με τα Μαλάκια και διαφορετικοί στην εμφάνιση (μοιάζουν με ψείρες).

Τα είδη *Limnoria* (και ειδικότερα το *L. lignorum*) βρίσκονται σε όλα τα μέρη του κόσμου. Έχουν μήκος 1,5-3 mm, προσβάλλουν το ξύλο βαθμιαία από έξω προς τα μέσα και οι στοές που διανοίγονται σπάνια είναι βαθύτερες από 15 mm. Ολόκληρη η επιφάνεια του ξύλου προσβάλλεται από τους οργανισμούς και διαβρώνεται από τη θάλασσα ενώ καινούργιο ξύλο εκτίθεται και έτσι η προσβολή είναι συνεχής. Η προσβολή αρχίζει συνήθως να επεκτείνεται από υπάρχουσα εστία γιατί οι προνύφες δεν μπορούν να μετακινηθούν στο νερό και τα ώριμα (τέλεια) έντομα μετακινούνται σε πολύ περιορισμένη κλίμακα. Η προσβολή του ξύλου αρχίζει αμέσως από τις προνύφες οι οποίες είναι εφοδιασμένες με λεπτά δόντια σαν "λίμα".

Τα είδη *Chelura* μοιάζουν με τα είδη *Limnoria* σε εμφάνιση και τρόπο δράσης αλλά είναι λίγο μεγαλύτερα και συνήθως δρούν σε συνδυασμό με είδη *Limnoria*.

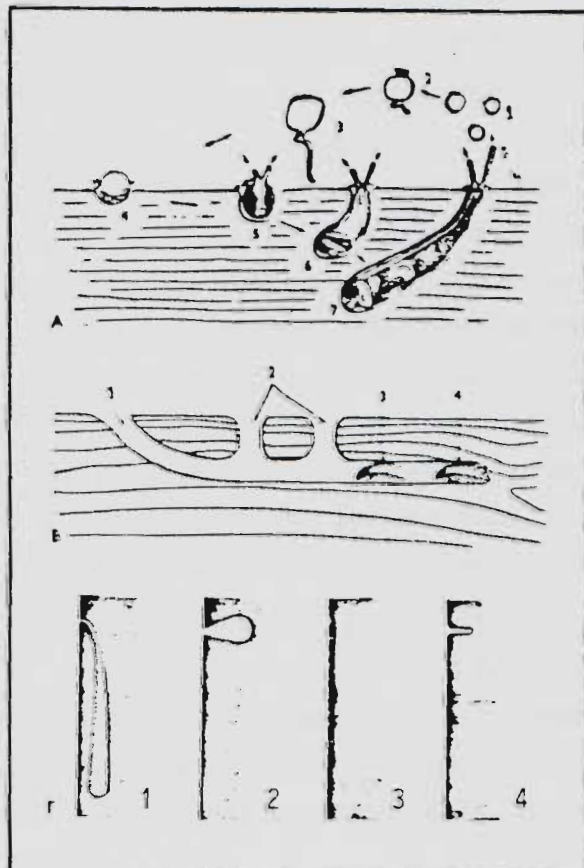
Τα είδη *Sphaeroma* βρίσκονται σε διάφορα μέρη του κόσμου αλλά κυρίως σε σχετικά θερμά νερά. Είναι μακρύτερα και πιο σωματώδη από τα είδη *Limnoria*. Αναφέρονται μήκη 12 mm και διαμέτροι 8 mm για τους οργανισμούς και, για τις στοές, διαμέτροι 12 mm και βάθος 8-10 cm. Έχει βρεθεί ότι μπορούν να προσβάλλουν ξύλο και σε γλυκά νερά.

Στο Σχ. 1.15 δείχνονται στοές στο ξύλο από διάφορους θαλασσινούς οργανισμούς.

Οι σπουδαιότεροι θαλάσσιοι οργανισμοί προσβάλλουν το ξύλο όταν αυτό βρίσκεται σε αλμυρά ή υφάλμυρα νερά. Τα είδη *Limnoria* ζούν σε νερό που περιέχει 16-20 μέρη αλατιού σε 1000 μέρη νερού ενώ τα είδη *Teredo* πάνω από 5-9 μέρη αλατιού σε 1000 μέρη νερού. Η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε αλάτι είναι 35 μέρη στα 1000 μέρη νερού και γι' αυτό τα είδη *Limnoria* δεν προχωρούν κατά μήκος των εκβολών των ποταμών πολύ όσο τα είδη *Teredo*. Ένας πρακτικός και αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης της προσβολής είναι η μετακίνηση των ξύλινων κατασκευών

από το αλμυρό νερό σε γλυκό νερό για αρκετό χρονικό διάστημα (περίπου 15 μέρες) ή στην ξηρά όπου πεθαίνουν οι θαλασσινοί οργανισμοί. Αναφέρεται ότι ξύλινες κατασκευές σε νερό που περιέχει λάσπη, ακαθαρσίες υπονόμων ή λύματα εργοστασίων δεν προσβάλλονται από θαλασσινούς οργανισμούς αλλά τέτοιες συνθήκες υπάρχουν σε πολύ περιορισμένη κλίμακα.

Τα ξύλα της εύκρατης ζώνης δεν παρουσιάζουν αντίσταση στην προσβολή όταν τοποθετηθούν χωρίς εμποτισμό σε περιοχές όπου υπάρχουν θαλασσινοί οργανισμοί. Ορισμένα τροπικά ξύλα δείχνουν μεγάλη φυσική αντοχή η οποία αποδίδεται κυρίως σε τοξικά εκχυλίσματα και σε σχετικά μεγάλη περιεκτικότητα πυριτικών ενώσεων. Τέτοια ξύλα είναι : *Ocotea rodiaei*, *Syncarpia glomulifera*, *Xylia dolabriformis*, *Podocarpus totara*, *Eucalyptus marginata*, *Dicorynia paraensis*, *Eschweilera longipes*, κ.ά. Εμποτισμός του ξύλου με κατάλληλες προστατευτικές ουσίες έχει σαν αποτέλεσμα σημαντική αύξηση της αντοχής του σε προσβολές θαλασσινών οργανισμών. Η προσβολή του ξύλου από θαλασσινούς οργανισμούς είναι δυνατό να συνδέεται και με προσβολές μυκήτων και βακτηρίων που μπορούν να δράσουν σε αλμυρά νερά. Αναφέρεται ότι οι μύκητες και τα βακτήρια μπορούν να προετοιμάσουν το ξύλο για προσβολή από θαλασσινούς οργανισμούς αλλά οι μύκητες (Ασκομύκητες και ατελείς μύκητες που προκαλούν μαλακές σήψεις) μπορούν να χρησιμεύσουν και σαν τροφή των οργανισμών αυτών.



Σχ. 1.15. Α. Βιολογικός κύκλος *Teredo* : 1. νεαρές προνύμφες, 2 και 3. προνύμφες μεγαλύτερης ηλικίας, 4-7. στάδια προσβολής του ξύλου.

Β. Στοές *Limnoria*: 1. είσοδος, 2. στοές αναπνοής, 3. αρσενικό και 4. θηλυκό.

Γ. Γενική μορφολογία στοών: 1. *Teredo*, 2. *Martesia*, 3. *Limnoria*, 4. *Sphaeroma*.

(Από Τσουμή, 1963)



#### 4. ΑΒΙΟΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΛΛΟΙΩΣΗΣ

##### 4.1. Κλιματικοί παράγοντες

Σε εσωτερικούς χώρους το ξύλο διατηρεί την εμφάνισή του για πολλά χρόνια αλλά όταν είναι εκτεθειμένο στο ύπαιθρο αλλοιώνεται βαθμιαία κάτω από την επίδραση κλιματικών παραγόντων, π.χ. νερό που προέρχεται από βροχή, συμπύκνωση ή υπάρχει στο χώρο χρησιμοποίησης του ξύλου, σχετική υγρασία, χιόνι, αέρας, θερμοκρασία, φως, κ.ά. Η μακροχρόνια επίδραση των παραγόντων αυτών προκαλεί το φαινόμενο της "γήρανσης" του ξύλου (weathering) το οποίο σε μακροσκοπικές παρατηρήσεις περιλαμβάνει μεταβολή του χρώματος, εμφάνιση ραγαδώσεων, στρεβλώσεων, τραχύτητα της επιφάνειας και επιφανειακή διάβρωση του ξύλου.

Από τις καιρικές συνθήκες, το νερό σε υγρή μορφή αποτελεί τον πιο καταστρεπτικό παράγοντα της δομής του ξύλου στις παραπάνω κατασκευές από άποψη ταχύτητας της αλλοίωσης. Η καταστρεπτική επίδραση του νερού σαν παράγοντα αλλοίωσης οφείλεται κυρίως στο ότι το ξύλο διογκώνεται όταν υγραίνεται και ρικνώνεται όταν ξηραίνεται. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο ρυθμός διογκωσης του ξύλου όταν αυτό έρχεται σε επαφή με το νερό είναι μεγάλος στην αρχή ιδιαίτερα στα επιφανειακά στρώματα. Η εναλλαγή διογκωσης και ρίκνωσης και οι ταχύτερες διαστασιακές μεταβολές των εξωτερικών στρωμάτων του ξύλου σε σύγκριση με τα εσωτερικά προκαλούν αλλοιώσεις της δομής οι οποίες μακροσκοπικά εμφανίζονται με τη μορφή ραγαδώσεων. Μικροσκοπική όμως παρατήρηση ύστερα από παρατεταμένη αλληλεπίδραση ξύλου και νερού αποκαλύπτει λύση του δεσμού μεταξύ των κυττάρων στο επιφανειακό στρώμα του ξύλου, πολυάριθμες "μικροραγάδες" στα κυτταρικά τοιχώματα, απομάκρυνση μεμβρανών των βοθρίων, κ.ά.

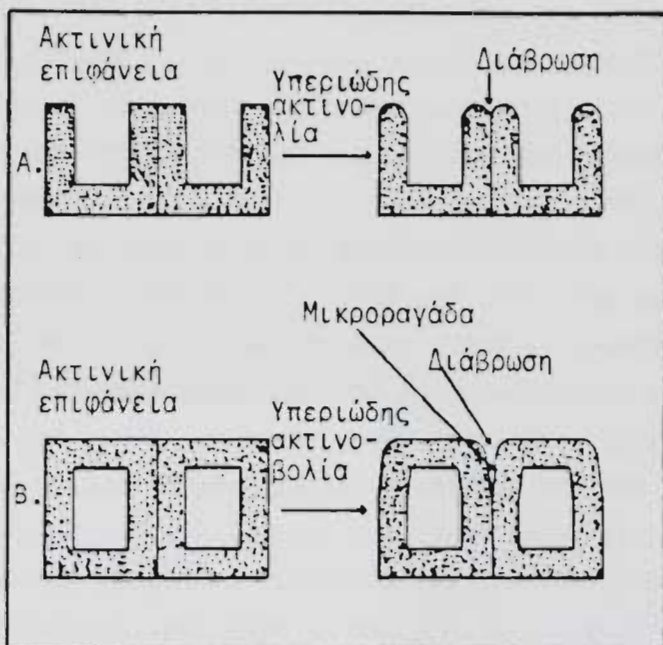
Το ξύλο αλλοιώνεται -σε αργό ρυθμό- και κάτω από την επίδραση του ηλιακού φωτός και κυρίως από την υπεριώδη ακτινοβολία η οποία προκαλεί μικροραγάδες στα κυτταρικά τοιχώματα, καταστροφή των μεμβρανών των βοθρίων και διεύρυνση των στομών τους. Με την επίδραση του ηλιακού φωτός συμβαίνουν και χημικές μεταβολές αλλά πάντως η διαδικασία αλλοίωσης του ξύλου είναι αργή και προχωρεί βραδύτατα σε βάθος του ξύλου. Η αλλοίωση του ξύλου από το ηλιακό φως υποβοηθεί σημαντικά την καταστρεπτική δράση του νερού. Αλλοιώσεις ακτινικών κυτταρικών τοιχωμάτων μετά από έκθεσή τους σε υπεριώδη ακτινοβολία δείχνονται στο Σχ. 1.16.

Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του ξύλου ιδιαίτερα κατά τους θερινούς μήνες δεν αποτελεί μόνη της σημαντικό παράγοντα αλλοίωσης μπορεί όμως να υποβοηθήσει τη δράση του νερού και κυρίως να αυξήσει

το ρυθμό διόγκωσης ή ρίκνωσης με συνέπεια την αύξηση του ρυθμού αλλοίωσης του ξύλου.

Ο ισχυρός άνεμος μπορεί να προκαλέσει επιφανειακή διάβρωση με την παράσυρση και άλλων μικροβλικών του εδάφους και πρόσπτωσή τους πάνω στην επιφάνεια του ξύλου και να παρασύρει επιφανειακές ίνες ξύλου. Η επίδραση αυτή του ανέμου διευκολύνει επίσης τη δράση του νερού σαν παράγοντα αλλοίωσης.

Ο συνδυασμός δράσης των διαφόρων κλιματικών παραγόντων επιταχύνει την αλλοίωση του επιφανειακού στρώματος του ξύλου η οποία περιλαμβάνει φυσικές και χημικές μεταβολές. Η συνδυασμένη αυτή δράση των κλιματικών



Σχ. 1.16. Αλλοίωση τραχειδών (διάβρωση σύνθετης μεσοκυττάριας, μικροραγάδες) μετά από έκθεσή τους σε υπεριώδη ακτινοβολία σε δύο τύπους ακτινικών επιφανειών (Α. Ακτινικά τοιχώματα λείπουν, Β. Ακτινικά τοιχώματα υπάρχουν).

(Από Miniutti, 1967)



Σχ. 1.17. Εμφάνιση σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο της διάσπασης του δεσμού μεταξύ τραχειδών και της απομάκρυνσης της μεσοκυττάριας στρώσης μετά από έκθεση εγκάρσιας τομής ξύλου δασικής πεύκης στην ελεύθερη ατμόσφαιρα για 1 χρόνο (600X).

παραγόντων προκαλεί εντυπωσιακή αλλοίωση σε ξύλο που δεν έχει εμποτισθεί με κατάλληλες προστατευτικές ουσίες ακόμη και σε μικρό χρονικό διάστημα (Σχ.1.17). Είναι χαρακτηριστικό να σημειωθεί ότι με τη "γήρανση" απομακρύνονται συνεχώς επιφανειακά στρώματα ξύλου αλλά ο ρυθμός απώλειας είναι πολύ μικρός, π.χ. έχει υπολογιστεί ότι κάθε 20 χρόνια η απώλεια του επιφανειακού στρώματος του ξύλου που εκτίθεται στην ελεύθερη ατμόσφαιρα είναι περίπου 1 mm. Πάντως ο ρυθμός αλλοίωσης εξαρτάται πολύ από τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στη συγκεκριμένη περιοχή και διαφέρει από τοποθεσία σε τοποθεσία.

#### 4.2. Μηχανικοί παράγοντες

Επανειλημμένες μηχανικές φορτίσεις προκαλούν αλλοίωση του ξύλου. Τέτοιες φορτίσεις δέχονται στρωτήρες σιδηροδρόμων, τατώματα, σκάλες, αποβάθρες, γέφυρες, κ.ά. Η αλλοίωση του ξύλου οφείλεται κυρίως στην επίδραση δυνάμεων τριβής που προέρχονται από την κίνηση οχημάτων και ανθρώπων πάνω στις ξύλινες κατασκευές. Οι τριβές αυτές έχουν την ίδια επίδραση που έχει ένα σμυριδόχαρτο όταν τρίβεται πάνω στο ξύλο, δηλαδή απομακρύνουν επιφανειακές ίνες του ξύλου. Σε υπαίθριες κατασκευές (π.χ. στρωτήρες, γέφυρες) η δράση αυτή επιταχύνεται και από τους σηπτικούς μύκητες που προκαλούν μαλάκυνση του ξύλου κατά τη διάρκεια προσβολής. Με εισαγωγή κατάλληλων προστατευτικών ουσιών στο ξύλο εμποδίζεται η προσβολή του από σηπτικούς μύκητες και πετυχαίνεται μείωση του ρυθμού απόξεσης (απομάκρυνσης) των επιφανειακών ινών του ξύλου. Έτσι, είναι δυνατό να γίνεται αντικατάσταση στρωτήρων λόγω αλλοίωσης που προέρχεται από δυνάμεις τριβής μάλλον παρά λόγω προσβολών από σηπτικούς μύκητες.

Η αντοχή του ξύλου κάτω από την επίδραση μηχανικών φορτίσεων εξαρτάται από το είδος του, την υγρασία του, τον τρόπο και τις συνθήκες φόρτισης (π.χ. στο ύπαιθρο, σε εσωτερικούς χώρους) και το είδος της φορτιζόμενης επιφάνειας (μεγαλύτερη αντοχή παρουσιάζει η εγκάρσια επιφάνεια, μικρότερη η ακτινική και ακόμη πιο μικρή η εωαπτομενική).

#### 4.3. Χημικοί παράγοντες

Το ξύλο είναι δυνατό να υποστεί χημικό μεταχρωματισμό κατά θέσεις που είναι αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων των ταννινών του ξύλου με καρφιά, βίδες ή άλλα μεταλλικά αντικείμενα σε συνθήκες σχετικά υψηλής υγρασίας. Με τις αντιδράσεις αυτές σχηματίζονται ενώσεις μαύρου ή κυανόμαυρου χρώματος οι οποίες αλλοιώνουν τοπικά το χρώμα του ξύλου. Χημικός μεταχρωματισμός παρατηρείται σε ξύλα που είναι πλούσια σε ταννίνες

όπως δρυς, καστανιά, κ.ά., όταν έρχονται σε επαφή με μεταλλικά αντικείμενα σε σχετικά υγρές συνθήκες. Η ψευδοτσούγκα από τα κωνοφόρα έχει επίσης αρκετές ποσότητες ταννινών οι οποίες αντιδρούν με όμοιο τρόπο. Σε περιπτώσεις που υπάρχει κίνδυνος χημικού μεταχρωματισμού συνιστάται να χρησιμοποιούνται καρφιά, βίδες και άλλα μεταλλικά αντικείμενα που έρχονται σε επαφή με το ξύλο μετά από γαλβανισμό (επιμετάλλωση).

Το ξύλο χρησιμοποιείται συχνά, ακόμη και σήμερα, για δεξαμενές, ψυκτικούς πύργους και χώρους αποθήκευσης διαφόρων χημικών υγρών σε βιομηχανίες δέρματος, χρωμάτων, χαρτοπολτού και χαρτιού, σαπουνιών, σε υφαντουργεία, κ.ά. γιατί αποτελεί καλό μονωτικό, εύκολο στην κατεργασία υλικό, και παρουσιάζει ικανοποιητική αντίσταση σε διάβρωση η οποία προκαλείται από οξέα ή αλκάλια μικρής σχετικά πυκνότητας. Ισχυρά οξέα και αλκάλια όμως προκαλούν σημαντική αλλοίωση του ξύλου. Ο βαθμός αυτής της αλλοίωσης εξαρτάται από το είδος του ξύλου, τη διαπερατότητά του, τη διάρκεια επίδρασης, τη θερμοκρασία και τον τύπο του χημικού. Συχνά, χημικές ουσίες αντιδρούν με το ξύλο και μεταβάλλουν το χρώμα του. Παρατεταμένη όμως έκθεση σε αλκάλια είναι δυνατό να διαλύσει τις ημικυτταρίνες και τη λιγνίνη και να μεταβάλλει το ξύλο σε ένα μαλακό, πολτώδες υπόλειμμα. Η επίδραση αυτή των αλκαλίων αξιοποιείται στις βιομηχανίες χαρτοπολτού και χαρτιού για την αποϊνωση του ξύλου.

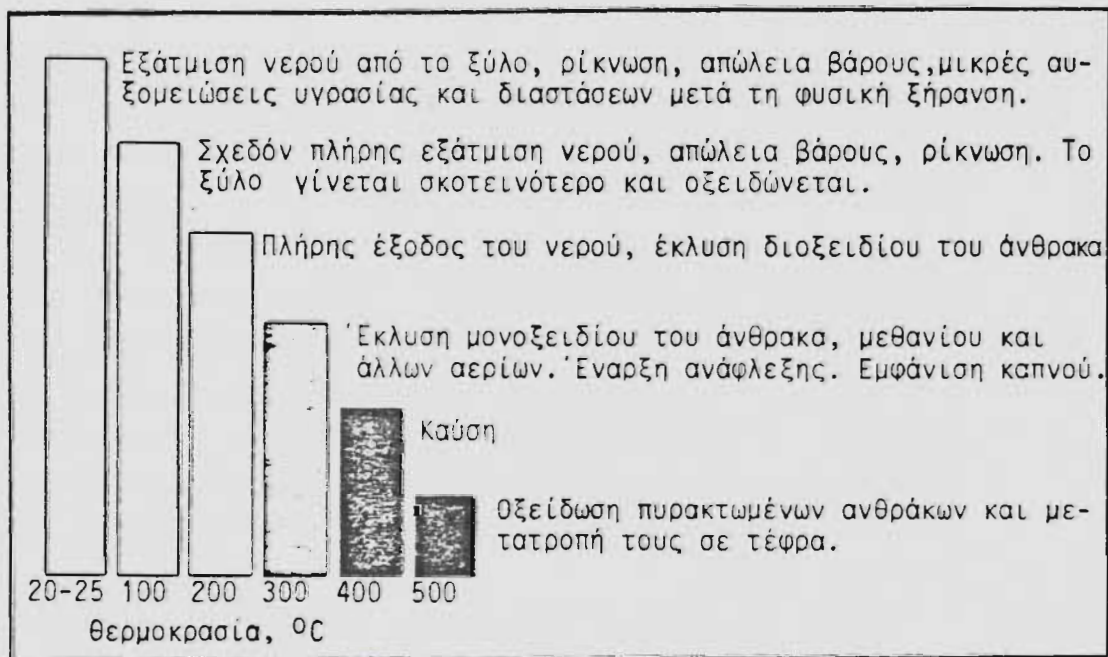
Με την επίδραση χημικών ουσιών είναι δυνατό να παρατηρηθεί μείωση της μηχανικής αντοχής του ξύλου. Αναφέρεται μείωση της μηχανικής αντοχής του ξύλου πάνω από 50% μετά την επίδραση χημικών διαλυμάτων με πυκνότητα 10% και σε θερμοκρασία 50°C. Με την επίδραση αλκαλίων ελαττώνονται το μέτρο ελαστικότητας, η αντοχή σε κάμψη και η εγκάρσια θλίψη. Μείωση της μηχανικής αντοχής του ξύλου μπορεί επίσης να παρατηρηθεί και σε ορισμένες περιπτώσεις εισαγωγής προστατευτικών ουσιών στη μάζα του (εμποτισμού), π.χ. σε ξύλο πεύκης εμποτισμένο με CCA (συγκράτηση 17 Kg/m<sup>3</sup>) και μετά από επαναξήρανση σε θερμοκρασία 82°C παρατηρήθηκε μείωση του μέτρου θραύσεως σε στατική κάμψη κατά 11% και του μέγιστου έργου κατά 37%. Συνήθως όμως ο βαθμός μείωσης της μηχανικής αντοχής του ξύλου μετά τον εμποτισμό του είναι μικρός και δεν επηρεάζει τη χρήση του. Σε περιπτώσεις που η μηχανική αντοχή του ξύλου αποτελεί αποφασιστικό παράγοντα (π.χ. σε γέφυρες, μεταλλεία, δοκοί σε ξύλινες κατασκευές, κ.ά.) δίνεται ιδιαίτερη προσοχή.

Το χρώμα του ξύλου μπορεί να γίνει σκοτεινότερο κατά την φυσική ή τεχνητή ξήρανση λόγω οξειδωσης των κυτταρικών περιεχομένων. Ένζυμα που υπάρχουν σε ορισμένα συστατικά των κυτταρικών περιεχομένων δημιουργούν, με την παρουσία οξυγόνου, σύμπλοκα με άλλα συστατικά, και έτσι το ξύλο

μπορεί να μεταχρωματισθεί επιφανειακά ή και σε ορισμένο βάθος. Το φαινόμενο αυτό φαίνεται συχνά σε φρεσκοκομμένα ξύλα κατά τη διάρκεια ξήρανσής τους. Είναι χαρακτηριστική η αλλαγή του χρώματος του σκλήθρου σε κοκκινωπό αμέσως μετά την υλοτομία και την αποφλοίωση αν και στη συνέχεια το χρώμα αυτό ξεθωριάζει.

#### 4.4. Θερμότητα

Σε αντίθεση με την αργή διαδικασία αλλοίωσης του ξύλου από μύκητες, έντομα και θαλασσινούς οργανισμούς, η καταστροφή του ξύλου κάτω από την επίδραση μεγάλων θερμοκρασιών (φωτιά) μπορεί να είναι εξαιρετικά γρήγορη. Κάθε χρόνο, τεράστιες ποσότητες ξύλου καταστρέφονται σε αποθήκες ξυλείας και σε κατασκευές. Επίσης, μετά από εκτεταμένες πυρκαϊές δασών είναι ανάγκη να υλοτομηθούν μεγάλες ποσότητες ξύλου σε σύντομο χρονικό διάστημα για να μην καταστραφούν από τις προσβολές μυκήτων και εντόμων που αναπτύσσονται αμέσως μετά. Όταν το ξύλο καίγεται, τα συστατικά του (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη, εκχυλίσματα) μετατρέπονται σε τέφρα. Η χημική αυτή αποσύνθεση φαίνεται σε διάφορα στάδια στο Σχ. 1.18.



Σχ. 1.18. Διαδοχικά στάδια μεταβολών και αλλοίωσης του ξύλου με την αύξηση της θερμοκρασίας (Από Wilkinson, 1979).

Οι συνέπειες για το ξύλο από την επίδραση της θερμότητας είναι ποικίλες ανάλογα με το ύψος της θερμοκρασίας, τη διάρκεια επίδρασης, τον τρόπο θέρμανσης, την υγρασία του ξύλου, κλπ. Οι συνέπειες αυτές περιλαμβάνουν: απώλεια υγρασίας και βάρους, μικροσκοπική διαφοροποίηση της δομής, μαλάκυνση, ελάττωση της υγροσκοπικότητας, αύξηση ρίκνωσης, ελάττωση της μηχανικής αντοχής. Με την επίδραση θερμότητας μπορούν να παραχθούν διάφορα προϊόντα όπως μονοξειδίο του άνθρακα, μεθάνιο, φορμικό οξύ, κατράμι, κ.ά. Θερμοκρασίες σχετικά χαμηλές αλλά μεγάλης διάρκειας μπορούν να προκαλέσουν όμοιου βαθμού χημική αποσύνθεση του ξύλου σε σύγκριση με υψηλές θερμοκρασίες αλλά μικρής διάρκειας. Υπολογίζεται ότι επίδραση σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών (60-80°C) για περίοδο 140 χρόνων περίπου επιφέρει μείωση της πυκνότητας του ξύλου κατά 40-50%. Εκτεταμένη αλλοίωση του ξύλου έχει παρατηρηθεί πρόσφατα στην εσωτερική ξύλινη διακόσμηση της Βουλής των Λόρδων στο παλάτι του Westminster η οποία άρχισε να λειτουργεί το 1847. Η αλλοίωση αυτή (αλλαγή χρώματος από ωχροκίτρινο σε βαθύ καστανό, μείωση της μηχανικής αντοχής, αύξηση του εύθρυπτου και εύθραυστου του ξύλου, όξινο pH) έχει αποδοθεί σε μακροχρόνια επίδραση σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών (πάνω από 80°C) από συστήματα θέρμανσης και φωτισμού του χώρου. Από τα χημικά συστατικά του ξύλου, η λιγνίνη είναι η πιο ανθεκτική. Οι ημικυτταρίνες αποσυντίθενται σε 200-260°C και η λιγνίνη σε 280-500°C.

Είναι γνωστό ότι σε θερμοκρασία 500°C το ξύλο μετατρέπεται σε τέφρα και ότι σε μια πυρκαϊά η θερμοκρασία αυτή μπορεί να επιτευχθεί μέσα στα πρώτα δέκα λεπτά. Το γεγονός ότι το ξύλο χρησιμοποιείται σαν βασικό υλικό σε κτίρια παρά την ιδιότητά του να καίγεται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες σε σύγκριση με άλλα υλικά οφείλεται στο ότι ξυλεία πάχους πάνω από 15 mm μπορεί να σταματήσει να καίγεται κατά τη διάρκεια μιας πυρκαϊάς εκτός αν επιδράσει πρόσθετη θερμότητα. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε επιφανειακή απανθράκωση του ξύλου (πάχους λίγων χιλιοστών) η οποία δρα σαν μονωτικό και συντελεί στο να μην υποχωρούν δοκοί ξύλου σε μια πυρκαϊά. Η αντοχή αυτή του ξύλου σε πυρκαϊά φαίνεται καθαρά σε περιπτώσεις που στη συγκρότηση ενός κτιρίου συμμετέχουν δοκοί ξύλου μαζί με μεταλλικούς δοκούς. Οι μεταλλικοί δοκοί υποχωρούν ολοκληρωτικά σε μια κρίσιμη θερμοκρασία ενώ οι δοκοί ξύλου (ανάλογα και με τις διαστάσεις τους) είναι δυνατό να μην υποχωρήσουν. Η αντοχή του ξύλου σε φωτιά μπορεί να αυξηθεί με εισαγωγή στη μάζα του κατάλληλων προστατευτικών ουσιών (fire retardants).

Ξύλο που δεν έχει απανθρακωθεί κατά τη διάρκεια μιας πυρκαϊάς διατηρεί αμετάβλητη ή σχεδόν αμετάβλητη την αρχική μηχανική αντοχή του και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί. Επίσης, το ίδιο συμβαίνει και με ξύλο που προέρχεται από δέντρα τα οποία έχουν θανατωθεί από πυρκαϊά εφόσον γίνει γρήγορη, υλοτομία, αποφλοιώση και αξιοποίηση του ξύλου και δεν υπάρξει μεταγενέστερη προσβολή του από μύκητες και έντομα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

### ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ, ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΟΥ

#### 1. ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ

Τα κύρια συστατικά του ξύλου είναι η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες και η λιγνίνη . Τα συστατικά αυτά είναι βιο-πολυμερή (φυσικά πολυμερή) και, όπως τα τεχνητά πολυμερή (π.χ. νάυλον, πολυαιθυλένιο ), συγκροτούνται από πολλές μικρότερες μονάδες που συνδέονται μεταξύ τους χημικά.

Η κυτταρίνη ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> είναι η πιο άφθονη φυσική οργανική ουσία στη γη και κάθε χρόνο παράγεται από τα φυτά σε πολύ μεγάλες ποσότητες. Είναι πολυσακχαρίτης και βασίζεται αποκλειστικά στο μονοσάκχαρο γλυκόζη ( $C_6H_{12}O_6$ ). Πολλά μόρια γλυκόζης συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν αλυσίδες μεγάλου μήκους. Ο βαθμός πολυμερισμού (n) σε φυσική κυτταρίνη είναι 8.000-10.000 περίπου. Η κυτταρίνη έχει κρυσταλλικές ιδιότητες. Οι αλυσίδες κυτταρίνης είναι κατά θέσεις παράλληλες και σχηματίζουν κρυσταλλικές περιοχές (κρυσταλλίτες) ενώ μεταξύ των θέσεων αυτών παρεμβάλλονται άμορφες περιοχές. Ο βαθμός κρυσταλλικότητας (κρυσταλλικές περιοχές/ άμορφες περιοχές) κυμαίνεται μεταξύ 70-90%.

Οι ημικυτταρίνες είναι επίσης πολυσακχαρίτες αλλά βασίζονται σε περισσότερα από ένα μονοσάκχαρα (π.χ. αραβινόζη, μανόζη, ξυλόζη) τα οποία σχηματίζουν αλυσίδες με μικρότερο βαθμό πολυμερισμού (περίπου 150). Δεν έχει κρυσταλλικές ιδιότητες.

Η λιγνίνη δεν είναι πολυσακχαρίτης αλλά αρωματικής φύσεως ουσία και είναι άμορφη.

Οι μέσες τιμές των ποσοστών των οργανικών συστατικών στο ξύλο δείχνονται στον Πίνακα 2.1.

Στο ξύλο συμμετέχουν και οι πηκτινικές ουσίες οι οποίες είναι υδατάνθρακες ή έχουν σχέση με τους υδατάνθρακες και υπάρχουν σε πολύ μικρές ποσότητες. Σε κυτταρικά τοιχώματα ή κυτταρικές κοιλότητες βρίσκονται και άλλες οργανικές ουσίες οι οποίες δεν συμμετέχουν στη δομή της ξυλώδους ύλης και μπορούν να απομακρυνθούν με διάφορα διαλυτικά μέσα όπως π.χ. νερό, αλκοόλη, βενζόλιο, ακετόνη, αιθέρας, κ.ά. Οι ουσίες

Πίνακας 2.1. Μέση (%) χημική σύνθεση κωνοφόρων και πλατυφύλλων (Από Thomas, 1977).

Χημικό συστατικό	Χημική σύνθεση (%) <sup>*</sup>	
	Κωνοφόρα	Πλατύφυλλα
Κυτταρίνη	42 (±2)	45 (±2)
Ημικυτταρίνες	27 (±2)	30 (±5)
Λιγνίνη	28 (±3)	20 (±4)

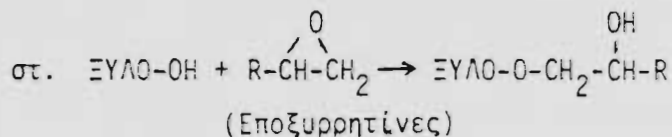
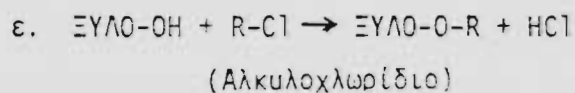
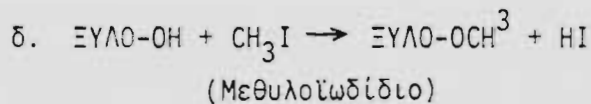
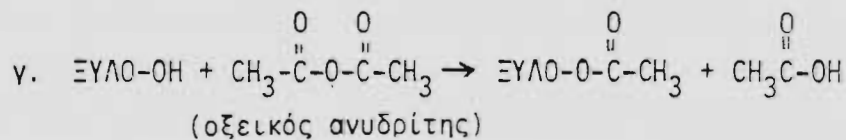
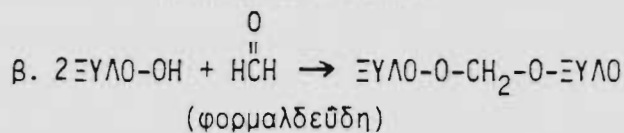
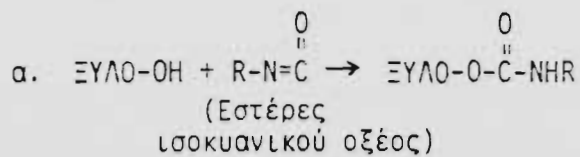
\* Σε παρένθεση τυπικές αποκλίσεις

αυτές είναι γνωστές σαν εκχυλίσματα και περιλαμβάνουν ρητίνες (σε πεύκη, ερυθρελάτη, λάρικα και ψευδοτσούγκα), κόμμεα (π.χ. σε ευκαλύπτους), ταννίνες (σε δρυ, καστανιά, κ.ά.), άμυλο, λίπη, πρωτεΐνες, κλπ. Το ποσοστό των εκχυλισμάτων (% του ξηρού βάρους του ξύλου) μπορεί να φθάσει σε ορισμένα είδη και μέχρι 30% ή περισσότερο αλλά συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 1-5%. Σε κυτταρικές κοιλότητες βρίσκονται και ανόργανες ουσίες (ασβέστιο, πυρίτιο, κ.ά.) με μορφή κρυστάλλων ή και άλλες μορφές. Στις ανόργανες ουσίες μπορούν να συμπεριληφθούν και τα ανόργανα συστατικά της τέφρας του ξύλου.

Η χημική σύσταση της ξυλώδους ύλης έχει σχέση με την υγροσκοπικότητα, την ξήρανση, τον εμποτισμό και άλλες βελτιωτικές επεξεργασίες του. Τα πολυμερή που συγκροτούν το ξύλο έχουν υδροξύλια και άλλες ομάδες που περιέχουν οξυγόνο οι οποίες έλκουν μόρια νερού και σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου. Αποτέλεσμα αυτής της δέσμευσης νερού είναι η διόγκωση των κυτταρικών τοιχωμάτων και του ξύλου. Η κυτταρίνη και οι ημικυτταρίνες είναι περισσότερο υγροσκοπικές από τη λιγνίνη και οι περισσότερο υπεύθυνες για τη δέσμευση του νερού στα κυτταρικά τοιχώματα. Έχει βρεθεί ότι σε ξύλο ευκαλύπτου (*Eucalyptus regnans*) η συνεισφορά της κυτταρίνης, ημικυτταρινών και λιγνίνης στην προσρόφηση του νερού από τα κυτταρικά τοιχώματα είναι 47%, 37% και 16% αντίστοιχα. Αυτό δείχνει ότι, σε μικρό βαθμό η λιγνίνη και, σε μεγαλύτερο βαθμό, οι ημικυτταρίνες και η κυτταρίνη (συγκεκριμένα οι άμορφες περιοχές και οι εξωτερικές επιφάνειες των κρυσταλλιτών) είναι υπεύθυνες για τη δέσμευση του νερού από την ξυλώδη ύλη. Κατά την ξήρανση του ξύλου χρειάζεται ενέργεια για την απομάκρυνση του νερού και εφαρμογή κατάλληλων προγραμμάτων ξήρανσης (στην τεχνητή ξήρανση) ώστε να παραχθεί ξυλεία χωρίς σφάλματα.



Σε ορισμένες περιπτώσεις εισαγωγής προστατευτικών ουσιών στη μάζα του ξύλου είτε για προστασία του από προσβολές μυκήτων και εντόμων είτε για βελτίωση της διαστασιακής του σταθερότητας είναι δυνατό να δημιουργούνται χημικοί δεσμοί μεταξύ ξύλου και χημικού. Πολλά υδατοδιαλυτά άλατα π.χ. άλατα χαλκού-χρωμίου-αρσενικού) σχηματίζουν μεταξύ τους και με το ξύλο αδιάλυτες χημικές ενώσεις μετά τον εμποτισμό οι οποίες δεν εκπλύνονται εύκολα και για το λόγο αυτό διατηρούν την αποτελεσματικότητά τους για αρκετό χρονικό διάστημα. Άλλες χημικές ουσίες (π.χ. φορμαλδεΐδη, εστέρες ισοκυανικού οξέος, οξεικός ανυδρίτης, μεθυλοϊωδίδιο, αλκυλοχλωρίδιο, κ.ά.) που χρησιμοποιούνται για βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας του ξύλου είναι επίσης δυνατό να δημιουργήσουν χημικούς δεσμούς με την ξυλώδη ύλη. Μερικά παραδείγματα τέτοιων δεσμών δίνονται παρακάτω:



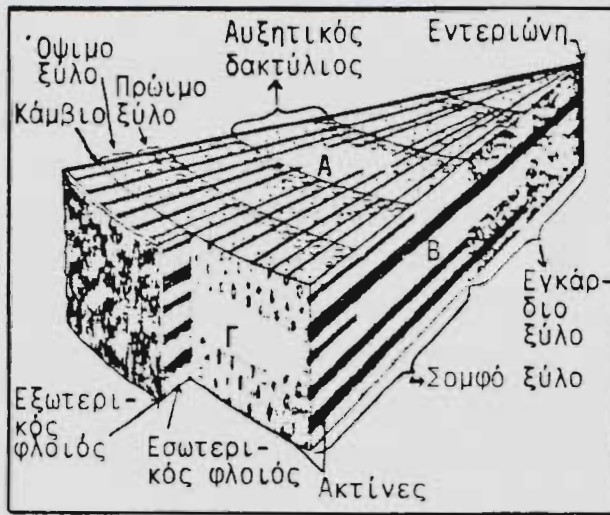
## 2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΜΗΣ

Σε μια εγκάρσια τομή ξύλου διακρίνονται μακροσκοπικά η εντεριώνη (στο κέντρο), το εγκάρδιο (όταν έχει σκοτεινότερο χρώμα από το σομφό) και το σομφό ξύλο, οι αυξητικοί δακτύλιοι (όχι πάντοτε) και ο φλοιός (εσωτερικός φλοιός και ξηρόφλοιο). Στα κωνοφόρα διακρίνονται επίσης το πρώιμο και το όψιμο (με σκοτεινότερο χρώμα) ξύλο και οι ρητινοφόροι αγωγοί σε ορισμένα είδη (πεύκη, ερυθρελάτη, λάριξ, ψευδοτσούγκα). Στα πλατύφυλλα φαίνονται πόροι (αγγεία) σε διάφορα μεγέθη και διατάξεις μέσα σε κάθε αυξητικό δακτύλιο, πρώιμο και όψιμο ξύλο (κυρίως σε δακτυλιόπορα είδη) και, σε πολλά είδη, ακτίνες (πλατειές ή λεπτές) και αξονικό παρέγχυμα. (Σχ. 2.1).

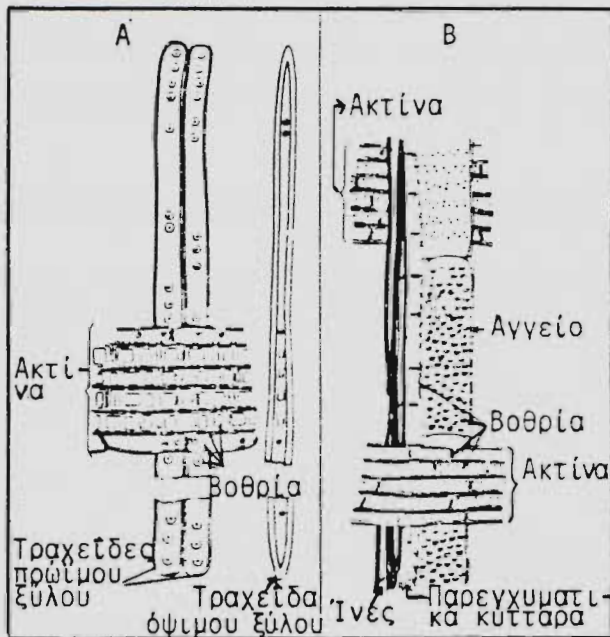
Μεταξύ φλοιού και ξύλου υπάρχει λεπτός ιστός, το κάμβιο, που φαίνεται μόνο με μικροσκόπιο και παράγει κύτταρα ξύλου και φλοιού. Στο μικροσκόπιο, το ξύλο φαίνεται να συγκροτείται από κύτταρα διαφόρων τύπων τα οποία περιγράφονται στον Πίνακα 2.2. Τα κύτταρα αυτά συνδέονται

Πίνακας 2.2. Κυτταρικοί τύποι στο ξύλο και χαρακτηριστικά τους.

α/α	Τύπος κυττάρου	Μήκος mm	Διάμετρος mm	Κατεύ- θυνση σε σχέ- ση με τον άξονα του δέντρου	Παρουσία σε: Κωνο- φόρα	Πλα- τύ- φυλλα	Τύπος βοθρίων	Ρόλος
1.	Τραχείδες	3-5	0,02-0,04		v		Αλωφόρα	Κίνηση νερού, στερέωση
2.	Μέλη αγγείων	0,2-1,3	0,005-0,5			v	Αλωφόρα, μερικές φορές απλά	Κίνηση νερού
3.	Ίνες	1-2	0,01-0,05			v	Απλά ή αλωφόρα	Κυρίως στερέωση, σε μικρό βαθμό αποθήκευση και κίνηση νερού
4.	Παρεγχυματικά	0,1-0,22	0,01-0,05	⊥	v	v	Απλά	Αποθήκευση
5.	Ακτινικές τραχείδες	0,1-0,2	0,01-0,05	⊥	v		Αλωφόρα (μικρά σε μέγεθος)	Κίνηση νερού



Σχ. 2.1 . Εμφάνιση ξύλου δρυός σε εγκάρσια (Α), ακτινική (Β) και εφαπτομενική (Γ) τομή (Από Findlay, 1978).



Σχ. 2.2 . Κύτταρα που συγκροτούν το ξύλο και τρόπος σύνδεσής τους σε κωνοφόρα (Α) και πλατύφυλλα(Β) (Από Findlay, 1978).

Κύτταρα	Κύρια λειτουργία	Πάχος κυτταρικών τοιχωμάτων
Παρεγχυματικά κύτταρα	Αποθήκευση	
Τραχειίδες	Στερέωση, κίνηση υγρών	
Ίνες	Στερέωση	
Αγγεία (πόροι)	Κίνηση υγρών	

Σχ. 2.3 . Κύρια λειτουργία και πάχος κυτταρικών τοιχωμάτων των διαφόρων τύπων κυττάρων κωνοφόρων και πλατύφυλλων. (Από Diphwoodie, 1975) .

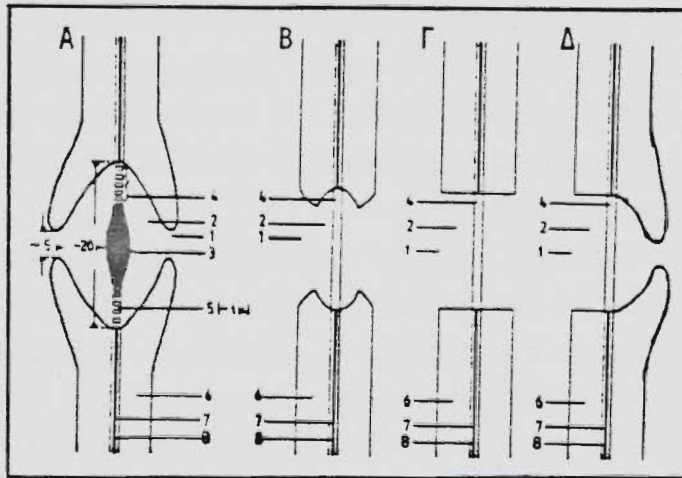
μεταξύ τους με τη μεσοκυττάρια στρώση σε διάφορες αναλογίες και παράγουν ένα πορώδες υλικό, το ξύλο (Σχ. 2.2). Είναι χαρακτηριστικό ότι, στα ζωντανά δέντρα, τα ώριμα κύτταρα (μετά το στάδιο της λιγνοποίησης) είναι νεκρά εκτός από λίγες σειρές κυττάρων υπό ανάπτυξη κοντά στο κάμβιο και τα παρεγχυματικά κύτταρα στο σομφό ξύλο.

Οι κοιλότητες των κυττάρων αποτελούν μεταφορείς των χυμών στα ζωντανά δέντρα. Το ρόλο αυτό του μεταφορέα έχουν κυρίως οι τραχειίδες στα κωνοφόρα και τα αγγεία στα πλατύφυλλα (Σχ.2.3). Τα βοθρία που είναι ασυνέχειες των δευτερογενών τοιχωμάτων των κυττάρων επιτρέπουν την κίνηση των χυμών από κύτταρο σε κύτταρο. Βοθρία υπάρχουν τριών ειδών: αλωφόρα (με άβακα στα κωνοφόρα και χωρίς άβακα στα πλατύφυλλα), απλά και ημιαλωφόρα (βοθρία διασταυρώσεως) (Σχ.2.4). Τα χαρακτηριστικά μέρη κάθε βοθρίου είναι το στόμιο, η κοιλότητα και η μεμβράνη η οποία στα αλωφόρα βοθρία των κωνοφόρων φέρει στο κέντρο μία πάχυνση, τον άβακα. Οι μεμβράνες των αλωφόρων βοθρίων των κωνοφόρων είναι διάτρητες πράγμα που επιτρέπει την διόδο υγρών από κύτταρο σε κύτταρο με τριχοειδείς δυνάμεις. Στις μεμβράνες των άλλων βοθρίων (αλωφόρα βοθρία πλατύφυλλων, απλά, ημιαλωφόρα) δεν έχουν παρατηρηθεί τριχοειδή, έστω και μικρών διαστάσεων, στις μεμβράνες και έτσι η διόδος των υγρών από το ένα κύτταρο στο άλλο δεν μπορεί να γίνει με τριχοειδείς δυνάμεις αλλά με άλλους τρόπους (διάχυση).

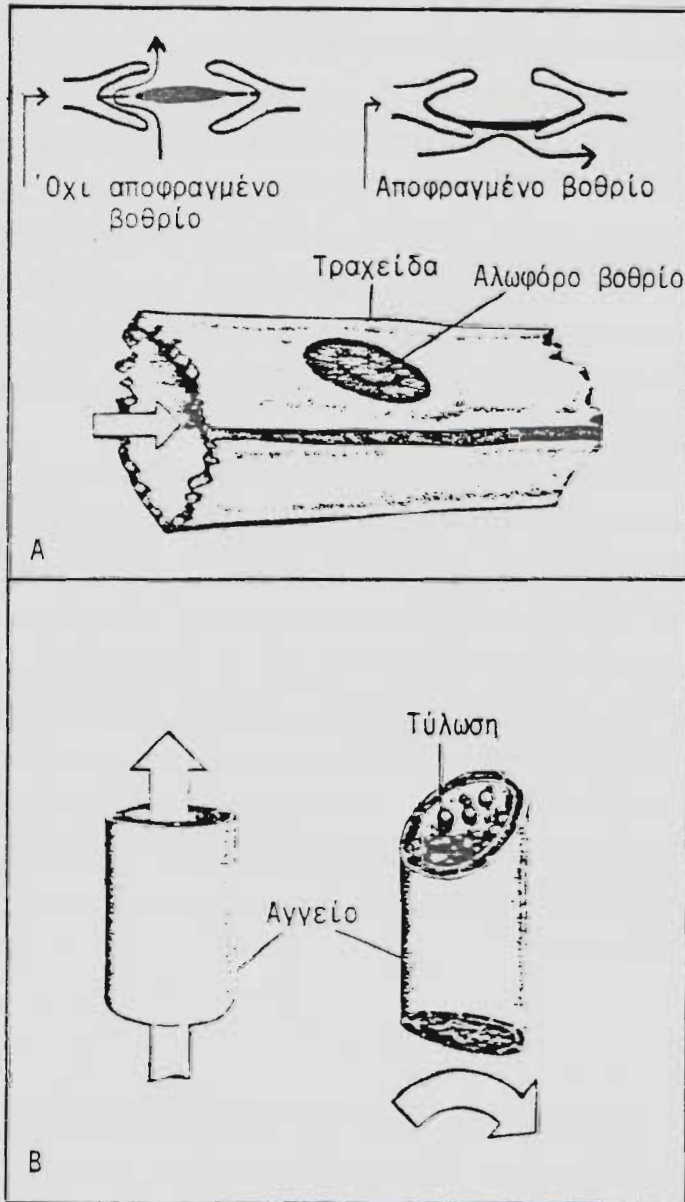
Αλωφόρα βοθρία των κωνοφόρων που αποφράσσονται (κατά την ξήρανση του ξύλου) και το φαινόμενο της τύλωσης σε αγγεία πλατύφυλλων αποτελούν παράγοντες που δυσκολεύουν την κίνηση των υγρών μέσα στο ξύλο (Σχ.2.5). Άλλα χαρακτηριστικά δομής που έχουν σχέση με την κίνηση των υγρών στο ξύλο ζωντανών δέντρων και στο ξύλο σαν υλικό είναι οι ρητινοφόροι αγωγοί ορισμένων κωνοφόρων και ο βαθμός απόφραξης τους με τυλωσοειδή, οι ίνες πλατύφυλλων (έχουν μικρή σημασία στην κίνηση των υγρών), τα παρεγχυματικά κύτταρα, το εγκάρδιο ξύλο, κ.ά. Η διαδικασία απόφραξης των αλωφόρων βοθρίων των κωνοφόρων και η επίδραση αυτής της απόφραξης και των άλλων χαρακτηριστικών δομής στην κίνηση των υγρών μέσα στο ξύλο αναλύονται σε επόμενα κεφάλαια.

### 3. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι σπουδαιότερες ιδιότητες του ξύλου που έχουν σχέση με την προστασία, βελτίωση, συντήρηση, εμποτισμό, κλπ. του ξύλου είναι η φυσική αντοχή του (natural durability), το πορώδες (porosity), η διαπερατότητά του (permeability) και η υγροσκοπικότητά του (hygroscopicity).



Σχ. 2.4 . Τύποι βοθρίων σε κω-  
νοφόρα (Α,Γ,Δ) και πλατύφυλλα  
(Β,Γ,Δ) σε εγκάρσια ή εφαπτο-  
μενική τομή (1. στόμιο, 2. βο-  
θριακή κοιλότητα, 3. άβακας,  
4. μεμβράνη, 5. τριχοειδή  
μεμβράνης, 6. δευτερογενές  
τοιχώμα, 7. πρωτογενές τοίχω-  
μα, 8. μεσοκυττάρια στρώση).



Σχ. 2.5 . Δίοδοι υγρών σε κω-  
νοφόρα (Α) και πλατύφυλλα (Β)  
και επίδραση της απόφραξης  
των αλωφόρων βοθρίων (στα κω-  
νοφόρα) και της τύλωσης (στα  
πλατύφυλλα) στην κίνηση των  
υγρών (Από Wilkinson, 1979-  
διασκευή).

### 3.1. Φυσική αντοχή

Η σχέση της φυσικής αντοχής του ξύλου με τη διάρκειά του όταν βρίσκεται σε υπηρεσία ήταν γνωστή από την αρχαιότητα. Για παράδειγμα, ο θεόφραστος (300 π.χ.) αναγνώριζε ότι το ξύλο της αρκεύθου είναι ανθεκτικό και ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατασκευές που εκτίθενται στην ατμόσφαιρα ή που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος γιατί δεν σαπίζει εύκολα.

Το ξύλο διαφόρων δασικών δέντρων αποτελεί βασική ύλη για μεγάλο αριθμό προϊόντων. Οι συνθήκες χρησιμοποίησής αυτών των προϊόντων διαφέρει. Το είδος του ξύλου και οι συνθήκες χρησιμοποίησής του καθορίζουν τη χρονική διάρκεια κατά την οποία το ξύλο προσφέρει ικανοποιητικά μία συγκεκριμένη υπηρεσία. Μεταξύ των ειδών ξύλου υπάρχουν μεγάλες διαφορές ως προς τη φυσική αντοχή ή διάρκειά του (natural durability), δηλαδή ως προς το χρόνο κατά τον οποίο διατηρεί την αξία χρήσης του χωρίς προστατευτικό εμπότισμό. Το ξύλο μπορεί να αλλοιωθεί και να καταστραφεί μετά από προσβολές μυκήτων, εντόμων και θαλασσινών οργανισμών αλλά ορισμένα είδη ξύλου παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση στις παραπάνω προσβολές από άλλα κάτω από ίδιες συνθήκες. Η έννοια της φυσικής αντοχής αναφέρεται κυρίως στην αντίσταση που προβάλλουν τα διάφορα ξύλα σε σηπτικούς μύκητες όταν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος. Με βάση τη φυσική αντοχή του εγκάρδιου ξύλου διαφόρων ειδών από προσβολές μυκήτων όταν βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος διακρίνονται πέντε κατηγορίες:

Ξύλα όχι ανθεκτικά: Οξιό, λεύκη, σημύδα, σκλήερο, ιπποκαστανιά, ιτιά, φράξος, φιλύρα, Ramín, Baísa, Ceiba, κ.ά. και το σομφό ξύλο των περισσότερων ειδών (διάρκεια < 5 χρόνια).

Ξύλα λίγο ανθεκτικά: Δασική πεύκη, μαύρη πεύκη, ελάτη, ερυθρελάτη, φτελιά, σφενδάμι, πλάτανος, γαύρος, Afara, Anodine, White seraya, Abura, Obèche (διάρκεια 5-10 χρόνια).

Μέτρια ανθεκτικά: Καρυδιά, ψευδοτσούγκα, λάριξ, αφρικανικό μασόνι, Tíapa, Sapele (διάρκεια 10-15 χρόνια).

Ανθεκτικά: Δρύς, καστανιά, ακακία, ελιά, Agba, Idigba, Dark-red meranti, Utile, Nianzon, Kanji, μασόνι Αμερικής, Bahoma, Kempas (διάρκεια 15-25 χρόνια).

Πολύ ανθεκτικά: Ίταμος, Άρκευθος, Iroko, Teak, Afrormosia, Afzelia, Opepe, Guarea, Ekki, Makore, Radauk, Mansonia (διάρκεια > 25 χρόνια).

Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν αξιολογημένες διαφορές ως προς τη φυσική αντοχή στο ίδιο είδος ξύλου όχι μόνο μεταξύ σομφού και εγκάρδιου αλλά και

στο ίδιο το εγκάρδιο ξύλο γι' αυτό η κατάταξή του μπορεί να γίνει άλλοτε σε ανώτερη και άλλοτε σε κατώτερη κατηγορία φυσικής αντοχής.

Το σομφό ξύλο είναι πίο ευπαθές και σε προσβολές από έντομα. Ανθεκτικά σε προσβολές από έντομα θεωρούνται τα είδη κυπαρίσσι, ίταμος, κέδρος, μαόνι Αμερικής, Teak, Azobe κ.ά., λιγότερο ανθεκτικά ακακία, καστανιά, καρυδιά, ελιά, φτελιά, ευκάλυπτος, φράζος, Makore, μαόνι Αφρικής, Padouk, Palissander, Sapete, κ.ά. και όχι ανθεκτικά πεύκη, ελάτη, ερυθρελάτη, ορισμένα είδη δρυός, γαύρος, πλάτανος, οξιά, λεύκη, Afara, Okoume, Ramie, Samba κ.ά.

Στις τροπικές χώρες οι ζημιές από τα έντομα σε ξυλεία και ξύλινες κατασκευές είναι πολύ μεγάλες ενώ στην εύκρατη ζώνη οι ζημιές που προκαλούνται από μύκητες είναι μεγαλύτερες σε σύγκριση με εκείνες των ξυλοφάγων εντόμων.

Είναι ευνόητο ότι οι συνθήκες χρησιμοποίησης του ξύλου διαφέρουν. Το ξύλο κατά την διάρκεια υπηρεσίας του μπορεί να βρίσκεται σε συνεχή επαφή με υγρό έδαφος ή νερό. Κάτω από τέτοιες συνθήκες υπάρχει μεγάλος κίνδυνος προσβολών. Είναι δυνατό όμως το ξύλο να μην έρχεται σε επαφή με το έδαφος ή το νερό αλλά να δέχεται την επίδραση κλιματικών παραγόντων (π.χ. βροχή, χιόνι, θερμότητα, φως, άνεμος, κλπ.). Ο κίνδυνος προσβολών από μύκητες υπάρχει και στην περίπτωση αυτή αλλά είναι συγκριτικά μικρότερος. Ξύλινες κατασκευές σε εσωτερικούς χώρους δεν κινδυνεύουν από μυκητικές προσβολές εκτός αν υπάρχει υψηλή σχετική υγρασία και γίνεται συμπύκνωση υδρατμών ή γίνεται ύγραση του ξύλου. Κίνδυνος από ξυλοφάγα έντομα πάντως υπάρχει και σε εσωτερικούς χώρους. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι ξύλα με μικρή φυσική αντοχή μπορούν να διαρκέσουν, κάτω από ευνοϊκές συνθήκες χρησιμοποίησης, περισσότερο από άλλα ξύλα που χρησιμοποιούνται σε δύσκολες συνθήκες. Σύγκριση φυσικής αντοχής μεταξύ διαφόρων ειδών ξύλου μπορεί να γίνει μόνο κάτω από ίδιες συνθήκες χρησιμοποίησης.

Σχετικά με τις συνθήκες χρησιμοποίησης του ξύλου μπορεί να γίνει η παρακάτω διάκριση κατηγοριών:

1. Ξύλινες κατασκευές σε επαφή με το έδαφος, μερικό ή ολικό ή σε υγρές συνθήκες (κατωτήρες σιδηροδρομικών σιλόων, ΟΤΕ και ΔΕΗ, πάσσαλοι, γέφυρες, υποστηρίγματα, ξυλεία μεταλλικών, ξύλινα μεσα θερμοκηπίων, κατασκευές σε μη αεριζόμενους και υγράους χώρους, κ.ά.).
2. Ξύλινες κατασκευές σε επαφή με θαλασσινό νερό μερικό ή ολικό (υποστηρίγματα αποβάρων, βαρικές ή πλοία που μένουν για πολύ μέσα στη θάλασσα, αποθήκευμένα ξυλεία στη θάλασσα).

3. Εξωτερικές και ημιεξωτερικές ξύλινες κατασκευές που δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, αλλά δέχονται την επίδραση φυσικών παραγόντων όπως βροχή, χιόνι, ηλιακό φως, άνεμος, θερμότητα (εξωτερικές επενδύσεις, εξωτερικές πόρτες και παράθυρα, εξωτερικά μέρη ξύλινων σπιτιών, κάγκελα μπαλκονιών, εξωτερικές σκάλες, κιβώτια, κυψέλες, κ.ά.).
4. Ξύλινες κατασκευές εσωτερικών χώρων (έπιπλα, γραφεία, ντουλάπες, έργα τέχνης, κορνίζες, εσωτερικές επενδύσεις, δάπεδα, μουσικά όργανα, στέγες, οροφές, εσωτερικές σκάλες και κάγκελα, κατασκευές σε εσωτερικούς χώρους αθλητικών εγκαταστάσεων, εκκλησιών, συγκοινωνιακών μέσων, κ.ά.).

Οι κατασκευές της πρώτης κατηγορίας κινδυνεύουν κυρίως από μύκητες ιδιαίτερα στα μέρη του ξύλου που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος και λίγα εκατοστά κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Τα ξύλινα μέρη που δεν καλύπτονται από το έδαφος δέχονται ισχυρές επιδράσεις φυσικών παραγόντων (π.χ. υπέργεια μέρη στύλων, πασσάλων, κλπ.), μηχανικών παραγόντων όπως ισχυρές φορτίσεις σε στρωτήρες, γέφυρες, κ.ά.

Κατασκευές που βρίσκονται μερικά ή ολικά σε επαφή με θαλασσινό νερό μπορούν να προσβληθούν από θαλάσσιους οργανισμούς αλλά και από μύκητες.

Στις εξωτερικές και ημιεξωτερικές κατασκευές ο κίνδυνος αλλοίωσης του ξύλου προέρχεται κυρίως από την επίδραση φυσικών παραγόντων (ιδιαίτερα του νερού και της υπερκύανης ακτινοβολίας του ήλιου) αλλά και από μύκητες και έντομα.

Τέλος, ξύλινες κατασκευές εσωτερικών χώρων (ιδιαίτερα κατοικημένων) κινδυνεύουν κυρίως από ξυλοφάγα έντομα. Σε περιπτώσεις που οι κατασκευές αυτές υγραίνονται (π.χ. έπιπλα κουζίνας από συμπύκνωση υδρατμών, δάπεδα που υγραίνονται συχνά με νερό, κλπ.) μπορούν να προσβληθούν και από μύκητες.

Η φυσική αντοχή (ή διάρκεια) του ξύλου εξαρτάται από: (α) τις συνθήκες χρησιμοποίησης του ξύλου, όπως αναλύθηκε παραπάνω, και (β) την ποσότητα και το είδος των εκχυλισμάτων που περιέχονται στο ξύλο.

Τα εκχυλίσματα μπορούν να θεωρηθούν φυσικές συντηρητικές ουσίες του ξύλου που το προστατεύουν σημαντικά από προσβολές διαφόρων οργανισμών. Η παρουσία εκχυλισμάτων δίνει σκοτεινότερο χρώμα στο ξύλο πράγμα που μπορεί να χρησιμεύσει σαν πρακτικός οδηγός της φυσικής αντοχής του ξύλου. Γενικά, ισχύει



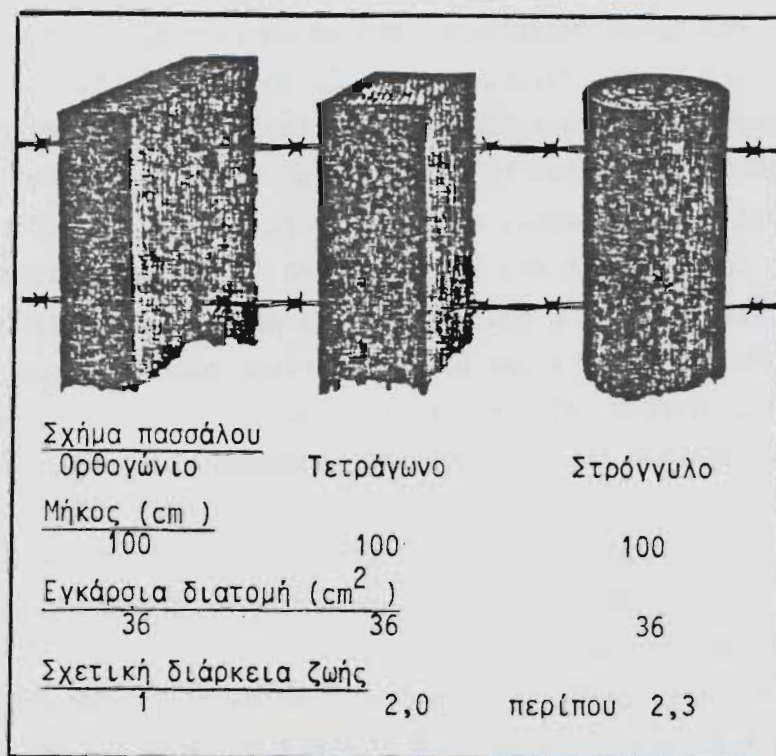
ότι ξύλα με σκοτεινότερο χρώμα είναι ανθεκτικότερα σε προσβολές από άλλα ξύλα ανοιχτότερου χρώματος. Κατά τον σχηματισμό του εγκάρδιου ξύλου, εκτός των άλλων μεταβολών, γίνεται και απόθεση πολλών εκχυλισμάτων τα οποία δίνουν σκοτεινότερο χρώμα στο εγκάρδιο ξύλο και το κάνουν ανθεκτικότερο σε προσβολές. Το σομφό ξύλο όλων σχεδόν των ειδών ξύλου είναι ευπαθές σε προσβολές και αυτό αποδίδεται στην έλλειψη πολλών εκχυλισμάτων. Επίσης, το σομφό ξύλο περιέχει ουσίες που είναι διαθέσιμες στους μύκητες (π.χ. άμυλο). Ευπαθές σε προσβολές γίνεται και το εγκάρδιο ξύλο όταν απομακρυνθούν τα εκχυλίσματά του. Προκύπτει λοιπόν ότι η παρουσία ή η απουσία εκχυλισμάτων από το ξύλο καθορίζει το βαθμό της φυσικής αντοχής του.

Ένα μέρος των εκχυλισμάτων που περιέχονται στο ξύλο είναι διαλυτά στο νερό και μπορούν βαθμιαία να απομακρυνθούν όταν το ξύλο δέχεται την επίδραση της βροχής και οι διαστάσεις του είναι μικρές. Η απομάκρυνση αυτή των εκχυλισμάτων ασφαλώς ελαττώνει τη φυσική αντοχή του ξύλου. Τα υπόλοιπα εκχυλίσματα είναι αδιάλυτα στο νερό αλλά διαλυτά σε διάφορους οργανικούς διαλύτες.

Η διάρκεια του ξύλου μπορεί να επηρεασθεί και από τις διαστάσεις και τη μορφή του σχήματος του ξύλου. Αν υποθεθεί ότι πρόκειται για ξύλα ίδιας φυσικής αντοχής, οι συνθήκες χρησιμοποίησης είναι ίδιες και ότι η προσβολή αρχίζει από την εξωτερική επιφάνεια του ξύλου και προχωρεί προς το εσωτερικό με τον ίδιο ρυθμό, τότε:

- (α) ξύλα μεγαλύτερων διαστάσεων παρουσιάζουν μεγαλύτερη διάρκεια
- (β) ξύλα με ίδιο όγκο αλλά με διατομές διαφορετικού σχήματος δεν παρουσιάζουν ίδια διάρκεια. Μεγαλύτερη διάρκεια παρουσιάζουν ξύλα με κυκλική διατομή, μικρότερη με τετράγωνη διατομή και ακόμη πιο μικρή με ορθογώνια διατομή (Σχ. 2.6).

Η πυκνότητα του ξύλου μπορεί επίσης να επηρεάσει τη φυσική αντοχή του ξύλου αλλά σε πολύ μικρό βαθμό. Παρά το γεγονός ότι η πυκνότητα είναι σημαντικός δείκτης για άλλες ιδιότητες του ξύλου (π.χ. ρίκνωση και διόγκωση, μηχανική αντοχή, κλπ.), στην περίπτωση της φυσικής αντοχής η οποία συνδέεται κυρίως με τη χημική σύσταση, έχει δευτερεύουσα σημασία. Έτσι, είναι δυνατό, ξύλα ελαφρότερα (π.χ. πεύκη) να έχουν μεγαλύτερη φυσική αντοχή από ορισμένα βαριά ξύλα όπως οξιά, σημύδα, σφενδάμι. Με την ίδια όμως περιεκτικότητα και ποιότητα εκχυλισμάτων και τις ίδιες συνθήκες προσβολής, βαρύτερα ξύλα διαρκούν σχετικά περισσότερο. Η μεγαλύτερη αυτή διάρκεια των βαρύτερων ξύλων αποδίδεται στο ότι χρειάζεται να καταναλωθεί περισσότερη ξυλώδης ύλη (δηλ. χρειάζεται περισσότερος χρόνος) και στην παρουσία μικρότερων ποσοτήτων οξυγόνου που είναι διαθέσιμες στους μύκητες (μικρότερο πορώδες του ξύλου σε συνδυασμό με την συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακος γύρω από τις υφές).



Σχ. 2.6 . Επίδραση του σχήματος του ξύλου στη διάρκεια ζωής πασσάλων (Από Wilkinson, 1979).

### 3.2. Πορώδες του ξύλου

#### 3.2.1. Γενικά

Το ξύλο δεν είναι συμπαγής μάζα αλλά πορώδης οργανική ύλη. Το ποσοστό των κενών χώρων, με βάση τον όγκο του ξύλου, ονομάζεται πορώδες. Διαφορές πορώδους μεταξύ των ειδών υπάρχουν μεγάλες και προέρχονται από την ποικιλία των τύπων των κυττάρων που συγκροτούν το ξύλο (τραχείδες, ίνες, μέλη αγγείων, παρεγχυματικά κύτταρα), την ποσοστική κατανομή τους, το πάχος των κυτταρικών τοιχωμάτων και το μέγεθος των κυτταρικών κοιλιοτήτων (βλ. Πίν. 2.2-2.6 και Σχ. 2.3). Το πορώδες κυμαίνεται από 95% για πολύ ελαφρά ξύλα ως 15% για πολύ βαριά. Αυτό σημαίνει ότι ένα πολύ ελαφρό ξύλο ξηρού όγκου 100 cm<sup>3</sup> έχει 95 cm<sup>3</sup> περίπου κενούς χώρους και ένα πολύ βαρύ ξύλο με ίδιο όγκο έχει 15 cm<sup>3</sup> περίπου κενούς χώρους.

Από τα παραπάνω είναι ευνόητο ότι το πορώδες - και ιδίως η φύση του πορώδους - επηρεάζει σημαντικά βασικές ιδιότητες του ξύλου, π.χ. υγρασκοπικότητα, πυκνότητα και επομένως διάφορες κατεργασίες του ξύλου όπως ξήρανση, εμποτισμό, πολτοποίηση, βαφή κ.ά. Ειδικότερα πρέπει να τονισθεί ότι στις κατεργασίες που σχετίζονται με έξοδο ή είσοδο υγρών (και αερίων) από τη μάζα του ξύλου η επίδραση της φύσης του πορώδους είναι αποφασιστική.

Το πορώδες του ξύλου αποτελείται από πολυάριθμα τριχοειδή διαφόρου σχήματος και μεγέθους που συνδέονται μεταξύ τους έτσι ώστε να σχηματίζουν μιά πολυσύνθετη πορώδη κατασκευή. Από την άποψη αυτή, δηλαδή της φύσης του πορώδους του ξύλου, το τόσο γνώριμο αυτό υλικό είναι μοναδικό. Έτσι η εφαρμογή φυσικών νόμων, σχετικών με την τριχοειδή κίνηση των ρευστών, είναι προβληματική στο ξύλο και μόνο ύστερα από κατάλληλες τροποποιήσεις είναι δυνατή η κατά προσέγγιση χρησιμοποίησή τους.

Το τριχοειδή του ξύλου είναι δυνατό να είναι ορατά με το μάτι ή με φακό χεριού (π.χ. αγγεία, αξονικοί ρητινοφόροι αγωγοί) και με απλό ή ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (π.χ. κοιλότητες τραχειδών, ινών και άλλων κυττάρων, στόμια, κοιλότητες και μεμβράνες βοθρίων, μεσοκυτάριοι χώροι κ.ά.). Συμπληρωματικά πιστεύεται ότι "μικρο-τριχοειδή", αόρατα με τις διαθέσιμες οπτικές μεθόδους, υπάρχουν και μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα του ξηρού ξύλου σε πολύ μικρό ποσοστό.

Από την άποψη της κινήσεως των διαφόρων ρευστών - περιλαμβανομένων των εμποτιστικών ουσιών - στο ζωντανό δένδρο ή σε ξύλο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, το μέγεθος και ο τρόπος επικοινωνίας των διαθεσίμων τριχοειδών στο συγκεκριμένο ξύλο έχουν πρωταρχική σημασία.

### 3.2.2. Κύριο τριχοειδές σύστημα του ξύλου (Gross porous structure of wood)

Το κύριο τριχοειδές σύστημα του ξύλου αποτελείται από όλα τα τριχοειδή (capillaries) που είναι ορατά είτε μακροσκοπικά είτε μικροσκοπικά και υπομικροσκοπικά. Μικροτριχοειδή (microvoids) επομένως που τυχόν υπάρχουν στα κυτταρικά τοιχώματα δεν περιλαμβάνονται στο κύριο τριχοειδές σύστημα μιά και δεν είναι ορατά με τα διαθέσιμα οπτικά μέσα. Το πορώδες των κυτταρικών τοιχωμάτων θα εξεταστεί παρακάτω (βλ. κεφ.3.2.3).

Είναι φανερό ότι το ξύλο παρουσιάζει μεγάλη διαφοροποίηση ως προς το μέγεθος των τοιχοειδών. Επίσης, υπάρχουν σημαντικές διαφορές ως προς τον τρόπο επικοινωνίας των τριχοειδών. Τέτοιες διαφορές εμφανίζονται κυρίως μεταξύ των δύο βασικών κατηγοριών ξύλου, δηλαδή μεταξύ των κωνοφόρων και των πλατυφύλλων. Είναι σκόπιμο λοιπόν, η πορώδης κατασκευή των κωνοφόρων να εξεταστεί ξεχωριστά από εκείνη των πλατυφύλλων.

3.2.2.1. Κωνοφόρα

3.2.2.1.1. Φύση των τριχοειδών και τρόπος σύνδεσής τους

Τα τριχοειδή στο κανονικό ξύλο των κωνοφόρων αποτελούν:

- α. οι κυτταρικές κυλότητες των κυττάρων που συγκροτούν το ξύλο των κωνοφόρων, δηλαδή των τραχειϊδών (αξονικών και ακτινικών) και των παρεγχυματικών κυττάρων.
- β. οι θέσεις των βοθρίων και συγκεκριμένα τα στόμια και οι κοιλοότητες των βοθρίων και τα τριχοειδή των μεμβρανών των βοθρίων.
- γ. Τυχόν ρητινοφόροι αγωγοί και μεσοκυττάριοι χώροι.

Το σχήμα των παραπάνω τριχοειδών καθορίζεται από τον τύπο των κυττάρων, βοθρίων και άλλων αγωγών (βλ. Σχ. 2.2-2.5). Οι χώροι των κοιλοτήτων των τραχειϊδών έχουν τετραγωνική, ορθογώνια ή πολυγωνική διατομή και με οξεία (όψιμο ξύλο) ή αποστρογγυλωμένα (πρώιμο ξύλο) άκρα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι κυτταρικές κοιλοότητες των αξονικών τραχειϊδών αποτελούν και τον κύριο όγκο του πορώδους των κωνοφόρων γιατί το ποσοστό συμμετοχής των κυττάρων αυτών στη συγκρότηση του ξύλου είναι πολύ μεγάλος (90-95% περίπου) και παρουσιάζει μικρές διαφορές μεταξύ κωνοφόρων ειδών (βλ. Πίνακα 2.3 ).

Πίνακας 2.3 . Ποσοστό συμμετοχής κυττάρων στη συγκρότηση ξύλου κωνοφόρων (Από Petric/Scukanek, 1973).

Είδος	Ποσοστό κυττάρων, % του συνολικού όγκου του ξύλου				
	Αξονικές Τραχειίδες	Ακτίνες (συνολικός όγκος)	Ακτίνες (σύνθετες)	Αξονικοί ρητ. αγωγοί	Αξονικό παρέγχυμα
<i>Abies alba</i>	92,6	7,45	-	-	-
<i>Pinus nigra</i>	94,1	5,49	0,76	0,38	-
<i>Pinus sylvestris</i>	93,0	6,41	0,93	0,58	-
<i>Picea abies</i>	94,1	5,95	0,77	0,14	-
<i>Larix decidua</i>	93,4	6,13	0,66	0,42	-
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	92,4	7,22	0,84	0,35	-
<i>Cupressus sempervirens</i>	94,2	5,58	-	-	0,20
<i>Juniperus excelsa</i>	91,5	8,26	-	-	0,26

Οι χώροι των κοιλοτήτων των βοθρίων εμφανίζονται συνήθως σαν κόλουροι κώνοι (αλωφόρα βοθρία) ή είναι κυλινδρόμορφοι (απλά βοθρία). Ό,τι δεν καταλαμβάνεται από κυτταρικά τοιχώματα ή τη μεσοκυττάρια στρώση στο ξύλο

αποτελεί χώρο που μπορεί να είναι διαθέσιμος για την κίνηση υγρών και αερίων μέσα στη μάζα του ξύλου.

Η σύνδεση των μεγαλύτερων πόρων (κυτταρικές κοιλότητες αξονικών τραχειϊδών) γίνεται με τις τοπικές ασυνέχειες του δευτερογενούς τοιχώματος των κυττάρων, τα βοθρία. Οι μεμβράνες των βοθρίων των τραχειϊδών είναι χαρακτηριστικές. Φέρουν άβακα στο μέσο που είναι αδιαπέρατος στα υγρά αλλά, όπως επανειλημμένα έχει αποδειχθεί μικροσκοπικά, στις παρυφές εμφανίζονται διάτρητες (Σχ.2.4). Τα τριχοειδή αυτά των μεμβρανών είναι πολυάριθμα, διαφορετικού μεγέθους, ακόμη και στο ίδιο βοθρίο, μικρού μήκους και πλάτους (κατά την διεύθυνση κινήσεως των υγρών) και με τη μεγαλύτερη διάσταση τους συνήθως κατά την διεύθυνση άβακα -περιφέρειας.

Έχει αποδειχθεί ότι ο ρόλος των αλωφόρων βοθρίων στη διαπερατότητα του ξύλου κωνοφόρων είναι σημαντικός. Όταν ένα υγρό κινείται μέσα το ξύλο κατά την αξονική διεύθυνση, αυτό διέρχεται μέσω των κυτταρικών κοιλοτήτων των τραχειϊδών, των στομιών και των κοιλοτήτων των βοθρίων και των τριχοειδών των μεμβρανών των βοθρίων. Τέτοια τριχοειδή δεν έχουν παρατηρηθεί σε απλά και σε ημιαλωφόρα βοθρία.

Σε ορισμένα κωνοφόρα (πέυκη, ερυθρελάτη, λάριξ, ψευδοτσούγκα) πέρα από το τριχοειδές σύστημα "κυτταρικές κοιλότητες - βοθρία" υπάρχει και ένα ανεξάρτητο τριχοειδές σύστημα από ρητινοφόρους αγωγούς οι οποίοι έχουν κυλινδρικόμορφο σχήμα. Αξονικοί ρητινοφόροι αγωγοί συνδέονται με ακτινικούς και σχηματίζουν μια ιδιαίτερη πορώδη κατασκευή μέσα στο ξύλο για την κίνηση της ρητίνης στα ζωντανά δένδρα των δασοπονικών αυτών ειδών. Τριχοειδή που προέρχονται από τυχόν μεσοκυττάριους χώρους είναι μάλλον απομονωμένα από τα παραπάνω τριχοειδή συστήματα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η φύση της πορώδους κατασκευής μεταβάλλεται όταν το δένδρο κοπεί και το ξύλο ξηραθεί. Αν εξαιρέσουμε τις κυτταρικές κοιλότητες που μένουν σχεδόν αμετάβλητες σε μέγεθος σε μια κανονική ξήρανση, στα βοθρία γίνονται σημαντικές αλλαγές. Κάτω από το όριο κορεσμού ινών (fiber saturation point) τα περισσότερα στόμια βοθρίων αποφράσσονται (απόφραξη βοθρίων, pit aspiration) κι έτσι οι δίοδοι επικοινωνίας μεταξύ των τραχειϊδών περιορίζονται σε αριθμό (βλ. Σχ.2.5Α). Έχει πιστοποιηθεί ότι ο αριθμός των βοθρίων που αποφράσσονται είναι πολύ μεγαλύτερος στο πρώιμο από ότι στο όψιμο ξύλο. Στην πέυκη (μαύρη και δασική) έχει υπολογισθεί ότι κάτω του ορίου κορεσμού ινών μόνο 1-2% των βοθρίων δεν αποφράσσονται στο πρώιμο ξύλο ενώ στο όψιμο ξύλο το ποσοστό των μη αποφραγμένων βοθρίων ανέρχεται σε 30-40%. Το φαινόμενο της απόφραξης των αλωφόρων βοθρίων των κωνοφόρων και ο ρόλος του στην διαπερατότητα του

ξύλου θα εξετασθούν σε επόμενο κεφάλαιο.

### 3.2.2.1.2. Διαστάσεις τριχοειδών

Από μικροσκοπικές παρατηρήσεις η μέση διάμετρος των κυτταρικών κοιλοτήτων των τραχειδών κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 25-45 μ. Σημαντικές διαφορές υπάρχουν μεταξύ πρώιμου και όψιμου ξύλου και μεταξύ ακτινικών και εφαπτομενικών διαστάσεων των τραχειδών κυρίως στο όψιμο ξύλο (Πίν.2.4).

Πίνακας 2.4 . Εγκάρσιες διαστάσεις (ακτινική, εφαπτομενική) τραχειδών πρώιμου και όψιμου ξύλου κωνοφόρων (μέσοι όροι) - Από διάφορες πηγές

Είδος	Πρώιμο		Όψιμο	
	Ακτινική, μμ	Εφαπτομενική, μμ	Ακτινική, μμ	Εφαπτομενική, μμ
<i>Sequoia sempervirens</i>	56,6	39,8	25,5	39,9
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	48,1	37,2	24,8	33,1
<i>Pinus silvestris</i>	30,2	25,3	20,8	23,5
<i>Picea abies</i>	39,3	32,7	13,1	32,1

Ένα ενδεικτικό παράδειγμα διαστάσεων τριχοειδών σε σύγκριση και με διαστάσεις άλλων κυτταρικών χαρακτηριστικών στα κωνοφόρα δίνεται στον Πίνακα 2.5.

Μικροσκοπικές παρατηρήσεις είναι περισσότερο ακριβείς αλλά άλλες μέθοδοι είναι πιο κατάλληλες στο να δώσουν πληροφορίες σχετικές με την κατανομή των πόρων ή των πόρων που είναι αγωγοί στην κίνηση των υγρών στο ξύλο. Με το υδραργυρικό ποροσίμετρο π.χ. έγινε κατορθωτή η ταξινόμηση των πόρων σε κωνοφόρα ανάλογα με τη διάμετρο τους και βρέθηκε ότι πόροι διαμέτρου από 17-32 μ αποτελούν το 75% των κενών χώρων (Σχ.2.7). Στο Σχ.2.7 φαίνεται ακόμη η μεταβλητότητα του μεγέθους των τριχοειδών στην πορώδη κατασκευή του ξύλου. Μικροί πόροι αντιστοιχούν σε στόμια βοθρίων ή κοιλοτήτων βοθρίων και τριχοειδών μεμβρανών των βοθρίων. Ορισμένοι μεγάλοι πόροι αντιστοιχούν σε ρητινοφόρους αγωγούς.

### 3.2.2.2. Πλατύφυλλα

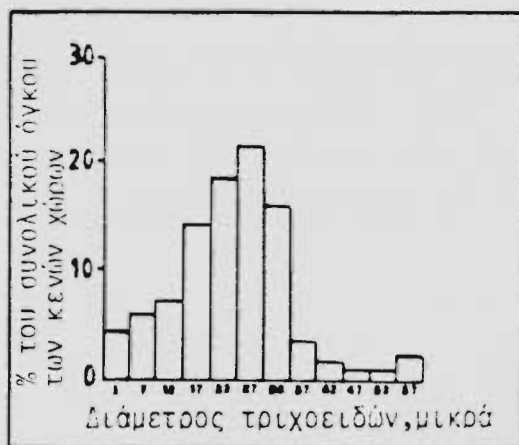
#### 3.2.2.2.1. Φύση των τριχοειδών και τρόπος σύνδεσής τους

Το πορώδες των πλατυφύλλων αποτελείται από τα ακόλουθα τριχοειδή:

- α. Κυτταρικές κοιλοότητες των μελών αγγείων, ινών και παρεγχυματικών κυττάρων

Πίνακας 2.5 . Διαστάσεις τριχοειδών και άλλων κυτταρικών χαρακτηριστικών σε κωνοφόρα

Χαρακτηριστικό κυττάρου	Τριχοειδές	Διάσταση, μμ
Μήκος αξονικής τραχειίδας		3.500
Διάμετρος τραχειίδας		33
Πάχος διπλού κυτταρικού τοιχώματος (όψιμο ξύλο)		10
Διάμετρος κυτταρικής κοιλότητας	✓	20-30
Πάχος μεσοκυτταρίου στρώσεως (όψιμο ξύλο)		1-4
Πάχος πρωτογενούς τοιχώματος		0,1
Πάχος S <sub>1</sub> στρώσης (όψιμο ξύλο)		1
Πάχος S <sub>2</sub> στρώσης (όψιμο ξύλο)		4-10
Πάχος S <sub>3</sub> στρώσης (όψιμο ξύλο)		1
Διάμετρος βοθριακών κοιλοτήτων (σε αλωφόρα βοθρία)	✓	6-30
Ισοδύναμη ακτίνα τριχοειδών μεμβράνης	✓	0,01-0,4
Ρητινοφόροι αγωγοί		
-αξονικοί	✓	150-200
-ακτινικοί	✓	80
Στόμια βοθρίων	✓	3-5



Σχ. 2.7. Κατανομή μεγέθους τριχοειδών σε κωνοφόρα ξύλα (μέσοι όροι από τα είδη *Pinus taeda*, *Picea engelmannii*, *Chamaecyparis lawsoniana*).  
(Από Stayton/Hart, 1965-διασκευή)

β. Διατρήσεις (μονές, πολλαπλές, κυκλικές, κλιμακοειδείς, κ.λ.π.) των κοινών τοιχωμάτων των μελών αγγείων.

γ. Θέσεις βοθρίων και συγκεκριμένα τα στόμια και οι κοιλότητες βοθρίων. Τριχοειδή στις μεμβράνες των βοθρίων των πλατυφύλλων δεν έχουν παρατηρηθεί ούτε με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

δ. Λοιποί χώροι (τυχόν μεσοκυττάριοι χώροι, κομμοφόροι αγωγοί).

Το πορώδες των πλατυφύλλων είναι περισσότερο πολύπλοκο από εκείνο των κωνοφόρων και οφείλεται στο γεγονός ότι συμμετέχουν περισσότεροι τύποι κυττάρων στη συγκρότηση του ξύλου με σημαντικές διαφορές στις διαστάσεις τους και στο ποσοστό συμμετοχής των κυττάρων (μέλη αγγείων, ίνες, παρεγχυματικά κύτταρα ακτίνων, αξονικό παρέγχυμα) μεταξύ των ειδών. Ο Πίνακας 2.6 δείχνει μεγάλες διαφορές στο ποσοστό συμμετοχής των διαφόρων τύπων κυττάρων στη συγκρότηση του ξύλου μεταξύ πλατυφύλλων ειδών σε αντίθεση με τα κωνοφόρα όπου η συμμετοχή των αξονικών τραχειϊδών κυριαρχεί με σταθερό σχεδόν ποσοστό 90-95% (βλ. Πίν.2.6 ).

Πίνακας 2.6 . Ποσοστό συμμετοχής κυττάρων στη συγκρότηση ξύλου πλατυφύλλων (Από Panshin/de Zeeuw, 1980).

Είδος	Ποσοστό κυττάρων % του συνολικού όγκου του ξύλου			
	Αγγεία	Ίνες	Ακτίνες	Αξονικό παρέγχυμα
<i>Populus deltoides</i>	33,0	53,1	13,7	0,2
<i>Salix nigra</i>	38,1	54,4	7,4	0,1
<i>Acer saccharinum</i>	21,4	68,0	13,3	0,1
<i>Platanus occidentalis</i>	51,9	28,9	19,2	-
<i>Fagus grandifolia</i>	21,4	56,7	20,4	-
<i>Tilia americana</i>	55,6	36,1	6,1	2,2
<i>Robinia pseudoacacia</i>	14,8	57,9	20,9	6,4
<i>Quercus rubra</i>	21,6	43,5	21,4	13,5
<i>Ulmus americana</i>	48,0	34,7	11,3	6,0

Τα αγγεία ή πόροι (μέλη αγγείων συνδεδεμένα κατά μήκος) έχουν λεπτά τοιχώματα, συνήθως κυκλική διατομή και μεγάλη διάμετρο κυτταρικών κοιλοτήτων σε αντίθεση με τις ίνες όπου οι κυτταρικές κοιλότητες περιορίζονται πολύ (παχιά κυτταρικά τοιχώματα) και η διατομή τους μπορεί να έχει κυκλικό, ορθογώνιο, τριγωνικό, πολυγωνικό ή ακανόνιστο σχήμα.

Σύνδεση των κυτταρικών κοιλοτήτων γίνεται, όπως και στα κωνοφόρα, με τα βοθρία. Τα αγγεία φέρουν αλωφόρα βοθρία και οι ίνες απλά (βιβλιομορ-



φοι ίνες) ή αλωφόρα (ινοτραχειίδες). Τα παρεγχυματικά κύτταρα φέρουν, όπως και στα κωνοφόρα, απλά βοθρία. Χαρακτηριστικά των πλατυφύλλων σε αντιπαράθεση με τα κωνοφόρα είναι ότι στα πρώτα δεν έχουμε παρουσία άβακα στα αλωφόρα βοθρία των κυττάρων (αγγείων και ινών) και ότι δεν έχουν παρατηρηθεί τριχοειδή με τις διαθέσιμες οπτικές μεθόδους (ακόμα και σε 100.000X). στις μεμβράνες των βοθρίων όλων των κυττάρων των πλατυφύλλων. Η έλλειψη αυτών των τριχοειδών στις μεμβράνες των βοθρίων των πλατυφύλλων οδηγεί στην παραδοχή ότι η μετακίνηση ρευστών από τη μία κοιλότητα στην άλλη γίνεται με διάχυση μάλλον παρά με την επίδραση τριχοειδών δυνάμεων. Από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω γίνεται φανερό ότι η απόφραξη των βοθρίων στα πλατύφυλλα (μετακίνηση της μεμβράνης στο ένα στόμιο του βοθρίου) δεν έχει τη σημασία που έχει στα κωνοφόρα από την άποψη της μετακίνησης των ρευστών μέσα στο ξύλο.

### 3.2.2.3. Μεταβολές του τριχοειδούς συστήματος κατά την ξήρανση

Κατά την ξήρανση του ξύλου παρατηρούνται μεταβολές στο μέγεθος και στη φύση του πορώδους. Οι μεταβολές αυτές αφορούν:

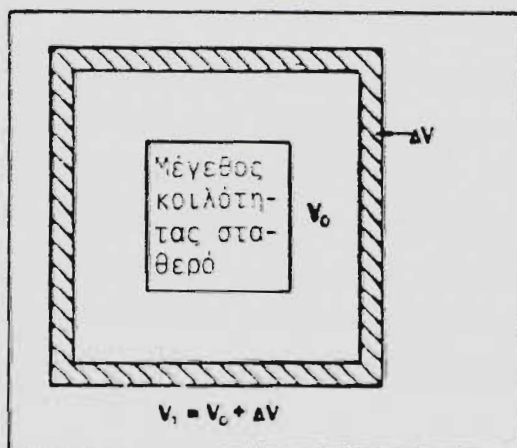
1. στη διαφοροποίηση υπαρχόντων κενών χώρων
2. στη δημιουργία νέων κενών χώρων που προέρχονται από εξωτερικές και εσωτερικές ραγαδώσεις και μικροραγαδώσεις λόγω ξήρανσης.

Οι μεταβολές των υπαρχόντων κενών αναφέρονται στις κυτταρικές κοιλότητες, βοθριακές κοιλότητες, και στα στόμια βοθρίων.

#### 3.2.2.3.1. Κυτταρικές κοιλότητες

Κατά την ρίκνωση και διόγκωση του ξύλου θεωρείται ότι οι κυτταρικές κοιλότητες δεν μεταβάλλονται σε όγκο. Έχουν πάντως μετρηθεί μικρές μεταβολές (αύξηση ή μείωση) στον όγκο των κυτταρικών κοιλοτήτων αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις η παραδοχή ότι "οι κυτταρικές κοιλότητες παραμένουν σταθερές" μπορεί, σαν γενικός κανόνας, να ισχύσει. Στην περίπτωση αυτή η διαφορά όγκου ενός δείγματος ξύλου είναι ίση με τον όγκο του νερού που προστίθεται ή αφαιρείται στα κυτταρικά τοιχώματα, δηλ.

$$V_1 = V_0 + \Delta V \text{ (Σχ. 2.8 )}.$$



Σχ. 2.8. Αύξηση όγκου ( $\Delta V$ ) των κυτταρικών τοιχωμάτων ενός κυττάρου σε εγκάρσια τομή λόγω διόγκωσης με την παραδοχή ότι το μέγεθος των κυτταρικών κοιλοτήτων παραμένει αμετάβλητο ( $V_0$ , Αρχικός όγκος,  $V_1$ , Τελικός όγκος).

(Από Siau, 1984)

Η περίπτωση της κατάρρευσης του ξύλου κατά την ξήρανση είναι ειδική περίπτωση κατά την οποία παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές του όγκου των κυτταρικών κοιλοτήτων.

### 3.2.2.3.2. Βοθρία

Οι μεταβολές του περώδους στην περιοχή των βοθρίων αφείλονται κυρίως στην απόφραξη των στομιών τους από μετακινήσεις των μεμβρανών τους που οφείλονται στην ξήρανση του ξύλου. Η απόφραξη αυτή των βοθρίων παίζει σημαντικό ρόλο σε πολλούς βελτιωτικούς χειρισμούς του ξύλου και γι' αυτό αναλύεται παρακάτω.

#### 3.2.2.3.1.1. Μηχανισμός απόφραξης αλωφόρων βοθρίων

Κατά την ξήρανση του ξύλου, οι μεμβράνες των βοθρίων μετακινούνται από το κέντρο των βοθριακών κοιλοτήτων προς τα τοιχώματα του βοθρίου και αποφράσσουν αποτελεσματικά τα στόμιά τους. Η απόφραξη αυτή των βοθρίων (pit aspiration) προκαλεί σημαντική μείωση της διαπερατότητας (permeability) του ξύλου και από την άποψη αυτή έχει μεγάλη πρακτική σημασία. Αρχικές παρατηρήσεις για την απόφραξη των βοθρίων στο σομό ξύλο ορισμένων κωνοφόρων έγιναν από τον Phillips (1933) που διατύπωσε τα εξής συμπεράσματα:

- (1) Σε χλωρό ξύλο είναι δυνατό να υπάρχουν αποφραγμένα βοθρία παρά την παρουσία αρκετού νερού στα τριχοειδή (free water).
- (2) Όταν το ξύλο ξηραίνεται ο αριθμός των αποφραγμένων βοθρίων αυξάνει βαθμιαία όσο πλησιάζουμε στο όριο κορεσμού ινών. Στο όριο αυτό όλα σχεδόν τα κύτταρα του πρώιμου ξύλου αποφράσσονται.
- (3) Ένα ποσοστό (30-40%) βοθρίων παραμένουν μη αποφραγμένα στο όψιμο ξύλο ξηρού ξύλου.

Ο μηχανισμός της αποφράξεως των βοθρίων δεν είναι εντελώς ξεκαθαρισμένος. Αναφέρονται τρεις παράγοντες που εμπλέκονται στην απόφραξη βοθρίων είτε ο καθένας χωριστά είτε σε συνδυασμό (Comstock και Cote, 1968).

Οι παράγοντες αυτοί είναι:

- (1) δυνάμεις επιφανειακής τάσης που τείνουν να φέρουν σε επαφή τον άβακα με τα τοιχώματα των βοθρίων.
- (2) μηχανική αντοχή (rigidity or stiffness) των μεμβρανών - δύναμη που αντιστέκεται στις δυνάμεις επιφανειακής τάσεως προερχόμενες από το υγρό που εξατμίζεται.
- (3) Δεσμός του άβακα με τα τοιχώματα των βοθρίων με τα οποία έρχεται σε επαφή.

Ο πρώτος παράγοντας, δυνάμεις επιφανειακής τάσης του εξατμιζόμενου υγρού, εξαρτάται κυρίως από την επιφανειακή τάση του υγρού και από το μέγεθος και σχήμα του στομίου του βοθρίου, βοθριακής κοιλότητας, άβακα και τριχοειδών της μεμβράνης. Οι Hart και Thomas (1967) περιγράφουν το

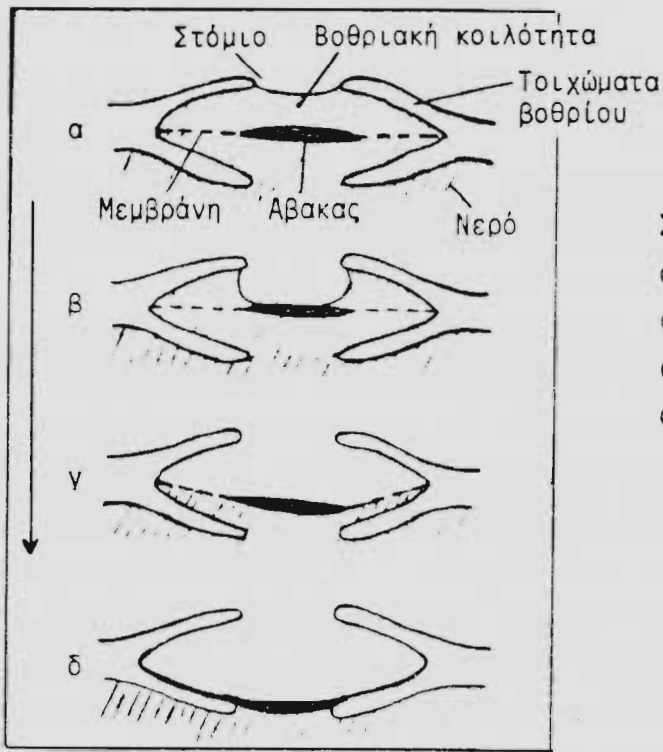
μηχανισμό σύμφωνα με τον οποίο οι τριχοειδείς δυνάμεις αποτελούν επαρκή πηγή για την ανάπτυξη τάσεων εφελκυσμού που προκαλούν απόφραξη των βοθρίων. Η μέγιστη τάση εφελκυσμού που ένα υγρό έχει την ικανότητα να αναπτύξει σε οποιοδήποτε στάδιο της απόφραξης μπορεί να υπολογισθεί όταν είναι γνωστά η επιφανειακή τάση και η γωνία επαφής του υγρού.

Οι Hart και Thomas (1967) διέκριναν τρεις περιπτώσεις απόφραξης βοθρίων που προκαλούνται από τριχοειδείς δυνάμεις (Σχ. 2.9-2.11). Η περίπτωση I (Σχ. 2.9) εμφανίζεται συνήθως σε ξύλο μεγάλης περιεχόμενης υγρασίας όπου μιά κυτταρική κοιλότητα είναι άδεια ενώ οι άλλες κοιλότητες είναι γεμάτες με νερό. Μπορεί επίσης να εμφανιστεί σε ξύλο που βρίσκεται στο όριο κορεσμού (30%) όταν - σπάνια - μιά κοιλότητα είναι γεμάτη με νερό και οι περισσότερες άδειες. Η περίπτωση II (Σχ. 2.10) εμφανίζεται σε ξύλο που βρίσκεται στο όριο κορεσμού ινών και παρουσιάζει περισσότερο ενδιαφέρον γιατί σ' αυτή την κατάσταση το φαινόμενο της απόφραξης είναι πιο έντονο (Phillips, 1933). Οι δύο παραπάνω περιπτώσεις μπορούν να εμφανίζονται είτε σε ζωντανά δένδρα ή σε ξύλο που έχει συγκομισθεί και κατεργασθεί. Η περίπτωση III σπάνια αφορά ξύλο συνηθισμένων διαστάσεων αλλά είναι συχνή σε εργαστηριακά δείγματα ξύλου όπου είναι επιθυμητό οι κομμένες επιφάνειες να εκθέτουν όλο το σύστημα των βοθρίων για παρατήρηση. (Σχ. 2.11).

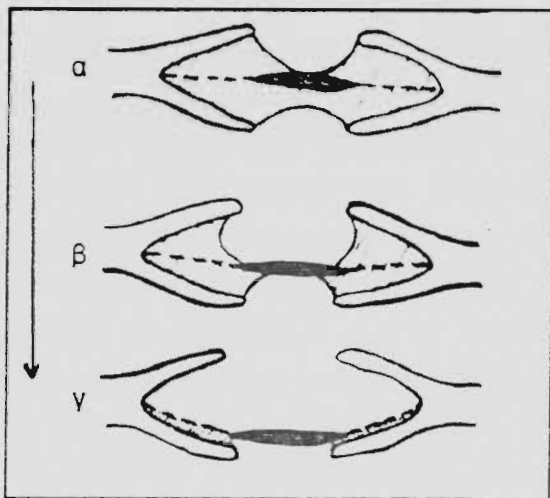
Η μηχανική αντοχή της μεμβράνης σε σχέση με τις δυνάμεις επιφανειακής τάσης καθορίζει εάν ο άβακας μετακινείται επαρκώς από την αρχική του θέση προς τα τοιχώματα του βοθρίου. Όσο πιο μεγάλη η μηχανική αντοχή της μεμβράνης είναι τόσο μεγαλύτερη δύναμη απαιτείται για την απόφραξη του βοθρίου. Βοθρία όψιμου ξύλου αποφράσσονται σε μικρότερο ποσοστό από εκείνα του πρώιμου ξύλου προφανώς γιατί τα βοθρία του όψιμου ξύλου είναι μικρότερα και έχουν παχύτερες και μεγαλύτερης μηχανικής αντοχής μεμβράνες. Επειδή το ξύλο εμφανίζει μεγαλύτερη αντοχή όσο η περιεχόμενη υγρασία του ελαττώνεται, αντικατάσταση του νερού από οργανικά υγρά που διολγκώνουν λιγότερο το ξύλο και στη συνέχεια ξήρανση του ξύλου μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα αύξηση της ελαστικότητας των μεμβρανών των βοθρίων και κατά συνέπεια μικρότερο ποσοστό αποφραγμένων βοθρίων.

Ο σχηματισμός δεσμών υδρογόνου μεταξύ μεμβρανών και βοθριακών τοιχωμάτων θεωρείται ότι παίζει πρωταρχικό ρόλο στην διατήρηση της απόφραξης. Οι Thomas και Kringstad (1971) προτείνουν ότι για να γίνει απόφραξη το εξετμιζόμενο υγρό πρέπει να έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

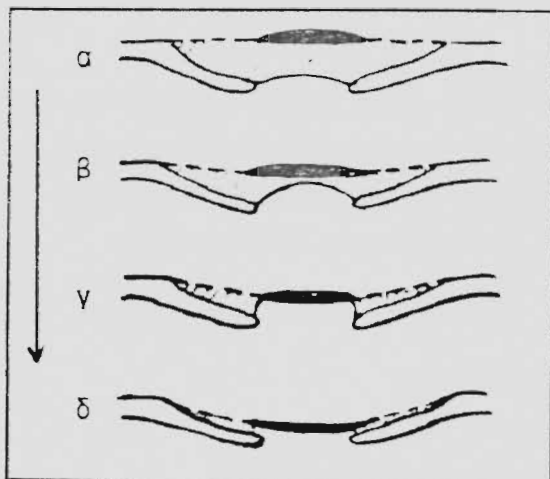
- (1) Δυνατότητα σχηματισμού δεσμών υδρογόνου και ιδιότητες δότη και αποδέκτη τέτοιων δεσμών.



Σχ.2.9 . Διαδοχικά στάδια απόφραξης αλωφόρου βοθρίου κωνοφόρων σε "κλειστό" σύστημα νερού χωρίς φυσαλίδες στη μια πλευρά και με μηνίσκο στην άλλη (Περίπτωση I).



Σχ.2.10. Πορεία απόφραξης αλωφόρου βοθρίου κωνοφόρων με μηνίσκο σε κάθε πλευρά. Απόφραξη γίνεται σ'εκείνη την πλευρά όπου το στόμιο του βοθρίου είναι μικρότερο ή η τάση ατμών χαμηλότερη (Περίπτωση II).



Σχ.2.11. Διαδοχικά στάδια απόφραξης αλωφόρου βοθρίου κωνοφόρων σε "ανοικτό" σύστημα νερού στη μια πλευρά και χωρίς τοιχώματα βοθρίου στην άλλη (Περίπτωση III).

(Από Hart/Thomas, 1967)

- (2) Δυνατότητα διογκώσεως του ξύλου σχεδόν ίσης ή και μεγαλύτερης εκείνης του νερού
- (3) Σχέση μεταξύ επιφανειακής τάσεως και γωνίας επαφής τέτοια ώστε η αρχική τριχοειδής δύναμη εφελκυσμού να είναι επαρκής για να αρχίσει μετακίνηση της μεμβράνης του βοθρίου.

Ο Πίν. 2.7 δείχνει τις ιδιότητες που αναφέρθηκαν σε σχέση με το φαινόμενο απόφραξης. Υγρά που είναι συγχρόνως δότες και αποδέκτες ριζών και διογκώνουν το ξύλο όσο σχεδόν και το νερό ή και περισσότερο προκαλούν απόφραξη των αλωφόρων βοθρίων κατά την εξάτμισή τους από το ξύλο. Τα -OH του ξύλου επιτρέπουν τη δημιουργία δεσμών υδρογόνου με το εξατμιζόμενο υγρό (π.χ. με -OH ή -NH) και μεταβιβάζουν τις τριχοειδείς δυνάμεις εφελκυσμού που χρειάζονται για την απόφραξη του βοθρίου. Τα -OH σχηματίζουν επίσης δεσμούς υδρογόνου μεταξύ των μεμβρανών των βοθρίων και των βοθριακών τοιχωμάτων που διατηρούν το βοθρίο στην κατάσταση απόφραξης. Το γεγονός ότι η μεθανόλη άλλοτε προκαλεί και άλλοτε όχι απόφραξη βοθρίων και η αιθανόλη και κελλοσόλβη δεν προκαλούν απόφραξη παρόλο που και τα τρία υγρά είναι και δότες και αποδέκτες δεσμών υδρογόνου και προκαλούν διόγκωση του ξύλου σε αρκετά μεγάλο βαθμό (όχι πάντως τόση όση το νερό) σημαίνει ότι, η αντοχή των δεσμών υδρογόνου μεταξύ των μορίων του υγρού και η διόγκωση αποτελούν αποφασιστικούς παράγοντες στην απόφραξη των βοθρίων. Άλλα υγρά, όπως η πυριδίνη, είναι μόνο αποδέκτες ριζών και ενώ σχηματίζουν γέφυρες υδρογόνου με τη μεμβράνη ή τα τοιχώματα βοθρίων δεν έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν τέτοιους δεσμούς μεταξύ των μορίων τους. Έτσι, αν και διογκώνουν το ξύλο περισσότερο από το νερό, αδυνατούν να φέρουν σε επαφή μεμβράνες με τα βοθριακά τοιχώματα για να γίνει απόφραξη. Ο μηχανισμός της "σύνδεσης" ("crosslink") μεταξύ μεμβράνης και τοιχωμάτων του βοθρίου φαίνεται στο Σχ.2.12 στην περίπτωση που το εξατμιζόμενο υγρό είναι νερό (Σχ.2.12Α) ή διαιθυλαμίνη (Σχ.2.12Β) Αντίθετα τέτοια "σύνδεση" δεν πετυχαίνεται με την πυριδίνη (Σχ. 2.12Γ).

Η επίδραση της επιφανειακής τάσης μόνης φαίνεται να είναι ασαφής (Πίν. 2.7). Οι τριχοειδείς δυνάμεις εφελκυσμού εξαρτώνται από την επιφανειακή τάση του υγρού αλλά και από τη γωνία επαφής του υγρού στα τοιχώματα του κυττάρου. Η εξάρτηση αυτή φαίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{2\gamma \cos\theta}{r}, \text{ όπου}$$

P=τριχοειδής δύναμη εφελκυσμού

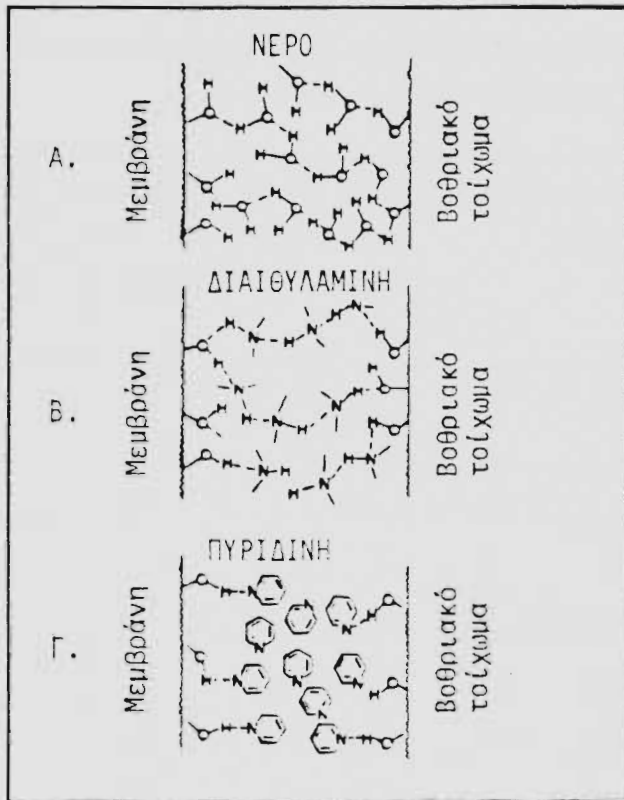
γ=επιφανειακή τάση υγρού

θ=γωνία επαφής του υγρού με τα τοιχώματα

r=ακτίνα τριχοειδούς

Πίνακας 2.7.Απόφραξη βοθρίων σε σχέση με τις ιδιότητες του εξατμιζόμενου υγρού (Από Thomas/Kringstad, 1971).

Εξατμιζόμενο υγρό	Χημικός τύπος	Δότης (Δ) ή αποδέκτης(A) ομάδων	Επιφανει-ακή τάση Dynes/cm	Διόγκωση σε σχέση με το νερό, %	Απόφραξη βοθρίων + Naί - Όχι
Αμμωνία	NH <sub>3</sub>	Δ και A	18	116	+
Διαιθυλαμίνη	$\begin{matrix} C_2H_5 \\ C_2H_5 \end{matrix} \rangle NH$	Δ και A	16	108	+
Πυρρόλιο	C <sub>4</sub> H <sub>4</sub> NH	Δ και A	34		+
Νερό	H <sub>2</sub> O	Δ και A	72	100	+
Νερό+ Απορροπαντικό	H <sub>2</sub> O	Δ και A	22		+
Μεθανόλη	CH <sub>3</sub> OH	Δ και A	22	95	±
Αιθανόλη	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Δ και A	23	83	-
Κελλοσόλβη	$\begin{matrix} CH_2-OH \\   \\ CH_2-O-C_2H_5 \end{matrix}$	Δ και A	30	87	-
Πυριδίνη	C <sub>5</sub> H <sub>5</sub> N	A	38	118	-
Φουρφουράλη	C <sub>4</sub> H <sub>3</sub> CHO	A	44	68	-
Ακετόνη	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	A	23	63	-
Κινολίνη	C <sub>7</sub> H <sub>7</sub> N	A	45	0	-
Βενζόλιο	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	τίποτε	29	0	-
Χλωροφόρμιο	CHCl <sub>3</sub>	"	27	3,2	-
Τολουόλιο	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	"	29	1,6	-
Διαιθυλικός αιθέρας	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	A	17	3	-
Πεντάνιο	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	τίποτε	16	3	-
Θξικός ισαμυλεστήρ	CH <sub>3</sub> CO <sub>2</sub> C <sub>5</sub> H <sub>11</sub>	A	25	3	-



Σχ. 2.12. Διαγραμματική παράσταση του ρόλου των δεσμών υδρογόνου (--) στην απόφραξη βοθρίων με υγρά που είναι συγχρόνως δότες και αποδέκτες (Α,Β) και με υγρά που είναι μόνο αποδέκτες (Γ). Απόφραξη βοθρίων προκαλείται όπου οι συνδέσεις δεσμών υδρογόνου μεταξύ μεμβρανών και βοθριακών τοιχωμάτων είναι συνεχείς (Α,Β).

(Από Thomas/Kringstad, 1971)

Από τα παραπάνω είναι φανερό ότι σύγκριση των επιφανειακών τάσεων μεταξύ των υγρών μπορεί να γίνει όταν έχουμε ίδιες γωνίες επαφής.

Στη "σύνδεση" μεμβράνης - τοιχωμάτων βοθρίων είναι δυνατό να συμμετέχουν και άλλες ουσίες (π.χ. ρητίνες) αλλά δεν είναι γνωστό πόσο συνεισφέρουν. Η μορφή του δεσμού αυτού χρειάζεται περισσότερη μελέτη. Πάντως ο ρόλος των γεφυρών υδρογόνου που σχηματίζονται είναι αποφασιστικός, όπως δείχνει και ο Πίν. 2.8 . Στον πίνακα αυτό φαίνεται ότι η απόφραξη βοθρίων επηρεάζεται σημαντικά όταν αριθμός -OH ομάδων εμποδίζεται να παίξει οποιοδήποτε ρόλο με διάφορους χημικούς χειρισμούς (εστεροποίηση, αιθεροποίηση κ.λ.π.). Όσο πιο έντονοι είναι τέτοιοι χειρισμοί τόσο ο αριθμός των αποφραγμένων βοθρίων ελαττώνεται.

Υποστηρίζεται ότι η απόφραξη βοθρίων δεν είναι αντιστρεπτό φαινόμενο αλλά έχει παρατηρηθεί (σε νεαρό σομφό ξύλο) ότι είναι δυνατή η επαναφορά των μεμβρανών και του άβακα των βοθρίων στην αρχική τους θέση (στο κέντρο της βοθριακής κοιλότητας) μετά από απόφραξη, επανύγρανση και σταδιακή αντικατάσταση του νερού με διαλύτες.

Πίνακας 2.8. Απόφραξη βοθρίων σε ξύλο που έχει τροποποιηθεί χημικά (Από Thomas/Kringstad, 1971).

Χημικός Χειρισμός	Εξαμιζόμενο υγρό	Μεμβράνες βοθρίων, %		
		Αποφραγμένες	Μερικά αποφραγμένες	Μη αποφραγμένες
Ακετυλίωση	Νερό	40	26	34
Μεθυλίωση	Νερό	40	37	23
	Πεντάνιο	0	0	100
Χωρίς χειρισμό	Νερό	100	0	0
	Πεντάνιο	0	0	100

### 3.2.2.3.3. Δημιουργία νέων κενών χώρων

Κατά την ξήρανση του ξύλου είναι δυνατό να δημιουργούνται νέοι χώροι που οφείλονται σε εσωτερικές ή εξωτερικές ραγαδώσεις. Οι ραγαδώσεις αυτές μπορεί να είναι ορατές μακροσκοπικά ή μικροσκοπικά και πέρα από τις όποιες επιδράσεις που έχουν στην ποιότητα του ξύλου επηρεάζουν τη διαπερατότητα του ξύλου και τη ροή των ρευστών (π.χ. συντηρητικών) μέσα στη μάζα του.

Δημιουργία νέων κενών χώρων και τριχοειδών επιδιώκεται πολλές φορές με εμπάπτιση του ξύλου σε νερό για αρκετό χρονικό διάστημα και δραστηριοποίηση βακτηρίων. Τα βακτήρια διατρύπουν κυρίως μεμβράνες βοθρίων με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διαπερατότητα του ξύλου και η διείσδυση και συγκράτηση των εμποτιστικών ουσιών σε είδη ξύλου δύσκολα στον εμποτισμό (π.χ. ερυθρελάτη, ελάτη). Είναι ανάγκη όμως να καθορίζεται ο κατάλληλος χρόνος και οι κατάλληλες συνθήκες αποθήκευσης του ξύλου στο νερό ώστε και ο εμποτισμός να γίνεται ευκολότερα αλλά και η μηχανική αντοχή του ξύλου να μην μειώνεται σημαντικά.

### 3.2.3. Μικροτριχοειδές σύστημα κυτταρικών τοιχωμάτων (microvoids)

Η ύπαρξη ή όχι κενών χώρων στα κυτταρικά τοιχώματα έχει απασχολήσει πολύ τους ερευνητές και πάνω στο θέμα αυτό έχουν εκφρασθεί διάφορες απόψεις. Οπτικά δεν είναι δυνατή (τουλάχιστο μέχρι σήμερα) η παρατήρηση κενών χώρων στα κυτταρικά τοιχώματα, έμμεσες όμως μέθοδοι προσδιορισμού πυκνότητας κυτταρικών τοιχωμάτων μαρτυρούν την ύπαρξη τέτοιων χώρων.

Κατά την μέτρηση του όγκου των κυτταρικών τοιχωμάτων με τη μέθοδο της εκτόπισης (volume - displacement method) παρατηρούνται διαφορές μεταξύ πολικών και όχι πολικών υγρών (βλ. Πίν. 2.9) που οφείλονται στο γεγονός ότι μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα υπάρχουν μικροτριχοειδή τα οποία είναι προσιτά μόνο σε πολικά υγρά.



Πίνακας 2.9. Πυκνότητα και όγκος ξηρών κυτταρικών τοιχωμάτων με χρησιμοποίηση διαφόρων ρευστών (Από Scaar, 1972).

Είδος ξύλου	Ρευστό	Πυκνότητα κυτ. τοιχ. g/cm <sup>3</sup>	Ειδικός όγκος κυτ. τοιχ. cm <sup>3</sup> /g
<i>Chamaecyparis nootkatensis</i>	Νερό	1,548	0,646
"	Αιθανόλη	1,537	0,651
"	Βενζόλιο	1,476	0,678
<i>Abies grandis</i>	Νερό	1,52±0,03	0,658
"	Τολουόλιο	1,44+0,03	0,694
Ερυθρελάτη (Χωρίς εκχύλιση)	Νερό	1,524	0,656
"	Τολουόλιο	1,448	0,691
"	Ήλιο	1,449	0,690
Ψευδοτσούγκα (Χωρίς εκχύλιση)	Νερό	1,540	0,649
"	Τολουόλιο	1,453	0,688
"	Ήλιο	1,464	0,683
Δασική πεύκη (Χωρίς εκχύλιση)	Νερό	1,505	0,664
"	Τολουόλιο	1,437	0,696
Δασική πεύκη (Μετά από εκχύλιση)	Ήλιο	1,532	0,653
"	Τολουόλιο	1,467	0,682

Σύμφωνα με το Stamm (1964) οι διαφορές αυτές αποδίδονται σε δύο αίτια: α) στην δυνατότητα εισόδου του νερού σε μικροτριχοειδή που πιθανότατα υπάρχουν στα κυτταρικά τοιχώματα τα οποία αντίθετα δεν είναι προσιτά σε όχι πολικά υγρά (τολουόλιο, βενζόλιο κ.ά.) και β) στη "συμπύεση" του νερού που έχει προσροφηθεί και συνεπώς μείωση του όγκου του σε σύγκριση με το ελεύθερο υγρό νερό.

Με χρησιμοποίηση ελαίου σιλικόνης (silicone oil) σαν όχι πολικό υγρό και νερό σαν πολικό και με σειρά αντικαταστάσεων έγινε δυνατός ο διαχωρισμός της διαφοράς στο ποσοστό που οφείλεται στα μικροτριχοειδή και στο ποσοστό που οφείλεται στη "συμπύεση" του νερού (Weatherwax/Tarkow, 1968) .

Η διαφορά 0,0303 αντιστοιχεί σε ποσοστό κενών χώρων στα κυτταρικά τοιχώματα και το υπόλοιπο (0,0520-0,0444)=0,0076 ή 0,76% αντιστοιχεί σε συμπίεση του νερού (βλ. Πίν.2.10 ). Αν ληφθεί όριο κορεσμού ινών 31% τότε η πυκνότητα του "συμπιεσμένου" νερού είναι  $0,31/(0,31-0,0052)=0,31/0,31-(0,0355-0,0303)=0,31/(0,31-0,0052)=1,017 \text{ g/cm}^3$ . Αν υποθεθεί ότι δεν υπάρχουν μικροτριχοειδή τότε η πυκνότητα του νερού είναι  $1,129 \text{ g/cm}^3 [0,31/(0,31-0,0355)]$  αλλά η τιμή 1,017 έχει ευνοϊκότερη θεωρητική βάση γιατί παίρνει υπόψη της και τα μικροτριχοειδή.

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς αυτούς το 85% της διαφοράς του όγκου που προκύπτει μεταξύ νερού και ελαίου σιλικόνης αποδίδεται στην ύπαρξη μικροτριχοειδών στα κυτταρικά τοιχώματα και μόνο το 15% στη "συμπύεση" του νερού. Το νερό διεισδύει στα μικροτριχοειδή των κυτταρικών τοιχωμάτων και υπόκειται σε "συμπύεση" που οφείλεται σε επαναπροσανατολισμό των μορίων του κατά την δημιουργία δεσμών μεταξύ τους. Το εξάνιο διεισδύει, μετά την αντικατάσταση, στα μικροτριχοειδή και δεν υπόκειται σε "συμπύεση". Το έλαιο σιλικόνης δεν διεισδύει καθόλου στα μικροτριχοειδή των τοιχωμάτων. Στη συμπεριφορά αυτή οφείλονται οι διαφορές στην πυκνότητα και τον ειδικό όγκο των κυτταρικών τοιχωμάτων μεταξύ των τριών υγρών (βλ. Πίν.2.10 ).

Πίν. 2.10. Πυκνότητα, ειδικός όγκος και μείωσης του ειδικού όγκου των κυτταρικών τοιχωμάτων επί τη βάσει τιμών ελαίου σιλικόνης (Από Scaar, 1972).

Ρευστό	Πυκνότητα κυτ. τοιχω- μάτων $\text{g/cm}^3$	Ειδικός όγκος $\text{cm}^3/\text{g}$	Διαφορά όγκου με βάση τις τιμές ελαίου σιλι- κόνης ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	Ποσοστά μείω- σης όγκου με βάση την τιμή ελαίου σιλικό- νης
<u>Νερό</u>	1,5457	0,6470	0,0355	(0,0355/0,6825)=0,0520 ή 5,2% (συνολικό ποσοστό μείωσης όγκου) (0,0303/0,6825)=0,0444
<u>Εξάνιο</u> (μετά από αντι- κατάσταση ξύλου κορεσμένο με νερό, με αιθανόλη, και εξάνιο)	1,5333	0,6522	0,0303	ή 4,44% (ποσοστό μείωσης όγκου που οφείλεται σε μι- κροτριχοειδή κυττα- ρικών τοιχωμάτων)
<u>Έλαιο σιλικόνης</u>	1,4650	0,6825	0,0000	—

Υπάρχουν ενδείξεις (π.χ.εναπόθεση μετάλλων μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα όπως φαίνεται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο) ότι τα μικροτριχοειδή είναι "ελικοειδείς σχισμές" μεταξύ μικροϊνιδίων και μεταξύ μορίων των ημικυτταρινών ή της λιγνίνης. Έχει επιχειρηθεί κατάταξη των μικροτριχοειδών ανάλογα με τη θέση τους στο κυτταρικό τοίχωμα και το σχήμα τους ως εξής(βλ. Σχ. 2.13):

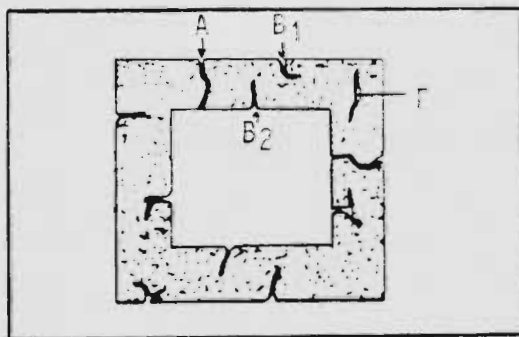
- α. διαμπερή μικροτριχοειδή (Α)
- β. ανοικτά προς τη μία μόνο πλευρά του κυτταρικού τοιχώματος εξωτερική (B1) ή εσωτερική (B2).
- γ. τυφλά μικροτριχοειδή τα οποία είναι κλειστά μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα χωρίς διέξοδο (Γ).

Οι κατηγορίες α και β διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες (i,ii,iii) ανάλογα με το αν τα μικροτριχοειδή έχουν ομοιόμορφη διατομή, είναι μεγαλύτερα στο εσωτερικό απ'ότι στην είσοδο ή είναι μεγαλύτερα στην είσοδο απ'ότι στο εσωτερικό

Από παρατηρήσεις διαφόρων ερευνητών προκύπτει ότι τα μικροτριχοειδή των κυτταρικών τοιχωμάτων είναι ουσιαστικό μέρος της δομής τους και ότι η πιο κοινή διάμετρος των τριχοειδών αυτών είναι  $38 \text{ \AA}^0$ .

Σχετικά νεότερες μετρήσεις με προσρόφηση αζώτου του μικροτριχοειδούς συστήματος ξηρών κυτταρικών τοιχωμάτων κωνοφόρων και πλατυφύλλων έδειξαν ότι η διάμετρος των τριχοειδών (πόρων) κυμαίνεται μεταξύ  $20-300 \text{ \AA}^0$  και οι περισσότεροι πόροι κυμαίνονται μεταξύ  $25-50 \text{ \AA}^0$ . Για τα είδη που μελετήθηκαν (5 κωνοφόρα, 5 διασπορόπορα, 4 δακτυλιόπορα) η μέση διάμετρος ήταν περίπου  $80 \text{ \AA}^0$ .

Σχετικά με τη μορφή των μικροτριχοειδών διαπιστώθηκε ότι για κωνοφόρα αποτελούνταν από παράλληλα τοποθετημένες σχισμές (parallel-sided fissures) στα δακτυλιόπορα από κυλινδρικά τριχοειδή (cylindrical capillaries) και στα διασπορόπορα και από τις δύο παραπάνω μορφές τριχοειδών ή τοξοειδών σχισμών.



Σχ. 2.13. Πιθανές κατηγορίες μικροτριχοειδών σε κυτταρικά τοιχώματα (Α, διαμπερή. B<sub>1</sub> και B<sub>2</sub>, ανοικτά προς το εξωτερικό ή το εσωτερικό του κυτταρικού τοιχώματος. Γ, τυφλά ).

### 3.3. Διαπερατότητα του ξύλου

#### 3.3.1. Γενικά

Η διαπερατότητα (permeability) είναι μέτρο της ευκολίας με την οποία κινούνται τα ρευστά (υγρά, αέρια) σε πορώδη υλικά όπως το ξύλο κάτω από την επίδραση διαφοράς πιέσεως (pressure gradient). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ιδιότητα αυτή παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μεταβλητότητα (μεταξύ ειδών ή στο ίδιο είδος ξύλου) σε σύγκριση με άλλες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του ξύλου. Το εύρος της μεταβλητότητας μπορεί να είναι της τάξεως του  $10^7$ .

Η διαπερατότητα του ξύλου έχει μεγάλη πρακτική σημασία σε όλες εκείνες τις περιπτώσεις αξιοποίησής του όπου επιχειρείται εισαγωγή διαφόρων υγρών μέσα στη μάζα του. Εισαγωγή χημικών ουσιών στο ξύλο γίνεται για αύξηση της αντοχής του ξύλου σε μύκητες, έντομα, φωτιά ή για βελτίωση άλλων ιδιοτήτων του (μείωση υγροσκοπικότητας, μείωση διαστασιακών μεταβολών, κ.ά.). Στην περίπτωση χημικής πολτοποίησης του ξύλου γίνεται επίσης χρήση χημικών ουσιών για την απομάκρυνση της λιγνίνης. Η κίνηση των υγρών μέσα στο ξύλο έχει επίδραση στη συγκόλληση και στις επιφανειακές επικαλύψεις του ξύλου. Επί πλέον, η διαπερατότητα σχετίζεται και με την έξοδο των υγρών από το ξύλο γεγονός που αντιμετωπίζεται πάντα στην πράξη κατά τη διαδικασία ξήρανσης του ξύλου. Όσο πιο μεγάλη είναι η διαπερατότητα του ξύλου τόσο πιο εύκολα γίνεται η ξήρασή του ή η εισαγωγή υγρών στη μάζα του.

#### 3.3.2. Ροή (κίνηση) των ρευστών στο ξύλο

Η κίνηση των ρευστών στο ξύλο γίνεται κάτω από την επίδραση διαφοράς πιέσεως στην κατεύθυνση ροής. Η ροή των ρευστών διακρίνεται σε σταθερή ή στατική (steady-state flow) και σε ασταθή ή δυναμική (unsteady-state flow). Στην πρώτη περίπτωση, η ποσότητα του ρευστού (flux) που διέρχεται από μια διατομή και η διαφορά πιέσεως (pressure gradient) στην κατεύθυνση ροής δεν μεταβάλλονται με το χρόνο και την περιοχή μέσα στο δείγμα ξύλου ενώ στην ασταθή ροή τα παραπάνω δύο μεγέθη είναι μεταβλητά.

Η σταθερή ροή των ρευστών έχει μελετηθεί σε σημαντικό βαθμό αν και στην πράξη έχουμε ασταθή ροή είτε πρόκειται για έξοδο είτε για είσοδο υγρών. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μελέτη της ασταθούς ροής παρουσιάζει πολύπλοκα προβλήματα και χρειάζεται πολλές απλουστεύσεις για να

είναι δυνατή η ανάλυσή της. Η αξιοποίηση πάντως των εργαστηριακών αποτελεσμάτων στην πράξη επιχειρείται με βάση ορισμένες ομοιότητες μεταξύ σταθερής και ασταθούς ροής των ρευστών στο ξύλο.

Η δομή του ξύλου, η διαφορά πιέσεως και άλλοι παράγοντες (πορώδες, ξήρανση κ.ά.) επηρεάζουν τον τύπο ροής των ρευστών στο ξύλο. Τρεις τύποι ροής παρατηρούνται στο ξύλο:

- α. νηματώδης (viscous or lamínar flow)
- β. στροβιλώδης (turbulent flow)
- γ. μοριακή ροή ή διάχυση (molecular diffusion)

Η ροή υγρών αναφέρεται στους δύο πρώτους τύπους ενώ η ροή των αερίων και στους τρεις τύπους. Νηματώδης ροή παρατηρείται σε τριχοειδή όπου η διαφορά πιέσεως μόλις υπερβαίνει τις δυνάμεις τριβής (ιξώδες) του υγρού έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ομαλή και γραμμική πορεία του ρευστού (βλ. Σχ. 2.14). Η ροή χαρακτηρίζεται στροβιλώδης όταν αυξηθεί η ταχύτητα κίνησης του ρευστού με αποτέλεσμα να παρατηρούνται αποκλίσεις από την ομαλή και γραμμική ροή (βλ. Σχ. 2.14). Ο τρίτος τύπος ροής (μοριακή διάχυση) περιορίζεται στα αέρια.

### 3.3.3. Νόμοι ροής των ρευστών στο ξύλο

Η αντίσταση στη ροή ρευστών μέσα στο ξύλο μπορεί να εκφρασθεί ποσοτικά από την εξίσωση των Hagen-Poiseuille που διατυπώθηκε στα μέσα του 19ου αιώνα και αφορά ευθύγραμμα τριχοειδή κυκλικής διατομής ως εξής:

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \eta L} \quad \left( \frac{\text{cm}^4 \cdot \text{dynes} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2}{\text{dynes} \cdot \text{sec}/\text{cm}^2 \cdot \text{cm}} \right) \quad (1)$$

όπου, Q = διαπερατότητα ή ρυθμός ροής δηλ. ποσότητα υγρού που διέρχεται το τριχοειδές στη μονάδα του χρόνου (cm<sup>3</sup>/sec).

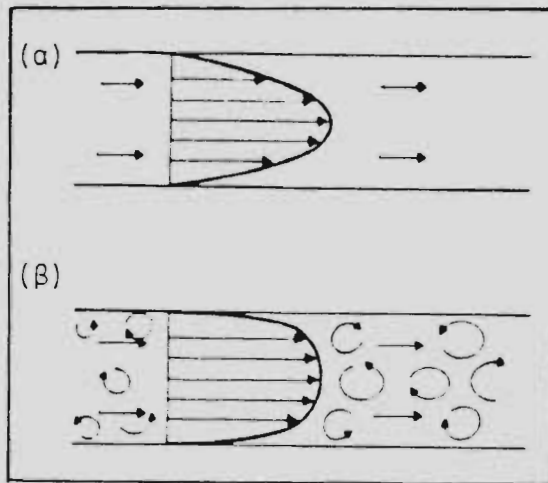
ΔP = διαφορά πιέσεως στα άκρα του τριχοειδούς η οποία προκαλεί τη ροή, dynes. sec/cm<sup>2</sup>.

r = ακτίνα τριχοειδούς, cm.

η = ιξώδες υγρού, dynes. sec/cm<sup>2</sup>.

L = μήκος τριχοειδούς, cm.

Από την εξίσωση φαίνεται ότι η ακτίνα του τριχοειδούς έχει τη μεγαλύτερη επίδραση στη ροή των ρευστών μέσα στο ξύλο. Όταν οι παράγοντες r, ΔP και L είναι σταθεροί τότε η ροή καθορίζεται από το ιξώδες του υγρού, η. Για παράδειγμα αναφέρεται ότι το ιξώδες του αέρα είναι



Σχ.2.14. Νηματώδης (α) και στροβιλώδης (β) ροή. Στη νηματώδη ροή, η ταχύτητα είναι παραβολοειδούς μορφής σε εγκάρσια τομή του τριχοειδούς και το ρευστό κινείται ευθύγραμμα και κατά στρώσεις. Στη στροβιλώδη ροή η ταχύτητα είναι πιο ομοιόμορφη σε εγκάρσια τομή του τριχοειδούς αλλά η κίνηση του ρευστού ακολουθεί τυχαία, ακανόνιστη και όχι ευθύγραμμη πορεία.

(Από Sutcliffe, 1979)

$183 \times 10^{-6}$  poise και του νερού 0,01 poise σε θερμοκρασία  $18^{\circ}\text{C}$ , δηλ. του νερού είναι 55 φορές μεγαλύτερο. Κάτω από την ίδια διαφορά πίεσης επομένως ο ρυθμός της ροής του αέρα θα είναι 55 φορές μεγαλύτερη εκείνης του νερού.

Επειδή, γενικά ο ρυθμός ροής των ρευστών στο ξύλο είναι μικρός (των υγρών πολύ μικρότερος από ότι των αερίων) χρειάζεται υψηλή διαφορά πίεσης ή μεγάλοι χρόνοι ροής για να γίνουν μετρήσεις διαπερατότητας. Στη ροή υγρών εξάλλου δημιουργούνται στα μικρά τριχοειδή (π.χ. των μεμβρανών των αλκφόρων βοθρίων των κωνοφόρων) φάσεις υγρού-αέρα (μηνίσκοι) που οφείλονται σε φυσαλίδες αέρα οι οποίες παγιδεύονται στα τριχοειδή αυτά και εμποδίζουν τη ροή. Για να επιτευχθεί συνεχής ροή πρέπει να υπερνικηθούν οι μηνίσκοι αυτοί και αυτό επιτυγχάνεται με τη διαφορά πίεσης ( $\Delta P$ ) που εφαρμόζεται στα άκρα των τριχοειδών και η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$\Delta P = (P_0 - P) = \frac{2\sigma}{r} \quad (2)$$

$r$  = ακτίνα μηνίσκου

$\sigma$  = επιφανειακή τάση υγρού και

$P_0 - P$  = δύναμη που χρειάζεται για να υπερνικηθεί η αντίσταση που προβάλλει ο μηνίσκος

Επειδή η ακτίνα των τριχοειδών του ξύλου είναι συχνά πολύ μικρή και η επιφανειακή τάση του νερού μεγάλη, η διαφορά πίεσης  $P_0 - P$  που απαιτείται είναι πολύ μεγάλη. Για τους λόγους αυτούς είναι πιο εύκολη και γρήγορη η μέτρηση της διαπερατότητας με χρησιμοποίηση αερίων (αέρα, αζώτου) παρά υγρών και, στην πράξη, αξιοποιείται η στενή σχέση που υπάρχει μεταξύ διαπερατότητας που προσδιορίζεται με αέρια και εκείνης που προσδιορίζεται με υγρά.

Ο νόμος των Hagen-Poiseuille βρίσκει εφαρμογή στο ξύλο αν αυτό θεωρηθεί ότι μοιάζει με ένα σύστημα τριχοειδών και πόρων, παράλληλων μεταξύ τους, όπου η ροή των ρευστών, κάτω από συγκεκριμένη διαφορά πίεσης, είναι νηματώδης και όχι στροβιλώδης. Για την εφαρμογή του παραπάνω νόμου στο ξύλο πρέπει επίσης να μην μεταβάλλεται το τριχοειδές σύστημα κατά τη δίοδο των ρευστών (π.χ. λόγω ρίκνωσης, διόγκωσης, απόφραξης βοθρίων) καθώς και ο συντελεστής ιξώδους όταν μεταβάλλεται η ταχύτητα ροής. Προκειμένου για ροή αερίου, πρέπει το αέριο να είναι τέλειο, να λαμβάνεται υπόψη η συμπίεσή του (compressibility) και η μοριακή ροή να είναι μηδαμινή. Η ροή των ρευστών στο ξύλο γίνεται μέσω των κυτταρικών κοιλοτήτων και τα βοθρία είναι οι μόνοι δίοδοι επικοινωνίας μεταξύ τους. Η ροή των ρευστών μπορεί να εμποδιστεί στα πλατύφυλλα από τυλώσεις ενώ στα κωνοφόρα οι μεμβράνες των βοθρίων παίζουν σημαντικό περιοριστικό ρόλο. Η διαφοροποίηση των τριχοειδών στο ξύλο κάνει δύσκολη την επιλογή συγκεκριμένης ακτίνας τριχοειδούς που θα χρησιμοποιηθεί στην εξίσωση (1). Η χρησιμοποίηση της εξίσωσης (1) προϋποθέτει επομένως πειραματικό προσδιορισμό των ακτίνων των τριχοειδών του ξύλου.

Εκτός από τον νόμο των Hagen-Poiseuille, για νηματώδη ροή των ρευστών σε πορώδη υλικά, όπως στο ξύλο, στα οποία η κατασκευή των τριχοειδών είναι διαφοροποιημένη, χρησιμοποιείται και ο εμπειρικός νόμος του Darcy:

$$Q = \frac{K \cdot A \cdot \Delta P}{n \cdot L} \quad \text{ή} \quad K = \frac{Q \cdot L \cdot n}{A \cdot \Delta P} \quad (3)$$

όπου:  $K$  = σταθερά διαπερατότητας (permeability constant)  
η οποία προσδιορίζεται με βάση μεγέθη που δεν παρουσιάζουν δυσκολία στη μέτρησή τους (Darcy's)

$A$  = εγκάρσια επιφάνεια ροής

Τα υπόλοιπα σύμβολα είναι ίδια με εκείνα της εξίσωσης (1)

( $K$  = Darcys,  $Q$  =  $\text{cm}^3/\text{sec}$ ,  $A$  =  $\text{cm}^2$ ,  $L$  =  $\text{cm}$ ,  $\Delta P$  = atm,  $n$  = centipoise).

Κατά τη χρησιμοποίηση του νόμου του Darcy στο ξύλο οι τιμές διαπερατότητας που προσδιορίζονται διαφέρουν μεταξύ υγρών και αερίων και αυτό οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

- α. δυσκολίες που παρεμβάλλονται από φυσαλίδες αέρα κατά τη χρησιμοποίηση υγρών.
- β. βαθμός διόγκωσης του ξύλου
- γ. μη αντιστρεπτές μεταβολές στη δομή του ξύλου λόγω ξήρανσης
- δ. μοριακή ροή ή ροή ολίσθησης των αερίων (slip flow ή Knudson flow).

Έχει διαπιστωθεί ότι, όταν χρησιμοποιούνται ρευστά που δεν διογκώνουν το ξύλο, τότε η διαπερατότητα που προσδιορίζεται είναι ανεξάρτητη του ρευστού εφόσον γίνεται διόρθωση της ροής ολίσθησης και ελαχιστοποιείται η επίδραση φυσσαλίδων αέρος. Κατά τη σύγκριση διαπερατότητας μεταξύ αερίων και υγρών που διογκώνουν το ξύλο, όπως το νερό, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η διόγκωση του ξύλου. Η διαπερατότητα του ξύλου στον αέρα είναι αντιστρόφως ανάλογη της περιεχόμενης υγρασίας του νερού. Έχει βρεθεί στα είδη τσούγκα και λευκή πεύκη ότι η τετάρτη ρίζα της διαπερατότητας αζώτου μειώνεται γραμμικά όταν αυξάνεται η περιεχόμενη υγρασία σε 20-25%.

Στην περιοχή 20-25% περιεχόμενης υγρασίας η διαπερατότητα μειώνεται πολύ γρήγορα πιθανότατα λόγω συμπύκνωσης του νερού στα τριχοειδή των μεμβρανών των αλιφόρων βοθρίων. Η αύξηση της διαπερατότητας με τη μείωση της περιεχόμενης υγρασίας του ξύλου αναμένεται γιατί απώλεια υγρασίας επιφέρει ρίκνωση των ινωδών ακτίνων των μεμβρανών των βοθρίων και ταυτόχρονα αύξηση του μεγέθους των τριχοειδών τους. Έχει παρατηρηθεί σε ορισμένα κωνοφόρα είδη ότι ο λόγος της διαπερατότητας μεταξύ 0 και 20% περιεχόμενης υγρασίας είναι περίπου σταθερός για κάθε είδος ξύλου ανεξάρτητα πάχους δείγματος ή κατεύθυνσης ροής. Υπάρχουν όμως σημαντικές διαφορές μεταξύ ειδών που αποδίδονται σε διαφορές δομής των βοθρίων.

Όταν το "μέσο μέγεθος ελεύθερης διόδου του αερίου" (mean free path) γίνεται μεγαλύτερο από τη διάμετρο των τριχοειδών τότε ο νόμος του Darcy δεν δίνει ακριβή αποτελέσματα και οι τιμές διαπερατότητας που προσδιορίζονται είναι μεγαλύτερες από τις προβλεπόμενες από την εξίσωση (3). Η εκτροπή αυτή οφείλεται στη μοριακή ροή (slip flow) η οποία δεν περιλαμβάνεται στον τύπο του Darcy.

Μοριακή ροή στα αέρια υπάρχει όταν το "μέσο μέγεθος ελεύθερης διόδου" του αερίου προσεγγίζει το μέγεθος των τριχοειδών δια μέσου των οποίων συντελείται η ροή. Στην περίπτωση αυτή παρατηρείται μια μετάβαση από νηματώδη σε μοριακή ροή και, για πρακτικούς σκοπούς, αυτή θεωρείται ότι συμβαίνει στην περιοχή του  $\chi$  μεταξύ των τιμών 0,014 και 1,0

$$\text{όπου, } \chi = \frac{\lambda}{2r} \sqrt{\frac{8}{\pi}} \quad \text{ή} \quad \chi = \frac{\lambda}{r} \cdot 0,978 \quad (4)$$

$\lambda$  = μέσο μέγεθος ελεύθερης διόδου του αερίου (cm) και

$r$  = ακτίνα τριχοειδούς (cm).

Για τιμές  $\chi > 1$  η ροή είναι ουσιαστικά μοριακή ενώ για τιμές  $\chi < 0,014$  η ροή είναι ουσιαστικά νηματώδης.

Οι τιμές των ακτίνων των τριχοειδών που προσδιορίζονται για το ξύλο



διαφέρουν πολύ, αλλά γενικά κυμαίνονται μεταξύ 0,01 και 3 μ. Το μέσο μέγεθος ελεύθερης διόδου του αέρα, αζώτου και οξυγόνου σε ατμοσφαιρική πίεση είναι περίπου 0,1 μ. Έτσι η ροή των αερίων αυτών μέσα στο ξύλο σε ατμοσφαιρική πίεση είναι στην περιοχή μοριακής ροής.

Σε ιδεώδη αέρια, όταν παίρνεται υπόψη η δυνατότητα συμπίεσής τους, χρησιμοποιείται ο νόμος του Darcy ως εξής:

$$K_g = \frac{Q L \eta}{A \cdot \Delta P} \cdot \frac{P}{\bar{P}} \quad (5)$$

όπου  $K_g$  = φαινομένη διαπερατότητα αερίου (superficial gas permeability)

η οποία είναι μεγαλύτερη από την πραγματική διαπερατότητα  $K$ .

$\bar{P}$  = μέση απόλυτη πίεση μέσα στο δείγμα ίση με  $\frac{P_1 + P_2}{2}$ .

$P$  = απόλυτη πίεση στην οποία μετρείται ο παράγοντας  $Q$ .

Για την διόρθωση της ροής ολίσθησης, και προσδιορισμό της πραγματικής διαπερατότητας  $K$  χρησιμοποιείται η σχέση:

$$K_g = K \left( 1 + \frac{b}{\bar{P}} \right)$$

όπου  $b = \frac{4c\lambda P}{r_0}$

$c$  = σταθερά  $\cong 1$

$\lambda$  = μέσο μέγεθος ελεύθερης διόδου του αερίου

$r_0$  = ακτίνα των τριχοειδών μεταξύ τραχειδών.

Έτσι με τις παραπάνω τροποποιήσεις με τις οποίες λαμβάνονται υπόψη η συμπίεση και η ροή ολίσθησης, ο τύπος του Darcy μπορεί να χρησιμοποιηθεί ακριβέστερα για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας του ξύλου σε αέρια. Η διαδικασία μέτρησης της διαπερατότητας ξύλου σε αέρια είναι η μέτρηση της φαινομένης διαπερατότητας ( $K_g$ ) σε 2 ή περισσότερες μέσες πιέσεις (π.χ. μιάς και 3 ατμοσφαιρών) και επέκταση (extrapolation) της γραμμικής σχέσης μεταξύ  $K_g$  και  $1/\bar{P}$  στο μηδέν. Η τιμή του  $K$  που παίρνεται μ' αυτό τον τρόπο είναι η διορθωμένη διαπερατότητα.

#### 3.3.4. Μεταβλητότητα της διαπερατότητας σε διάφορα είδη ξύλων και παράγοντες που την επηρεάζουν.

##### Είδος

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η διαπερατότητα του ξύλου παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα. Μεταξύ των λιγότερο και περισσότερο διαπερατών

πλατυφύλλων ειδών ξύλου παρατηρήθηκαν διαφορές της τάξεως μερικών εκατομμυρίων κατά την αξονική κατεύθυνση ενώ στα κωνοφόρα οι διαφορές αυτές βρέθηκαν μικρότερες, της τάξεως των 500.000 περίπου.

Ο Πίν. 2.11 δίνει μια εικόνα της μεταβλητότητας της αξονικής διαπερατότητας μεταξύ διαφορετικών ειδών ξύλου

Σομφό - εγκάρδιο ξύλο

Σε πολλά είδη το σομφό ξύλο είναι περισσότερο διαπερατό από το εγκάρδιο (Πίν.2.12). Η μεγαλύτερη διαπερατότητα του σομφού σε σχέση με το εγκάρδιο έχει μεγάλη πρακτική σημασία όταν το ξύλο εμποτίζεται με προστατευτικές ουσίες γιατί το σομφό είναι το εξωτερικό (περιφερειακό) τμήμα του ξύλου και δεν παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε προσβολές από μύκητες και έντομα.

Πίνακας 2.11.Μεταβλητότητα αξονικής διαπερατότητας εγκαρδίου ξύλου σε διάφορα είδη (Από Smith/Lee, 1958).

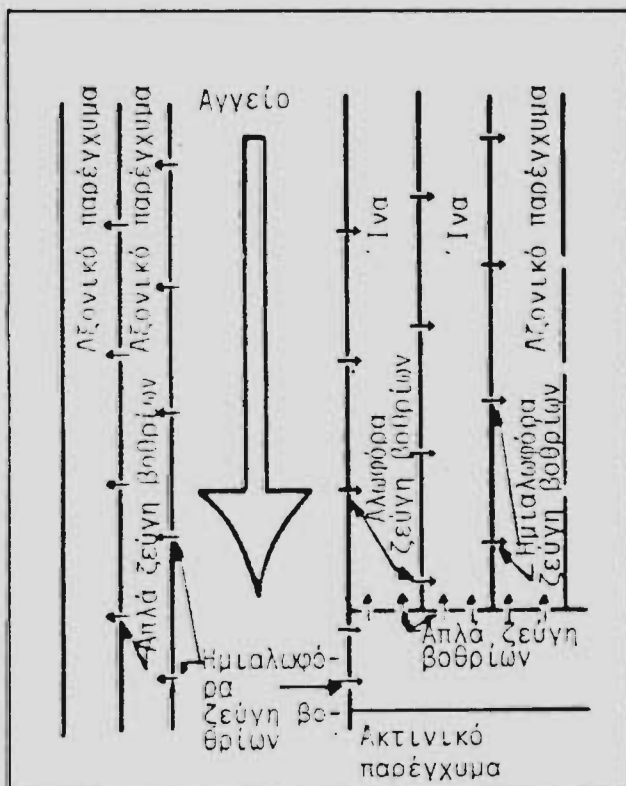
Είδος	Αξονική διαπερατότητα ( $\text{cm}^2 \text{s}^{-1} \text{atm}^{-1}$ )
<u>Κωνοφόρα</u>	
Ίταμος	0,001
Ερυθρελάτη	0,42
Λάριξ, ευρωπαϊκή	1,6
Δασική πεύκη	2,1
Ελάτη ( <i>Abies grandis</i> )	1,6
<u>Πλατύφυλλα</u>	
Ευκάλυπτος ( <i>Eucalyptus diversicolor</i> )	0,001
<i>Ocotea rodiaei</i> (Greenheart)	0,04
Δούς, απόδισκη	4,7
Φράξος	11
Ορεπε	31
Φτελιά	140
Οξιιά	1300

Πίνακας 2.12 Μεταβλητότητα διαπερατότητας στο ξύλο ανάλογα με τη θέση του στο δέντρο.

Είδος	Αξονική διαπερατότητα ( $\text{cm}^2 \text{s}^{-1} \text{atm}^{-1}$ )	
	Σομφό	Εγκάρδιο
Timbersweet ( <i>Nectandra</i> ή <i>Ocotea</i> spp.)	4700	0,71
Ιτιά ( <i>Salix fragilis</i> )	1800	0,007
Tiama ( <i>Endandrophragma angolense</i> )	1200	4,9
Λεύκη ( <i>Populus canescens</i> )	1000	0,32
Pitch pine ( <i>Pinus palustris</i> )	370	0,03
Δασική πεύκη	230	2,1

Ανισοτροπία

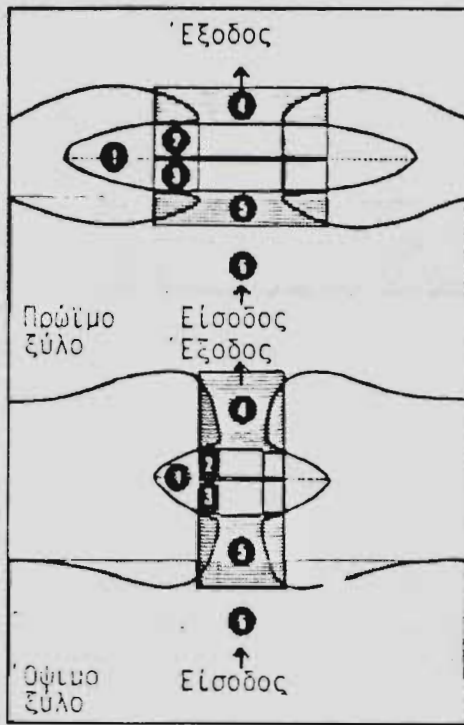
Η κίνηση (ροή) των ρευστών μέσα στο ξύλο γίνεται μέσω των κυτταρικών κοιλοτήτων και των βοθρίων που τις συνδέουν (Σχ.2.15,2.16). Τα τριχοειδή στα βοθρία είναι πολύ μικρότερα σε διαστάσεις από τις κυτταρικές κοιλοότητες και γι' αυτό παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση στην κίνηση των ρευστών (η διαπερατότητα είναι ανάλογη της 4ης δύναμης της ακτίνας του πόρου ή του τριχοειδούς (βλ. εξίσωση Hagen/Poiseuille). Έτσι μείωση της ακτίνας 5 φορές προκαλεί μείωση της διαπερατότητας 625 φορές).



Σχ. 2.15. Μοντέλο ροής ρευστών σε πλατύφυλλα ξύλα.

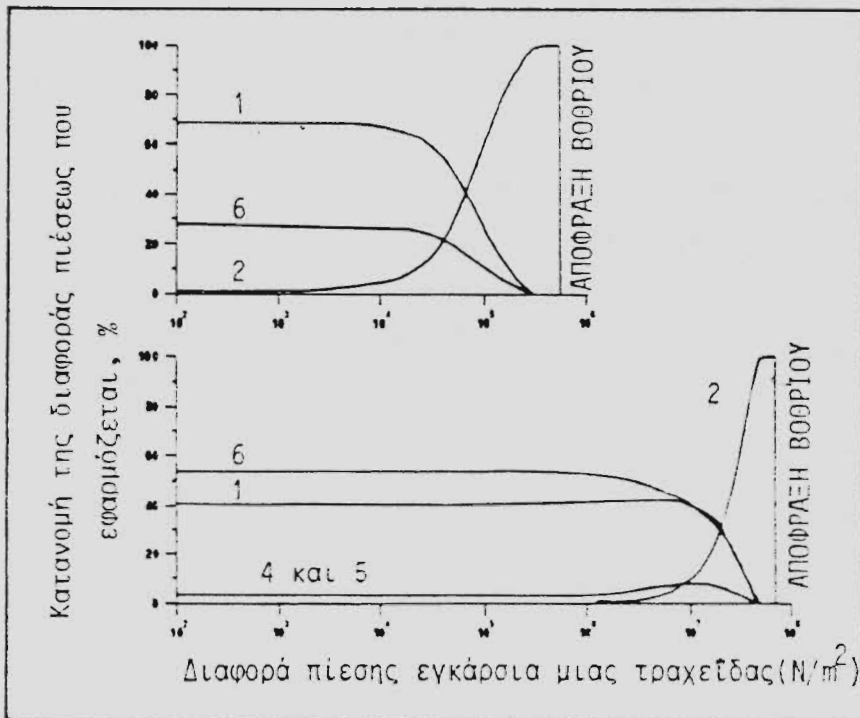
(Από Siau, 1984)

ΞΥΛΟ ΚΩΝΟΦΟΡΩΝ



Σχ.2.16. Θεωρητικό μοντέλο με τα επί μέρους αγωγά στοιχεία σε πρώιμο και όψιμο ξύλο (Αγωγά στοιχεία: 1. τοιχοειδή μεμβρανών βοθρίων, 2,3. τοιχοειδή μεταξύ άβακα και βοθριακών τοιχωμάτων στην έξοδο και είσοδο αντίστοιχα, 4,5. Στόμια του ζεύγους βοθρίων στην έξοδο και είσοδο αντίστοιχα, 6. κυτταρική κοιλότητα).

(Από Bolton, 1976)



Σχ.2.17. Θεωρητική ανάλυση της αντίστασης που προβάλλει το σύστημα κοιλότητα τραχειίδας/ζεύγους αλωφόρων βοθρίων στη ροή των ρευστών σε σχέση με τη διαφορά πίεσης που εφαρμόζεται (Η αρίθμηση αναφέρεται στα αγωγά στοιχεία όπως στο Σχ.2.16).

(Από Bolton, 1976)

Έχει διαπιστωθεί ότι σε ξηρό στον αέρα σομφό ξύλο ερυθρελάτης η αντίσταση των τριχοειδών των μεμβρανών στην κίνηση των ρευστών είναι 81% , των κοιλοτήτων των τραχειδών 16% και των στομιών και κοιλοτήτων των βοθρίων 3% της συνολικής αντίστασης (Bolton+Petty, 1975) δηλ. στα βοθρία σαν σύνολο αποδίδεται ποσοστό αντίστασης 84% της συνολικής. Σε μια ανάλυση της αντίστασης που προβάλλει το σύστημα κοιλότητα τραχειίδας/ αλωφόρο βοθρίο στη ροή των ρευστών σε σχέση με τη διαφορά πίεσης που εφαρμόζεται εγκάρσια της τραχειίδας (Σχ.2.17 ) δείχνεται ότι, σε μικρές διαφορές πίεσης, σημαντική αντίσταση στη ροή προβάλλει η κοιλότητα της τραχειίδας και στο πρώιμο και στο όψιμο ξύλο. Στο όψιμο ξύλο, η αντίσταση που προβάλλουν στη ροή των ρευστών τα στόμια των βοθρίων είναι μικρή. Όταν η αντίσταση στη ροή που προβάλλει το αγωγό στοιχείο βοθριακά τοιχώματα/ άβακας αυξάνει δραματικά (άβακας και βοθριακά τοιχώματα πλησιάζουν) τότε η συνολική διαπερατότητα του συστήματος μειώνεται σε σημαντικό βαθμό. Η ανάλυση αυτή βρίσκεται σε συμφωνία και με πειραματικά αποτελέσματα. Επειδή τα περισσότερα "αγωγά" κύτταρα (αγγεία για πλατύφυλλα, τραχειίδες για κωνοφόρα) έχουν αξονική κατεύθυνση είναι φυσικό και η διαπερατότητα στην κατεύθυνση αυτή να είναι πολύ μεγαλύτερη σε σύγκριση με την πλευρική (εφαπτομενική ή ακτινική) διαπερατότητα (Πίν. 2.13). Σε μερικά είδη κύτταρα των ακτίνων (τραχειίδες, παρεγχυματικά) και ακτινικοί ρητινοφόροι αγωγοί διευκολύνουν την κίνηση των ρευστών και έτσι στις περιπτώσεις αυτές η ακτινική διαπερατότητα εμφανίζεται μεγαλύτερη από την εφαπτομενική (Πίν. 2.13).

Πίνακας 2.13. Μεταβλητότητα διαπερατότητας σε σχέση με την κατεύθυνση των ινών.

Είδος	Διαπερατότητα ( $\text{cm}^2\text{s}^{-1}\text{atm}^{-1}$ )		
	Αξονική	Ακτινική	Εφαπτομενική
Οξιά	1300	0,03	0,02
Δασική πεύκη	7	0,17	0,012
Ερυθρελάτη	1,7	0,04	0,001

Πάντως πρέπει να σημειωθεί ότι αν και η αξονική διαπερατότητα είναι μεγαλύτερη από την πλευρική, η δεύτερη είναι συχνά πιο σημαντική κατά τον εμποτισμό του ξύλου σε διαστάσεις εμπορεύσιμες και κατάλληλες για χρήση.

Μικροσκοπικά χαρακτηριστικά (δομή)

Στα ζωντανά δέντρα το ξύλο έχει την ικανότητα να μεταφέρει μεγάλες ποσότητες νερού κάθε μέρα από τις ρίζες στην κόμη για τη διαπνοή (transpiration). Στην περίπτωση όμως εμποτισμού του ξύλου συναντώνται δυσκολίες στην προσπάθεια εισαγωγής των προστατευτικών ουσιών στη μάζα του ξύλου. Αυτές οι δυσκολίες οφείλονται στους εξής λόγους: Στα κωνοφόρα οι κυριώτεροι αγωγοί είναι οι αξονικές τραχεΐδες, οι ακτίνες και τα βοθρία. Κατά την ξήρανση τα αλωφόρα βοθρία αποφράσσονται (βλ. κεφ. 3.2.2.3.2) με συνέπεια να μειώνεται σημαντικά η διαπερατότητα του ξύλου. Οι ακτίνες δεν αποτελούν πολύ καλούς αγωγούς, ιδιαίτερα σε μεγάλες αποστάσεις, κι αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα βοθρία τους είναι λιγότερο διαπερατά και ότι η ακτινική ροή των ρευστών εξαρτάται ως ένα βαθμό από τα αξονικά αγωγά στοιχεία. Η ξήρανση του ξύλου λοιπόν προκαλεί πολύ σημαντική μείωση της διαπερατότητας (Πίν. 2.14).

Πίνακας 2.14. Επίδραση της ξήρανσης στη διαπερατότητα του ξύλου.

Είδος	Αξονική διαπερατότητα ( $\text{cm}^2\text{s}^{-1}\text{atm}^{-1}$ )	
	Χλωρό ξύλο	Ξηρό στον αέρα ξύλο
Δασική πεύκη	230	7,4
Ερυθρελάτη	400	1,7

Επιπλέον, μείωση της διαπερατότητας προκύπτει και από εναπόθεση ρητίνης γύρω από τραχεΐδες ή ακτινικά κύτταρα η οποία λαμβάνει χώρα κατά τον σχηματισμό του σομφού σε εγκάρδιο.

Στα πλατύφυλλα, τα κύρια αγωγά στοιχεία είναι τα αγγεία. Κατά την ξήρανση συμβαίνει πολλές φορές οι πόροι αυτοί να κλείνονται μερικώς ή ολικώς από τυλώσεις αλλά και από άλλα εγκλείσματα (εκχυλίσματα, κόμμεα κ.ά.) με συνέπεια τη μείωση της διαπερατότητας. Η διαφοροποίηση στο μέγεθος των αγγείων και στο βαθμό απόφραξής τους με διάφορες ουσίες είναι ο λόγος της πολύ μεγάλης μεταβλητότητας στα πλατύφυλλα είδη.

### 3.4. Υγροσκοπικότητα

Τό ξύλο είναι υγροσκοπικό υλικό, δηλ. έχει την ιδιότητα να συγκρατεί πάντοτε στη μάζα του υγρασία. Η ιδιότητα αυτή, γνωστή σαν υγροσκοπικότητα οφείλεται στα χημικά συστατικά του ξύλου (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη, πηκτινικές ουσίες και ορισμένα εκχυλίσματα) τα οποία είναι υγροσκοπικές ουσίες. Επιπλέον το ξύλο δεν είναι συμπαγής ύλη αλλά πορώδης κατασκευή και όταν τοποθετηθεί σε νερό, μπορεί να συγκρατήσει στο πολύπλοκο τριχοειδές σύστημά του μεγάλες ποσότητες νερού.

Η υγροσκοπικότητα είναι σημαντική ιδιότητα γιατί επηρεάζει πλήθος άλλων ιδιοτήτων του ξύλου, όπως π.χ. τη μηχανική αντοχή του, την κατεργασία του με μηχανές, τη βαφή, τον εμποτισμό του, την αντοχή του σε προσβολές από μύκητες και έντομα, το βάρος του, τις διαστασιακές του μεταβολές (ρίκνωση και διόγκωση) κ.α.

Το ξύλο, λόγω της μεγάλης αρχικής υγρασίας του και της σχέσης που υπάρχει μεταξύ υγροσκοπικότητας και άλλων ιδιοτήτων του, ξηραίνεται κατάλληλα πριν από οποιαδήποτε χρήση του. Με τη σωστή ξήρανση του ξύλου αποφεύγεται η υποβάθμιση της ποιότητάς του και μειώνεται η πιθανότητα εμφάνισης σφαλμάτων στις ξύλινες κατασκευές. Από την άλλη μεριά, η υγροσκοπικότητα δεν αντιμετωπίζεται οριστικά και αποτελεσματικά με την ξήρανση του ξύλου σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας. Ξηρό ξύλο μπορεί κάθε φορά να παίρνει πρόσθετες ποσότητες νερού εφόσον ευνοούν σ' αυτό οι συνθήκες αποθήκευσής του (π.χ. αποθήκευση σε υγρούς χώρους, αποθήκευση στο ύπαιθρο, κ.λ.π.).

#### 3.4.1. Υγρασία του ξύλου

Το ξύλο περιέχει πάντοτε υγρασία είτε στα ζωντανά δέντρα είτε κατά τη διάρκεια κατεργασίας και υπηρεσίας του. Η υγρασία του ξύλου στα ζωντανά δέντρα ή του χλωρού ξύλου (δηλ. ξύλου αμέσως μετά την υλοτομία) κυμαίνεται από 30% μέχρι 250% ή και περισσότερο με βάση το ξηρό βάρος του. Η μεταβλητότητα αυτή προέρχεται από διάφορους παράγοντες όπως το είδος του δέντρου, η θέση του ξύλου μέσα στο δέντρο (ιδιαίτερα αν είναι σομφό ή εγκάρδιο ξύλο, η εποχή του έτους, κ. ά. Το Σχ.2.18 δείχνει την υγρασία ξύλου δασικής πεύκης και οξιάς που αποτελούν τυπικά παραδείγματα για κωνοφόρα και πλατύφυλλα είδη αντίστοιχα. Επίσης στον Πίν. 2.15 δίνονται μέσες τιμές υγρασίας χλωρού ξύλου από διάφορα είδη, συγκριτικά για κωνοφόρα και πλατύφυλλα και για εγκάρδιο και σομφό ξύλο.

Όταν το ξύλο τοποθετηθεί σε νερό μπορεί να προσλάβει μεγάλα ποσά υγρασίας. Οι ποσότητες νερού που μπορούν να συγκρατηθούν εξαρτώνται από την πυκνότητα του ξύλου. Πολύ ελαφρά ξύλα, όπως π.χ. το τροπικό ξύλο ΜΠΑΛΣΑ με πυκνότητα  $100 \text{ Kg/m}^3$  περίπου μπορούν να συγκρατήσουν μέχρι 1000% περίπου υγρασία ενώ πολύ βαριά ξύλα με πυκνότητα π.χ.  $1000 \text{ Kg/m}^3$  μόνο μέχρι 60% περίπου. Αυτό συμβαίνει γιατί στη μάζα των ελαφρών ξύλων υπάρχουν πολύ περισσότεροι (σε όγκο) κενοί χώροι, συγκριτικά με τα βαριά ξύλα, οι οποίοι είναι διαθέσιμοι στο νερό. Στο Σχ. 2.19 δείχνεται η μέγιστη υγρασία που μπορεί να συγκρατήσει το ξύλο σε σχέση με την πυκνότητά του η οποία είναι και δείκτης του πορώδους του (μικρή πυκνότητα συνεπάγεται μεγάλο πορώδες και αντίστροφα).

Το νερό συγκρατείται στα κυτταρικά τοιχώματα και στις κυτταρικές και βοθριακές κοιλότητες του ξύλου. Το θεωρητικό σημείο όπου τα κυτταρικά τοιχώματα είναι κορεσμένα με νερό και οι κοιλότητες άδειες ονομάζεται όριο κορεσμού ινών (Ο.Κ.Ι.) ή σημείο ινοκόρου. Στο σημείο αυτό αντιστοιχεί υγρασία γύρω στο 30% (κυμαίνεται μεταξύ 20 και 40%) για τα διάφορα είδη ξύλου. Μεταβολές υγρασίας κάτω από το Ο.Κ.Ι. επιφέρουν μεταβολές διαστάσεων του ξύλου (ρίκνωση ή διόγκωση) ενώ πάνω από το Ο.Κ.Ι. δεν παρατηρούνται διαστασιακές μεταβολές. Ανάλογα με τις συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που επικρατούν στον περιβάλλοντα χώρο, το ξύλο χάνει ή παίρνει υγρασία μέχρις ότου υπάρξει ισορροπία και σταθεροποιηθεί στην τελική (ισοδύναμη) υγρασία (Πίν.2.16). Στην ατμόσφαιρα επικρατεί μια δυναμική κατάσταση των κλιματικών συνθηκών με αποτέλεσμα η υγρασία του ξύλου να μεταβάλλεται εντός ορίων που διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και, για την Ελλάδα, κυμαίνονται μεταξύ 8-23% περίπου (Πίν.2.17). Όταν το ξύλο ξηραθεί σε  $100^\circ\text{C}$  τότε όλη σχεδόν η υγρασία του βγαίνει. Το Σχ.2.20 επεξηγεί τρεις βασικές καταστάσεις του ξύλου σε σχέση με την υγρασία που περιέχει και δείχνει παραστατικά τις μεταβολές των διαστάσεων του όπου αυτές συμβαίνουν. Μεταξύ των τριών αυτών καταστάσεων, είναι δυνατό να έχουμε και πολλές άλλες ενδιάμεσες από τις οποίες πολύ σημαντική από άποψη αξιοποίησης του ξύλου είναι η κατάσταση του ξύλου ξηρού στον αέρα με υγρασία 12-15% περίπου κατά μέσο όρο (κατάσταση μεταξύ Α και Β. βλ. Σχ. 2.20).

Η εκρόφηση και προσρόφηση του νερού από το ξύλο κάτω από το Ο.Κ.Ι. ακολουθεί σιγμοειδείς καμπύλες αλλά η καμπύλη της αρχικής εκρόφησης δεν είναι επαναλήψιμη (φαινόμενο υστέρησης) (Σχ.2.21). Το πηλίκο προσρόφησης/αρχικής εκρόφησης κυμαίνεται για τα διάφορα είδη μεταξύ



Πίνακας 2.15. Υγρασία ξύλου αμερικανικών κωνοφόρων και πλατυφύλλων ειδών

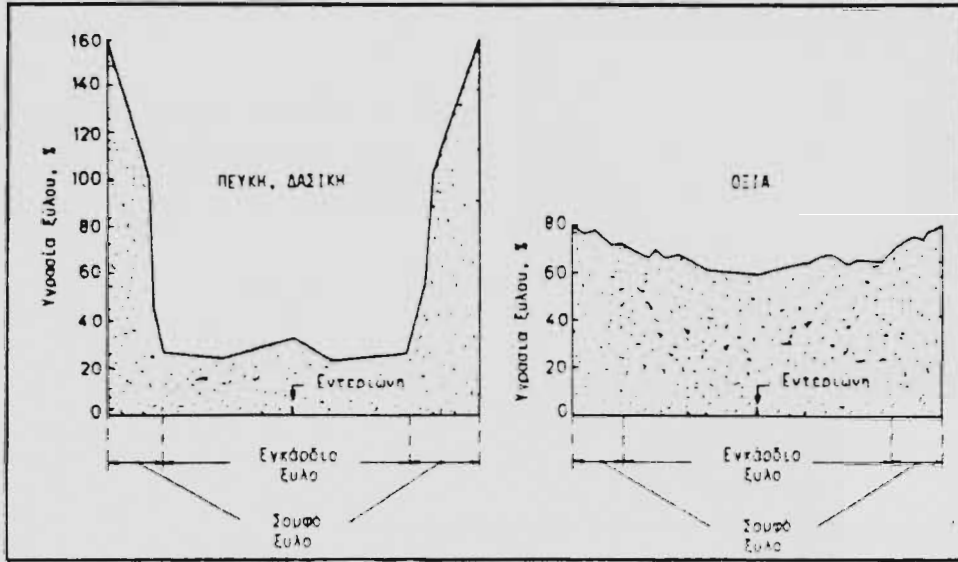
Κατηγορία ξύλου	Αριθμός ειδών ξύλου	Μέση υγρασία(%)	
		Εγκάρδιο ξύλο	Σομφό ξύλο
Κωνοφόρα	27	55	149
Πλατύφυλλα	34	81	83

Πίνακας 2.16. Αρχική και τελική(ισοδύναμη) υγρασία του ξύλου μετά από τοποθέτησή του σε διάφορες συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας

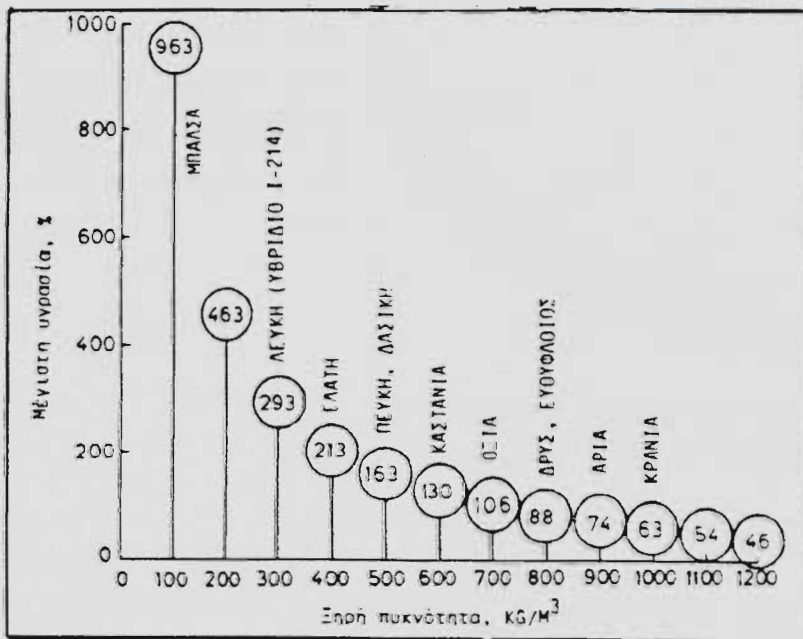
Αρχική υγρασία ξύλου, %	Κλιματικές συνθήκες		Ισοδύναμη υγρασία ξύλου, %	Απώλεια ή προσρόφηση υγρασίας
	Θερμοκρασία °C	Σχετική υγρασία %		
70	20	50	9,2	Απώλεια
10	60	90	17,7	Προσρόφηση
24	20	95	24	-
30	30	60	11,1	Απώλεια
15	80	50	6,2	Απώλεια
15	10	90	20,9	Προσρόφηση

Πίνακας 2.17. Μέγιστη και ελάχιστη ισοδύναμη υγρασία του ξύλου για διάφορες περιοχές της Ελλάδας και χρόνος εμφάνισής της

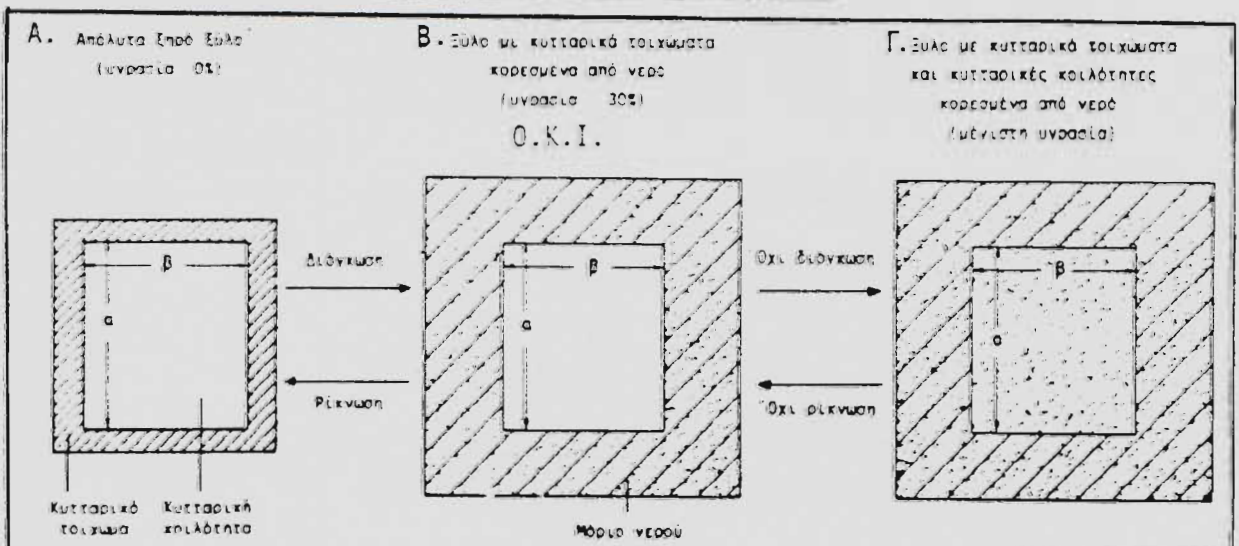
Τόπος	Μήνες			
	Ιανουάριος	Ιούλιος	Αύγουστος	Δεκέμβριος
Θεσσαλονίκη		9,7		15,3
Αθήνα		7,8		14,0
Γιάννενα		10,5		17,0
Λάρισα		9,5		18,0
Κοζάνη	16,8		8,7	
Αλεξανδρούπολη	15,6	9,8		
Πάρνηθα		10,1		23,0



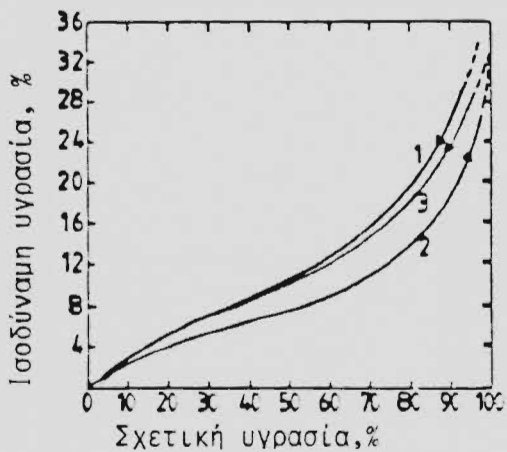
Σχ.2.18. Υγρασία χλωρού ξύλου (αμέσως μετά την υλοτομία) δασικής πεύκης και οξιάς σε απόσταση 55 εκ. από το έδαφος (Από Τσουμή, 1983).



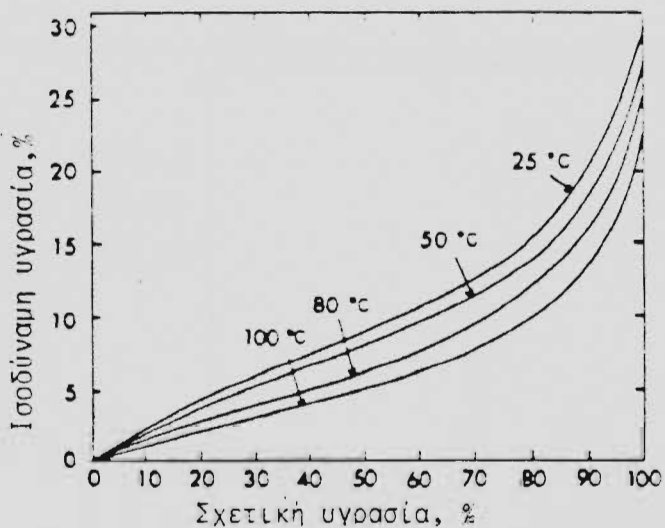
Σχ.2.19. Μέγιστη υγρασία του ξύλου σε σχέση με την πυκνότητά του.



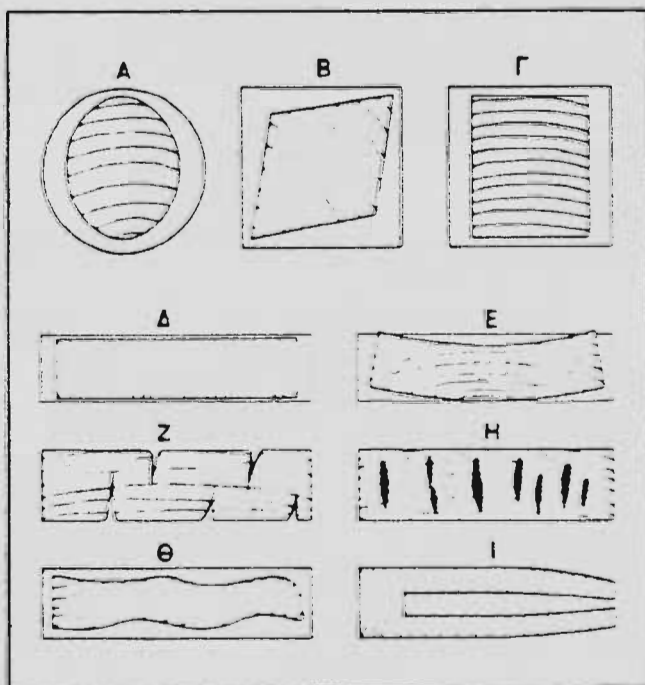
Σχ. 2.20. Συγκράτηση υγρασίας από κύτταρα και διαστασιακές μεταβολές στο ξύλο (O.K.I., Όριο κορεσμού ινών).



Σχ.2.21. Αρχική εκρόφηση(1), προσρόφηση(2) και δεύτερη εκρόφηση (3) σε ξύλο *Tilia americana* σέ 32°C (Από Spalt, 1957).



Σχ.2.22. Επίδραση της θερμοκρασίας στην ισοδύναμη υγρασία μεγάλων δειγμάτων ξύλου ερυθρελάτης κατά τη διάρκεια εκρόφησης (Από Stamm, 1964).



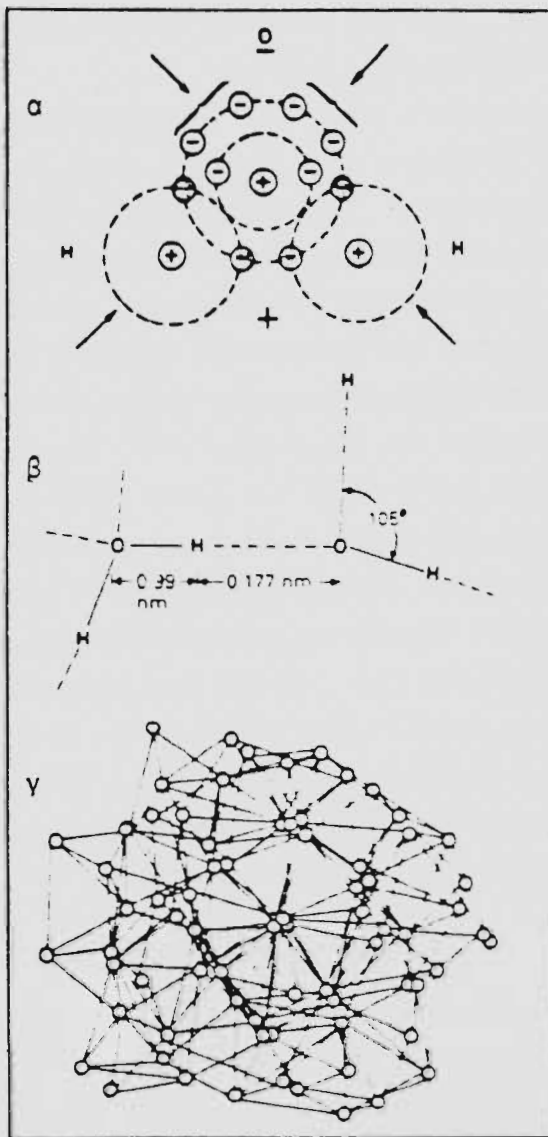
Σχ.2.23. Σφάλματα που προκύπτουν στο ξύλο από απώλεια υγρασίας. Α,Β,Γ,Δ. Μεταβολή σχήματος εγκάρσιων διατομών, Ε. Στρέβλωση, Ζ,Η. Ραγαδώσεις εξωτερικές (Ζ) και εσωτερικές (Η. κυφελίδωση), Θ. Κατάρρευση, Ι. Κελύφωση.

0,74 και 0,92. Αύξηση της θερμοκρασίας για ορισμένη σχετική υγρασία μειώνει την υγροσκοπικότητα του ξύλου (Σχ. 2.22).

Πριν από οποιαδήποτε χρησιμοποίηση, πρέπει να προηγηθεί ξήρανση του ξύλου σε επίπεδα υγρασίας που αντιστοιχούν στις συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας του χώρου χρήσεως. Πλημμελής ξήρανση, εφαρμογή όχι κατάλληλων προγραμμάτων τεχνητής ξήρανσης και συναρμολόγηση κατασκευών με ξύλο υψηλής σχετικά υγρασίας έχουν σαν συνέπεια την εμφάνιση διαφόρων σφαλμάτων που οφείλονται στη ρίκνωση και διόγκωση του ξύλου, την ανισοτροπία του και στην επίδραση διαφορών κατανομής της υγρασίας και της πυκνότητας στη μάζα του ξύλου (Σχ.2.23). Τα σφάλματα που μπορούν να παρουσιαστούν κατά την ξήρανσή του ξύλου έχουν ιδιαίτερη σημασία όταν γίνεται χρησιμοποίηση υδατοδιαλυτών εμποτιστικών σε ξυλεία που έχει διαμορφωθεί σε τελικές διαστάσεις. Επειδή τα υδατοδιαλυτά εμποτιστικά διογκώνουν το ξύλο χρειάζεται επαναξήρανση και επαναφορά της ξυλείας στις διαστάσεις της πριν από τον εμποτισμό ώστε να είναι επιτυχής η συναρμολόγηση των διαφόρων μελών ξύλου. Η διαδικασία όμως αυτή (πρώτη ξήρανση - δευτερογενής κατεργασία - εμποτισμός με υδατοδιαλυτά εμποτιστικά - επαναξήρανση) μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα που έχουν σχέση με την υγροσκοπικότητα του ξύλου.

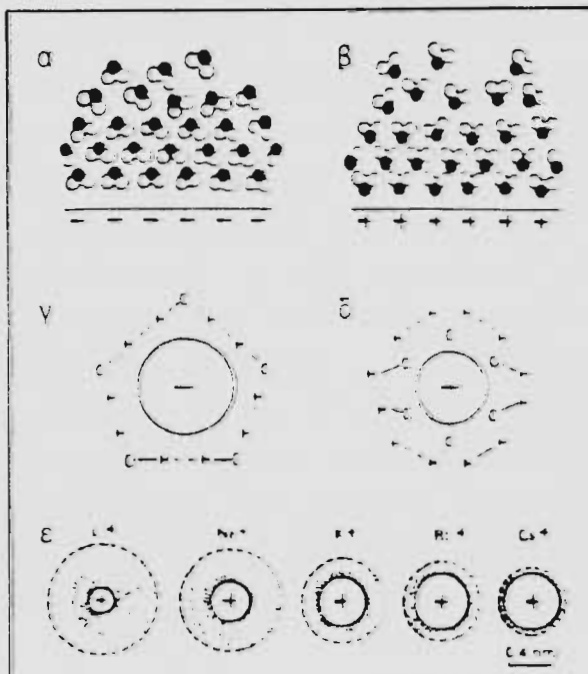
#### 3.4.2. Δεσμοί νερού και ξύλου

Κάθε μόριο νερού αποτελείται από δύο άτομα υδρογόνου και ένα οξυγόνου και είναι στο σύνολό του ηλεκτρικά ουδέτερο. Η ασύμμετρη όμως κατανομή των ηλεκτρονίων έχει σαν αποτέλεσμα η μια πλευρά του μορίου να είναι θετικά ηλεκτρισμένη και η άλλη αρνητικά (Σχ.2.24). Τέτοια δίπολα μόρια όπως του νερού συμπεριφέρονται σε ένα ηλεκτρικό πεδίο έτσι ώστε η πλευρά με το αρνητικό φορτίο να προσανατολίζεται απέναντι από πόλο με θετικό φορτίο και αντίστροφα (Σχ.2.25) και να δημιουργούν δεσμούς υδρογόνου. Οι δεσμοί αυτοί δεν είναι ισχυροί (περί τα 20 kJ/mole) αλλά κάθε πόλος (με θετικό ή αρνητικό φορτίο) ενός μορίου νερού μπορεί να σχηματίζει μέχρι 4 δεσμούς υδρογόνου με άλλα γειτονικά μόρια. Στον πάγο, οι δεσμοί υδρογόνου μεταξύ των μορίων νερού σχηματίζονται με κανονικότητα (Σχ. 2.24) και δημιουργείται τετραεδρικής μορφής κρυσταλλική κατασκευή. Σε υγρή κατάσταση τα μόρια του νερού συνδέονται με μικρότερη κανονικότητα και σχηματίζονται λιγότεροι δεσμοί υδρογόνου σε σύγκριση με τον πάγο αλλά κάποιος βαθμός κρυσταλλικότητας παραμένει (Σχ.2.24) Από τους δεσμούς υδρογόνου που σχηματίζονται στον πάγο, το 85% περίπου παραμένει σε υγρό νερό 0 °C και μερικοί δεσμοί παραμένουν ακόμη και στο σημείο βρασμού.



Σχ.2.24. α. Διαγραμματική παράσταση της δομής ενός μορίου νερού που δείχνει τα κοινά και τα μονήρη ζεύγη ηλεκτρονίων. Τα βέλη δείχνουν θέσεις δεσμών υδρογόνου (H. Υδρογόνο, O. Οξυγόνο).  
 β. Σύνδεση δύο μορίων νερού με δεσμούς υδρογόνου στον πάγο, γωνίες των δεσμών και αποστάσεις μεταξύ των ατόμων υδρογόνου και οξυγόνου (— Ιονικοί δεσμοί, ---- Δεσμοί υδρογόνου,  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ).  
 γ. Μοντέλο σύνδεσης μορίων νερού σε υγρή κατάσταση όπως προκύπτει από ανάλυση υπολογιστή.

(Από Sutcliffe, 1979)



Σχ.2.25. α και β. Προσανατολισμός μορίων νερού σε επιφάνεια με αρνητικό και θετικό φορτίο (Οι μαύροι κύκλοι παριστάνουν άτομα οξυγόνου).  
 γ και δ. Προσανατολισμός μορίων νερού γύρω από αρνητικά και θετικά ιόντα (---- Δεσμοί υδρογόνου).  
 ε. Συγκριτικό μέγεθος μονοσθενών μεταλλικών κατιόντων (αλκαλίων) και πάχους στοιβάδας νερού γύρω από τα ιόντα (Από τα αριστερά προς τα δεξιά, η μάζα των κατιόντων αυξάνεται, η ένταση του φορτίου ελαττώνεται και το πάχος της στοιβάδας του νερού γύρω από τα ιόντα ελαττώνεται)

(Από Sutcliffe, 1979)

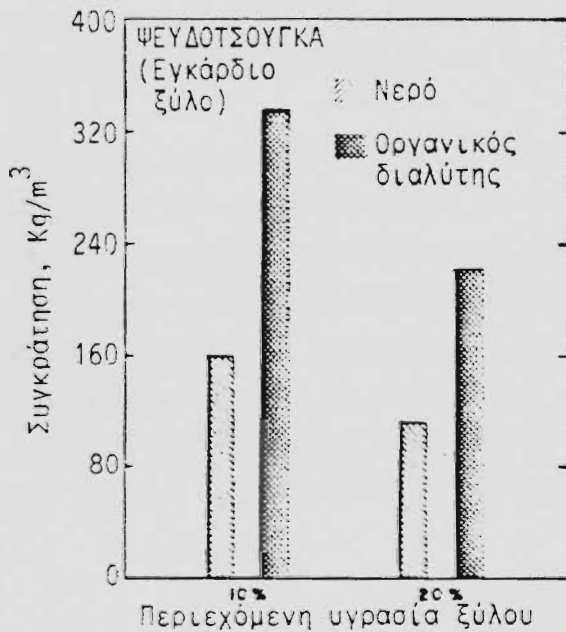
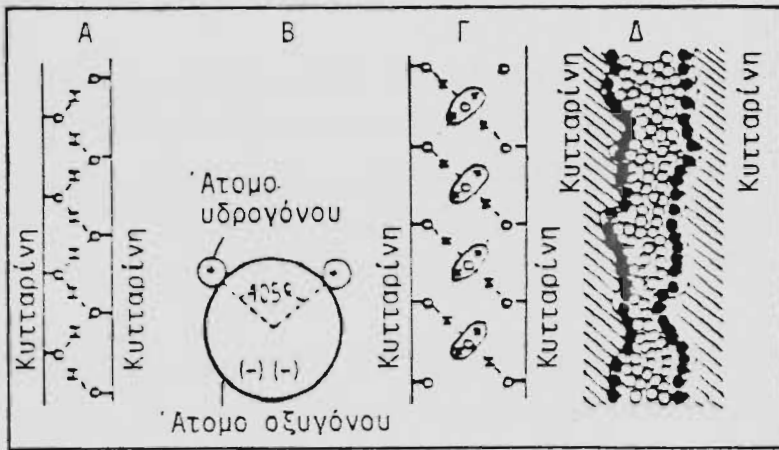
Η διάλυση πολικών ουσιών που δεν ιονίζονται στο νερό και ουσιών που ιονίζονται σε θετικά ή αρνητικά ιόντα στο νερό (Σχ. 2.25 ) οφείλεται στους δεσμούς υδρογόνου που σχηματίζονται μεταξύ μορίων νερού-πολικών ουσιών ή ιόντων. Πολλές ουσίες (π.χ. υδρογονάνθρακες) που δεν είναι πολικές διαλύονται πολύ λίγο στο νερό επειδή δεν δημιουργούνται δεσμοί υδρογόνου.

Δεσμοί υδρογόνου μεταξύ μορίων νερού και υδροξυλίων ( $\text{OH}^-$ ) της κυτταρίνης και ημικυτταρινών υπάρχουν και δημιουργούνται πάντοτε σε ξύλο είτε ζωντανών δέντρων είτε σε υπηρεσία. Οι δεσμοί αυτοί είναι υπεύθυνοι για τις μεταβολές των διαστάσεων, του πορώδους, της διαπερατότητας και άλλων ιδιοτήτων του ξύλου και επηρεάζουν σημαντικά τις μεθόδους εμποτισμού, συντήρησης και βελτίωσης του και τη συμπεριφορά των εμποτιστικών ουσιών.

Το νερό των κυτταρικών κοιλοτήτων και άλλων τριχοειδών στο ξύλο (ελεύθερο νερό, free water) συγκρατείται με μικρές δυνάμεις που αναπτύσσονται (τριχοειδείς δυνάμεις) και η ενέργεια που χρειάζεται για την εξάτμισή του είναι λίγο μεγαλύτερο από εκείνη της ελεύθερης επιφάνειας του νερού. Μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα όμως το νερό συγκρατείται με δεσμούς υδρογόνου (δεσμευμένο νερό, bound water) και διακρίνεται σε μονομοριακό (αντιστοιχεί σε υγρασία 5-9%) και πολυμοριακό (αντιστοιχεί υγρασία από 5-9% μέχρι το Ο.Κ.Ι.) όπου το νερό μπορεί να σχηματίζει αλυσίδες μέχρι 6 μόρια (Σχ. 2.26).

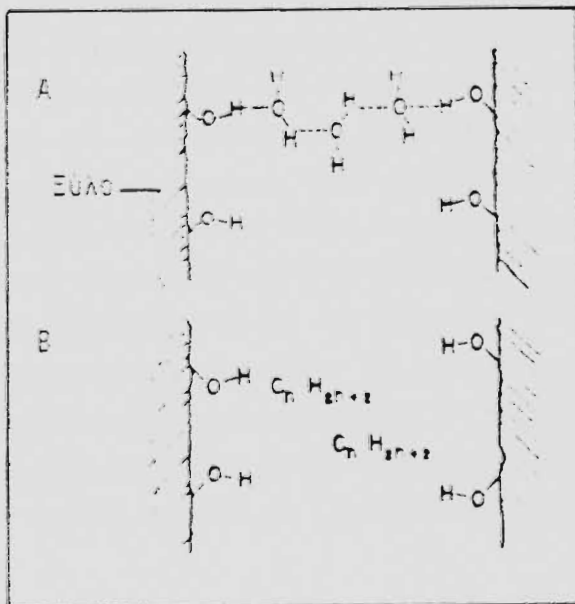
### 3.4.3. Επίδραση υγροσκοπικότητας στον εμποτισμό

Η σχέση που υπάρχει μεταξύ υγροσκοπικότητας του ξύλου και ορισμένων ιδιοτήτων του (πορώδες, διαπερατότητα) που είναι βασικές για τον εμποτισμό και τη βελτίωσή του έχουν αναλυθεί σε προηγούμενα κεφάλαια (βλ. κεφ. 3.2,3.3). Από την ανάλυση αυτή προκύπτει ότι αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας του ξύλου μειώνει το πορώδες του ξύλου (δηλ. το διαθέσιμο χώρο για εμποτιστικές ουσίες) και για τιμές πάνω από το όριο κορεσμού ινών είναι πολύ δύσκολη η εισαγωγή επαρκών ποσοτήτων εμποτιστικών ουσιών στο ξύλο. Κάτω από το όριο κορεσμού ινών (Ο.Κ.Ι) συνήθως παρατηρείται μείωση της διαπερατότητας του ξύλου σε αέρια όσο η υγρασία του ξύλου αυξάνει. Για μείωση της υγρασίας κωνοφόρου ξύλου από 30% σε 0%, η σχετική διαπερατότητα βρέθηκε να αυξάνει από 0 σε 1,17 Darcys. Η μικρότερη αυτή διαπερατότητα στο όριο κορεσμού ινών αποδίδεται στη συμπύκνωση νερού στα μικρά τριχοειδή των μεμβρανών των βοθρίων η οποία παρεμποδίζει τη ροή των αερίων στο ξύλο.



Σχ.2.27. Επίδραση της περιεχόμενης υγρασίας του ξύλου κάτω από το όριο κορεσμού στην συγκράτηση νερού και οργανικού διαλύτη (υδρογονάνθρακα).

(Από Nickolas, 1973)



Σχ.2.28. Αλληλεπίδραση νερού (πολικού υγρού) και ελαίου (υδρογονάνθρακα, όχι πολικού υγρού) με το ξύλο (Α. ----- Δεσμοί υδρογόνου, Β. Μεταξύ ελαίου και ξύλου και μεταξύ μορίων του ελαίου δεν δημιουργούνται δεσμοί υδρογόνου).

(Από Nickolas, 1973)

Επίσης, η μείωση του μεγέθους των τριχοειδών των μεμβρανών των βοθρίων που οφείλεται στην αύξηση της υγρασίας του ξύλου και τη διόγκωση μειώνει τη διαπερατότητα. Άλλοι συγγραφείς έχουν δείξει επίσης ότι αύξηση της υγρασίας του ξύλου κάτω του 0.Κ.Ι. επιφέρει μείωση του ρυθμού ροής (διαπερατότητας) των υγρών στο ξύλο.

Η επίδραση της υγρασίας του ξύλου στη διείσδυση και συγκράτηση των εμποτιστικών ουσιών από το ξύλο μετά από εφαρμογή ή χωρίς εφαρμογή πίεσης έχει πρακτικό ενδιαφέρον. Στο Σχ. 2.27 φαίνονται ότι αύξηση της υγρασίας του ξύλου από 10% σε 20% μειώνει κατά 35% περίπου τη συγκράτηση νερού (πολικό υγρό) και οργανικού διαλύτη (όχι πολικό υγρό) μετά εισαγωγή τους στο ξύλο με εφαρμογή πίεσης. Συνεπώς όταν το ξύλο ξηραίνεται πριν από τον εμποτισμό τότε πετυχαίνεται καλύτερη διείσδυση και συγκράτηση εμποτιστικών ουσιών. Αυτό φυσικά δεν ισχύει όταν εφαρμόζονται μέθοδοι διάχυσης όπου απαιτείται υψηλή περιεχόμενη υγρασία του ξύλου.

Όταν ξηρό ξύλο έρχεται σε επαφή με διάφορα υγρά ή εμποτιστικά τότε διογκώνεται σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό. Ο βαθμός αυτός διογκωσης εξαρτάται από τη δημιουργία ή όχι δεσμών υδρογόνου των υγρών αυτών με το ξύλο. Ο Πίνακας 2.18 δείχνει συγκριτικά το βαθμό διογκώσεως του ξύλου μεταξύ των διαφόρων υγρών (βλ. και Πίν. 2.7).

Πίνακας 2.18. Διόγκωση ξύλου οξιιάς, πεύκης και τσούγκας με διάφορα υγρά σε σχέση με τη διόγκωση του ξύλου με νερό (Από Morgan/Orsler, 1969 και Comstock/Côté, 1968).

Υγρό	Πεύκη		
	Οξιιά	( <i>Pinus resinosa</i> )	Τσούγκα
Νερό	100	100	100
Πεντάνιο		3	2
Αιθυλ.αιθέρας		3	4
Αιθανόλη	68	81	90
Μεθανόλη	92	94	97
Ακετόνη	66	63	77
Τριχλωροαιθάνιο		6	11
Χλωροφόρμιο		6	10
Βενζόλιο		4	8
Κελλοσόλξη		92	98
Χλωροτολουόλιο		3	4
Διοξάνιο		10	7
Φουρφουράλη		68	56
Τολουόλιο		5	8
Πυριδίνη	122		



Ο διαφορετικός βαθμός διόγκωσης του ξύλου με τα διάφορα εμποτιστικά έχει επίδραση στη διείσδυση και συγκράτησή τους στο ξύλο.

Μεταξύ υδατοδιαλυτών και οργανικών εμποτιστικών έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχουν διαφορές ως προς τη ροή και τη διείσδυσή τους μέσα στο ξύλο κάτω από ίδιες συνθήκες εμποτισμού. Η συγκράτηση και διείσδυση στο ξύλο εμφανίζεται μεγαλύτερη στα οργανικά εμποτιστικά σε σύγκριση με τα υδατοδιαλυτά (βλ. Σχ. 2.27). Η διαφορά αυτή αποδίδεται στο γεγονός ότι τα πρώτα δεν διογκώνουν ή διογκώνουν λίγο το ξύλο (όχι πολικά υγρά) και δεν σχηματίζουν δεσμούς με το ξύλο όπως άλλα (πολικά) υγρά, π.χ. το νερό η υγρή αμμωνία, η διαιθυλαμίνη, κ.ά., τα οποία σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου όχι μόνο με το ξύλο αλλά και μεταξύ των μορίων τους (Σχ.2.28). Οι δεσμοί αυτοί υδρογόνου, πιστεύεται ότι προκαλούν επιβράδυνση της ροής του υγρού μέσα στα τριχοειδή του ξύλου. Άλλη πιθανή εξήγηση του φαινομένου αναφέρεται ότι μπορεί να είναι η μεγαλύτερη τάση σχηματισμού φυσαλίδων αέρος στο νερό σε σύγκριση με τα όχι πολικά υγρά με αποτέλεσμα να χρειάζεται περισσότερη δύναμη για να επιτευχθεί ίδιος ρυθμός ροής.

Η βελτίωση γενικά της συμπεριφοράς του ξύλου σε υπηρεσία βρίσκεται στις περισσότερες περιπτώσεις αντιμέτωπη με την υγρασκοπικότητά του. Σε περιπτώσεις που η υγρασία του ξύλου μπορούσε να διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας του πολλοί παράγοντες αλλοίωσης θα εξέλιπαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ\*

1. ΓΕΝΙΚΑ

Το ξύλο κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας του και ανάλογα με τις συνθήκες στις οποίες είναι εκτεθειμένο προσβάλλεται και αλλοιώνεται σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό από διάφορους οργανισμούς (π.χ. μύκητες, ξυλοφάγα έντομα, ξυλοφάγοι θαλάσσιοι οργανισμοί, βακτήρια) αλλά και από αβιοτικούς παράγοντες (φωτιά, ηλιακή ακτινοβολία, νερό, θερμότητα κ.ά.). Η φυσική αντοχή (διάρκεια) του ξύλου στους παραπάνω παράγοντες αλλοίωσης διαφέρει πολύ μεταξύ των ειδών και συνήθως δεν αρκεί για να διατηρηθεί μακροχρόνια η αξία χρήσης του ξύλου. Η αλλοίωση και η μερική ή ολική απώλεια της αξίας χρήσης του ξύλου οδηγούν αναπόφευκτα στην αντικατάσταση των κατασκευών γεγονός που συνεπάγεται μεγάλη οικονομική επιβάρυνση. Επιπλέον, η αλλοίωση του ξύλου σε υπηρεσία δημιουργεί και άλλα προβλήματα π.χ. κινδύνους από υποχώρηση κατασκευών (σκάλες, γέφυρες κλπ.), διακοπή συγκοινωνίας με αμαξοστοιχίες από αντικατάσταση ξύλινων στρωτήρων, διακοπή ηλεκτρικού ή τηλεπικοινωνιών από αντικατάσταση στύλων, μείωση της μηχανικής αντοχής ξύλινων σκαφών από προσβολές θαλάσσιων οργανισμών (δημιουργία εκτεταμένων στοών μέσα στο ξύλο), κλπ.

Ο προστατευτικός εμποτισμός του ξύλου δηλαδή η εισαγωγή συντηρητικών ουσιών μέσα στη μάζα του έχει σκοπό την προστασία του ξύλου από τους παράγοντες αλλοίωσης και κατά συνέπεια την αύξηση της φυσικής αντοχής του σε όσο το δυνατό μεγαλύτερο βαθμό. Επιμήκυνση της διάρκειας του ξύλου σε υπηρεσία συμβάλλει στη διατήρηση των δασών γιατί μειώνει τη ζήτηση ξύλου για αντικατάσταση κατασκευών και αμβλύνει το πρόβλημα της έλλειψης ξύλου που διαπιστώνεται διεθνώς. Ιδιαίτερη σημασία, έχει η συντήρηση του ξύλου σε χώρες (όπως η Ελλάδα) που δεν είναι αυτάρκεις σε ξύλο και αναγκάζονται να κάνουν εισαγωγές και να χάνουν πολύτιμο συνάλλαγμα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η φυσική διάρκεια στύλων τηλεπικοινωνίας που εμποτίζονται με πρισσέλαιο μπορεί να παραταθεί από 6-12 χρόνια σε 45-60 χρόνια και στρωτήρων από 8-10 χρόνια σε 35 και περισσότερα χρόνια.

---

\* Οι όροι εμποτιστική ουσία, εμποτιστικό, συντηρητικό, προστατευτικό διάλυμα, προστατευτική ουσία χρησιμοποιούνται χωρίς διάκριση στο κείμενο.

Ο εμποτισμός του ξύλου με εμποτιστικές ουσίες συνεπάγεται πρόσθετη δαπάνη (ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται πίεση και σχετικά υψηλή θερμοκρασία) αλλά αυτή αντισταθμίζεται με το παραπάνω από τα ωφέληματα που προκύπτουν. Σήμερα, κάτω από τη συνεχώς αυξανόμενη έλλειψη ξύλου σε διεθνή κλίμακα, ο εμποτισμός του ξύλου για μακροχρόνια παράταση της ζωής του κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας του αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις χρησιμοποίησης του ξύλου αναγνωρίζεται η ανάγκη προστασίας του σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό. Ξύλο σε επαφή με το έδαφος ή με το νερό (στρωτήρες, στύλοι ηλεκτρικού δικτύου και τηλεπικοινωνίας, αποβάθρες, κλπ.) βρίσκεται σε δυσμενείς συνθήκες χρησιμοποίησης και χρειάζεται απαραίτητα εμποτισμό. Ξύλο εκτεθειμένο στις συνθήκες του περιβάλλοντος (νερό, φώς, άνεμος) χωρίς να είναι σε επαφή με το έδαφος (εξωτερικές επενδύσεις και σκάλες, κάγκελλα μπαλκονιών, παράθυρα κ.ά) βρίσκεται σε λιγότερο δυσμενείς συνθήκες αλλά και πάλι χωρίς συντήρηση με εμποτιστικές ουσίες αλλοιώνεται με αρκετά γρήγορο ρυθμό. Ακόμα και κατασκευές σε εσωτερικούς χώρους (π.χ. πατώματα, έπιπλα) κινδυνεύουν συχνά από ξυλοφάγα έντομα τα οποία είναι δυνατό να επιφέρουν καταστροφή και αχρηστία του ξύλου γι' αυτό και σε πολλές χώρες προηγείται εμποτισμός του ξύλου για προληπτική προστασία.

Η ιστορία του εμποτισμού αρχίζει από την εποχή του Ηρόδοτου και ίσως ακόμη πιο μπροστά αλλά η πραγματική επανάσταση έγινε την τελευταία 50ετία με αμείωτο ρυθμό και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Σήμερα κυκλοφορεί στο εμπόριο μεγάλος αριθμός εμποτιστικών ουσιών και γίνεται προσπάθεια συνεχούς βελτίωσής τους. Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο περί τις 20 νέες εμποτιστικές ουσίες ξύλου πατεντάρονται και κυκλοφορούν.

Εμποτιστικά που να είναι κατάλληλα και να παρέχουν ικανοποιητική προστασία του ξύλου για όλες τις χρήσεις του δεν υπάρχουν. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το ξύλο κατά την υπηρεσία του εκτίθεται σε ποικίλες κλιματικές συνθήκες και απαιτεί διαφορετικό βαθμό προστασίας σε κάθε περίπτωση. Η χρησιμοποίηση εξάλλου του ξύλου σε εσωτερικούς χώρους αποκλείει ένα μεγάλο αριθμό συντηρητικών για λόγους υψηλής τοξικότητας, ανεπιθύμητου χρώματος, δυσάρεστης οσμής κλπ.

Γενικά οι προϋποθέσεις ενός καλού εμποτιστικού είναι:

1. Το συντηρητικό να είναι αρκετά τοξικό και αποτελεσματικό σε σχετικά μικρή συγκέντρωση ώστε να παρέχει προστασία στο ξύλο από οργανισμούς (έντομα, μύκητες, κ.ά.) που το προσβάλλουν.

Η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας ενός εμποτισμού γίνεται με διάφορους τρόπους α. εργαστηριακά, β. στο ύπαιθρο με διαστάσεις δειγμάτων και συνθήκες εξομοιούμενες με την πραγματικότητα και γ. με πραγματικές διαστάσεις ξύλου και συνθήκες χρησιμοποίησης όπως ακριβώς συμβαίνει στην πράξη. Η διαδικασία αυτή αξιολόγησης των εμποτιστικών χρειάζεται αρκετό χρόνο ιδιαίτερα όταν γίνεται στο ύπαιθρο (π.χ. μπορεί να διαρκέσει 25 χρόνια) ή σε πραγματικές συνθήκες.

Ένα εμποτιστικό το οποίο είναι αποτελεσματικό για συγκεκριμένη χρήση του ξύλου μπορεί να είναι ακατάλληλο για άλλες επειδή δεν ικανοποιούνται ορισμένες απαιτήσεις. Π.χ. εμποτιστικά που προορίζονται για κιβώτια όπου διατηρούνται τρόφιμα πρέπει να αφήνουν καθαρή επιφάνεια, να μην προσδίδουν οσμή και να μην αλλοιώνουν το περιεχόμενο. Αν το ξύλο πρόκειται να βαφεί δεν πρέπει να παρμένουν στην επιφάνεια ελαιώδη φίλμ ή κρυσταλλικά άλατα τα οποία επηρεάζουν τη βαφή. Σε στρωτήρες σιδηροδρόμων, η μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι πλεονέκτημα. Από τα παραπάνω φαίνεται να είναι απίθανο ότι ένα εμποτιστικό μπορεί να είναι κατάλληλο για όλες τις περιπτώσεις.

2. Να μην υποβαθμίζει τις ιδιότητες του ξύλου (μηχανικές ιδιότητες, οξύτητα, ηλεκτρικές και θερμικές ιδιότητες).

3. Να παρουσιάζει διάρκεια και σταθερότητα μετά τον εμποτισμό και να μην εκπλύνεται εύκολα όταν χρησιμοποιείται σε υγρές συνθήκες.

Η σταθερότητα του εμποτιστικού εξαρτάται από πολλούς παράγοντες αλλά κυρίως εξαρτάται από τις φυσικές και χημικές ιδιότητές του και τον τρόπο συγκράτησής του μέσα στο ξύλο. Αν το εμποτιστικό αλλοιώνεται χημικά ή εξατμίζεται σε συνήθεις θερμοκρασίες η προστασία που παρέχει στο ξύλο δεν διαρκεί πολύ. Η αντίσταση του εμποτιστικού σε έκπλυση μπορεί να είναι φυσική (π.χ. σε περίπτωση που το εμποτιστικό είναι αδιάλυτο στο νερό, όπως το πισσέλαιο) ή να προκύπτει από χημική τροποποίηση του εμποτιστικού μετά την εισαγωγή του στο ξύλο (π.χ. άλατα χαλκού-χρωμίου-αρσενικού).

4. Να διεισδύει εύκολα στο ξύλο κατά τον εμποτισμό.

5. Να είναι ασφαλές κατά τη χρήση του, να μην είναι επικίνδυνο στην υγεία του ανθρώπου και να μην μολύνει το περιβάλλον. Μετά τον εμποτισμό ο κίνδυνος πυρκαγιάς των ξύλινων κατασκευών δεν πρέπει να αυξάνεται και, όταν το ξύλο καίγεται, η έκλυση τοξικών αερίων να περιορίζεται στο ελάχιστο.

6. Να είναι οικονομική η χρησιμοποίησή του. Το κόστος είναι πολύ σημαντικό στοιχείο σε εργοστάσια εμποτισμού και σε όσους γενικά ασχο-

λούνται με τον εμποτισμό του ξύλου και τη βελτίωσή του. Φθηνές πρώτες ύλες και φθηνή παρασκευή ενός εμποτιστικού είναι αποφασιστικοί παράγοντες για μια κυρίαρχη θέση του εμποτιστικού στην αγορά.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, το εμποτιστικό δεν πρέπει να έχει δυσάρεστη οσμή, να επηρεάζει τη βαφή ή να απελευθερώνονται πτητικές ουσίες και να μολύνουν το περιεχόμενο.

## 2. ΕΙΔΗ ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Οι εμποτιστικές ουσίες μπορούν να διακριθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες.

- A. Έλαια (διάφορα είδη πισσελαίου ή μίγματα πισσελαίων με πίσσα ή πετρέλαιο)
- B. Οργανικά διαλύματα (ένα ή περισσότερα εντομοκτόνα ή μύκητοκτόνα και συχνά υδρόφοβες ουσίες διαλυμένα σε οργανικούς διαλύτες που συνήθως προέρχονται από απόσταξη πετρελαίου).
- Γ. Υδατοδιαλυτά διαλύματα (ανόργανα άλατα διαλυμένα σε νερό).

Η παραπάνω διάκριση των εμποτιστικών ουσιών είναι η επικρατέστερη αλλά πρέπει να χρησιμοποιείται με κάποια ελαστικότητα γιατί συχνά παρατηρείται εμπλοκή των τριών κατηγοριών μεταξύ τους π.χ. τα έλαια θεωρούνται οργανικά εμποτιστικά σε ορισμένες χώρες, μερικές προστατευτικές ουσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετά από διάλυση είτε σε νερό είτε σε οργανικούς διαλύτες και έλαια.

Ο Πίνακας 3.1 παρουσιάζει την ταξινόμηση των εμποτιστικών στις παραπάνω τρεις κατηγορίες και τις κυριότερες ιδιότητές τους.

### 2.1. Έλαια

Κύριος αντιπρόσωπος της κατηγορίας είναι το πισσέλαιο.

#### Πισσέλαιο ή κρεόζωτο

Παράγεται από πίσσα (λιθανθρακόπισσα)\* η οποία προέρχεται συνήθως από ξηρή απόσταξη λιθανθράκων. Κατά την απόσταξη της πίσσας παράγονται διάφορα έλαια όπως τα "βαριά έλαια" (πυκνότητα 1,02-1,04 g/cm<sup>3</sup>, σημείο βρασμού 300 °C) τα οποία αποτελούν το πισσέλαιο.

Η σύνθεση του πισσελαίου δεν είναι σταθερή λόγω μεταβλητότητας της σύνθεσης της πρώτης ύλης (λιθανθράκων, λιγνίτη) και συνθηκών παρα-

---

\* Άλλα προϊόντα που προέρχονται από την ξηρή απόσταξη λιθανθράκων είναι κώκ, αμμωνιακά ύδατα, κυανιούχοι ενώσεις, φωταέριο.

Τύποι εμποτιστικού	Μέθοδος εμποτισμού	Ιδιότητες
Έλαια	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Με πίεση</li> <li>- Με εμβάπτιση</li> <li>- Με θερμό-ψυχρό λουτρό</li> <li>- Με βούρτσα</li> </ul>	<p>Παρουσιάζουν αντίσταση σε έκπλυση και είναι ιδιαίτερα κατάλληλα σε εξωτερικούς χώρους χρήσεως. Έχουν χαρακτηριστική οσμή, προσδίδουν χρώμα σε υλικά που έρχονται σε επαφή, δεν οξειδώνουν μέταλλα και εφόσον το ξύλο ξηραθεί για μερικούς μήνες μετά τον εμποτισμό δεν υπάρχει ιδιαίτερος κίνδυνος πυρκαϊάς. Δεν είναι κατάλληλα στις περιπτώσεις που το ξύλο πρόκειται να βαφεί. Προσδίδουν στο ξύλο υδρόφοβες ιδιότητες γεγονός που βοηθά στην μείωση των διαστασιακών μεταβολών.</p>
Οργανικά διαλύματα	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Εμβάπτιση</li> <li>-Διπλό κενό</li> <li>-Με βούρτσα ή ράντισμα</li> </ul>	<p>Τα περισσότερα παρουσιάζουν αντίσταση στην έκπλυση αλλά μερικά εξατμίζονται κατά ένα ποσοστό. Κατάλληλα για εξωτερικές και εσωτερικές κατασκευές, γενικά δεν οξειδώνουν μέταλλα και δεν προσδίδουν χρώμα σε υλικά που έρχονται σε επαφή. Η επιφάνεια του ξύλου παραμένει αναλλοίωτη στην εμφάνιση μετά την ξήρανση και συνήθως η ξυλεία βάφεται και συγκολλάται ικανοποιητικά. Δεν προκαλούν διόγκωση του ξύλου κατά τον εμποτισμό και γι' αυτό μπορεί να εμποτιστεί ξυλεία διαμορφωμένη σε τελικές διαστάσεις χωρίς προβλήματα. Οι διαλύτες είναι εύφλεκτα υλικά αλλά μετά την εξατμίση τους δεν υπάρχει αυξημένος κίνδυνος πυρκαϊάς. Συχνά προστίθενται υδρόφοβες ουσίες για να προσδίδουν υδρόφοβες ιδιότητες στο ξύλο και να περιορίζουν τις διαστασιακές μεταβολές του ξύλου κατά την υπηρεσία του.</p>
Υδατοδιαλυτά εμποτιστικά	Πίεση	<p>Παρουσιάζουν αντίσταση σε έκπλυση επειδή δημιουργού δεσμούς με το ξύλο και σχηματίζονται αδιάλυτα σύμπλοκα. Ορισμένα εκπλύνονται μερικώς. Γενικά δεν οξειδώνουν μέταλλα, δεν προσδίδουν χρώμα και δεν είναι εύφλεκτα. Το ξύλο πρέπει να ξηραθεί πάλι μετά τον εμποτισμό, η εμφάνισή του παραμένει ίδια (μερικές φορές χρωματίζεται) και μπορεί να βαφεί και συγκολληθεί ικανοποιητικά.</p>

γωγής (απόσταξης). Το πρισέλαιο είναι μίγμα εκατοντάδων ενώσεων (πάνω από 200) και είναι εξαιρετικά δύσκολο να προδιαγραφεί. Πολλές από τις ενώσεις αυτές βρίσκονται σε μικρά ποσοστά. Οι περισσότερες ενώσεις ανήκουν στην αρωματική σειρά. Τα κυριώτερα συστατικά είναι: υδρογονάνθρακες (ναφθαλίνιο, φαινανθρένιο, ακεναφθένιο, φλουροανθένιο, χρυσένιο κ.ά.), οξυγονούχες ενώσεις (φαινόλες, κρεσόλες, ναφθόλες κλπ.), αζωτούχες ενώσεις (πυριδίνη, ακριδίνη, κινολίνη, κλπ.) και θειούχες ενώσεις. Μιά τυπική χημική σύνθεση πρισελαίου φαίνεται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2. Τυπική χημική σύνθεση πρισελαίου Αμερικής

<u>Χημική ένωση</u>	<u>Ποσοστό, %</u>
Ναφθαλένιο	3,0
Μεθυλο-ναφθαλίνιο	2,1
Ακεναφθένιο	9,0
Διμεθυλο-ναφθαλίνιο	2,0
Διβενζοφουράνιο	5,0
Φλουορένιο και συγγενείς ενώσεις	10,0
Μεθυλο-φλουρένιο	3,0
Φαινανθρένιο	21,0
Ανθρακένιο	2,0
Καρβαζόλιο	2,0
Μεθυλο-φαινανθρένιο	3,0
Μεθυλο-ανθρακένια	4,0
Φλουοροανθένιο	10,0
Πυρένιο	8,5
Βενζοφλουορένιο	2,0
Χρυσένιο	3,0

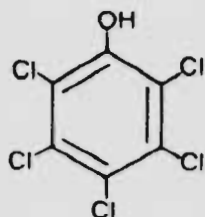
Το σημείο βρασμού των ουσιών αυτών κυμαίνεται μεταξύ 200-400 °C και η πυκνότητα μεταξύ 0,9-1,3 g/cm<sup>3</sup>. Είναι πραγματικά αδύνατο να παρασκευασθεί πρισέλαιο προκαθορισμένης χημικής σύνθεσης. Το πρισέλαιο έχει άριστες προστατευτικές ιδιότητες για το ξύλο κατά των μυκήτων και εντόμων και χρησιμοποιείται ευρύτατα σε παγκόσμια κλίμακα εδώ και 150 χρόνια περίπου. Τα μειονεκτήματα του εντοπίζονται κυρίως στο δυσάρεστο χρώμα και οσμή που προσδίδει στο ξύλο και στην αδυναμία βαφής του εμποτισμένου ξύλου. Σε εξωτερικές όμως κατασκευές (στρωτήρες σιδηροδρόμων, στύλοι ΟΤΕ και ΔΕΗ, αποβάθρες κλπ.) συνεχίζει να είναι ασυναγώνιστο εμποτιστικό. Σε πολλές περιπτώσεις το πρισέλαιο χρησιμοποιείται και σε συνδυασμό με άλλες προστατευτικές ουσίες (π.χ.

ναφθιονικός χαλκός, TBTO, πενταχλωροφαινόλη, κ.ά.) για βελτίωση της αποτελεσματικότητάς του.

## 2.2. Οργανικά διαλύματα

### 2.2.1. Πενταχλωροφαινόλη (Pentachlorophenol, PCP, Penta, PENCHLORAL)- $C_6HCl_5O$ .

Η πενταχλωροφαινόλη άρχισε να χρησιμοποιείται στον εμπότισμό του ξύλου από το 1936. Έχει λευκό χρώμα, είναι λίγο διαλυτή στο νερό (14 ppm σε 20 °C) αλλά διαλύεται εύκολα σε αρκετούς οργανικούς διαλύτες. Είναι τοξική και ερεθιστική σε ανθρώπους, αλλά, όπως αναφέρεται, μετά την είσοδό της στο ξύλο διαρκεί και δεν αποπλύνεται εύκολα. Παρασκευάζεται με καταλυτική χλωρίωση των φαινολών (catalytic chlorination of phenol), σχηματίζει άχρωμους κρυστάλλους με φαινολική οσμή. Ο συντακτικός της τύπος είναι :



Το εμπορικό προϊόν περιέχει περίπου 83-84% πενταχλωροφαινόλη και το υπόλοιπο αποτελείται από ισομερικές πενταχλωροφαινόλες, άλλες χλωριωμένες φαινόλες, αδρανή υλικά κ.λ.π.

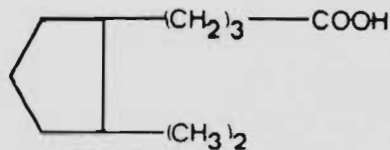
Η πενταχλωροφαινόλη είναι μυκητοκτόνο και χρησιμοποιείται για προστασία του ξύλου από σηπτικούς μύκητες αλλά και, σε μικρότερο βαθμό, από έντομα. Είναι το πιο ενδιαφέρον εμποτιστικό, ιδίως για τις ΗΠΑ, αλλά τελευταία υπάρχει μεγάλη περίσκεψη στη χρησιμοποίησή του επειδή πιθανολογείται ότι μπορεί να έχει ανθυγιεινές επιδράσεις. Τριχλωροφαινόλη ή τετραχλωροφαινόλη είναι δυνατό επίσης να χρησιμοποιηθούν αλλά είναι λιγότερο αποτελεσματικές.

### 2.2.2. Ναφθιονικός χαλκός (Copper Naphthenate)- $C_{11}H_{20}O_2$ .

Παρασκευάζεται με αλληλεπίδραση διαλυτών αλάτων χαλκού και ναφθιονικού οξέος.

Τα ναφθιονικά οξέα παράγονται σαν υποπροϊόντα κατά τον εξευγενισμό των πετρελαίων. Είναι κορεσμένα μονοκαρβονικά οξέα και έχουν μία ή περισσότερες αλυσίδες κυκλοαλκανίων. Ένας τυπικός συντακτικός τύπος του ναφθιονικού οξέος είναι:



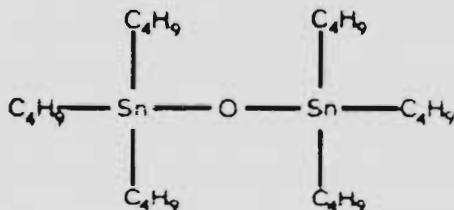


Τα οξέα όμως αυτά, όπως και το πισσέλαιο, είναι μίγμα πολλών όμοιων ενώσεων. Είναι στερεό ή πολύ ιξώδες υγρό, χρώματος βαθύ πράσινου, συνήθως με δυσάρεστη οσμή, αδιάλυτο (πρακτικά) σε νερό, μέτρια διαλυτό σε πετρέλαια και διαλυτό στους περισσότερους οργανικούς διαλύτες. Διαλύματα ναφθιονικού χαλκού χρησιμοποιούνται για πολλά χρόνια σαν συντηρητικά ξύλου κατά των μυκήτων και έχουν γίνει γνωστά κυρίως με τα εμπορικά ονόματα "Cuprinol" (Δανία) και "Oborex Cu" (Ολλανδία). Σήμερα χρησιμοποιούνται σε δεκάδες παραλλαγές (τύπους). Η αποτελεσματικότητα του ναφθιονικού χαλκού ή και άλλων μετάλλων (π.χ. ψευδαργύρου) οφείλεται κυρίως στην περιεκτικότητα του μετάλλου.

Ναφθιονικός χαλκός συγκέντρωσης 0,5-1,5% σε Cu έχει χρησιμοποιηθεί μαζί με πισσέλαιο κατά θαλασσιών οργανισμών επειδή βελτιώνει την αποτελεσματικότητα του προστατευτικού διαλύματος.

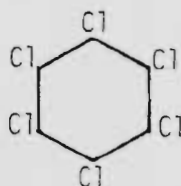
### 2.2.3. Οργανομεταλλικά σύμπλοκα

Κύριος αντιπρόσωπος είναι το bis (tributyltin) oxide, γνωστό κοινώς σαν tributyltin oxide ή TBTO, το οποίο είναι υγρό αδιάλυτο στο νερό, ενώ διαλύεται σε πολλούς οργανικούς διαλύτες (σημείο βρασμού 220-230 °C). Ο συντακτικός του τύπος είναι:



Είναι σχετικά ακριβό εμποτιστικό αλλά εξαιρετικά καλό μυκητοκτόνο - περίπου 10 φορές αποτελεσματικότερο της πενταχλωροφαινόλης - πράγμα που επιτρέπει τη χρησιμοποίησή του σε μικρές συγκεντρώσεις (π.χ. 0,2%). Χρησιμοποιείται πολύ στη Μ.Βρετανία και συνιστάται κυρίως για προστασία ξυλουργικών κατασκευών (χωρίς να είναι σε επαφή με το έδαφος) συχνά σε συνδυασμό με το lindane. Στις περιπτώσεις αυτές προστασίας πλεονεκτεί

σε σύγκριση με την πενταχλωροφαινόλη στο ότι έχει χαμηλότερη τοξικότητα σε θηλαστικά, είναι λιγότερο ερεθιστικό στο δέρμα και το ξύλο μπορεί να βαφεί καλύτερα. Ο συντακτικός τύπος του lindane ( $\gamma$ -ισομερές 1,2,3,4,5,6 εξαχλωροκυκλοεξάνιο) είναι:

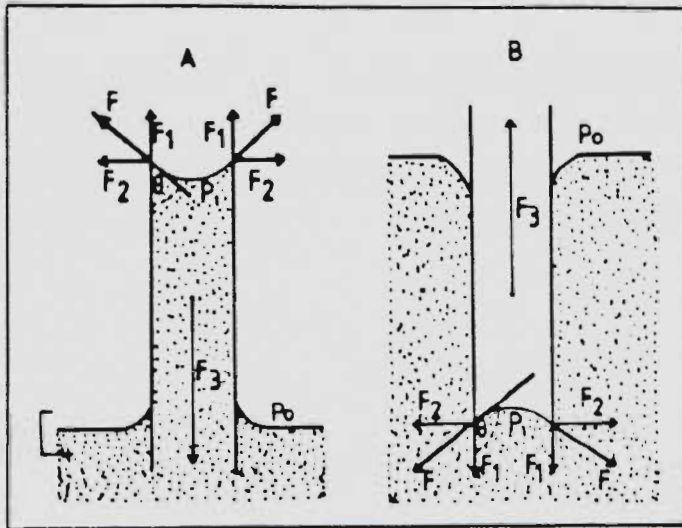


Το TBTO παρουσιάζει καλή αποτελεσματικότητα και εναντίον θαλασσιών οργανισμών γι' αυτό έχει προταθεί να χρησιμοποιείται μαζί με πισσέλαιο σε ανάλογες περιπτώσεις.

#### 2.2.4. Υδρόφοβα διαλύματα (water repellent solutions)

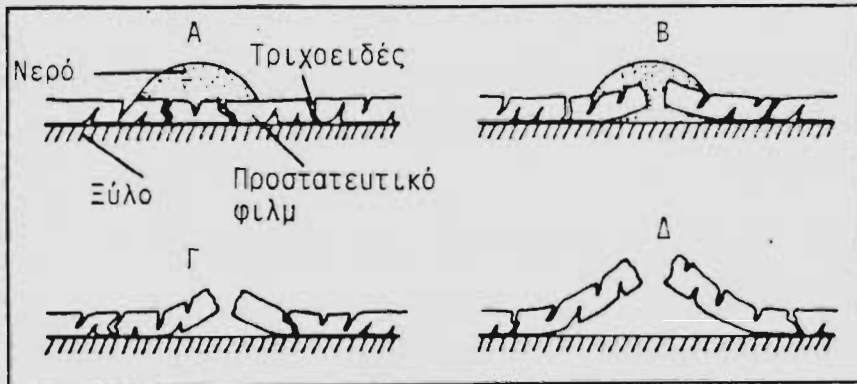
Τα υδρόφοβα διαλύματα είναι οργανικά διαλύματα που περιέχουν υδρόφοβες ή υδροαπωθητικές ουσίες (φυσική ή συνθετική ρητίνη, παραφίνη, έλαια) αλλά συνήθως και άλλες προστατευτικές ουσίες όπως π.χ. μυκητοκτόνα ή εντομοκτόνα. Ένα τυπικό οργανικό διάλυμα των παραπάνω ουσιών περιέχει ρητίνη σε ποσοστό περίπου 10-15%, παραφίνη σε ποσοστό συνήθως 0,5-1%. Οι συνήθεις οργανικοί διαλύτες που χρησιμοποιούνται στην πράξη αναφέρονται με τα εμπορικά ονόματα white spirit, shellsol, κ.ά.

Ο εμποτισμός του ξύλου γίνεται με απλές μεθόδους και κυρίως με εμπύπτιση του στο οργανικό διάλυμα για 3 λεπτά. Για μεγαλύτερο βαθμό προστασίας χρησιμοποιείται η μέθοδος του διπλού κενού με την οποία πετυχαίνεται εισαγωγή μεγαλύτερης ποσότητας υδρόφοβων ουσιών στη μάζα του ξύλου. Πλεονεκτήματα της χρησιμοποίησης υδρόφοβων διαλυμάτων για την προστασία του ξύλου είναι ότι τα διάφορα μέλη των ξυλουργικών κατασκευών μπορούν να εμποτιστούν διαμορφωμένα σε τελικές διαστάσεις γιατί οι οργανικοί διαλύτες που χρησιμοποιούνται δεν διογκώνουν το ξύλο όπως το νερό. Μετά τον εμποτισμό του ξύλου ο διαλύτης εξατμίζεται ενώ τα στερεά συστατικά επικαλύπτουν την εξωτερική αλλά και μεγάλο μέρος της εσωτερικής επιφάνειας του ξύλου με τη μορφή λεπτότατου στρώματος. Το πάχος του στρώματος αυτού είναι ανομοιόμορφο και πιθανότατα όχι συνεχές λόγω του ιδιόμορφου πορώδους συστήματος

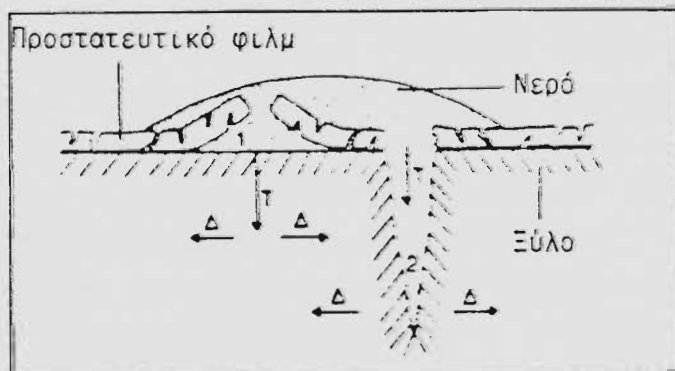


Σχ. 3.1. Τριχοειδής ανύψωση (Α) και πτώση (Β) του νερού σε τριχοειδή που διαβρέχονται και δεν διαβρέχονται αντίστοιχα και δυνάμεις που ενεργούν. Στο τριχοειδές Β εμποδίζεται η είσοδος νερού λόγω επικάλυψης των τοιχωμάτων του με υδρόφοβες ουσίες ( $F_1, F_2$ . Δυνάμεις επιφανειακής τάσης,  $F$ . Δύναμη που οφείλεται στη βαρύτητα της στήλης του νερού μέσα στο τριχοειδές)

(Από Siau, 1971)



Σχ.3.2 . Στάδια μηχανισμού της "εκλεκτικής ύγρανσης" (preferential wetting). Α. Έναρξη διείσδυσης του νερού δια μέσου των τριχοειδών της επικάλυψης. Β. "Εκλεκτική ύγρανση" και εκτόπιση της επικάλυψης. Γ. Ξήρανση και εξασθένηση του δεσμού ξύλου-επικάλυψης. Δ. Εκτεταμένη αλλοίωση της επικάλυψης μετά από επανειλημμένη ύγρανση και ξήρανση.



Σχ. 3.3. Μείωση της αποτελεσματικότητας της προστατευτικής επικάλυψης λόγω "εκλεκτικής ύγρανσης" (1) και αλλοίωσης (ραγάδωσης) του ξύλου (2). Η δημιουργία καινούργιων τριχοειδών (Τ) και η πιο έντονη διάχυση (Δ) επιταχύνουν την είσοδο του νερού στο ξύλο.

του ξύλου και της ανακατανομής των στερεών συστατικών μέσα στο ξύλο κατά την εξάτμιση του διαλύτη. Με την επικάλυψη της εσωτερικής επιφάνειας του ξύλου δημιουργούνται πόροι και τριχοειδή με υδρόφοβο χαρακτήρα στα οποία εμποδίζεται η είσοδος του νερού (Σχ. 3.1). Τις υδρόφοβες ιδιότητες στο ξύλο προσδίδει η παραφίνη ενώ η ρητίνη χρησιμεύει κυρίως για την εξασφάλιση κάποιου δεσμού με το ξύλο. Ο δεσμός αυτός δεν είναι ισχυρός (μέχρι 15 KJ/mole) και αποδίδεται σε Van der Waals δυνάμεις ενώ οι δεσμοί υδρογόνου είναι πιά ισχυροί (40 KJ/moles).

Η παρεμπόδιση της εισόδου υγρού νερού στο ξύλο είναι ακριβώς η προστασία που προσφέρουν οι υδρόφοβες ουσίες στις ξύλινες κατασκευές. Η προστασία του ξύλου με υδρόφοβες ουσίες αποκτά σημασία όταν διαρκεί όσο το δυνατό περισσότερο χρόνο. Πρέπει να σημειωθεί ότι, κατά την διάρκεια υπηρεσίας του, το ξύλο μπορεί επανειλημμένα να εμποδισθεί με υδρόφοβα διαλύματα για ενίσχυση της προστασίας του. Παρατεταμένη επαφή του εμποτισμένου ξύλου σε υπηρεσία με νερό έχει σαν αποτέλεσμα την έναρξη εισόδου νερού έστω και με μικρό ρυθμό. Αυτό οφείλεται στην υδρόφιλη συμπεριφορά του ξύλου και στην εκτόπιση του "φίλμ" των υδρόφοβων συστατικών από το νερό μετά από παρέλευση αρκετού χρόνου. Επανειλημμένη ύγρανση και ξήρανση του ξύλου λόγω εναλλαγής των κλιματικών συνθηκών εξασθενεί το δεσμό φιλμ-ξύλου μετακινεί στερεά συστατικά από τα τοιχώματα των πόρων και τριχοειδών στους κενούς χώρους και συντελεί στη μείωση της αποτελεσματικότητας με το μηχανισμό της "εκλεκτικής ύγρανσης" (Σχ. 3.2). Μείωση της αποτελεσματικότητας όμως προκύπτει και από αλλοίωση του ξύλου που προέρχεται από εναλλαγή ρίκνωσης και διόγκωσης του ξύλου. Οι πολυάριθμες ραγάδες που σχηματίζονται αποτελούν καινούργιες εισόδους νερού που βοηθούν στη γρήγορη διείσδυσή του σε βάθος του ξύλου. Οι δύο αυτές αιτίες δηλ. επανειλημμένη εκτόπιση του "φίλμ" από το νερό και οι διαστασιακές μεταβολές του ξύλου λόγω πρόσληψης και αποβολής υγρασίας αποτελούν τις κύριες αιτίες μείωσης της αποτελεσματικότητας των υδρόφοβων ουσιών.(Σχ. 3.3).

Ξύλο που έχει εμποτισθεί με υδρόφοβες ουσίες προστατεύεται λίγο από την είσοδο νερού με μορφή υδρατμών και έχει διαπιστωθεί ότι οι υδρόφοβες ιδιότητες που αποκτά το ξύλο δεν φαίνεται να επιβραδύνουν το ρυθμό εισόδου του νερού σε αέρια κατάσταση.

Έχει παρατηρηθεί ότι η διάρκεια αποτελεσματικότητας των υδρόφοβων διαλυμάτων όταν εφαρμόζονται στο ξύλο μπορεί να φθάσει τα 20 χρόνια αλλά άλλες έρευνες δεν διαπιστώνουν τόσο εντυπωσιακά αποτελέσματα.

Η προστασία του ξύλου με υδρόφοβα διαλύματα εντοπίζεται κυρίως στην παρεμπόδιση της εισόδου του υγρού στο ξύλο σε υπηρεσία με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός αλλοίωσης του που προέρχεται από διαστασιακές μεταβολές. Τα υδρόφοβα διαλύματα προστατεύουν έμμεσα το ξύλο και από μυκητικές προσβολές επειδή το διατηρούν σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας. Για ολοκληρωμένα όμως προστασία προστίθενται στο διάλυμα και μυκητοκτόνα ή εντομοκτόνα (π.χ. πενταχλωροφαινόλη, TBTO). Έτσι τα υδρόφοβα εμποτιστικά διαλύματα παρέχουν προστασία του ξύλου

- (1) από τη δράση φυσικών παραγόντων (κυρίως του νερού) και
- (2) από προσβολές μυκήτων ή εντόμων.

### 2.3. Υδατοδιαλυτά εμποτιστικά

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει πληθώρα εμποτιστικών τα οποία είναι υδατικά διαλύματα μεταλλικών αλάτων και φθοριούχων ενώσεων. Από τα εμποτιστικά αυτά ένας μικρός μόνον αριθμός με επιβεβαιωμένη αποτελεσματικότητα έχει τυποποιηθεί και χρησιμοποιείται. Η σύνθεση και η χρησιμοποίηση ενός υδατοδιαλυτού εμποτιστικού εξαρτάται από το βαθμό αποτελεσματικότητας του, το βαθμό τοξικότητας, τη σταθερότητά του μετά τον εμποτισμό του ξύλου και την απόπλυσή του, τη δαπάνη των αλάτων, τη δυνατότητα δημιουργίας ισχυρών δεσμών με το ξύλο, τον τρόπο κατανομής του μέσα στο ξύλο. Η χρησιμοποίηση του νερού σαν διαλύτη είναι πλεονέκτημα από την άποψη της οικονομικότητας και της ιδιότητάς του να εισέρχεται στα κυτταρικά τοιχώματα και να εμποτίζει όλη τη μάζα του ξύλου.

#### 2.3.1. Άλατα Χαλκού-Χρωμίου-Αρσενικού (Copper-Chrome-Arsenate, CCA).

Τα υδατοδιαλυτά αυτά άλατα χρησιμοποιούνται για τον εμποτισμό του ξύλου σε ολόκληρο τον κόσμο και εφαρμόζονται συνήθως με πίεση. Τρεις είναι οι κύριοι τύποι του εμποτιστικού CCA, Α, Β και C οι οποίοι προκύπτουν με διάλυση οξειδίων ή αλάτων σε διαφορετικές αναλογίες σε νερό. Ο τύπος Α έχει υψηλή περιεκτικότητα σε χρώμιο, ο τύπος Β σε αρσενικό ενώ ο τύπος C είναι ενδιάμεσος. Η σύνθεση των τριών τύπων του CCA φαίνονται στον Πίνακα 3.3. Στο εμπόριο, το εμποτιστικό CCA αναφέρεται με τα ονόματα Ascu, Greensalt, Erdalith (τύπος Α, προέλευσης Η.Π.Α.), Boliden (τύπος Β, σουηδικό προϊόν), Celcure "A" and Tanalith "C" (τύπου C, βρετανικά προϊόντα)

Τα άλατα χαλκού-χρωμίου-αρσενικού μπορούν να χρησιμοποιηθούν για προστασία ξύλου που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος (στύλοι, πάσσαλοι, περιφράξεις, στρωτήρες) ή είναι εγκλεισμένο σε τείχους, τσιμέντο και άλλα οικοδομικά υλικά ή όπου δεν αερίζεται επαρκώς. Επίσης χρησιμοποιείται σε

ορνιθώνες, χοιροστάσια, θερμοκήπια, κάγκελα μπαλκονιών, εξώπορτες, εξωτερικές επενδύσεις αλλά και σε ξύλινες κατασκευές εσωτερικών χώρων.

Πίνακας 3.3. Ενδεικτική σύνθεση του εμποτιστικού CCA με βάση οξειδία.

Οξειδία	CCA-τύπος Α	CCA-τύπος Β	CCA- τύπος C
CrO <sub>3</sub>	65,5%	35,3%	47%
CuO	18,1%	19,6%	19%
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	16,4%	45,1%	34%

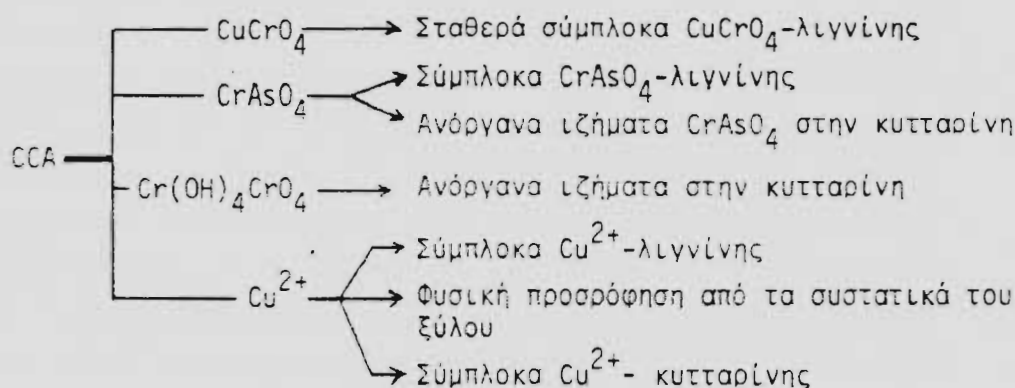
Το CCA χρησιμοποιείται ευρέως σε όλο τον κόσμο γιατί παρουσιάζει ικανοποιητική αποτελεσματικότητα αλλά και άλλα πλεονεκτήματα. Η διάλυση των επί μέρους συστατικών του CCA γίνεται σε νερό και, στην πράξη, χρησιμοποιείται σε συγκέντρωση 1,5-5% (σε άλατα). Η πιο σημαντική ιδιότητα του CCA είναι ότι παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση στην έκπλυση επειδή δημιουργεί ισχυρούς δεσμούς με το ξύλο γεγονός που σχετίζεται με την αποτελεσματική προστασία του ξύλου. Όπως όλα τα υδατοδιαλυτά εμποτιστικά, έτσι και το CCA αφήνει την επιφάνεια του ξύλου καθαρή, επιτρέπει τη βαφή (μετά από ξήρανση), δεν προσδίδει στο ξύλο δυσάρεστη οσμή, είναι φθηνότερο σε σύγκριση με άλλες κατηγορίες εμποτιστικών και μεταφέρεται εύκολα (σε μορφή σκόνης). Σε ξύλα που έχουν ανοικτό χρώμα το CCA προσδίδει ένα ελαφρό γκριζοπράσινο χρώμα ενώ σε ξύλα σκοτεινού χρώματος η επίδραση δεν είναι εμφανής. Ξύλο εμποτισμένο με CCA, εφόσον ξηραθεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς κίνδυνο σε επαφή με τροφές, ζώα ή φυτά και κάνει το ξύλο πολύ ανθεκτικό σε προσβολές από μύκητες και έντομα. Το νερό το οποίο χρησιμοποιείται σαν διαλύτης είναι εύκολα διαθέσιμο, διεισδύει εύκολα στο ξύλο, εισχωρεί στα κυτταρικά τοιχώματα, δεν αυξάνει το εύλεκτο του ξύλου και είναι ακίνδυνο. Το CCA προσδίδει και υδρόφοβο χαρακτήρα στο ξύλο δηλαδή επιβραδύνει την είσοδο νερού στο ξύλο. Η αύξηση του βάρους του ξύλου μετά από εμποτισμό με CCA και ξήρανση είναι ελάχιστη (1-3%) ενώ με χρησιμοποίηση πικραλούς ή αύξηση αυτή είναι 20-30%. Αρνητικά στοιχεία θεωρούνται η διόγκωση του ξύλου κατά τον εμποτισμό και η ανάγκη επαναξήρασής του. Έτσι, ξυλουργικές κατασκευές που έχουν διαμορφωθεί προηγουμένως σε τελικές διαστάσεις είναι δυνατό να μην επανέρχονται στις ακριβείς διαστάσεις τους μετά τον εμποτισμό και την επαναξήρασή τους. Διάβρωση μεταλλικών καρφιών και συνδέσεων που βρίσκονται σε επαφή με ξύλο, εμποτισμένο με CCA,

είναι δυνατό να προκληθεί σε περιβάλλοντα υγρά και έπειτα από πολύ χρόνο έκθεσης, αλλά το πρόβλημα σ' αυτές τις περιπτώσεις μπορεί να μειωθεί με χρησιμοποίηση συνδέσεων από χαλκό, ανοξείδωτο χάλυβα, κ.ά. Μεταλλικές συνδέσεις δεν πρέπει να προσαρμόζονται πριν από τη "δέσμευση" (fixation) του CCA στο ξύλο και την επαναξήρανση του ξύλου για να αποφεύγεται η διάβρωσή τους. Σύμφωνα με ισχύουσες προδιαγραφές, τα ελάχιστα όρια συγκράτησης στερεών συστατικών του CCA από το ξύλο κυμαίνονται μεταξύ 4-16 Kg/m<sup>3</sup> ανάλογα με τα συγκεκριμένα προϊόντα ξύλου που πρόκειται να εμποτισθούν, το είδος ξύλου και τις συνθήκες χρησιμοποίησης.

Τα υδατοδιαλυτά άλατα που χρησιμοποιούνται σαν συντηρητικά ξύλου είναι εύκολο να εκπλυθούν από το ξύλο εκτός εάν μετατραπούν σε αδιάλυτες ενώσεις ή δεσμευθούν χημικά με το ξύλο. Ο μηχανισμός και ο ρυθμός "δέσμευσης" των στοιχείων του εμποτιστικού CCA δεν είναι ξεκαθαρισμένος αλλά από αποτελέσματα ερευνών μπορούν, γενικά, να διατυπωθούν τα εξής.

Μετά τον εμποτισμό του ξύλου με CCA ή και με άλλα υδατοδιαλυτά άλατα λαμβάνουν χώρα πράγματι διάφορες χημικές αντιδράσεις μεταξύ των ιδίων των στοιχείων του συντηρητικού ή μεταξύ στοιχείων συντηρητικού και ξύλου και σχηματίζονται ανόργανα ή οργανομεταλλικά σύμπλοκα τα οποία αντιστέκονται στην έκπλυση. Ο χαλκός και το χρώμιο έχουν τη μεγαλύτερη ικανότητα αντίδρασης σε σύγκριση με άλλα στοιχεία του συντηρητικού.

Τα σύμπλοκα που σχηματίζονται όταν το CCA αντιδρά με το ξύλο δίδονται συνοπτικά παρακάτω.



Ο χαλκός αντιδρά και με την κυτταρίνη και με τη λιγνίνη. Από το σύνολο του χαλκού μόνο το 10% αντιδρά με το χρώμιο ενώ το υπόλοιπο με την κυτταρίνη και τη λιγνίνη ανεξάρτητα από την παρουσία άλλων μετάλλων. Ο χαλκός εμφανίζεται στο εμποτισμένο με CCA ξύλο με τέσσερις διαφορετικές μορφές:

(1)  $\text{CuCrO}_4$  δεσμευμένο με λιγνίνη μέσω  $\text{Cr}^{6+}$  (σε ποσοστό 10-15%), (2)  $\text{Cu}^{2+}$  δεσμευμένο άμεσα με υδρογονάνθρακες ή λιγνίνη (σε ποσοστό 10-22%), (3)  $\text{Cu}^{2+}$  δεσμευμένο με λιγνίνη αλλά με άλλες ρίζες (σε ποσοστό 40-70%) και (4)  $\text{CuSO}_4$  που προσροφάται φυσικά από τα διάφορα συστατικά του ξύλου (σε ποσοστό 5-20%). Το μεγαλύτερο ποσοστό χαλκού (83-90%) είναι δεσμευμένο με λιγνίνη.

Το χρώμιο αντιδρά επίσης με το ξύλο και σχηματίζει σύμπλοκα αλλά η φύση των συμπλόκων αυτών παραμένει άγνωστη. Πιθανότατα το σθένος του χρωμίου στις ενώσεις αυτές είναι  $\text{Cr}^{6+}$  και  $\text{Cr}^{3+}$ . Με τα σύμπλοκα που σχηματίζει το χρώμιο το CCA προσδίδει και υδρόφοβες ιδιότητες στο ξύλο πράγμα που συνεισφέρει στην προστασία του ξύλου από την επίδραση φυσικών παραγόντων κυρίως του νερού. Μελέτες κατανομής του χρωμίου στα κυτταρικά τοιχώματα έδειξαν υψηλές συγκεντρώσεις στο πρωτογενές τοίχωμα και τη  $S_1$  στρώση (περιοχές όπου η περιεκτικότητα λιγνίνης είναι υψηλή) πράγμα που δείχνει ότι υπάρχει προτίμηση του χρωμίου για δεσμούς με τη λιγνίνη. Όταν το  $\text{Cr}^{+6}$  μετατρέπεται σε  $\text{Cr}^{+3}$  αντιδρά εύκολα με το αρσενικό και σχηματίζει  $\text{CrAsO}_4$ , το οποίο έχει την ικανότητα να δημιουργεί δεσμούς με την λιγνίνη και την κυτταρίνη. Σε εμποτισμένο ξύλο, περίπου 85% του αρσενικού αντιδρά με χρώμιο και το υπόλοιπο σχηματίζει σύμπλοκα με λιγνίνη και κυτταρίνη τα οποία δεν είναι αδιάλυτα.

Οι αντιδράσεις της χρησιμοποίησης του CCA στο περιβάλλον και στον άνθρωπο είναι αμφισβητήσιμες αλλά γενικά ισχύει ότι αν το ξύλο ξηραθεί καλά μετά την εμποτισμό και πριν τοποθετηθεί στην οριστική του θέση δεν δημιουργούνται προβλήματα.

Άλλα υδατοδιαλυτά άλατα που βρίσκουν εφαρμογή σαν εμποτιστικά στην πράξη είναι:

1. Αμμωνιακά άλατα χαλκού-αρσενικού (ACA)
2. Οξείδια χαλκού-χρωμίου (ACC)
3. Άλατα χρωμίου-ψευδαργύρου-χλωρίου (CZC)
4. Άλατα φθορίου-χρωμίου-αρσενικού-φαινόλης (FCAP)
5. Χλωριούχος ψευδάργυρος ( $\text{ZnCl}_2$ )
6. Άλατα ψευδαργύρου-αρσενικού (ZMA)
7. Άλατα χαλκού-χρωμίου-ψευδαργύρου-χλωρίου ( $\text{CuCZC}$ )
8. Άλατα χρωμίου-ψευδαργύρου-αρσενικού (CZA)
9. Άλατα χαλκού-χρωμίου-ψευδαργύρου-αρσενικού ( $\text{CuCZA}$ ).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΓΙΑ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟ

Η προετοιμασία του ξύλου περιλαμβάνει διάφορους χειρισμούς που σχετίζονται με τη συμπεριφορά του ξύλου στα εμποτιστικά υγρά, το είδος του συντηρητικού και τη μέθοδο εμποτισμού, την υγρασία του ξύλου, τη μορφή και τις διαστάσεις του, τη χρήση για την οποία προορίζεται, κ.ά. Η προπαρασκευή αυτή του ξύλου με διάφορους χειρισμούς γίνεται, με σκοπό την καλύτερη διείσδυση των συντηρητικών υγρών μέσα στο ξύλο και την όσο το δυνατό υψηλή και μακροχρόνια αποτελεσματικότητά τους κατά την χρήση του. Οι χειρισμοί αυτοί περιλαμβάνουν:

1. ΑΠΟΦΛΟΙΩΣΗ

Ο φλοιός προστατεύει τα δέντρα και προφυλάσσει το ξύλο από διάφορους παράγοντες (θερμοκρασία, ξήρανση, μηχανικές βλάβες, κ.ά.). Δεν είναι εύκολα διαπερατός από τα υγρά γι' αυτό δυσκολεύει την ξήρανση (έξοδο νερού) έμφλοιων κορμοτεμαχίων και την είσοδο συντηρητικών υγρών στο ξύλο κατά τον εμποτισμό. Για το λόγο αυτό η αφαίρεση του φλοιού είναι ουσιώδης στην προετοιμασία στρόγγυλου ξύλου για εμποτισμό. Αφαίρεση του φλοιού γίνεται σχεδόν πάντοτε εκτός αν πρόκειται για μεθόδους εμποτισμού, όπου το συντηρητικό εισάγεται από τα άκρα των κορμοτεμαχίων (π.χ. μέθοδος Boucherie). Ο φλοιός ή υπολείμματα φλοιού πρέπει επίσης να απομακρύνονται από καμπύλες πλευρές πριστής ή πελεκητής ξυλείας. Εξάλλου η παραμονή του φλοιού στο ξύλο εκτός από την επιβράδυνση της ξήρανσης ευνοεί την προσβολή του ξύλου από μύκητες και έντομα.

Αποφλοιώση μπορεί να γίνει στο δάσος χειρωνακτικά (με τσεκούρι ή χειρωνακτικό αποφλοιωτήρα), μηχανικά (με φορητούς, ημιφορητούς μηχανικούς αποφλοιωτήρες και με μόνιμους αποφλοιωτήρες σε τόπους συγκέντρωσης) ή χημικά. Αποφλοιώση γίνεται και στα εργοστάσια με μεγάλους μόνιμους μηχανικούς αποφλοιωτήρες. Η χειρωνακτική αποφλοιώση γίνεται εύκολα την άνοιξη επειδή ο δεσμός φλοιού-ξύλου είναι σχετικά χαλαρός. Όταν ο δεσμός αυτός είναι ισχυρός χρησιμοποιούνται μηχανήματα και μερικές φορές άτμιση. Με τα μηχανήματα η αποφλοιώση γίνεται γρήγορα, απομακρύνονται μαζί με το φλοιό και κλαδιά που προεξέχουν και παράγονται κυλινδρικοί κορμοί με πολύ καλή εμφάνιση δηλ. καθαροί, λείοι στην επιφάνεια, ελκυστικοί και ευθυτενείς. Είναι όμως δυνατό να γίνεται και περιφερειακή απομάκρυνση σομφού και σε είδη με στενό σομφό και εγκάρδιο δύσκολο στον εμποτισμό, αυτό συντελεί στην ελάττωση του βάθους διείσδυσης του συντηρητικού. Απομάκρυνση μέρους του σομφού, περιφερειακά γίνεται ιδιαίτερα σε κορμούς με επι-

φανειακές ανωμαλίες ή μπορεί να οφείλεται σε όχι καλή λειτουργία των μηχανημάτων. Χημική αποφλοΐωση μπορεί να γίνει σε ξύλα που προορίζονται για χαρτοπολτό αλλά και για πασσάλους, στύλους, κ.λ.π.

## 2. ΞΗΡΑΝΣΗ

Η ποσότητα του νερού που περιέχεται στο ξύλο κατά τον εμποτισμό σχετίζεται με την είσοδο του συντηρητικού υγρού και την αποτελεσματικότητά του. Η άριστη περιεχόμενη υγρασία του ξύλου για εμποτισμό δεν μπορεί να προσδιοριστεί ακριβώς και διαφέρει μεταξύ των ειδών ξύλου, συντηρητικών και μεθόδων εμποτισμού. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η ξήρανση του ξύλου θεωρείται επαρκής όταν η περιεχόμενη υγρασία του ξύλου είναι κοντά στο όριο κορεσμού ινών (περί τα 30%) γιατί τότε υπάρχει ο χώρος στον οποίο θα εισέλθουν τα συντηρητικά. Όσο ελαττώνεται η περιεχόμενη υγρασία ο εμποτισμός γίνεται ευκολότερα αλλά αυτό συμβαίνει μέχρι ενός ορίου πέρα από το οποίο η ξήρανση εμποδίζει μάλλον παρά βοηθά τον εμποτισμό. Έτσι, επιφανειακά στρώματα ξύλου συμβαίνει να αντιστέκονται περισσότερο από τα εσωτερικά στον εμποτισμό και το φαινόμενο αυτό ονομάζεται επιφανειακή σκλήρυνση (surface hardening). Εξάλλου, σε χλωρό ξύλο η είσοδος συντηρητικών υγρών εμποδίζεται από το νερό που υπάρχει στις κυτταρικές κοιλότητες. Από τα παραπάνω διαφαίνεται ότι υπάρχει ένα σημαντικό εύρος περιεχόμενης υγρασίας του ξύλου πάνω και κάτω από το όριο κορεσμού ινών μέσα στο οποίο ο εμποτισμός του ξύλου είναι δυνατός. Σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να γίνει και εμποτισμός χλωρού ξύλου (με τη μέθοδο της διάχυσης, εκτόπισης χυμών).

Η περισσότερο κοινή μέθοδος ξήρανσης του ξύλου που προορίζεται για εμποτισμό είναι η φυσική ξήρανση (στο ύπαιθρο ή σε υπόστεγα). Χρησιμοποιούνται κατάλληλοι χώροι, γίνεται στοίβαση της ξυλείας πάνω σε βάθρα, χρησιμοποιούνται διαχωριστικοί πήχεις, στέγαστρα κλπ. Ο χρόνος που χρειάζεται για επαρκή ξήρανση εξαρτάται από διάφορους παράγοντες οι οποίοι καθορίζουν το ρυθμό ξήρανσης όπως π.χ. κλιματικοί παράγοντες, (Σχ.4.1.) είδος ξύλου (Πίν.4.1), διαστάσεις προϊόντος, τρόπος στοίβασης, συνθήκες χειρισμού (π.χ. ξήρανση μετά από άτμιση ή χωρίς άτμιση), κλπ. Επειδή υπεισέρχονται πολλοί παράγοντες, η διάρκεια φυσικής ξήρανσης του ξύλου διαφέρει πολύ και κυμαίνεται από βδομάδες μέχρι ένα χρόνο ή και περισσότερο (Πίν. 4.1).

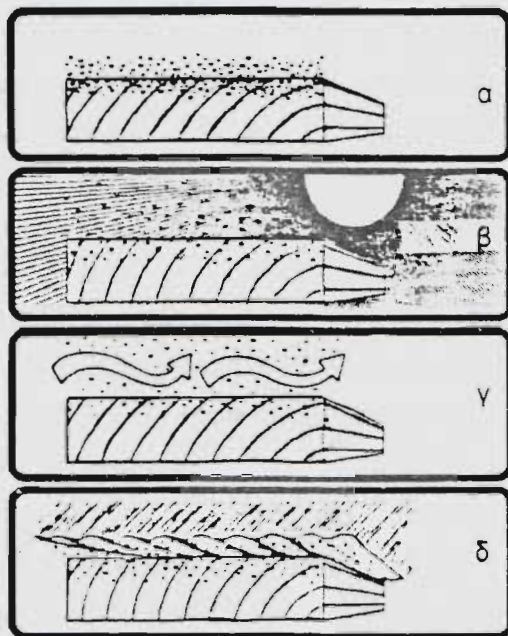
Πίνακας 4.1. Χρόνος φυσικής και τεχνητής ξήρανσης πριστής ξυλείας πάχους 2,5 cm. (Από Τσουμή, 1983)

Είδος	Φυσική ξήρανση (Χλωρή - 20%)	Τεχνητή ξήρανση (Χλωρή - 6%)
	Μέρες	
Πεύκη	15-200	3-10
Ερυθρελάτη	20-150	3-7
Οξιά	70-200	12-15
Δρύς	70-300	16-40
Λεύκη	50-150	6-10
Καρυδιά	70-200	10-16

Στην πράξη γίνεται συχνά και τεχνητή ξήρανση της πριστής ξυλείας κυρίως σε ειδικά ξηραντήρια όπου οι συνθήκες ξήρανσης (θερμοκρασία, σχετική υγρασία) μεταβάλλονται χρονικά ή τοπικά ανάλογα με τον τύπο ξηραντηρίου. Η ξήρανση αυτή διαρκεί πολύ λιγότερο σε σύγκριση με τη φυσική ξήρανση (από λίγες μέρες μέχρι μερικές βδομάδες) (βλ. Πίν. 4.1) και γίνεται με εφαρμογή ειδικών προγραμμάτων ξήρανσης που βασίζονται σε έρευνες και διαφοροποιούνται ανάλογα με τη συμπεριφορά των διαφόρων ειδών ξύλου. Ένα τέτοιο ενδεικτικό πρόγραμμα ξήρανσης δείχνεται στον Πίν. 4.2.

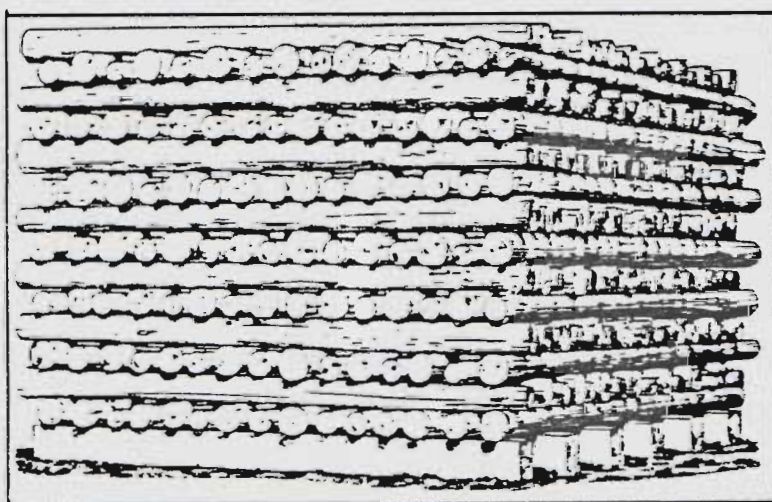
Πίνακας 4.2. Πρόγραμμα τεχνητής ξήρανσης δρυός (Από Τσουμή, 1983)

Υγρασία ξύλου %	Θερμοκρασία, °C		Σχετική υγρασία %
	Ξηρό	Υγρό	
Χλωρό	40	37,5	85
40	40	36,5	80
30	45	40,5	75
25	50	44	70
20	55	46	60
15	60	47,5	50

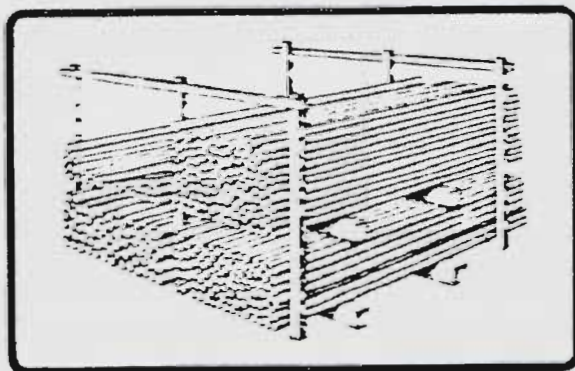


Σχ. 4.1 . Επίδραση κλιματικών παραγόντων στο ρυθμό ξήρανσης του ξύλου (Από Wilkinson, 1979).

- α. Υψηλές σχετικές υγρασίες του αέρα επιβραδύνουν την έξοδο του νερού από το ξύλο.
- β. Υψηλές θερμοκρασίες επιταχύνουν την ξήρανση του ξύλου.
- γ. Αύξηση της ταχύτητας του αέρα επιταχύνει την εξάτμιση του νερού από το ξύλο.
- δ. Προστασία του ξύλου με στέγη από βροχή και χιόνι αυξάνει το ρυθμό ξήρανσης.



Σχ. 4.2 . Ξήρανση στύλων με διασταυρωτή στοίβαση (Από Wilkinson, 1979).



Σχ. 4.3 . Στοίβαση πασσάλων για ξήρανση κατά ομάδες (Από Wilkinson, 1979).

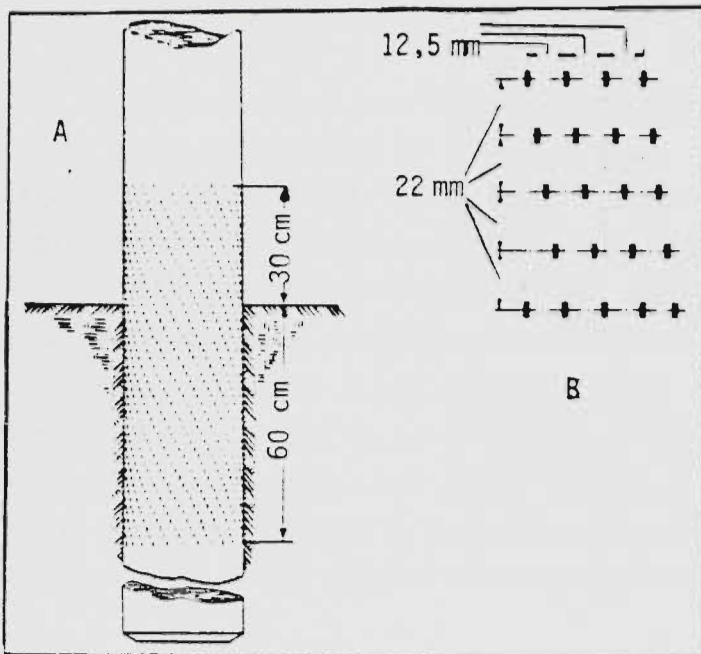
Ξύλο σε στρογγύλη μορφή, μικρής διαμέτρου (πάσσαλοι, τηλεγραφικοί στύλοι) ξηραίνονται συνήθως φυσικά είτε με διασταυρωτή στοίβαση (Σχ.4.2) είτε με χρησιμοποίηση πρισματικών πήχων. Σε πασσάλους χρησιμοποιείται μερικές φορές στοίβαση κατά ομάδες (Σχ. 4.3) αλλά η μέθοδος αυτή δεν συνιστάται όπου η ταχύτητα του αέρα είναι μικρή με αποτέλεσμα η ξήρανση να διαρκεί πολύ. Κορμοτεμάχια μεγάλης διαμέτρου, ιδιαίτερα των σκληρών ξύλων, δεν ξηραίνονται καλά σε στρογγύλη μορφή και ο χρόνος ξήρανόσ τους μπορεί να διαρκέσει πολύ (2 χρόνια ή και περισσότερα).

Κατά την ξήρανση του ξύλου που προορίζεται για εμποτισμό είναι δυνατό να εμφανισθούν σφάλματα(προσβολές από μύκητες,ραγάδωση,κ.ά.) τα οποία εξαρτώνται από τις συνθήκες ξήρανόσ. Η ραγάδωση ευνοείται όταν η ξήρανση γίνεται γρήγορα αλλά μπορεί να προληφθεί σε σημαντικό βαθμό με κατάλληλη στοίβαση, επάλειψη των άκρων με ουσίες που εμποδίζουν την ταχεία έξοδο νερού (π.χ. παραφίνη), τοποθέτηση σφινγκτήρων σχήματος S ή άλλων μεταλλικών κατασκευών που φέρουν καρφιά στα άκρα, κ.ά.

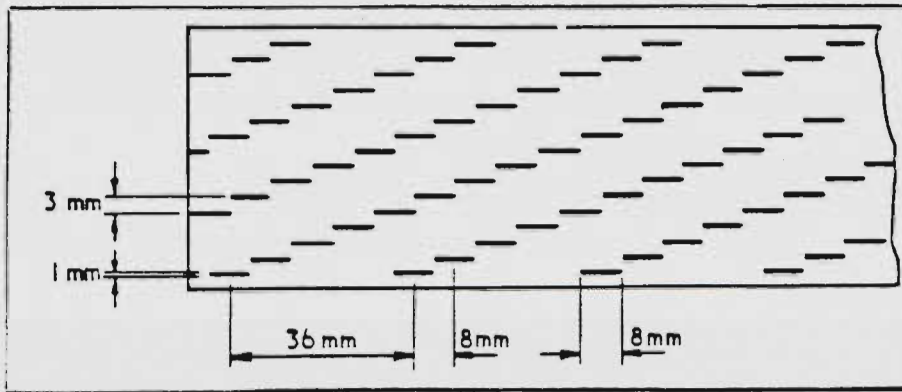
Σε είδη ευαίσθητα σε προσβολές και με υγρό και θερμό καιρό είναι δυνατό να έχουμε έναρξη προσβολής ή συνέχιση προσβολής που προϋπήρχε. Ο κίνδυνος αυτός μπορεί να αντιμετωπισθεί σε σημαντικό βαθμό με κατάλληλη στοίβαση ώστε να αυξάνεται ο ρυθμός ξήρανόσ αλλά χρειάζεται προσοχή ώστε να μην προκαλούνται άλλα σφάλματα (π.χ. ραγαδώσεις, σχίσεις, κ.ά.). Κατά τη διάρκεια ξήρανόσ είναι εύκολο να εμφανισθεί και να επεκταθεί κυάνωση σε ορισμένα είδη (π.χ. μαύρη πεύκη) που έχει σαν κύρια συνέπεια την αλλοίωση του χρώματος του ξύλου και λόγω αυτού του μεταχρωματισμού μείωση της αξίας του. Σε περιπτώσεις που ο κίνδυνος προσβολών από σηπτικούς ή χρωστικούς μύκητες είναι μεγάλος είναι δυνατό να γίνει επιφανειακός ραντισμός κορμοτεμαχίων με μυκητοκτόνα και μετά να ακολουθήσει ξήρανση.

### 3. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΕΝΤΟΜΩΝ (Incising)

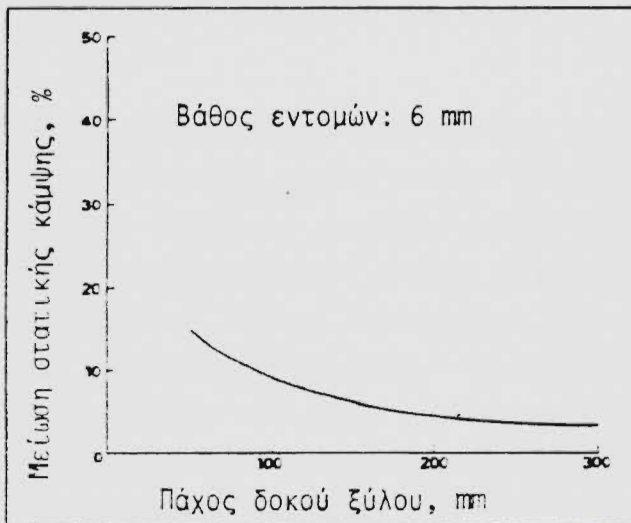
Σκοπός των επιφανειακών εντομών είναι ο εμποτισμός του ξύλου σε μεγαλύτερο βάθος και με ομοιομορφία. Εντομές γίνονται σε στρογγύλο ή πριστό ξύλο, πριν ή μετά την ξήρανση και σε ξύλα που παρουσιάζουν αντίσταση σε πλευρικό εμποτισμό. Οι εντομές έχουν διαφορετικές διαστάσεις (μήκος, πλάτος, βάθος) ανάλογα με τις διαστάσεις του ξύλου, το είδος ξύλου και το βαθμό εμποτισμού. Το βάθος των εντομών κυμαίνεται μεταξύ 6 και 20 mm, το πλάτος μεταξύ 1 και 6 mm και το μήκος μεταξύ 8 και 20 mm.



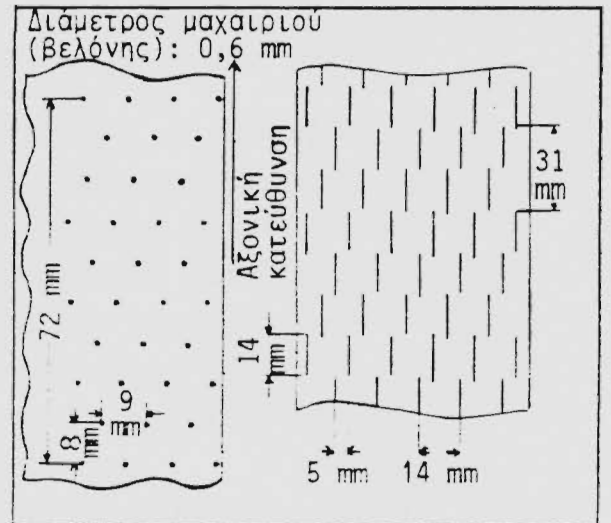
Σχ. 4.4 . Δημιουργία επιφανειακών εντομών στη βάση του στύλου (A) και αποστάσεις εντομών (B) (Από Hunt/Garrat, 1967).



Σχ. 4.5 . Δημιουργία επιφανειακών εντομών σε ερυθρελάτη (Από Open Days, 1974).



Σχ. 4.6 . Μείωση στατικής κάμψης σε ερυθρελάτη λόγω δημιουργίας επιφανειακών εντομών (Από Open Days, 1974)



Σχ. 4.7 . Προετοιμασία ξύλου για εμποτισμό με δημιουργία οπών (A) σε σύγκριση με την καθιερωμένη μέθοδο των εντομών (B) (Από Ruddick, 1986).

Σε στύλους δημιουργούνται εντομές συνήθως στο κατώτερο τμήμα το οποίο βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος αλλά και σε ολόκληρο το μήκος τους.

Το μήκος των εντομών είναι παράλληλο με τη διεύθυνση των ινών του ξύλου και ο καλύτερος εμποτισμός που πετυχαίνεται οφείλεται στο γεγονός ότι οι εμποτιστικές ουσίες κινούνται ευκολότερα αξονικά παρά πλευρικά. Υπάρχουν διάφορα σχέδια εντομών που σχετίζονται με την απόσταση μεταξύ τους, τον αριθμό και τις διαστάσεις τους (Σχ.4.4,4.5). Σε όλες τις περιπτώσεις δημιουργούνται πολυάριθμες εντομές και σε κανονικά διαστήματα μεταξύ τους. Πάντως ο αριθμός και οι διαστάσεις των εντομών αυτών δεν πρέπει να υπερβαίνουν ορισμένα όρια γιατί επιφέρουν μείωση της μηχανικής αντοχής. (Σχ. 4.6 ). Η μείωση αυτή της μηχανικής αντοχής πρέπει να είναι ασήμαντη από πρακτική άποψη.

Για τη δημιουργία εντομών έχουν κατασκευασθεί ειδικά μηχανήματα εφοδιασμένα με κυλίνδρους που φέρουν κατάλληλα μαχαίρια τα οποία πιέζονται πάνω στο ξύλο κατά την δίοδό του και δημιουργούν εντομές συγκεκριμένων διαστάσεων και σε ορισμένες αποστάσεις.

Αντί εντομών είναι δυνατό να δημιουργούνται οπές στην επιφάνεια του ξύλου (Σχ. 4.7 ). Η μέθοδος αυτή αποδεικνύεται σε ορισμένες περιπτώσεις πιο αποτελεσματική.

#### 4 ΑΤΜΙΣΗ (Steam conditioning)

Η ξήρανση του ξύλου πριν από τον εμποτισμό δημιουργεί κατάλληλες συνθήκες τις περισσότερες φορές για την πιο εύκολη διείσδυση των συντηρητικών. Μερικά όμως είδη, έστω και αν ξηραθούν, παραμένουν πολύ δύσκολα στον εμποτισμό. Αν τα είδη αυτά έχουν χαμηλή φυσική αντοχή τότε δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια σε συνθήκες που ευνοούν βιολογικές προσβολές. Η άτμιση χλωρού ξύλου πριν από τον εμποτισμό θεωρείται ότι κάνει το ξύλο πιο κατάλληλο για τον εμποτισμό. Η βελτίωση αυτή αποδίδονταν στην έξοδο ορισμένης ποσότητας νερού από το ξύλο ώστε να δημιουργηθούν κενοί χώροι για το συντηρητικό αλλά τελευταία υπάρχουν ενδείξεις ότι υπεύθυνες είναι κυρίως οι μεταβολές στα περιεχόμενα των κυττάρων και στα βοθρία.

Η άτμιση του ξύλου γίνεται μέσα σε κύλινδρο, σε θερμοκρασία περίπου 125 °C και διαρκεί 1-20 ώρες. Ο ατμός εισάγεται στον κύλινδρο από εξωτερική μονάδα παραγωγής ατμού ή παράγεται μέσα στον κύλινδρο με σύστημα

σωληνώσεων. Η άτμιση περιλαμβάνει στο τέλος και περίοδο κενού. Σε εργοστάσια εμποτισμού που κάνουν άτμιση, χρησιμοποιούνται συνήθως δύο κύλινδροι (ένας για άτμιση και ένας για εμποτισμό) ώστε να μην υπάρχει απώλεια χρόνου. Μετά την άτμιση, το ξύλο αφήνεται να ψυχθεί όταν πρόκειται να εμποτισθεί με υδατοδιαλυτά άλατα γιατί αλλιώς είναι πιθανή η καθίζηση των αλάτων.

Πρακτικά, δεν παρατηρείται απώλεια της υγρασίας του ξύλου κατά την άτμιση. Μάλιστα, σε πολλές περιπτώσεις η υγρασία του ξύλου αυξάνει λόγω συμπύκνωσης υδρατμών στην επιφάνεια του ξύλου. Εξάτμιση νερού από το ξύλο αρχίζει με τη μείωση της πίεσης μέσα στον κύλινδρο και οφείλεται στη διαστολή των υδρατμών και στο γεγονός ότι η θερμοκρασία της υγρασίας του ξύλου είναι μεγαλύτερη από το σημείο βρασμού. Η εφαρμογή κενού διευκολύνει την εξάτμιση κυρίως στο αρχικό στάδιο. Έχει παρατηρηθεί ότι σε στρόγγυλη, χλωρή ξυλεία πεύκης (southern pine), η άτμιση αφαιρεί 2-3 Kg νερού ανά  $m^3$  χλωρού ξύλου. Επανειλημμένη άτμιση και εφαρμογή κενού είναι πιο αποτελεσματική. Άτμιση, μπορεί να εφαρμοσθεί και σε ξύλο μερικώς ξηρό αλλά στην περίπτωση αυτή σπάνια μειώνεται η υγρασία του (μπορεί και να αυξηθεί) ενώ γίνεται δυνατή η βελτίωση της συγκράτησης και διείδυσης των συντηρητικών.

Η άτμιση είναι γνωστή από τις αρχές του 19ου αιώνα και, σήμερα, χρησιμοποιείται πολύ στις ΗΠΑ, στη Ν.Ζηλανδία (για εμποτισμό χλωρού ξύλου ακτινωτής πεύκης με τη μέθοδο των διαδοχικών ή εναλασσόμενων πιέσεων) και στην Ευρώπη (για ερυθρελάτη). Η άτμιση εφαρμόζεται περισσότερο σε κωνοφόρα (κυρίως πεύκη) παρά σε πλατύφυλλα. Τα είδη ξύλου συμπεριφέρονται διαφορετικά στην άτμιση και σε πολλά ξύλα εμφανίζονται σφάλματα (π.χ. ψευδοτσούγκα, πολλά πλατύφυλλα είδη) μετά την άτμιση γι' αυτό, στις περιπτώσεις αυτές, δεν εφαρμόζεται. Η άτμιση, αν και δεν βελτιώνει τη διαπερατότητα όλων των ξύλων, κάνει δυνατό τον εμποτισμό ορισμένων ξύλων τα οποία αλλιώς είναι δύσκολο να εμποτισθούν.

##### 5. ΣΥΜΠΙΕΣΗ

Η μέθοδος συμπίεσης περιλαμβάνει δίοδο πριστών μεταξύ χαλύβδινων κυλίνδρων και συμπίεσής τους με αποτέλεσμα να βελτιώνονται τα επιφανειακά στρώματα του ξύλου από την άποψη εύκολης και ομοιόμορφης διείδυσης του συντηρητικού. Με τη μέθοδο αυτή μειώνεται το πάχος των πριστών (μέχρι 15%) και παρουσιάζονται θραύσεις στις μεμβράνες των βοθρίων με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο ρυθμός ξήρανσης και η διείδυση των συντηρητικών. Η μέθοδος δεν εφαρμόζεται ακόμη στην πράξη.



## 6. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΣΕ ΝΕΡΟ Ή ΡΑΝΤΙΣΜΟΣ

Με τη μέθοδο αυτή γίνεται προσπάθεια να αξιοποιηθεί η βιολογική δράση των βακτηρίων μέσα στα κύτταρα του ξύλου. Ένας αριθμός ειδών βακτηρίων που βρίσκονται σε λίμνες ή σε νερά ποταμών έχουν τη δυνατότητα να δρουν βιολογικά μέσα στο ξύλο (κυρίως στο σομφό) και να προσβάλλουν κυρίως τις μεμβράνες των βοθρίων με αποτέλεσμα να αυξάνεται η διαπερατότητά του.

Για το σκοπό αυτό το ξύλο μπορεί:

- α. να αποθηκεύεται σε τεχνητές ή φυσικές λίμνες, ποταμούς ή δεξαμενές με παρουσία βακτηρίων
- β. να ραντίζεται συνεχώς με νερό που περιέχει βακτήρια.

Η βιολογική δράση των βακτηρίων μπορεί να βελτιώσει σημαντικά τον εμποτισμό ξύλων που έχουν μικρή διαπερατότητα (π.χ. ερυθρελάτη, ελάτη, ψευδοτσούγκα). Μέχρι σήμερα, η μέθοδος χρησιμοποιείται σε περιορισμένη κλίμακα (βλ. κεφ. 1ο, 2.2.).

## 7. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΣΤΙΣ ΤΕΛΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ

Διάτρηση, πλάνιση, τομή και άλλες παρόμοιες κατεργασίες είναι πολλές φορές απαραίτητοι χειρισμοί του ξύλου που πρόκειται να εμποτισθεί ώστε να έχει τις κατάλληλες διαστάσεις και το σχήμα που χρειάζεται στην τελική κατασκευή. Οι χειρισμοί αυτοί πρέπει να προηγούνται του εμποτισμού γιατί αλλιώς εκτίθεται ξύλο που δεν έχει εμποτισθεί στο εσωτερικό (π.χ. σε διάτρηση, τομή) ή αφαιρείται εμποτισμένο ξύλο (π.χ. σε πλάνιση). Οργανωμένα εργοστάσια εμποτισμού περιλαμβάνουν ειδική μονάδα μηχανημάτων τελικών κατεργασιών του ξύλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ ΣΤΟ ΞΥΛΟ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Για την εισαγωγή των προστατευτικών ουσιών στο ξύλο έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται διάφοροι μέθοδοι οι ουσίες μπορούν να διακριθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- α. Χωρίς εφαρμογή πίεσης
- β. Με εφαρμογή πίεσης

Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται απλές μέθοδοι όπου δεν εφαρμόζεται πίεση και γι' αυτό δεν χρειάζονται ειδικοί κύλινδροι ή άλλες παρόμοιες εγκαταστάσεις για τον εμποτισμό. Οι μέθοδοι αυτές είναι οικονομικές αλλά λιγότερο αποτελεσματικές. Στη δεύτερη κατηγορία ο εμποτισμός του ξύλου γίνεται μέσα σε ειδικούς κυλίνδρους ή άλλους θαλάμους όπου είναι δυνατή η εφαρμογή υψηλής πίεσης ή κενού. Με τις μεθόδους αυτές πετυχαίνεται καλύτερη διείσδυση και μεγαλύτερη συγκράτηση συντηρητικού υγρού που οδηγούν σε καλύτερη προστασία του ξύλου αλλά το κόστος τους είναι αρκετά υψηλό. Η επιλογή της μεθόδου εμποτισμού εξαρτάται από τη συγκεκριμένη χρήση του ξύλου και τον επιθυμητό χρόνο υπηρεσίας του.

Εκτός από τις τυπικές μεθόδους εμποτισμού υπάρχουν και πολυάριθμοι άλλες μέθοδοι προστασίας του ξύλου, βελτίωσης των ιδιοτήτων του και συντήρησής του που αναφέρονται σε στρόγγυλη ξυλεία (στο δάσος ή στο εργοστάσιο), σε κατεργασμένη ξυλεία ή σε τελικά προϊόντα (ξύλινα έργα τέχνης, ξυλουργικές κατασκευές, ξύλινα πλοία μετά από ανελκυσή τους, κ.ά.). Οι μέθοδοι αυτές μπορεί να είναι συνηθισμένες στην πράξη (π.χ. ραντισμός κορμοτεμαχίων στο δάσος ή στο εργοστάσιο με εντομοκτόνα και μυκητοκτόνα, φυσική ή τεχνητή ξήρανση μετά την πρίση του ξύλου, εφαρμογή υδρόφοβων διαλυμάτων, κ.ά.), αλλά μπορεί να είναι και εξειδικευμένες και να αφορούν ειδικές περιπτώσεις ή προϊόντα (π.χ. χρησιμοποίηση πολυαιθυλενικής γλυκόλης, συνθετικών ρητινών, μονομερών, θερμικές και άλλες κατεργασίες, κλπ.).

## 2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΩΡΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΙΕΣΗΣ

### 2.1. Επάλειψη και ψεκασμός (brushing and spraying)

Η πιό γνωστή και εύκολη μέθοδος εφαρμογής εμποτιστικού ξύλου είναι η επάλειψη με βούρτσα ή πινέλο. Η επάλειψη είναι μέθοδος απλή, οικονομική και προσφέρεται για πολλούς τύπους συντηρητικών αλλά είναι λίγο αποτελεσματική σε σύγκριση με άλλες μεθόδους. Σε περιπτώσεις που το ξύλο βρίσκεται σε δύσκολες συνθήκες από άποψη αλλοίωσης η μέθοδος αυτή έχει μικρή σημασία. Όπου όμως υπάρχει κίνδυνος προσβολής του ξύλου από μύκητες σε χαμηλό βαθμό ή ο κίνδυνος αυτός είναι περιοδικός, επάλειψη της ξύλινης κατασκευής με συντηρητικό κάθε λίγα χρόνια (2-3) προσφέρει συχνά ικανοποιητική προστασία. Στις περιπτώσεις αυτές, είναι, απαραίτητο όλα τα ουσιώδη μέρη της κατασκευής να είναι προσιτά για επάλειψη. Αν υπάρχουν περιοχές της κατασκευής όπου δεν έχει φθάσει το εμποτιστικό, η μέθοδος αυτή έχει μικρή αξία γιατί τα μέρη αυτά βρίσκονται συνήθως σε μεγάλο κίνδυνο προσβολής.

Ψεκασμός του εμποτισμού πάνω στην επιφάνεια του ξύλου γίνεται με ειδικές συσκευές ή μηχανήματα (ψεκαστήρες) που εκτοξεύουν το υγρό με κάποια πίεση. Με τον ψεκασμό γίνεται διασπορά του συντηρητικού στον αέρα, χάνεται υλικό (μέχρι και 50%) και δημιουργούνται κίνδυνοι για την υγεία των εργαζομένων. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται συχνά στο δάσος ή στα εργοστάσια για προφύλαξη στρόγγυλης ή πριστής ξυλείας από προσβολές μυκήτων ή εντόμων. Με τον ψεκασμό, η εργασία γίνεται ταχύτερα σε σύγκριση με την επάλειψη ενώ από άποψη αποτελεσματικότητας οι δύο μέθοδοι είναι όμοιες.

Όταν γίνεται τοποθέτηση μπογιάς στο ξύλο με επάλειψη ή ραντισμό για διακοσμητικούς λόγους συνήθως εφαρμόζεται με οικονομία και ομοιομορφία. Στην περίπτωση όμως εφαρμογής εμποτιστικών ουσιών πρέπει να τοποθετείται άφθονο συντηρητικό στην επιφάνεια του ξύλου ώστε να απορροφάται όσο το δυνατό περισσότερο και ιδιαίτερα σε τυχόν ραγδώσεις, εγκάρσιες επιφάνειες και σημεία επαφής των ξύλινων μερών της κατασκευής. Τα περισσότερα εμποτιστικά μπορούν να εφαρμοσθούν ικανοποιητικά σε θερμοκρασία δωματίου αλλά το πισσέλαιο μπορεί να θερμαίνεται πριν την εφαρμογή του για καλύτερη διείσδυση και επίτευξη καθαρών επιφανειών. Τα εμποτιστικά δεν πρέπει να εφαρμόζονται όταν η επιφάνεια του ξύλου είναι υγρή. Σε ημιεξωτερικές και εξωτερικές κατασκευές η εφαρμογή των συντηρητικών είναι καλύτερα να γίνεται κατά τη θερινή περίοδο κατά την οποία το ξύλο είναι πιό ξηρό και απορροφά περισσότερο εμποτιστικό.

Η ποσότητα του εμποτιστικού που τοποθετείται στην επιφάνεια του ξύλου με τη μέθοδο επάλειψης ή ψεκασμού εξαρτάται από το είδος του ξύλου και

την κατάσταση της επιφάνειάς του. Σε εύκολα διαπερατά (εύκολα στον εμποτισμό) ξύλα, όπως π.χ. δασική πεύκη, με 1 λίτρο καλύπτονται 4-6 τ.μ. επιφάνειας όταν είναι τραχεία και περίπου 8 τ.μ. όταν έχει πλανισθεί. Σε λιγότερο διαπερατά ξύλα και στο εγκάρδιο ξύλο των περισσοτέρων ειδών, 1 λίτρο εμποτισμού μπορεί να καλύψει 12 τ.μ. περίπου επιφάνειας αλλά η ποσότητα αυτή εξαρτάται πολύ από την κατάσταση της επιφάνειας του ξύλου. Αν γίνει δεύτερη εφαρμογή εμποτισμού στο ξύλο μετά από λίγες μέρες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερη ποσότητα εμποτιστικού από ότι την πρώτη φορά.

Η διείσδυση του εμποτιστικού με τις παραπάνω μεθόδους είναι μικρή. Σε σομφό πεύκης κυμαίνεται από 1-5 mm πλευρικά αλλά σε δύσκολα ξύλα (π.χ. ερυθρελάτη) είναι γενικά μικρότερη από 1 mm.

## 2.2. Καταιωνισμός (deluging)

Στη μέθοδο του καταιωνισμού, το ξύλο τοποθετείται πάνω σε ένα μεταφορικό σύστημα και οδηγείται με μικρή ταχύτητα (12-60 m/min) σε θάλαμο (τούνελ) μήκους 1,25 m περίπου όπου το εμποτιστικό εκτοξεύεται με ορισμένη πίεση και διαβρέχει την ξυλεία από όλες τις πλευρές. Αυτό πετυχαίνεται με την παρουσία είτε μικρών εκτοξευτήρων σε κυκλική διάταξη μέσα στο θάλαμο είτε σωλήνα ο οποίος κατευθύνει το εμποτιστικό πάνω στην ξυλεία με σχετικά μεγάλη ταχύτητα. Η περίσσεια του εμποτιστικού συλλέγεται από τη βάση του θαλάμου με αντλία σε δεξαμενή και επαναχρησιμοποιείται. Στην καλή διαβροχή του ξύλου από όλες τις πλευρές και στον περιορισμό της απώλειας του εμποτιστικού συντελεί και η χρησιμοποίηση ελαστικών ή αλλου τύπου θυρών στην είσοδο και έξοδο του θαλάμου οι οποίες εμποδίζουν το εμποτιστικό να διασκορπισθεί εκτός του θαλάμου. Πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε τα τεμάχια ξύλου να μην βρίσκονται σε στενή επαφή μεταξύ τους κατά την διέσδότη από το θάλαμο γιατί αλλιώς είναι πιθανό να μην διαβραχούν με το εμποτιστικό. Με τον καταιωνισμό, το ξύλο είναι σε επαφή με το εμποτιστικό μόνο λίγα δευτερόλεπτα, και τα διαθέσιμα αποτελέσματα σε πεύκη και ερυθρελάτη δείχνουν ότι η μέθοδος αυτή είναι όμοια, από άποψη αποτελεσματικότητας, με εμβάπτιση του ξύλου στο εμποτιστικό για λίγο χρόνο (περίπου 10 sec).

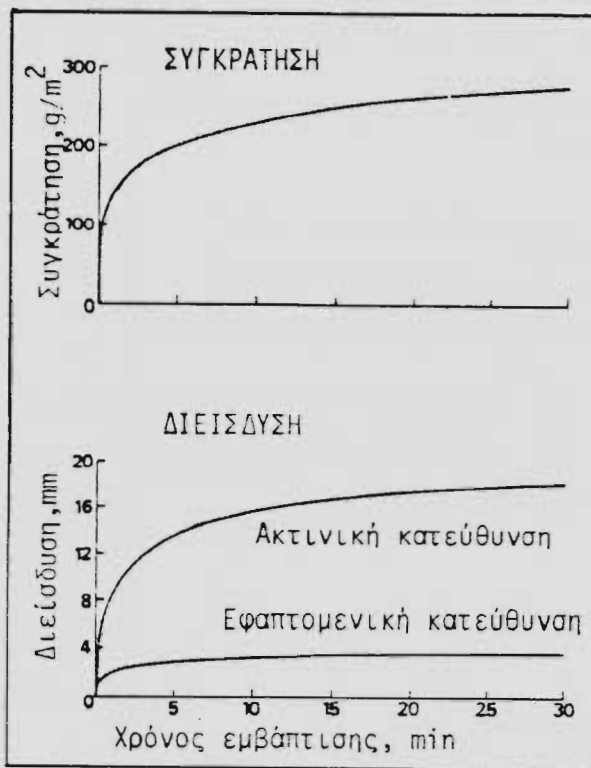
Η μέθοδος του καταιωνισμού είναι γρήγορη αλλά δεν είναι επαρκής για μακροχρόνια προστασία του ξύλου σε δύσκολες συνθήκες υπηρεσίας όπου ο κίνδυνος βιολογικών προσβολών είναι υψηλός. Θεωρείται όμως ικανοποιητική μέθοδος σε λιγότερο δύσκολες συνθήκες υπηρεσίας εφόσον ο αρχικός χειρισμός συνοδεύεται με επάλειψη ή ψεκασμό κάθε λίγα χρόνια. Τα εμποτιστικά

που χρησιμοποιούνται με τη μέθοδο αυτή είναι συνήθως οργανικά διαλύματα.

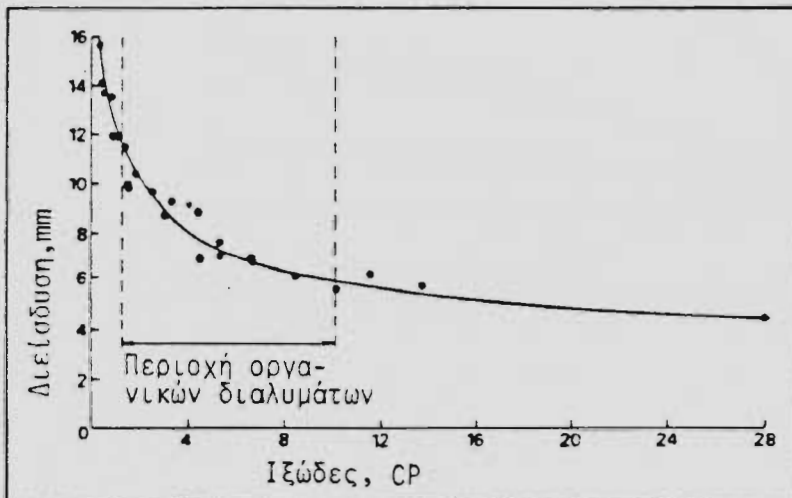
### 2.3. Εμβάπτιση (immersion)

Ανάλογα με το χρόνο παραμονής του ξύλου σε δεξαμενή με εμποτιστικό υγρό η εμβάπτιση είναι μικρής διάρκειας (dipping) ή μεγάλης διάρκειας (soaking or steeping). Η πρώτη διαρκεί περίπου μέχρι 10-15 min ενώ η δεύτερη μερικές ώρες ή και μέρες. Ο χρόνος εμβάπτισης του ξύλου στο εμποτιστικό υγρό εξαρτάται από τον επιθυμητό βαθμό προστασίας, το είδος του ξύλου, τις ιδιότητες του εμποτιστικού (π.χ. ιξώδες), κλπ. Με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται ευρέως οργανικά διαλύματα αλλά μερικές φορές και πισσέλαιο ή υδατοδιαλυτά εμποτιστικά. Για την εμβάπτιση του ξύλου χρησιμοποιούνται δεξαμενές που έχουν την απαιτούμενη αντοχή ώστε να δέχονται το εμποτιστικό υγρό και το φορτίο ξύλου για εμποτισμό και δεν παρουσιάζουν διαρροές. Μηχανισμοί για να διατηρούν το ξύλο κάτω από την επιφάνεια του εμποτιστικού κατά την εμβάπτιση είναι απαραίτητοι καθώς επίσης και γερανοί ή ανυψωτήρες όταν πρόκειται για μεγάλες ποσότητες ξυλείας. Με μικρά τεμάχια ξύλου και εμβάπτιση μικρής διάρκειας η εργασία μπορεί να γίνει χειρωνακτικά. Τις περισσότερες φορές, η εμβάπτιση γίνεται σε θερμοκρασία δωματίου και έτσι δεν χρειάζονται συστήματα θέρμανσης. Σε πολλές περιπτώσεις, μονάδες εμποτισμού με εμβάπτιση αποτελούν τμήμα εργοστασίων ξυλουργικών κατασκευών όπου η μεταφορά και η εμβάπτιση τους για ορισμένο χρονικό διάστημα είναι αυτοματοποιημένα. Η περίσσεια του εμποτιστικού μετά την εμβάπτιση συλλέγεται και επαναχρησιμοποιείται. Σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται μερική μόνον εμβάπτιση των τεμαχίων ξύλου (π.χ. οι βάσεις πασσάλων).

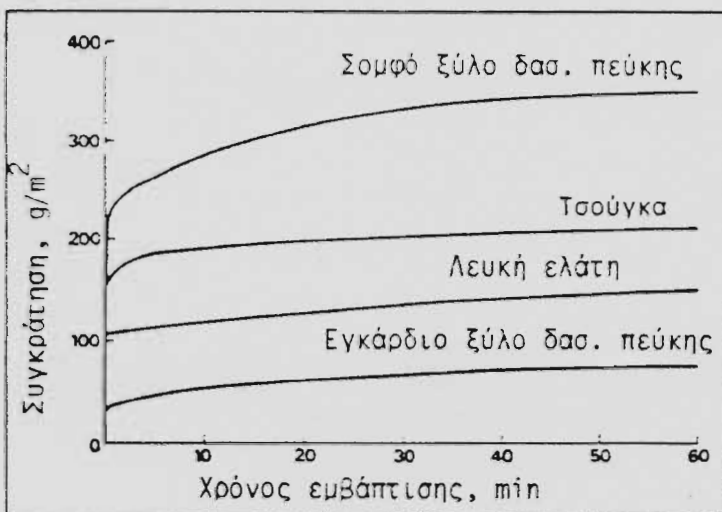
Ο βαθμός προστασίας που πετυχαίνεται με τη μέθοδο της εμβάπτισης εξαρτάται από το είδος του εμποτιστικού υγρού, το είδος του ξύλου και τη διάρκεια εμβάπτισης. Τα Σχ. 5.1 και 5.4 δίνουν πληροφορίες σχετικές με την επίδραση του χρόνου εμβάπτισης, του είδους του ξύλου και του ιξώδους του εμποτιστικού στη διείσδυση και συγκράτηση του εμποτιστικού. Παρατηρείται ότι η διείσδυση και συγκράτηση αυξάνουν γρήγορα στα πρώτα λεπτά της εμβάπτισης ενώ μετά ο ρυθμός αύξησης είναι πολύ μικρός. (Σχ.5.1) Χαμηλό ιξώδες του εμποτιστικού έχει σαν αποτέλεσμα καλύτερη διείσδυση (Σχ. 5.2). Διαφορές στη διείσδυση ή συγκράτηση παρατηρούνται μεταξύ ειδών (Σχ. 5.3) αλλά και στο ίδιο είδος μεταξύ εγκάρδιου και σομφού ξύλου και μεταξύ ακτινικής και εφαπτομενικής διείσδυσης (Σχ.5.3,5.4). Στην πεύκη η ακτινική διείσδυση είναι συνήθως 4 φορές μεγαλύτερη από την εφαπτομενική αλλά στα περισσότερα είδη οι διαφορές δεν είναι τόσο μεγάλες. Πρι-



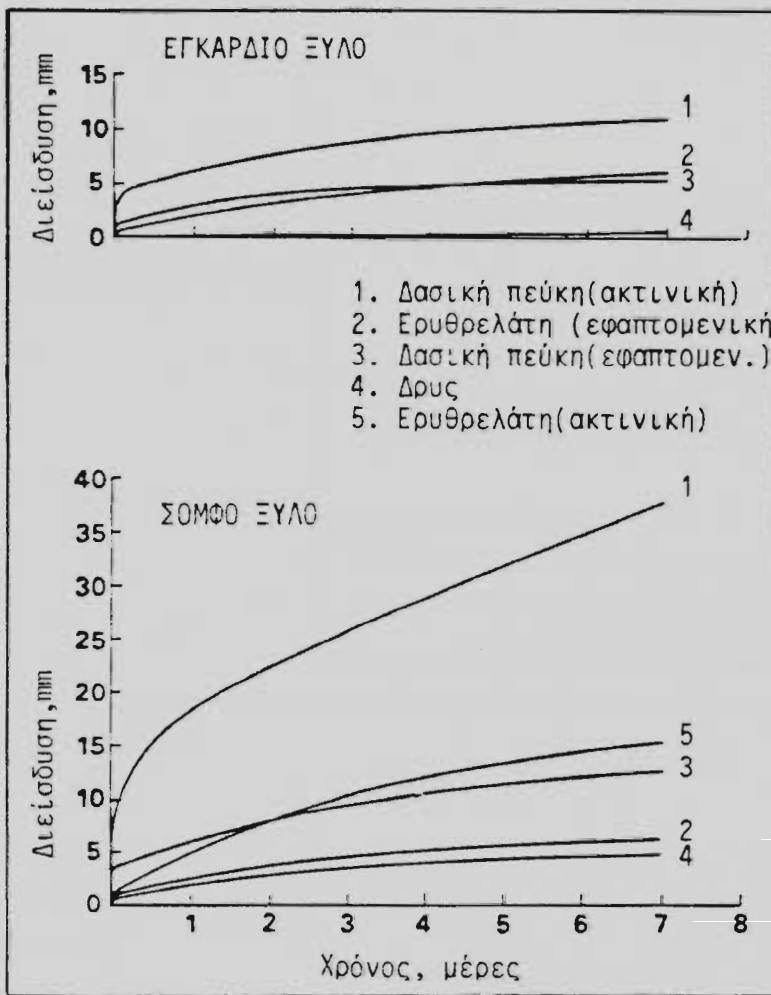
Σχ.5.1 . Επίδραση του χρόνου εμβάπτισης στη συγκράτηση και διείσδυση του συντηρητικού σε σομό ξύλο δασικής πεύκης (Από Purslow, 1974).



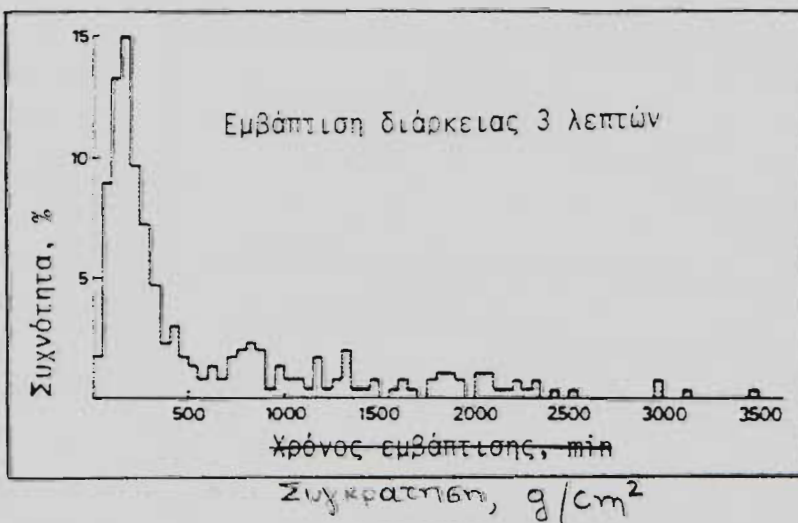
Σχ. 5.2. Επίδραση του ιξώδους στη διείσδυση συντηρητικού σε σομό ξύλο δασικής πεύκης με τη μέθοδο εμβάπτισης (Από Purslow, 1974).



Σχ. 5.3. Συγκράτηση συντηρητικού με τη μέθοδο της εμβάπτισης σε διάφορα ξύλα (Από Purslow, 1974).



Σχ. 5.4. Πλευρική (ακτινική, εφαπτομενική) διείσδυση σε διαφορετικά ξύλα με τη μέθοδο εμβάπτισης μεγάλης διάρκειας (Από Purslow, 1974).



Σχ. 5.5. Κατανομή συγκράτησης συντηρητικού σε δείγματα σομφού ξύλου δασικής πεύκης (Από Purslow, 1974).

στό ξύλο συγκρατεί περισσότερη ποσότητα εμποτιστικού υγρού από πλανισμένο ξύλο (25% περίπου περισσότερο) και η πλευρική διείσδυση σε πριστό ξύλο είναι 1-2 mm βαθύτερη. Η αξονική διείσδυση είναι ασύγκριτα μεγαλύτερη (σε πεύκη 60-80 mm με εμβάπτιση 3 λεπτών).

Το Σχ. 5.5 δείχνει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των δειγμάτων ξύλου σε δασική πεύκη μετά από εμβάπτιση 3 λεπτών, συγκράτησε περίπου 50-450 g εμποτιστικού ανά  $m^2$  πλευρικής επιφάνειας του ξύλου. Η συγκράτηση αυτή αφορά στην κανονική κατάσταση αλλά ένα ορισμένο ποσοστό δειγμάτων συγκράτησε μεγάλες ποσότητες εμποτιστικού πράγμα που συνδέεται με αύξηση της διαπερατότητάς τους λόγω επίδρασης βακτηρίων κατά την αποθήκευσή τους σε χλωρή κατάσταση πριν από τον εμποτισμό.

Σε δύσκολα στον εμποτισμό είδη ξύλου η πλευρική διείσδυση είναι μικρή στα πρώτα λεπτά της εμβάπτισης και γι' αυτό χρειάζεται να παραμείνουν για αρκετό χρόνο μέσα στο εμποτιστικό υγρό. Εμβάπτιση μεγάλης διάρκειας σε οργανικά διαλύματα σπάνια μπορεί να υποστηριχθεί με τις σημερινές μεθόδους παραγωγής αλλά για το πισσέλαιο η πρακτική αυτή είναι συνήθης όταν πρόκειται για προστασία του ξύλου σε αγροτικές περιοχές (πάσσαλοι, περιφράξεις, κ.ά.) όπου συχνά το ξύλο περιλαμβάνει ολόκληρο ή σημαντικό τμήμα σομφού ξύλου. Σε στρόγγυλη ξυλεία κωνοφόρων μικρών διαστάσεων (π.χ. αραιώσεις) όπου το σομφό ξύλο κατέχει σημαντικό όγκο, η μέθοδος εμβάπτισης αποδίδει πολύ καλά αποτελέσματα.

Η μέθοδος εμβάπτισης είναι απλή, γρήγορη, έχει μικρό κόστος και παρουσιάζει καλύτερα αποτελέσματα από τις προηγούμενες μεθόδους. Το ξύλο πρέπει να είναι, όπως και στις προηγούμενες μεθόδους, ξηρό στον αέρα, καθαρό και αποφλοιωμένο. Φυσικά, εμβάπτιση μικρής διάρκειας δεν παρέχει αποτελεσματική προστασία σε δύσκολες συνθήκες υπηρεσίας του ξύλου. Αποτελεί όμως κυρίαρχη μέθοδο για προστασία ποικίλων ξυλουργικών κατασκευών από προσβολές μυκήτων και κυρίως από προσβολές εντόμων. Η διάρκεια εμβάπτισης σ' αυτές τις περιπτώσεις κυμαίνεται μεταξύ 3-10 λεπτών αλλά μπορεί να φθάσει και τη μία ώρα.

#### 2.4. Διάχυση (diffusion treatment)

Η μέθοδος διάχυσης ή "ωσμώσεως" διαφέρει από τις προηγούμενες στο ότι εφαρμόζεται στην επιφάνεια, αποφλοιωμένου, καθαρού και χλωρού ξύλου με επάλειψη υδατοδιαλυτών εμποτιστικών ουσιών μεγάλης συγκέντρωσης (πάστας). Μετά την επάλειψη, τα ξύλα στοιβάζονται σε υγρές θέσεις έτσι ώστε να έχουν στενή επαφή μεταξύ τους και σκεπάζονται με πισσόχαρτο ή πλαστικό για να αποφευχθεί η ξήρανση και να διεισδύσει το εμποτιστικό σε



βάθος με διάχυση. Η μέθοδος διαρκεί μερικές εβδομάδες που εξαρτάται από το πάχος της ξυλείας και την περιεχόμενη υγρασία του ξύλου κατά τον χειρισμό. Μετά την περίοδο αυτή, η ξυλεία ξηραίνεται κανονικά. Η μέθοδος διαφέρει από τις προηγούμενες και στον τρόπο με τον οποίο γίνεται η διείσδυση του εμποτισμού. Η διείσδυση δεν γίνεται με τριχοειδείς δυνάμεις που δημιουργούνται από την πορώδη κατασκευή του ξύλου σε ξηρή κατάσταση αλλά με διάχυση του εμποτιστικού από θέσεις υψηλής συγκέντρωσης σε θέσεις χαμηλής ή μηδενικής συγκέντρωσης με τάση να επέλθει ισορροπία σε όλη τη μάζα του ξύλου. Στη διαδικασία αυτή αξιοποιείται η υπάρχουσα υγρασία του ξύλου, η οποία όσο πιά μεγάλη είναι τόσο πιά εύκολα προχωρεί η διάχυση (Σχ.5.6 ). Από διαθέσιμα αποτελέσματα προκύπτει ότι η υγρασία του ξύλου πρέπει να διατηρείται 100% η παραπάνω για να γίνει καλός εμποτισμός. Όταν η υγρασία είναι κάτω από 60%, η διάχυση προχωρεί αργά και χρειάζονται μήνες για ικανοποιητικό εμποτισμό.

Εμποτιστικά που εφαρμόζονται με τη μέθοδο της διάχυσης είναι κυρίως υδατοδιαλυτά άλατα βορίου και διάφορες φθοριούχες ενώσεις. Με άλατα βορίου πετυχαίνεται πλήρης διείσδυση του εμποτιστικού ακόμα και σε δύσκολα στον εμποτισμό ξύλα (π.χ. ερυθρελάτη, τσούγκα ) τα οποία είναι δύσκολα να εμποτισθούν σε βάθος με άλλες μεθόδους. Η μέθοδος δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα αλλά σε εισαγόμενη ξυλεία δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί γιατί η υγρασία του ξύλου βρίσκεται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα. Στην περίπτωση αυτή ο εμποτισμός μπορεί να γίνει στη χώρα παραγωγής.

Η μέθοδος διάχυσης εφαρμόζεται για εμποτισμό πασσάλων και στύλων που προέρχονται κυρίως από είδη ξύλου δύσκολα στον εμποτισμό, π.χ. ελάτη, ερυθρελάτη, ψευδοτσούγκα. Το εμποτιστικό διαχέεται κυρίως στο σομφό ξύλο και λίγο στο εγκάρδιο. Χρησιμοποίηση της μεθόδου μπορεί να γίνει και σε ιστάμενους στύλους στους οποίους διαπιστώνεται έναρξη σήψης στη βάση τους. Το τμήμα του στύλου που είναι μέσα στο έδαφος αποκαλύπτεται σε βάθος 50-60 m με απομάκρυνση του χώματος που το περιβάλλει, το ξύλο που έχει προσβληθεί απομακρύνεται ή απανθρακώνεται, γίνεται επάλειψη της επιφάνειας του στύλου μέχρι 50 cm περίπου πάνω από το έδαφος με συντηρητικό, η επιφάνεια περιτυλίγεται με πηλό ή πλαστικό και τέλος ο λάκκος που δημιουργήθηκε γύρω από το στύλο γεμίζεται με το χώμα που απομακρύνθηκε. Με τη βοήθεια της υγρασίας του ξύλου στην περιοχή αυτή του ξύλου πετυχαίνεται βαθμιαία η διάχυση του συντηρητικού. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η διάρκεια υπηρεσίας του στύλου χωρίς υπερβολική δαπάνη. Έτοιμοι "επίδεσμοι" με συντηρητικό κυκλοφορούν στο εμπόριο. Η μέθοδος έχει εφαρμογή και σε άλλες περιπτώσεις όπως π.χ. σε εξωτερικές

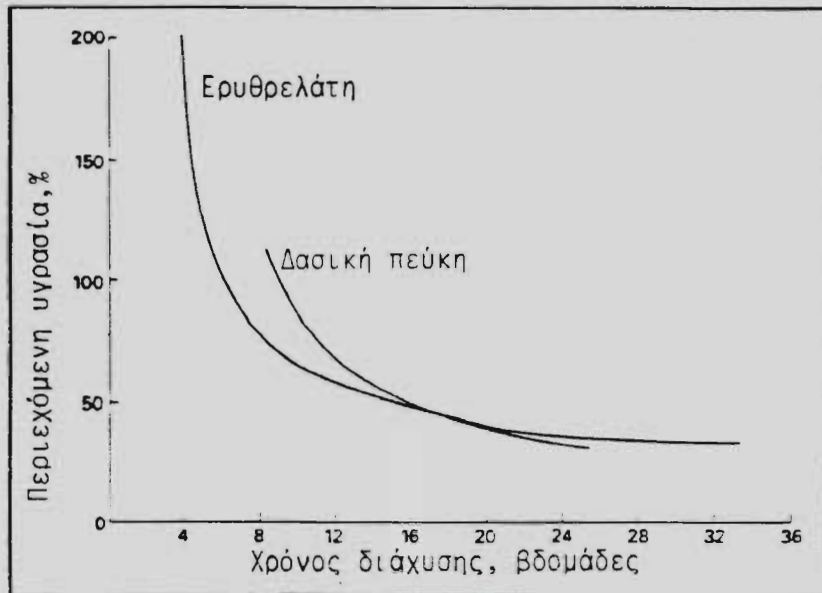
ξυλουργικές κατασκευές και επενδύσεις και γενικά σε οικοδομική ξυλεία για προστασία από προσβολές και εντόμων. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι τα συντηρητικά που χρησιμοποιούνται με τη μέθοδο αυτή δεν δεσμεύονται με το ξύλο και μπορούν βαθμιαία να εκπλυθούν όταν το ξύλο χρησιμοποιείται σε υγρές συνθήκες ή δέχεται την επίδραση της βροχής. Δεν παρέχει επομένως μακροχρόνια προστασία σε ξύλινες κατασκευές που βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, σε ψυκτικούς πύργους, κλπ. Σε εξωτερικές ξυλουργικές κατασκευές που δέχονται την επίδραση των καιρικών συνθηκών συνιστάται να συνδυάζεται ο εμποτισμός με επιφανειακή βαφή. Το πρόβλημα της έκπλυσης του εμποτιστικού μπορεί να αντιμετωπισθεί με μια παραλλαγή της μεθόδου γνωστή σαν διπλή διάχυση (double diffusion) κατά την οποία γίνεται διαδοχική εμβάπτιση χλωρού ξύλου σε τοξικά εμποτιστικά τα οποία σχηματίζουν δυσδιάλυτες ενώσεις αλλά η μέθοδος αυτή είναι χρονοβόρα και ο έλεγχος του εμποτισμού ανεπαρκής.

#### 2.5. Μέθοδος του θερμού και ψυχρού λουτρού σε ανοικτές δεξαμενές (hot and - cold open tank treatment)

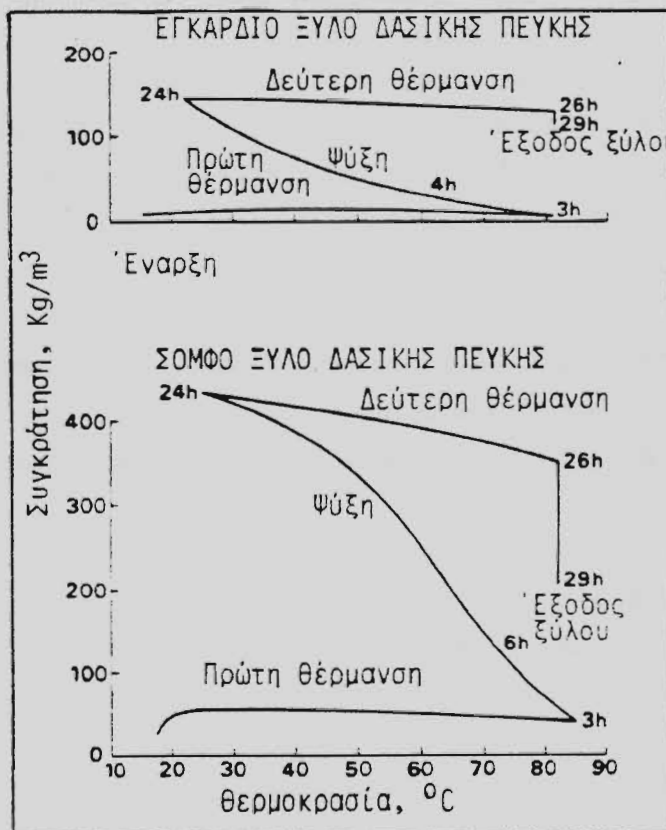
Η μέθοδος του θερμού και ψυχρού λουτρού βασίζεται στη διαφορά πίεσης μεταξύ της ατμοσφαιρικής πίεσης και του μερικού κενού που δημιουργείται μέσα στο ξύλο η οποία ωθεί το εμποτιστικό μέσα στη μάζα του ξύλου. Η διαφορά αυτή πίεσης δημιουργείται με χρησιμοποίηση δύο ανοιχτών δεξαμενών οι οποίες περιέχουν εμποτιστικό διαφορετικής θερμοκρασίας. Η μέθοδος περιλαμβάνει εμβάπτιση του ξύλου πρώτα στο θερμό και μετά στο ψυχρό λουτρό.

Ο μηχανισμός της μεθόδου έχει ως εξής: Όπως είναι γνωστό το σύνολο των κενών χώρων στο ξύλο ανέρχεται σε 45-70% του όγκου του. Όταν το ξύλο εμβαπτίζεται σε θερμό υγρό ο αέρας των κενών χώρων διαστέλλεται και εξωθείται προς τα έξω και ένα μέρος της υγρασίας του ξύλου εξατμίζεται. Κατά την εμβάπτιση του ξύλου στη συνέχεια στο ψυχρό υγρό ο αέρας που μένει στους κενούς χώρους συστέλλεται και η πίεση ατμών πέφτει με αποτέλεσμα να δημιουργείται μερικό κενό μέσα στο ξύλο που διευκολύνει τη διείσδυση του υγρού. Όσο πιο μεγάλη, είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ θερμού και ψυχρού υγρού, τόσο μεγαλύτερη διαφορά πίεσης πετυχαίνεται και, συνεπώς, μεγαλύτερη συγκράτηση εμποτιστικού.

Στην πράξη, η μέθοδος θερμού και ψυχρού λουτρού εφαρμόζεται είτε με χρησιμοποίηση δύο ανοιχτών δεξαμενών, όπως περιγράφηκε παραπάνω, είτε με χρησιμοποίηση μιας ανοιχτής δεξαμενής. Στην πρώτη περίπτωση, το ξύλο μετακινείται γρήγορα από τη μία δεξαμενή στην άλλη ενώ στη δεύτερη



Σχ. 5.6. Επίδραση της περιεχόμενης υγρασίας στο χρόνο που χρειάζεται για πλήρη διεύθυνση δειγμάτων ξύλου 100 X 50 mm με διάχυση (Από Purslow, 1974).



Σχ. 5.7. Συγκράτηση πιασελαίου σε διάφορες φάσεις εμποτισμού με τη μέθοδο του διπλού θερμού και ψυχρού λουτρού (Από Purslow, 1974).

περίπτωση το ξύλο δεν μετακινείται αλλά γίνεται αντικατάσταση του θερμού συντηρητικού με ψυχρό ή διακόπτεται η θέρμανση και το συντηρητικό βαθμιαία ψύχεται. Το ξύλο πρέπει να καλύπτεται εντελώς από το συντηρητικό κατά τη διάρκεια του χειρισμού. Η θερμοκρασία του θερμού λουτρού είναι  $85-95^{\circ}\text{C}$  ενώ το ψυχρό λουτρό έχει συνήθως τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Ο χρόνος παραμονής του ξύλου στο συντηρητικό και η θερμοκρασία του συντηρητικού μπορούν να διαφέρουν ανάλογα με το είδος του ξύλου και το μέγεθος του αλλά όλη η διαδικασία γενικά διαρκεί μερικές ώρες. Όταν πρόκειται για είδη που απορροφούν μεγάλες ποσότητες συντηρητικού τότε μπορεί να μειωθεί ο χρόνος παραμονής του ξύλου στο θερμό λουτρό και η διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ θερμού και ψυχρού λουτρού.

Μια άλλη μέθοδος για εξοικονόμηση συντηρητικού (διπλή μέθοδος θερμού και ψυχρού λουτρού σε ανοιχτές δεξαμενές), η οποία διαρκεί λίγο περισσότερο αλλά είναι πιο αποτελεσματική είναι η επαναθέρμανση του συντηρητικού αφού πρώτα ψυχθεί, παραμονή του ξύλου για άλλες 1-3 ώρες μέσα στο συντηρητικό και απομάκρυνσή του. Με τον τρόπο αυτό πετυχαίνεται η μέγιστη διείσδυση του εμποτιστικού κατά την ψύξη ενώ ένα μεγάλο ποσοστό του υγρού που συγκρατήθηκε αποβάλλεται κατά το στάδιο της επαναθέρμανσης. Η μέθοδος αυτή είναι ιδιαίτερα κατάλληλη σε φορτία ξύλου όπου παρατηρούνται διαφορές στην αντίσταση στον εμποτισμό, π.χ. δασική πεύκη και σεκβόϊα με σομφό και εγκάρδιο. Κατά τη διάρκεια επαναθέρμανσης μπορεί να αποβληθεί μέχρι 50% του συντηρητικού που συγκρατήθηκε από σομφό ξύλο αλλά από εγκάρδιο ξύλο το ποσοστό αυτό είναι πολύ μικρότερο. Αυτό όμως είναι πλεονέκτημα της μεθόδου γιατί το σομφό ξύλο είναι εκείνο που συγκρατεί μεγάλες ποσότητες συντηρητικού υγρού που δεν είναι αναγκαίες. Στο Σχ.5.7 δείχνεται χαρακτηριστικά η συγκράτηση συντηρητικού κατά την διάρκεια των φάσεων θέρμανσης - ψύξης - επαναθέρμανσης, η σημασία του ψυχρού λουτρού για την συγκράτηση και οι μεγάλες ποσότητες του συντηρητικού που αποβάλλονται κατά την επαναθέρμανση.

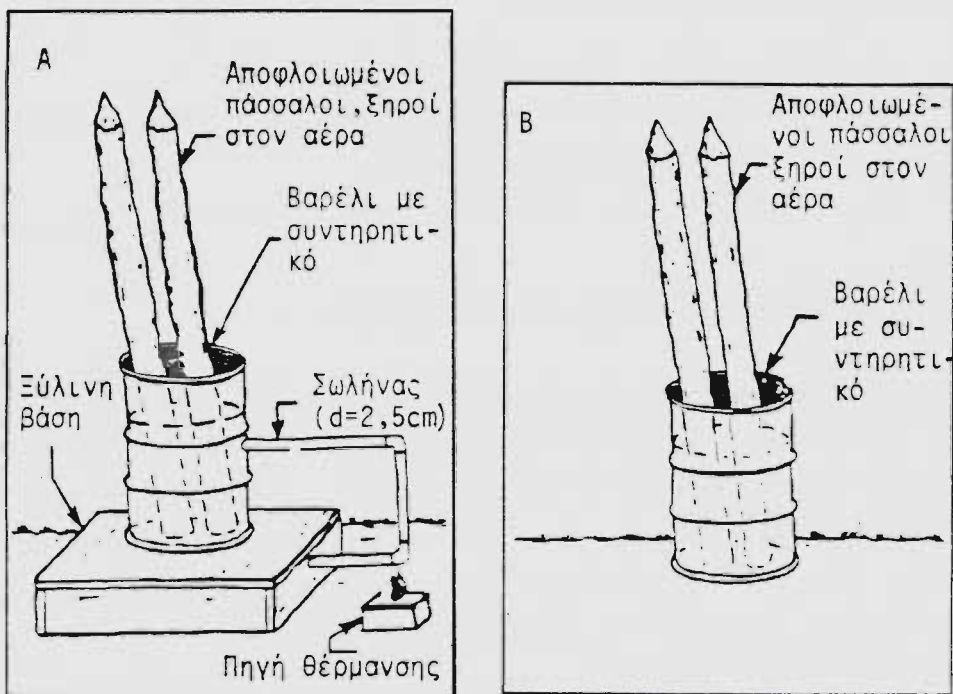
Η μέθοδος του θερμού και ψυχρού λουτρού μπορεί να εφαρμοσθεί με όλα τα συντηρητικά τα οποία δεν αλλοιώνονται κατά την θέρμανση. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται πισσέλαιο αλλά η μέθοδος μπορεί να τροποποιηθεί έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και συντηρητικά που αλλοιώνονται κατά την θέρμανση ή είναι εύφλεκτα. Αυτό πετυχαίνεται με θέρμανση του ξύλου με διάφορα μέσα (αέρας, ατμός, ζεστό νερό) και γρήγορη μεταφορά του σε δεξαμενή με το ψυχρό εμποτιστικό όπου το ξύλο αφήνεται να ψυχθεί.

Οι εγκαταστάσεις εμποτισμού για την εφαρμογή της μεθόδου του θερμού

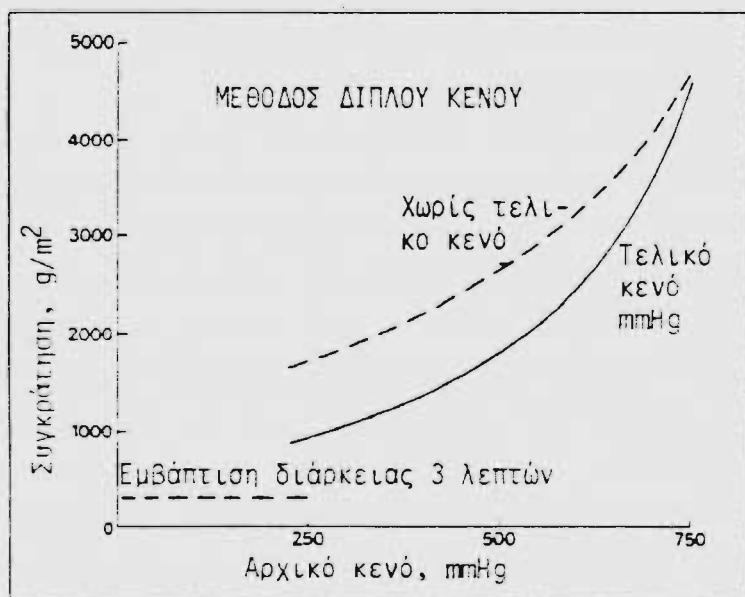
και ψυχρού λουτρού είναι απλές. Χρειάζεται μιά δεξαμενή χωρίς διαρροές για να θερμαίνεται το συντηρητικό και μιά δεύτερη παρόμοια δεξαμενή για το ψυχρό συντηρητικό εφόσον οι δύο φάσεις (θέρμανση, ψύξη) γίνονται χωριστά. Το μέγεθος των δεξαμενών εξαρτάται από την ποσότητα και το μέγεθος της ξυλείας για εμποτισμό. Αν εμποτίζονται πάσσαλοι π.χ. η δεξαμενή μπορεί να έχει διαστάσεις 0,75x1x5 m (πλάτος x βάθος x μήκος). Οι δεξαμενές πρέπει να γίνονται από μαλακό χάλυβα που να έχει την απαιτούμενη αντοχή ώστε να μην παραμορφώνεται από το βάρος του συντηρητικού και του ξύλου και από τη θέρμανση. Συχνά οι δεξαμενές τοποθετούνται μέσα στο έδαφος για διευκόλυνση των εργασιών. Για την πλήρη εμβάπτιση του ξύλου μέσα στο συντηρητικό υγρό χρησιμοποιούνται κατάλληλα βάρη. Μιά δεξαμενή αποθήκευσης όπου να είναι δυνατή η μεταφορά του συντηρητικού υγρού από τις κύριες δεξαμενές είναι επίσης απαραίτητη ώστε η τοποθέτηση και η απομάκρυνση του ξύλου να γίνονται εύκολα. Για τη θέρμανση μπορεί να χρησιμοποιηθεί φωτιά, ατμός, έλαια ή ηλεκτρισμός και κατάλληλες σωληνώσεις. Η μετακίνηση του ξύλου γίνεται συνήθως με γερανό που κινείται πάνω σε γραμμές.

Με μια παραλλαγή της μεθόδου γίνεται εμποτισμός πασσάλων μόνο στη βάση τους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται βαρέλια μέσα στα οποία τοποθετείται πισσέλαιο και οι πάσσαλοι οι οποίοι καλύπτονται με το εμποτιστικό σε ύψος συνήθως λίγο μεγαλύτερο από αυτό που μπαίνει μέσα στο έδαφος. (Σχ. 5.8). Το εμποτιστικό θερμαίνεται για ορισμένη χρονική περίοδο και μετά αφήνεται να ψυχθεί. Κατά την διάρκεια του χειρισμού, οι πάνω εγκάρσιες επιφάνειες των πασσάλων επαλείφονται με θερμό πισσέλαιο.

Η μέθοδος του θερμού και ψυχρού είναι σχετικά απλή και αρκετά αποτελεσματική. Έχει μετρηθεί συγκράτηση συντηρητικού μέχρι  $500 \text{ kg/m}^3$  σε εύκολα στον εμποτισμό ξύλα. Τέτοια συγκράτηση δεν είναι φυσικά αναγκαία ούτε οικονομική. Κατά κανόνα συγκράτηση  $120-160 \text{ kg/m}^3$  είναι επαρκής. Η μέθοδος χρησιμοποιείται ακόμη πολύ για εμποτισμό πασσάλων ή στύλων και σε είδη εύκολα στον εμποτισμό ξύλου (οξιό, σημύδα, ιπποκαστανιά, σκληθρο) και σε ξύλα στρόγγυλης μορφής που έχουν σομφό ξύλο εύκολο στον εμποτισμό (δρυς, πεύκη). Η διάρκεια τέτοιου ξύλου μπορεί να ξεπεράσει τα 40 χρόνια αφού εμποτισθεί. Επίσης, η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε είδη που παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντίσταση στον εμποτισμό με λιγότερο βέβαια ικανοποιητικά αποτελέσματα.



Σχ. 5.8. Εφαρμογή της μεθόδου με εμφάτιση σε πασσάλους με θερμό (Α) και ψυχρό (Β) συντηρητικό (Από Krzyzewski).



Σχ. 5.9. Επίδραση του αρχικού κενού στη συγκράτηση συντηρητικού από σομφό ξύλο δασικής πεύκης (Από Purslow, 1974).

### 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΠΙΕΣΗΣ

Οι μέθοδοι αυτές διακρίνονται σε δύο ομάδες:

- α. σε μεθόδους όπου εφαρμόζονται χαμηλές πιέσεις (ίσες ή λίγο μεγαλύτερες της ατμοσφαιρικής) και
- β. σε μεθόδους όπου εφαρμόζονται υψηλές πιέσεις.

#### 3.1. Μέθοδοι με εφαρμογή χαμηλών πιέσεων

##### 3.1.1. Μέθοδος του διπλού κενού (double-vacuum treatment)

Η μέθοδος του διπλού κενού βασίζεται στην ίδια αρχή του θερμού και ψυχρού λουτρού δηλ. αξιοποιεί την διαφορά πίεσης μεταξύ ενός μερικού κενού που δημιουργείται στο ξύλο και της ατμοσφαιρικής πίεσης αλλά διαφέρει στο ότι το κενό αυτό δημιουργείται με τοποθέτηση του ξύλου μέσα σε κλειστό κύλινδρο και χρησιμοποίηση αντλίας κενού και όχι με διαφορά θερμοκρασίας του εμποτιστικού υγρού όπως στο θερμό και ψυχρό λουτρό. Η διαφορά αυτή πίεσης συντελεί στο να διεισδύει το συντηρητικό βαθύτερα, γρηγορότερα και ταχύτερα μέσα στο ξύλο και έτσι η προστασία του ξύλου να είναι αποτελεσματικότερη σε σύγκριση με τη μέθοδο εμβάπτισης όπου το υγρό διεισδύει με τη βοήθεια κυρίως τριχοειδών δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ του υγρού και του ξύλου. Η μέθοδος του διπλού κενού διαφέρει από τις μεθόδους χωρίς πίεση στο ότι εφαρμόζεται κενό και χαμηλή πίεση μέσα σε κλειστό κύλινδρο με τη βοήθεια αντλίας και άλλων σχετικών εγκαταστάσεων όπως στις μεθόδους πίεσης.

Η μέθοδος περιλαμβάνει τοποθέτηση του ξύλου στον κλειστό κύλινδρο, εφαρμογή αρχικού κενού για ορισμένη χρονική περίοδο πριν από την είσοδο του συντηρητικού, είσοδος του συντηρητικού, αφαίρεση κενού και αύξηση πίεσης στον κύλινδρο (συνήθως μέχρι την ατμοσφαιρική πίεση), είσοδος του συντηρητικού μέσα στο ξύλο το οποίο παραμένει για ορισμένο χρονικό διάστημα μέσα στον κύλινδρο, απομάκρυνση συντηρητικού από τον κύλινδρο και εφαρμογή τελικού κενού για απομάκρυνση του πλεονάζοντος συντηρητικού που έχει συγκρατηθεί από το ξύλο. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για σομφό ξύλο βασικής πεύκης εφαρμόζεται αρχικό κενό 0,33 bar (250 mmHg) , τελικό 0,83 bar (625 mmHg) και παραμονή του ξύλου κάτω από ατμοσφαιρική πίεση μεταξύ αρχικού - τελικού κενού για λίγα λεπτά. Συγκριτικά αποτελέσματα μεταξύ της μεθόδου διπλού κενού και εμβάπτισης δίνονται στον Πίνακα 5.1.

Πίνακας 5.1. Συγκράτηση συντηρητικού από σομφό ξύλο σεκβόϊας

Μέθοδος	Συγκράτηση, Kg/m <sup>3</sup>
<u>Διπλό κενού</u>	
Συγκράτηση συντηρητικού πριν από την εφαρμογή τελικού κενού	30,4
Συγκράτηση μετά την εφαρμογή τελικού κενού	18,5
<u>Εμβάπτιση 3 λεπτών</u>	
Συγκράτηση	8,3

Η μέθοδος του διπλού κενού αναπτύχθηκε κατά την 10ετία του 1970, κυρίως για εμποτισμό ξύλου που χρησιμοποιείται σε οικήματα, ιδιαίτερα ξυλουργικών κατασκευών, με οργανικά διαλύματα χαμηλά ιξώδους. Η εφαρμογή του τελικού κενού έχει μεγάλη σημασία από οικονομική άποψη γιατί η ποσότητα του σχετικά υψηλού κόστους συντηρητικών που αφαιρείται από το ξύλο στο στάδιο αυτό είναι σημαντική (περίπου 40% της αρχικής συγκράτησης) χωρίς να είναι σε βάρος της αποτελεσματικότητας. Επίσης, με το τελικό κενό πετυχαίνεται σχετικά ξηρή επιφάνεια του ξύλου και έτσι αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς μεγάλη αναμονή.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ελαστικότητα που παρουσιάζει κατά τις διάφορες φάσεις εφαρμογής της. Ανάλογα με την περίπτωση (είδος ξύλου, επιθυμητή συγκράτηση, κλπ.) το μέγεθος και η διάρκεια του αρχικού κενού και το επίπεδο μέχρι το οποίο αφαιρείται κατά την είσοδο του συντηρητικού μπορούν να μεταβληθούν. Το Σχ. 5.9 δίνει χρήσιμα στοιχεία από την εφαρμογή της μεθόδου σε σομφό ξύλο δασικής πεύκης. Προκύπτει ότι η συγκράτηση αυξάνει όσο υψηλότερο είναι το αρχικό κενό ενώ η ποσότητα του συντηρητικού που ανακτάται κατά το στάδιο του τελικού κενού μειώνεται όσο η διαφορά αρχικού και τελικού κενού μικραίνει. Τέλος, δείχνεται συγκριτικά η συγκράτηση με τη μέθοδο της εμβάπτισης η οποία είναι πολύ μικρότερη. Η πλήρης αποκατάσταση της ατμοσφαιρικής πίεσης στον κύλινδρο μετά την είσοδο του εμποτιστικού δεν είναι αναγκαία. Με ρύθμιση της ποσότητας του αέρα που εισέρχεται στον κύλινδρο είναι δυνατό να διατηρείται το αρχικό κενό σε διάφορα επίπεδα (χαμηλότερα) και να πετυχαίνονται διάφοροι συνδυασμοί αρχικού κενού και κενού μετά την είσοδο



του συντηρητικού πράγμα που έχει επίδραση στη συγκράτηση του συντηρητικού. Επίσης, ίδια διαφορά κενού μεταξύ διαφόρων συνδυασμών δείχνει ότι όσο το αρχικό κενό είναι υψηλότερο τόσο και η συγκράτηση συντηρητικού είναι μεγαλύτερη (βλ. Πίνακα 5.2 ). Άλλο στάδιο της μεθόδου που μπορεί να τροποποιηθεί είναι ο χρόνος παραμονής του ξύλου στο εμποτιστικό μετά την αφαίρεση του αρχικού κενού. Είναι αμφίβολο αν παράταση της παραμονής του ξύλου περισσότερο από λίγα λεπτά αποδίδει σημαντικά καλύτερα αποτελέσματα ιδιαίτερα σε εύκολα στον εμποτισμό είδη. Η εμβάπτιση του ξύλου στο συντηρητικό, μέσα στον κύλινδρο, γίνεται κατά κανένα κάτω από ατμοσφαιρική πίεση αλλά τελευταία εφαρμόζεται μικρή πίεση (1-2 bar) για 1 ώρα περίπου για καλύτερη αποτελεσματικότητα σε δύσκολα στον εμποτισμό είδη. Τέλος, το τελικό κενό που εφαρμόζεται επηρεάζει την ποσότητα του συντηρητικού που ανακτάται και την κατανομή του μέσα στο ξύλο. Υψηλό τελικό κενό τείνει να μετακινήσει το διάλυμα από το εσωτερικό του ξύλου προς την επιφάνεια του με αποτέλεσμα η συγκράτηση του συντηρητικού στην επιφάνεια να είναι διαφορετικό σε σύγκριση με την περίπτωση κατά την οποία δεν εφαρμόζεται τελικό κενό.

Πίνακας 5.2. Επίδραση της διαφοράς μεταξύ αρχικού κενού και κενού μετά την είσοδο του εμποτιστικού στη συγκράτηση του συντηρητικού από σομφό ξύλο δασικής πεύκης

Αρχικό κενό (mmHg)	Κενό μετά την είσοδο του συντηρητικού (mmHg)	Συγκράτηση, kg/m <sup>3</sup>	
		Πριν από το τε- λικό κενό*	Μετά το τε- λικό κενό*
250	0	133	77
375	125	188	112
500	250	220	139
625	375	235	153
750	500	371	368

\*Τελικό κενό για κάθε περίπτωση: 750 mmHg.

Η μέθοδος του διπλού κενού αναπτύχθηκε για καλύτερη προστασία του σομφού ξύλου κωνοφόρων ειδών που εμποτίζονται εύκολα και χρησιμοποιούνται για εξωτερικές ξυλουργικές κατασκευές μετά από βαφή αλλά βρίσκει εφαρμογή και σε άλλες περιπτώσεις (οικοδομική ξυλεία, ξύλινα οικήματα). Η ελαστικότητα της μεθόδου επιτρέπει, μέχρις ορισμένου σημείου, την

αντιμετώπιση καταστάσεων όπου είναι αναγκαίος ο πλήρης εμποτισμός του σομφού ξύλου ή όπου τα ξύλα που προορίζονται για εμποτισμό παρουσιάζουν σχετικά μεγαλύτερη αντίσταση (π.χ. ερυθρελάτη, ελάτη, τσούγκα, ψευδοτσούγκα).

### 3.1.2. Μέθοδος υδροστατικής πίεσης ή εκτόπισης χυμών (sap displacement method)

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται κυρίως σε έμφλοιους χλωρούς στύλους σε διάφορες παραλλαγές (μέθοδος Boucherie, μέθοδος Gewecke, κ.ά) και στηρίζεται στην εκτόπιση των χυμών του ξύλου με υδατοδιαλυτά συντηρητικά (π.χ. θειϊκός χαλκός και ποικιλία συνδυασμών άλλων υδατοδιαλυτών αλάτων).

Σύμφωνα με τη μέθοδο του Boucherie (1838, Γαλλία) οι έμφλοιοι στύλοι τοποθετούνται στο έδαφος έτσι ώστε η βάση τους να βρίσκεται λίγο ψηλότερα. Στη βάση διαμορφώνεται καθαρή εγκάρσια τομή και προσαρμόζεται υδατοστεγές μεταλλικό κάλυμμα που συνδέεται με σωλήνα με τη δεξαμενή που περιέχει το εμποτιστικό. Η δεξαμενή αυτή βρίσκεται σε υψηλό σημείο (π.χ. 10 m πάνω από το έδαφος) (Σχ.5.10). Με τη βοήθεια της υδροστατικής πίεσης, το συντηρητικό εισέρχεται από τη βάση του στύλου μέσα στο ξύλο, εκτοπίζει τους χυμούς και βγαίνει από το άλλο άκρο. Ο εμποτισμός διαρκεί αρκετά (8-14 μέρες) ανάλογα με το είδος του ξύλου και οι πιέσεις που αναπτύσσονται φθάνουν τα  $1,03 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  (1,5 ατμ.) περίπου. Το συντηρητικό διεισδύει λίγο ή καθόλου στο εγκάρδιο ξύλο. Μετά τον εμποτισμό, οι στύλοι στοιβάζονται και η αποφλοιώση γίνεται αργότερα.

Στη μέθοδο Gewecke ή μέθοδο αναρρόφησης που αποτελεί βελτίωση της προηγούμενης μεθόδου χρησιμοποιούνται άφλοιοι στύλοι και καλύμματα που προσαρμόζονται στο ένα από τα δύο άκρα των στύλων και κάνουν δυνατή την εφαρμογή κενού, ενώ τα άλλα άκρα ή ολόκληροι οι στύλοι είναι βυθισμένοι σε ανοικτή δεξαμενή με συντηρητικό. Με τον τρόπο αυτό, αυξάνεται σημαντικά η ταχύτητα κίνησης του συντηρητικού κατά μήκος του στύλου και η διάρκεια εμποτισμού μικραίνει.

Άλλη τροποποίηση της μεθόδου Boucherie είναι η προσαρμογή κατάλληλων καλυμμάτων στα καθαρά και αποφλοιωμένα άκρα των βάσεων των στύλων και η εφαρμογή υψηλής πίεσης που ωθεί το συντηρητικό να κινηθεί ταχύτερα κατά μήκος των στύλων.

Στις μεθόδους εκτόπισης των χυμών κατατάσσεται και η μέθοδος σφραγίσματος με "πάστα" (slurry seal process). Η μέθοδος απαιτεί την ύπαρξη ενός συνήθους κυλίνδρου πίεσης με πόρτα ειδικής κατασκευής η οποία

φέρει ένα φίλτρο και ένα διάτρητο δίσκο και μιάς δεξαμενής με "πάστα" που τοποθετείται πάνω από την πόρτα του κυλίνδρου. Η "πάστα" αποτελείται από μείγμα λεπτής άμμου (μέγεθος κόκκων  $< 75 \mu$ ) και συντηρητικού αναλογίας 1:1. Η διαδικασία εμποτισμού περιλαμβάνει: τοποθέτηση αποφλοιωμένων στύλων στον κύλινδρο έτσι ώστε τα πάνω άκρα τους να βρίσκονται πολύ κοντά ή να εφάπτονται στο διάτρητο δίσκο, κλείσιμο του κυλίνδρου και πλήρωσή του με διάλυμα συντηρητικού το οποίο αφήνεται να διαφεύγει από την ειδική πόρτα του κυλίνδρου, είσοδος "πάστας" από τη δεξαμενή μέσα στον κύλινδρο και συγκέντρωση της γύρω από τα πάνω άκρα των στύλων με τη βοήθεια του διαλύματος που διαφεύγει προς τα έξω, πλήρωση των κενών (σφράγισμα, σφήνωμα) γύρω από τα άκρα των στύλων με άμμο που εμποδίζεται να βγει έξω από τον κύλινδρο με τη βοήθεια του διάτρητου δίσκου και του φίλτρου της πόρτας και εφαρμογή υδραυλικής πίεσης ( $1,4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  περίπου) με είσοδο πρόσθετου διαλύματος συντηρητικού για ισχυρό "σφήνωμα" της άμμου γύρω από τα πάνω άκρα των στύλων με αποτέλεσμα το συντηρητικό να ακολουθεί διόδους με τη μικρότερη αντίσταση (δηλ. κατά μήκος των στύλων από τη βάση προς την κορυφή) και να εκτοπίζει τους χυμούς. Όταν το χρώμα του συντηρητικού που εξέρχεται είναι το ίδιο όπως όταν εισέρχεται τότε θεωρείται ότι η διαδικασία του εμποτισμού έχει ολοκληρωθεί. Με τη μέθοδο αυτή πετυχαίνεται πλήρης εμποτισμός του σομφού ξύλου και μπορεί να εφαρμοσθεί και σε πριστή ξυλεία που δεν έχει ξηραθεί.

### 3.2. Μέθοδοι με εφαρμογή υψηλής πίεσης

Στις μεθόδους αυτές η ξυλεία τοποθετείται μέσα σε κλειστό κύλινδρο όπου εφαρμόζεται υψηλή πίεση για εισαγωγή του συντηρητικού μέσα στη μάζα του ξύλου. Οι υψηλές πιέσεις που εφαρμόζονται (μέχρι 14 bar ή περισσότερο) είναι το καθοριστικό στοιχείο που διαχωρίζει τις μεθόδους αυτές από τις προηγούμενες όπου οι δυνάμεις που ωθούν τα συντηρητικά μέσα στη μάζα του ξύλου οφείλονται σε εφαρμογή χαμηλών πιέσεων (μέχρι 1 bar ή περισσότερο) ή προέρχονται από τριχοειδείς δυνάμεις.

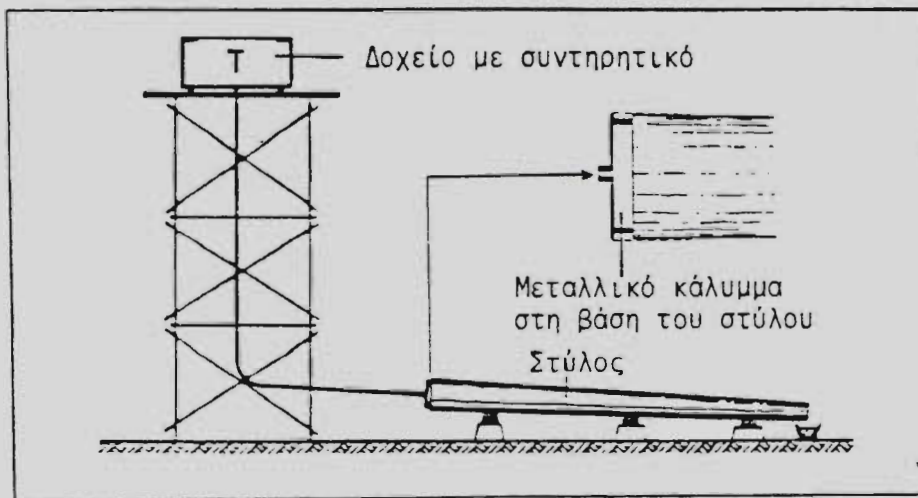
Το κυριότερο πλεονέκτημα των μεθόδων με εφαρμογή υψηλής πίεσης είναι ότι η διεύθυνση του συντηρητικού γίνεται σε βάθος, η συγκράτηση είναι μεγάλη και η αποτελεσματικότητα υψηλή. Η εφαρμογή των μεθόδων αυτών εμποτισμού συνιστάται σε περιπτώσεις όπου οι συνθήκες υπηρεσίας του ξύλου είναι δύσκολες, οι κίνδυνοι βιολογικών προσβολών υψηλοί και συνεπώς, είναι απαραίτητος υψηλός βαθμός προστασίας του ξύλου σε μακροχρόνια βάση. Σε άλλες όμως περιπτώσεις, όπου οι κίνδυνοι βιολογικών προσβολών είναι χαμηλοί ή οριακοί, υψηλά επίπεδα προστασίας δεν είναι πάντα αναγκαία και

άλλες πιά απλές μέθοδοι μπορούν να θεωρηθούν επαρκείς. Σημαντικό πλεονέκτημα των μεθόδων με υψηλή πίεση θεωρείται και η δυνατότητα ελέγχου των συνθηκών εμποτισμού σε σχέση με τις συνθήκες χρησιμοποίησης του ξύλου έτσι ώστε να πετυχαίνεται κάθε φορά η απολύτως απαραίτητη συγκράτηση και διεύθυνση του συντηρητικού. Μειονεκτήματα των μεθόδων εμποτισμού με υψηλή πίεση είναι το σχετικά υψηλό κεφάλαιο που χρειάζεται για την εγκατάσταση ενός εργοστασίου, το υψηλό κόστος συντήρησης και επίσης το κόστος μεταφοράς του ξύλου στο εργοστάσιο εμποτισμού. Επιπλέον, κατά τη χρησιμοποίηση υδατοδιαλυτών συντηρητικών, το εμποτισμένο ξύλο πρέπει να επαναξηρανθεί (μερικές φορές με τεχνητή ξήρανση) πράγμα που επιβαρύνει περισσότερο το συνολικό κόστος εμποτισμού.

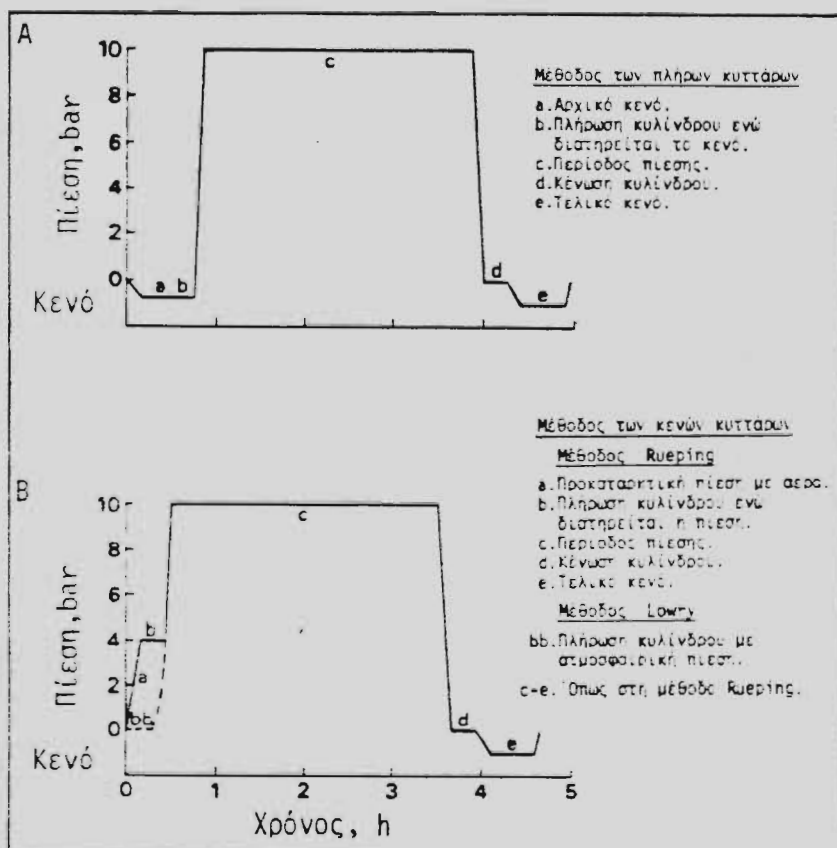
Όλες οι μέθοδοι με εφαρμογή υψηλής πίεσης απαιτούν σχεδόν τα ίδια μηχανήματα και οργάνωση. Τα μηχανήματα περιλαμβάνουν: ένα κλειστό κύλινδρο όπου είναι δυνατό να εφαρμοσθεί πίεση ή κενό, δεξαμενές αποθήκευσης, μέτρησης και ανάμειξης για τα συντηρητικά υγρά, αντλίες κενού και αεροσυμπιεστές, μεταφορικά συστήματα (μεταλλικές γραμμές, βαγόνια, φορεία) για εισαγωγή και εξαγωγή της ξυλείας στους κυλίνδρους, συστήματα θέρμανσης σε ορισμένες περιπτώσεις, σωληνώσεις, βαλβίδες, όργανα ελέγχου, κ.ά.

Οι κύλινδροι που χρησιμοποιούνται διαφέρουν πολύ στις διαστάσεις. Ένα συνηθισμένο μέγεθος κυλίνδρου είναι 1,5 m διαμέτρου και 12 m μήκους αλλά υπάρχουν και μεγαλύτεροι. Οι κύλινδροι είναι συνήθως χαλύβδινοι και το ένα τουλάχιστο άκρο τους μπορεί να ανοίγει και να κλείνει υδατοστεγώς με πόρτα για την εισαγωγή και εξαγωγή της ξυλείας στον κύλινδρο. Για την εγκατάσταση ενός νέου εργοστασίου σημαντικό στοιχείο αποτελεί η δυναμικότητα του κυλίνδρου η οποία καθορίζεται από το φορτίο ξύλου που θα εισάγεται στον κύλινδρο, το είδος του ξύλου και τη μορφή της ξυλείας για εμποτισμό. Πρέπει να σημειωθεί ότι μόνο 50% του συνολικού όγκου του κυλίνδρου καταλαμβάνεται από ξύλο κατά τη διαδικασία του εμποτισμού. Εξάλλου, τα διάφορα είδη ξύλου διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το χρόνο παραμονής τους μέσα στον κύλινδρο για επιτυχή εμποτισμό τους.

Συντηρητικά που χρησιμοποιούνται με τις παραπάνω μεθόδους είναι κυρίως το πιασέλαιο και ορισμένα υδατοδιαλυτά άλατα (π.χ. άλατα χαλκού - χρωμίου - αρσενικού) αλλά και συντηρητικά κατά της φωτιάς (fire - retardant solutions) τα οποία περιέχουν μερικές φορές και εντομοκτόνα. Θεωρητικά, είναι δυνατή η χρησιμοποίηση όλων των συντηρητικών με τις μεθόδους αυτές αλλά τα οργανικά διαλύματα, τα οποία έχουν πολύ μεγάλο κόστος και απαιτούν ειδικά μέτρα προφύλαξης κατά το χειρισμό τους, κατά κανόνα δεν χρησιμοποιούνται.



Σχ. 5.10. Εφαρμογή της μεθόδου με υδροστατική πίεση σε στύλους (Από Τσουμή, 1983).



Σχ. 5.11. Πρόγραμμα εμποτισμού με τη μέθοδο των πλήρων κυττάρων (A) και κενών κυττάρων (B) (Από Purslow, 1974).

Οι μέθοδοι με εφαρμογή υψηλής πίεσης διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες γνωστές με τα ονόματα α. Μέθοδος των πλήρων κυττάρων και β. Μέθοδος των κενών κυττάρων. Στη μέθοδο των πλήρων κυττάρων επιδιώκεται η όσο το δυνατό περισσότερη εισαγωγή συντηρητικού μέσα στο ξύλο έτσι ώστε οι κενοί χώροι του ξύλου να γεμίζουν με συντηρητικό σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό. Στη μέθοδο των κενών κυττάρων όμως, ένα μέρος του συντηρητικού που μπήκε μέσα στο ξύλο κάτω από πίεση αφαιρείται με αποτέλεσμα τα κυτταρικά τοιχώματα να επικαλύπτονται με συντηρητικό ενώ οι κενοί χώροι να περιέχουν λίγη ποσότητα συντηρητικού. Η διαφορά των δύο μεθόδων συνδέεται με τη συγκράτηση του συντηρητικού στην περιοχή του ξύλου που έχει εμποτισθεί και όχι με το βάθος διείσδυσης του συντηρητικού.

### 3.2.1. Μέθοδος των πλήρων κυττάρων (full - cell process)

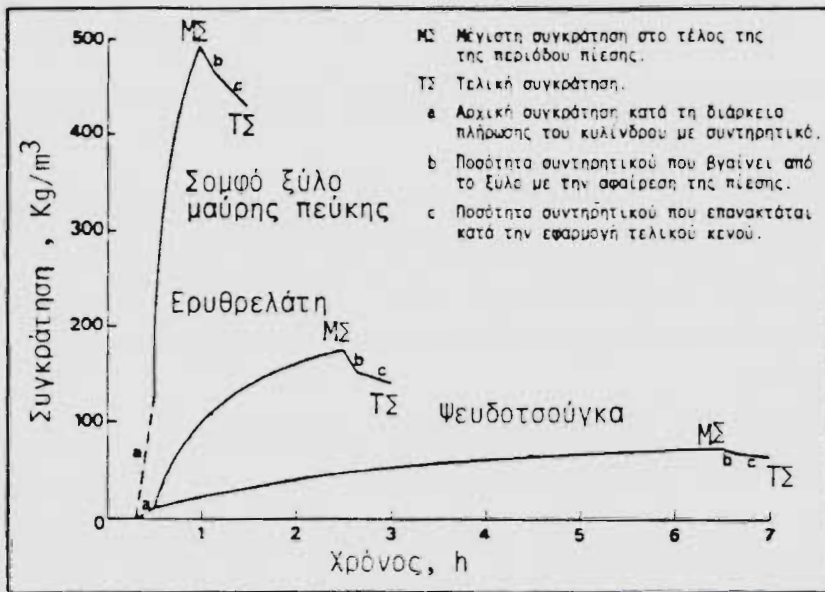
Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, το ξύλο τοποθετείται στον κύλινδρο και εφαρμόζεται αρχικό κενό 0,75 bar ή χαμηλότερο (560 mmHg) για διάρκεια 15' λεπτών μέχρι 1 ώρα. Ενώ διατηρείται το κενό, ο κύλινδρος γεμίζεται με συντηρητικό υγρό. Μετά την είσοδο του εμποτιστικού, το κενό αφαιρείται και εφαρμόζεται πίεση (υδραυλική ή με συμπιεσμένο αέρα) που αυξάνεται μέχρι 10-14 bar και διατηρείται για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο ή μέχρις ότου μπει η επιθυμητή ποσότητα συντηρητικού στο ξύλο. Η διάρκεια εφαρμογής της πίεσης κυμαίνεται από 1-6 ώρες ή και περισσότερες και εξαρτάται από τον τύπο της ξυλείας για εμποτισμό. Τα επόμενα στάδια είναι: αφαίρεση της πίεσης, εκκένωση του κυλίνδρου από το συντηρητικό και εφαρμογή τελικού κενού που διευκολύνει την ξήρανση της επιφάνειας του εμποτισμένου ξύλου. Στο Σχ.5.11Α φαίνονται διαγραμματικά τα διάφορα στάδια της μεθόδου. Το χαρακτηριστικό της μεθόδου των πλήρων κυττάρων είναι η εφαρμογή αρχικού κενού το οποίο αφαιρεί ένα μεγάλο μέρος του αέρα από τον κύλινδρο και το ξύλο και διευκολύνει τη διείσδυση του συντηρητικού επειδή μειώνεται η πίεση που εξασκείται προς τα έξω από τον εγκλωβισμένο αέρα στο ξύλο. Όταν χρησιμοποιείται πισσέλαιο με τη μέθοδο αυτή, η θερμοκρασία του μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 65 και 95<sup>o</sup> C. Τα υδατοδιαλυτά όμως συντηρητικά χρησιμοποιούνται σε θερμοκρασία ατμόσφαιρας επειδή σε μεγάλες θερμοκρασίες παρουσιάζουν τάσεις αλλοίωσης.

Στο Σχ. 5.12 παρουσιάζεται η πορεία συγκράτησης πισσελαίου σε διάφορα είδη με τη μέθοδο των πλήρων κυττάρων. Παρατηρείται ότι μια μικρή ποσότητα πισσελαίου συγκρατείται μόλις ο κύλινδρος γεμίσει με συντηρητικό και το αρχικό κενό αφαιρεθεί. Η εφαρμογή υψηλής πίεσης αυξάνει σημαντικά το ρυθμό διείσδυσης και συγκράτησης του συντηρητικού ιδιαίτερα σε

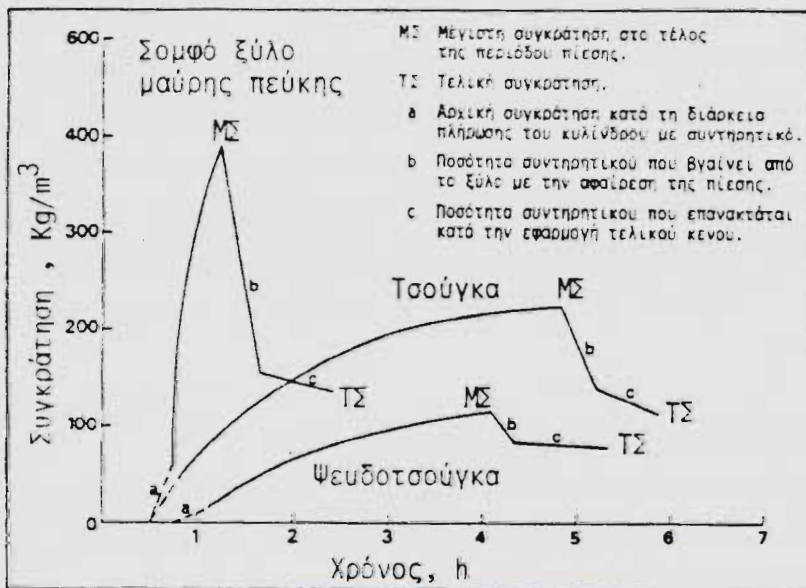
είδη που είναι εύκολα στον εμποτισμό, π.χ. σομφό ξύλο μαύρης πεύκης συγκρατεί σε 45 λεπτά από την έναρξη της εφαρμογής της πίεσης σχεδόν ολόκληρη την ποσότητα πρισσελαίου που μπορεί να συγκρατήσει ενώ για είδη δύσκολα στον εμποτισμό χρειάζεται πολύ περισσότερος χρόνος (πάνω από 2 ώρες για την ερυθρελάτη και 6 περίπου ώρες για την ψευδοτσούγκα). Παράταση της περιόδου πίεσης για μερικές ακόμη ώρες αυξάνει τη συγκράτηση σε ξύλο ερυθρελάτης αλλά το κόστος του παρατεταμένου χειρισμού πρέπει να δικαιολογείται από την αύξηση του βάθους διείσδυσης που πετυχαίνεται. Με τη λήξη της περιόδου πίεσης και αφαίρεση της πίεσης, μιά μικρή ποσότητα συντηρητικού (kickback) εξέρχεται από το ξύλο. Η ποσότητα αυτή είναι περίπου 5-15% της συγκράτησης στο τέλος της περιόδου πίεσης για τις περισσότερες μεθόδους των πλήρων κυττάρων. Μια άλλη επίσης μικρή ποσότητα συντηρητικού επανακτάται με την εφαρμογή τελικού κενού (βλ. Σχ. Η μέθοδος των πλήρων κυττάρων συχνά αναφέρεται σαν μέθοδος εμποτισμού κενού - πίεσης (vacuum/pressure impregnation) ή σαν μέθοδο του Bethel όταν χρησιμοποιείται πρισσέλαιο.

### 3.2.2. Μέθοδος των κενών κυττάρων (empty - cell process)

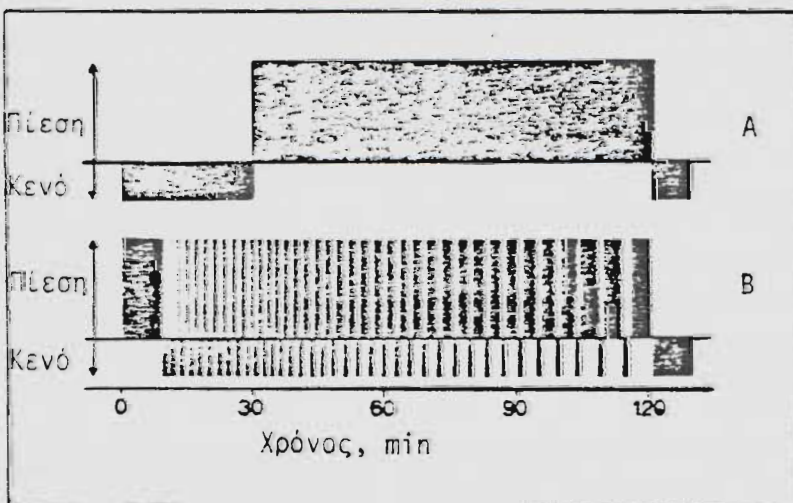
Η πιο ουσιαστική διαφορά μεταξύ της μεθόδου των κενών κυττάρων και της μεθόδου των πλήρων κυττάρων είναι ότι στην πρώτη δεν εφαρμόζεται αρχικό κενό. Υπάρχουν δύο παραλλαγές της μεθόδου των κενών κυττάρων γνωστές σαν α) μέθοδος Rueping και β) μέθοδος Lowry. Στην μέθοδο Rueping εισάγεται στην αρχή αέρας με πίεση μέχρι 4 bar (προπίεση, αρχική πίεση) που διατηρείται μέχρι 30 λεπτά. Η πίεση αυτή εξασφαλίζει την είσοδο μιας ποσότητας αέρα στους κενούς χώρους μέσα στο ξύλο η οποία εγκλωβίζεται εκεί καθώς ο κύλινδρος γεμίζει με συντηρητικό. Είναι επομένως σημαντικό η αρχική αυτή πίεση να διατηρείται σταθερή κατά την διάρκεια εισόδου του συντηρητικού και μέχρι την έναρξη εφαρμογής της κύριας πίεσης. Όταν ο κύλινδρος γεμίσει εντελώς, η πίεση αυξάνεται σε 10-14 bar με αποτέλεσμα να ωθεί το συντηρητικό μέσα στο ξύλο αλλά και να συμπιέζει περισσότερο τον εγκλωβισμένο αέρα στο ξύλο. Μετά την είσοδο της επιθυμητής ποσότητας συντηρητικού μέσα στο ξύλο, η πίεση αφαιρείται, ο κύλινδρος αδειάζει και εφαρμόζεται τελικό κενό (Σχ.5.11B). Με τη μείωση της πίεσης στον κύλινδρο, ο εγκλωβισμένος αέρας στο ξύλο διαστέλλεται και παρασύρει προς τα έξω σημαντική ποσότητα συντηρητικού. Η ποσότητα αυτή του συντηρητικού που επανακτάται φθάνει μέχρι 50% της συνολικής συγκράτησης και εξαρτάται από το ύψος της αρχικής πίεσης (προπίεση) και της κύριας πίεσης καθώς και από το είδος του ξύλου, που εμποτίζεται. Μια



Σχ. 5.12. Συγκράτηση πισσελαίου σε διάφορες φάσεις εμποτισμού με τη μέθοδο των πλήρων κυττάρων (Από Purslow, 1974).



Σχ. 5.13. Συγκράτηση πισσελαίου σε διάφορες φάσεις εμποτισμού με τη μέθοδο των κενών κυττάρων (Από Purslow, 1974).



Σχ. 5.14. Συγκριτικό διάγραμμα μεταξύ της μεθόδου των πλήρων κυττάρων (Α) και της μεθόδου των διαδοχικών πιέσεων (Β) (Από Wilkinson, 1979).



επιπλέον ποσότητα συντηρητικού επανακτάται και κατά την εφαρμογή του τελικού κενού (Σχ.5.13).

Η μέθοδος Lowry διαφέρει από τη μέθοδο Rueping στο ότι δεν εφαρμόζεται αρχική πίεση και το συντηρητικό εισάγεται στον κύλινδρο, όπου η πίεση είναι ίση με την ατμοσφαιρική (Σχ.5.11B). Η ποσότητα του συντηρητικού που επανακτάται με τη μέθοδο αυτή είναι μικρότερη σε σύγκριση με τη μέθοδο Rueping.

Σε ορισμένες χώρες της Ευρώπης (Δανία, Γερμανία, Ιταλία, Γιουγκοσλαυία) χρησιμοποιείται η διπλή μέθοδος Rueping για εμποτισμό στρωτήρων οξιάς κατά την οποία επαναλαμβάνονται τα στάδια της μεθόδου Rueping για δεύτερη φορά και έτσι πετυχαίνεται καλύτερη διείδυση χωρίς υπερβολική συγκράτηση (περί τα  $150 \text{ Kg/m}^3$ ).

Με τη μέθοδο των κενών κυττάρων χρησιμοποιείται κατά κανόνα πισσέ-λαιο σε θερμοκρασία  $65-90^\circ \text{C}$  ενώ υδατοδιαλυτά συντηρητικά δεν χρησιμοποιούνται. Όταν εμβαπτίζονται ξύλα εύκολα στον εμποτισμό με τη μέθοδο Rueping και όχι με τη μέθοδο των πλήρων κυττάρων γίνεται μεγάλη εξοικονόμηση πισσελαίου αλλά αποφεύγεται και το φαινόμενο της "έκκρισης" (bleeding) του πισσελαίου στην επιφάνεια του ξύλου που παρατηρείται μετά τον εμποτισμό.

### 3.2.3. Μέθοδος υγραερίων (Liquefied gas process)

Η μέθοδος υγραερίων βασίζεται στη μέθοδο των πλήρων κυττάρων αλλά διαφέρει στο ότι σαν συντηρητικά χρησιμοποιούνται οργανικά διαλύματα που περιέχουν προστατευτικές χημικές ουσίες. Ο διαλύτης είναι ένας τύπος υγραερίου (liquefied petroleum gas ή LPG) ο οποίος σε ατμοσφαιρική πίεση είναι αέριο και έτσι επιτρέπει την επανάκτησή του από το ξύλο στο τέλος του χειρισμού ενώ αφήνει το ξύλο ξηρό στο οποίο παραμένουν μόνο οι προστατευτικές ουσίες. Ένα παράδειγμα τέτοιου οργανικού διαλύματος είναι η χρησιμοποίηση σαν διαλύτη ισοβουτάνιο ή βουτάνιο μαζί με ένα συνδιαλύτη (ισοπροπυλικό αιθέρα ή πολυαιθυλική γλυκόλη) που περιέχει 2-4% πενταχλωροφαινόλη. Ο συνδιαλύτης χρησιμεύει για την καλύτερη διαλυτότητα της πενταχλωροφαινόλης στο βουτάνιο. Το διάλυμα διατηρείται υπό πίεση γιατί αλλιώς ο διαλύτης γίνεται αέριο και αφήνει μόνη της τη συντηρητική ουσία.

Η διαδικασία της μεθόδου έχει ως εξής: εισαγωγή της ξυλείας μέσα στον κύλινδρο, εφαρμογή αρχικού κενού  $0,66 \text{ bar}$  ( $500 \text{ mmHg}$ ) για την απομάκρυνση σημαντικής ποσότητας αέρα από τον κύλινδρο, εισαγωγή αδρανούς αερίου (αζώτου) μέσα στον κύλινδρο για τη μείωση της ποσότητας του οξυ-

γόνου και αποφυγή εκρηκτικών μειγμάτων κατά την εισαγωγή του διαλύματος, εφαρμογή δεύτερου κενού 0,8 bar (600 mmHg), είσοδος συντηρητικού στον κύλινδρο από τη δεξαμενή αποθήκευσης όπου βρίσκεται υπό πίεση και πλήρωση του κυλίνδρου με συντηρητικό σε υγρή μορφή, θέρμανση του διαλύματος μέχρι 30<sup>0</sup> C με τη βοήθεια σωληνώσεων με αποτέλεσμα εφαρμογή πίεσης μέσα στον κύλινδρο 9-11 bar, επανάκτηση του διαλύτη στη δεξαμενή αποθήκευσης, με μείωση της πίεσης στον κύλινδρο, εφαρμογή τελικού κενού 0,8 bar για επανάκτηση και άλλου διαλύτη μετά από εξάτμιση, ψύξη και συμπύκνωσή του και είσοδος αδρανούς αερίου στον κύλινδρο ώστε να μπορεί να ανοιχθεί χωρίς κινδύνους έκρηξης.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου θεωρούνται η γρήγορη διείδυση του συντηρητικού σε βάθος σε δύσκολα στον εμποτισμό είδη λόγω του χαμηλού ιξώδους του, η εξοικονόμηση του διαλύτη και το ότι το εμποτισμένο ξύλο είναι στεγνό. Μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το υψηλό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας της μονάδας και η ιδιαίτερη προσοχή που χρειάζεται ο χειρισμός του υγραερίου. Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως σε ειδικές περιπτώσεις (π.χ. αντικολλητά ή ξύλο) όπου το ξύλο δεν μπορεί εύκολα να εμποτισθεί στο επιθυμητό επίπεδο με άλλες μεθόδους. Στην Ευρώπη είναι γνωστή και σαν μέθοδος Drillon ή Cellon.

#### 3.2.4. Μέθοδος διαδοχικών ή εναλλασσόμενων πιέσεων (Oscillating and alternating pressure methods)

Οι δυσκολίες που παρουσιάζονται στον εμποτισμό δύσκολων ξύλων με τη μέθοδο των πλήρων κυττάρων οδήγησαν σε ανάπτυξη μεθόδων όπου κενό και πίεση εφαρμόζονται εναλλακτικά και σε πολλούς κύκλους. Το 1946 στη Σουηδία αναπτύχθηκε η μέθοδος διαδοχικών πιέσεων που περιλαμβάνει εκατοντάδες κύκλους κενού/πίεσης με συγκεκριμένη σχέση διάρκειας κενού/πίεσης για κάθε κύκλο. Με τη μέθοδο αυτή εμποτίζεται χλωρό ή ξηρό ξύλο με υδατοδιαλυτά συντηρητικά (συνήθως άλατα - χρωμίου - αρσενικού) και εφαρμόζονται διαδοχικά υψηλή πίεση (περίπου  $8 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ) και κενό (περίπου 0,95 bars 720 mmHg). Κατά τη διάρκεια του κενού, αναρροφάται αέρας από το ξύλο και ταυτόχρονα εξέρχονται χυμοί (υγρασία), ενώ κατά τη διάρκεια πίεσης εισέρχεται συντηρητικό στο ξύλο. Για την αποτελεσματικότητα της μεθόδου πρέπει να υπάρχει αέρας μέσα στο ξύλο γι' αυτό εφαρμόζεται στην αρχή προκαταρκτική πίεση ώστε να εγκλωβιστεί αέρας στις κυτταρικές κοιλότητες.

Η εφαρμογή μιας τυπικής μεθόδου διαδοχικών πιέσεων σε ξηρή στον αέρα ξυλεία μικρής εγκάρσιας διατομής διαρκεί περί τις 2 ώρες (όσο δηλ.

και η μέθοδος των πλήρων κυττάρων) αλλά περιλαμβάνονται 40 κύκλοι κενού-πίεσης αντί ενός (Σχ. 5.14). Στον πρώτο κύκλο, το κενό διαρκεί περί τα 60 sec και η πίεση περί τα 20 sec, αλλά βαθμιαία αλλάζουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, και προς το τέλος, το κενό διαρκεί περί το 1 min. ενώ η πίεση  $5\frac{1}{2}$  min. Το πρόγραμμα εμποτισμού εφαρμόζεται όπως περιγράφηκε παραπάνω επειδή, όσο προχωρεί η διαδικασία εμποτισμού υπάρχει λιγότερος αέρας στο ξύλο (ή και υγρασία όταν πρόκειται για χλωρό ξύλο) και το συντηρητικό μπορεί να διεισδύσει βαθύτερα. Με χλωρό ξύλο μεγάλων διαστάσεων μπορεί να εφαρμόζονται πάνω από 400 κύκλοι κενού - πίεσης και ο συνολικός χρόνος χειρισμού να διαρκεί περίπου 22 ώρες. Με τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιείται ποικιλία προγραμμάτων εμποτισμού ανάλογα με το είδος ξύλου, το μέγεθος και τη χρήση που προορίζεται.

Η ανάγκη γρήγορης εναλλαγής κενού και πίεσης έχει σαν αποτέλεσμα οι εγκαταστάσεις εμποτισμού να είναι πιο πολύπλοκες σε σύγκριση με άλλες μεθόδους πίεσης. Η διαδικασία είναι αυτοματοποιημένη. Η μέθοδος χρησιμοποιείται για εμποτισμό στύλων ερυθρελάτης, ελάτης (Γερμανία, Ελβετία) και ακτινωτής πεύκης (Ν. Ζηλανδία). Στη Μ. Βρετανία γίνεται άτμιση του ξύλου με πίεση  $1,03-1,38 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  πριν από τον εμποτισμό με την παραπάνω μέθοδο με σκοπό την αποβολή μέρους της υγρασίας του ξύλου και τη δημιουργία πιο κατάλληλων συνθηκών για εμποτισμό. Αυτός ο χειρισμός προϋποθέτει επιπλέον και εγκαταστάσεις άτμισης.

Μια τροποποίηση της παραπάνω μεθόδου είναι η μέθοδος εναλασσόμενων πιέσεων η οποία αναπτύχθηκε στη Ν. Ζηλανδία. Η μέθοδος αυτή είναι βασικά ίδια με την μέθοδο διαδοχικών πιέσεων αλλά, σε κάθε κύκλο αντί για κενό χρησιμοποιείται ατμοσφαιρική πίεση ( $1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ) και έτσι είναι λιγότερο πολύπλοκη και απαιτεί λιγότερα όργανα.

Το κύριο πλεονέκτημα των μεθόδων αυτών σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους πίεσης είναι η δυνατότητα εμποτισμού χλωρού ξύλου που ελαχιστοποιεί την ανάγκη για ξήρανση. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζεται λιγότερος χώρος στο εργοστάσιο εμποτισμού, λιγότερο εργατικό δυναμικό και ότι δεν μένει αδρανές το κεφάλαιο με τη μορφή ξυλείας υπό ξήρανση. Πλεονέκτημα θεωρείται και το γεγονός ότι μπορούν να εμποτισθούν ξύλα που είναι δύσκολα μετά από ξήρανση (π.χ. ερυθρελάτη) ή είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε προσβολές από μύκητες κυάνωσης κατά τη διάρκεια ξήρανσης (π.χ. ακτινωτή πεύκη, μαύρη πεύκη) ή είναι μεγάλων διαστάσεων και η φυσική ξήρασή τους έχει υψηλό κόστος.

### 3.2.5 Μέθοδος Boulton

Η μέθοδος Boulton είναι ένας συνδυασμός ξήρανσης χλωρού ξύλου και εμποτισμού. Το ξύλο που είναι χλωρό ή περιέχει υψηλή υγρασία τοποθετείται σε κύλινδρο ο οποίος γεμίζει με θερμό πεσσέλαιο. Η θερμοκρασία του πισσελαίου διατηρείται μεταξύ 85-105<sup>0</sup> C και εφαρμόζεται κενό. Η μείωση της πίεσης στον κύλινδρο και η σχετικά υψηλή θερμοκρασία του πισσελαίου διευκολύνουν την εξάτμιση του νερού από το ξύλο ενώ οι υδρατμοί μεταφέρονται κάτω από κενό σε σύστημα συμπύκνωσης. Με αυτό τον τρόπο, χλωρό ξύλο μπορεί να ξηραθεί μέχρι 30% περιεχόμενη υγρασία μέσα σε 12-36 ώρες ανάλογα με το είδος, το μέγεθος της ξυλείας και την αρχική περιεχόμενη υγρασία. Μετά το στάδιο ξήρανσης ακολουθεί εμποτισμός με τη μέθοδο των πλήρων κυττάρων. Το κενό που διατηρείται κατά την περίοδο ξήρανσης θεωρείται αρχικό κενό και ακολουθούν πλήρωση του κυλίνδρου με πισσέλαιο, αφαίρεση κενού και εφαρμογή πίεσης σύμφωνα με τη μέθοδο των πλήρων κυττάρων. Σε περίπτωση που εφαρμοσθεί η μέθοδος των κενών κυττάρων, είναι ανάγκη να αδειάσει ο κύλινδρος από πισσέλαιο με ειδική αντλία χωρίς να αφαιρεθεί το κενό. Μετά εφαρμόζεται κανονικά το πρόγραμμα εμποτισμού της μεθόδου των κενών κυττάρων.

Πειράματα που έγιναν σε στύλους ερυθρελάτης δείχνουν ότι τα αποτελέσματα με τη μέθοδο Boulton είναι ικανοποιητικά και ότι όλη η διαδικασία ξήρανσης - εμποτισμού διαρκεί 24-36 ώρες. Η υγρασία του σομφού μειώνεται από 120% σε 30% και το σομφό ξύλο εμποτίζεται εντελώς αλλά η συγκράτηση πισσελαίου είναι γενικά μεγαλύτερη από ότι χρειάζεται για τέτοιους στύλους. Παρόμοιες τεχνικές ξήρανσης - εμποτισμού χρησιμοποιούνται στην Τσεχοσλοβακία και για στρωτήρες οξιός.

### 3.2.6. Μέθοδος πολύ υψηλής πίεσης (Ultra - high pressure method)

Ο εμποτισμός με εφαρμογή πολύ υψηλής πίεσης (περίπου  $7 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup>) είναι μέθοδος πλήρων κυττάρων και εφαρμόζεται (σε λίγες περιπτώσεις) σε είδη πολύ δύσκολα στον εμποτισμό (π.χ. ευκάλυπτος). Η εφαρμογή πολύ υψηλών πιέσεων αυξάνει τη διείσδυση και συγκράτηση των ειδών αυτών τα οποία με άλλες μεθόδους είναι δύσκολο να εμποτισθούν. Το συντηρητικό μπορεί να διεισδύσει και στο εγκάρδιο ξύλο πράγμα που έχει σημασία για είδη ευκαλύπτου τα οποία έχουν στενό σομφό ξύλο. Στύλοι και στρωτήρες ευκαλύπτου έχουν εμποτισθεί στην Αυστραλία με τη μέθοδο αυτή ενώ πιο κατάλληλο συντηρητικό βρέθηκε το διάλυμα 3% πενταχλωροφαινόλης σε "βαρύ" έλαιο. Οι εγκαταστάσεις εμποτισμού είναι ίδιες με τις μεθόδους πίεσης αλλά οι σωληνώσεις, αντλίες, κύλινδροι, κ.λ.π. πρέπει να αντέχουν

στις υψηλές πιέσεις που εφαρμόζονται. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι υψηλές πιέσεις μπορούν να προκαλέσουν κατάρρευση στο ξύλο.

### 3.3. Αποτελέσματα εμποτισμού με μεθόδους πίεσης

Η επιτυχία του εμποτισμού σχετίζεται με τη συγκράτηση του συντηρητικού από το ξύλο και το βάθος διείσδυσης. Με χρησιμοποίηση μεθόδων πίεσης, το συντηρητικό διεισδύει σχετικά εύκολα σε όλο το βάθος του σομφού ξύλου των περισσοτέρων ειδών αλλά η διείσδυση στο εγκάρδιο είναι μικρότερη και διαφέρει σημαντικά μεταξύ των ειδών. Η διείσδυση του συντηρητικού σε βάθος είναι ουσιαστικό στοιχείο για μακροχρόνια προστασία όταν πρόκειται για ξύλο με μικρή ή πολύ μικρή φυσική αντοχή (π.χ. σομφό ξύλο). Το εγκάρδιο όμως ξύλο πολλών ξύλων παρουσιάζει καλή φυσική αντοχή και διείσδυση του συντηρητικού, έστω και σε μικρό βάθος, βελτιώνει την αντίστασή του σε βιολογικές προσβολές και παρέχει επαρκή προστασία.

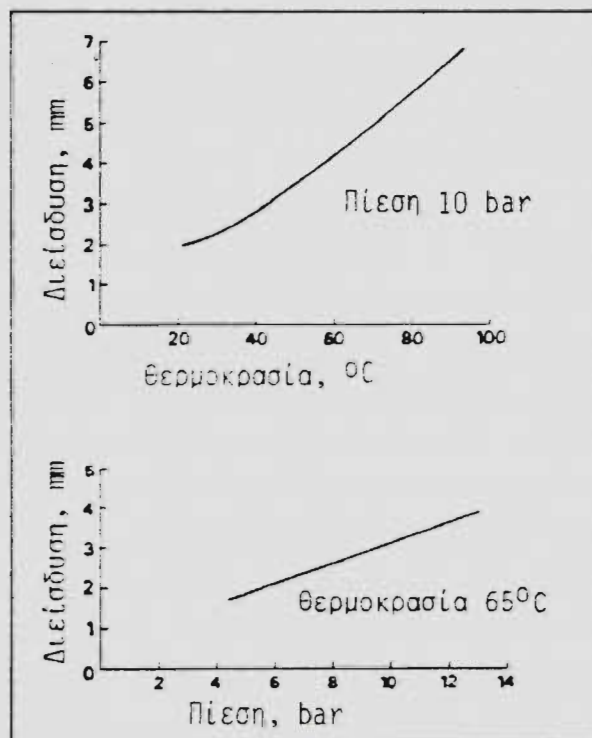
Σε πολλά είδη ξύλου, τα αποτελέσματα μεταξύ εμποτισμού με πισσέλαιο και εμποτισμού με υδατοδιαλυτά άλατα δεν διαφέρουν πολύ. Η διείσδυση όμως σε εγκάρδιο ξύλο δασικής πεύκης με τη μέθοδο των πλήρων κυττάρων βρέθηκε ότι επηρεάζεται από τον τύπο του συντηρητικού. Η διείσδυση του πισσελαίου είναι πολύ μεγαλύτερη σε σύγκρισή με τα υδατοδιαλυτά άλατα (Πιν. 5.3). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί και σε άλλα είδη πεύκης και αποδίδονται στο γεγονός ότι το πισσέλαιο μπορεί να διεισδύσει σε μεγαλύτερο βάθος κατά τη διεύθυνση των ακτίνων επειδή μετακινεί και διαλύει τη ρητίνη των ακτινικών ρητινοφόρων αγωγών που περιέχονται στις ακτίνες.

Η ποσότητα του συντηρητικού που συγκρατείται από το ξύλο (συγκράτηση) εκφράζεται σαν βάρος ανά μονάδα όγκου ξύλου. Ένα τεμάχιο ξύλου, εμποτισμένο πλήρως με τη μέθοδο των πλήρων κυττάρων συγκρατεί 450-700  $\text{Kg/m}^3$  ανάλογα με την πυκνότητα του ξύλου. Στην πράξη, πλήρης εμποτισμός του ξύλου συνήθως δεν πετυχαίνεται και η συγκράτηση πισσελαίου αρχίζει από 80  $\text{Kg/m}^3$  προς τα πάνω. Για υδατοδιαλυτά άλατα χαλκού - χρωμίου - αρσενικού, χρησιμοποιούνται διαλύματα με συγκέντρωση 1,5-5% σε άλατα και οι προδιαγραφές στηρίζονται στη συγκράτηση ξηρών αλάτων από το ξύλο που κυμαίνεται από 4 μέχρι 16  $\text{Kg/m}^3$ . Γενικά, οι προδιαγραφές αναφέρουν ελάχιστα όρια συγκράτησης και όταν πρόκειται για φορτίο ξύλου με μεγάλο ποσοστό εύκολα διαπερατού υλικού (π.χ. σομφό) τότε χρειάζεται μεγαλύτερη συγκράτηση από ότι προβλέπεται στις προδιαγραφές για να θεωρηθεί ότι το ξύλο εμποτίσθηκε κατάλληλα.

Πίνακας 5.3 . Σύγκριση διείσδυσης μεταξύ πισσελαίου και υδατοδιαλυτών αλάτων σε εγκάρδιο ξύλο δασικής πεύκης

Χρόνος πίεσης (ώρες)	Πλευρική διείσδυση (mm)			
	Πισσέλαιο		Υδατοδιαλυτά άλατα	
	Μέση τιμή	Εύρος	Μέση τιμή	Εύρος
1	11,9	5,6-18,3	5,6	1,5-9,7
2	17,5	7,9-26,2		
4	20,6	7,9-35,1	7,1	2,3-11,9

Η δυσκολία να επιτευχθεί υψηλή συγκράτηση και ικανοποιητική διείσδυση του συντηρητικού σε ορισμένα δύσκολα στον εμποτισμό ξύλα , όπως ερυθράτη, ελάτη, τσούγκα, ψευδοτσούγκα, τα οποία είναι βασικά είδη σε οικοδομικές κατασκευές αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα του εμποτισμού. Στα είδη αυτά επιχειρείται βελτίωση της συγκράτησης και διείσδυσης του συντηρητικού με διάφορους συνδυασμούς βασικών παραμέτρων του εμποτισμού, όπως θερμοκρασία, μέγεθος και διάρκεια κενού και πίεσης. Η επίδραση θερμοκρασίας και πίεσης στη διείσδυση πισσελαίου στην ψευδοτσούγκα δείχνεται στο Σχ. 5.15. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι υπάρχουν



Σχ. 5.15. Επίδραση της θερμοκρασίας και πίεσης στη διείσδυση πισσελαίου σε ξύλο ψευδοτσούγκας με τη μέθοδο των πλήρων κυττάρων (Από Purslow,1974).

όρια στη θερμοκρασία και πίεση που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, ιδιαίτερα σε κωνοφόρα είδη, πάνω από τα οποία εμφανίζεται το φαινόμενο της κατάρρευσης (το ξύλο συμπιέζεται και παραμορφώνεται μόνιμα). Λευκή ελάτη και ερυθρελάτη είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε κατάρρευση όταν η πίεση υπερβεί τα 10 bar με πιασέλαιο αλλά κατάρρευση έχει παρατηρηθεί και με υδατοδιαλυτά άλατα σε θερμοκρασία δωματίου και κανονική πίεση.

Αύξηση της διαπερατότητας μπορεί να γίνει με δημιουργία εσοχών (incising) στην επιφάνεια του ξύλου ή με διατήρηση του ξύλου σε υγρή κατάσταση (σε νερό ή με συνεχή ραντισμό) για ορισμένο χρονικό διάστημα και επίδραση βακτηρίων πριν από τον εμποτισμό. Έχει παρατηρηθεί ότι όταν γίνεται επίδραση βακτηρίων σε ξύλο δασικής πεύκης η έκκριση πιασελαίου από το ξύλο κατά τη διάρκεια υπηρεσίας του μειώνεται.

#### 4. ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Πέρα από τις βασικές μεθόδους εμποτισμού που περιγράφηκαν προηγουμένως, χρησιμοποιούνται και άλλες μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση προσβολών ξύλου σε υπηρεσία ή αποτελούν λιγότερο ή περισσότερο τροποποιήσεις. Μερικές από τις μεθόδους αυτές είναι:

##### 4.1. Μέθοδοι έγχυσης

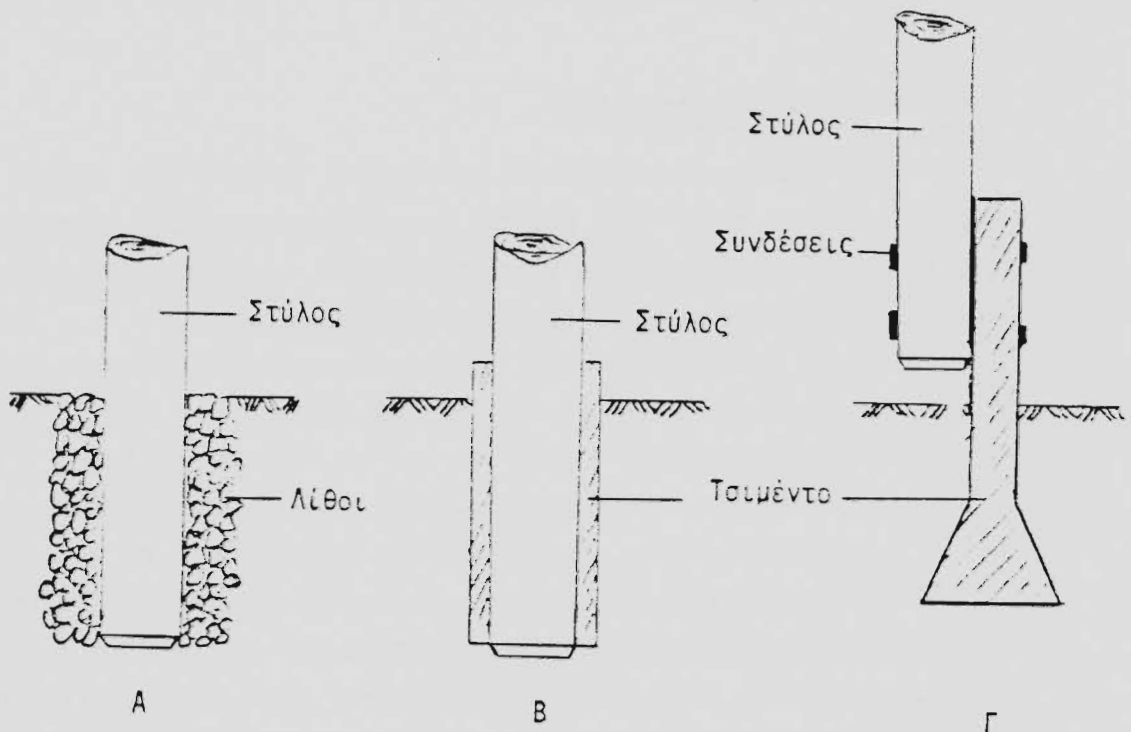
Η πιό γνωστή μέθοδος έγχυσης είναι η μέθοδος Cobra. Με τη μέθοδο αυτή γίνεται έγχυση παχύρρευστου συντηρητικού με ειδικό εργαλείο σε ισταμένους στύλους κατά θέσεις από τις οποίες το συντηρητικό διαχέεται μέσα στο ξύλο σε μικρή έκταση με σκοπό την αύξηση της διάρκειας των στύλων. Το εργαλείο αποτελείται από "βελόνη" αρκετού μήκους και υψηλής μηχανικής αντοχής η οποία είναι κοίλη εσωτερικά και ανοικτή στο ένα άκρο της που μπαίνει στο ξύλο. Η βελόνη συνδέεται με χειρολαβή που είναι κοίλη εσωτερικά και γεμάτη με συντηρητικό. Το άλλο άκρο της βελόνης είναι κλειστό και φέρει επίπεδη κεφαλή η οποία χτυπιέται με σφυρί και έτσι γίνεται δυνατή η είσοδος της βελόνης στο ξύλο. Όταν η βελόνη έλκεται προς τα έξω μία ποσότητα εμποτιστικού πιέζεται από τη χειρολαβή και δια μέσου της βελόνης μπαίνει στην οπή που διανοίχθηκε. Για τη μείωση των κινδύνων από προσβολές, οι οπές που δημιουργούνται κατά την έγχυση κλείνονται και γίνεται περιφερειακή επάλειψη του στύλου συνήθως με πιασέλαιο. Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως σε ισταμένους στύλους οι οποίοι έχουν αρχίσει να σαπίζουν και η εισαγωγή συντηρητικού γίνεται μέχρι 50 cm κάτω και πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για προστασία στρωτήρων σιδηροδρόμων σε υπηρεσία.

Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι έγχυσης από τις οποίες η πιό απλή είναι η χρησιμοποίηση κοινών ιατρικών συρίγγων με τις οποίες εισάγεται συντηρητικό σε οπές εξόδου εντόμων ιδιαίτερα σε παλαιά έπιπλα, εικόνες, κλπ. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται και ειδικές συσκευές, περισσότερο εύχρηστες.

Άλλες μέθοδοι προστασίας των βάσεων στύλων σε υπηρεσία είναι η περιφερειακή απανθράκωση ή εφαρμογή συντηρητικών ουσιών (πισσέλαιο, ενώσεις φθορίου, τριοξειδίο του αρσενικού, κ.ά. Σε όλες τις περιπτώσεις χρειάζεται να γίνει αποκάλυψη του τμήματος των στύλων που βρίσκεται μέσα στο έδαφος, απομάκρυνση του ξύλου που έχει προσβληθεί, απανθράκωση ή εφαρμογή συντηρητικών ουσιών με ποικιλία τεχνικών και επαυτοποθέτηση του χώματος γύρω από τις βάσεις των στύλων.

#### 4.2. Τοποθέτηση στύλων σε πέτρες ή τσιμέντο

Για να επιβραδυνθεί η σήψη των στύλων στην περιοχή κοντά στο έδαφος θεωρήθηκε ότι η τοποθέτηση τους ανάμεσα σε πέτρες ή μέσα σε τσιμέντο (σχ. 5.16Α,Β)θα διατηρούσε το ξύλο στη βάση των στύλων σε χαμηλότερα επίπεδα υγρασίας αλλά η πράξη δεν έδειξε ουσιαστικές διαφορές. Μία τροποποιημένη μέθοδος που χρησιμοποιείται σε αρκετή έκταση (π.χ.



Σχ. 5.16. Τοποθέτηση της βάσης ξύλινου στύλου ανάμεσα σε λίθους (Α) ή τσιμέντο (Β) μέσα στο έδαφος και, πάνω από το έδαφος, σε βάση από τσιμέντο (Γ).



Πολωνία, Τσεχοσλοβακία) φαίνεται να πλεονεκτεί επειδή ο στύλος δεν έρχεται καθόλου σε επαφή με το έδαφος αλλά στηρίζεται σε μικρή κολώνα από τσιμέντο (Σχ.5.16Γ). Με τον τρόπο αυτό μειώνονται σημαντικά οι κίνδυνοι προσβολών από μύκητες (δεν υπάρχει τμήμα του στύλου σε επαφή με το έδαφος) αλλά η εγκατάσταση τέτοιων στύλων είναι περισσότερο πρόβλημα οικονομικό.

#### 4.3. Μέθοδος μεθυλενοχλωριδίου

Η μέθοδος αυτή αποτελεί εξέλιξη της μεθόδου υγραερίων και χρησιμοποιεί σαν διαλύτη το άφλεκτο μεθυλενοχλωρίδιο ή διχλωρομεθάνιο ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) αντί του εύφλεκτου υγραερίου. Έτσι, δεν χρειάζεται διοχέτευση αδρανούς αερίου στον κύλινδρο στην αρχή και στο τέλος του εμποτισμού. Το διχλωρομεθάνιο περιέχει 5% πενταχλωροφαινόλη ή 0,5% TBTO. Η μέθοδος περιλαμβάνει τα εξής στάδια: εισαγωγή ξυλείας στον κύλινδρο, πλήρωση του κυλίνδρου με διάλυμα, εφαρμογή πίεσης ( $7 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  επί 30 mίη για διάλυμα πενταχλωροφαινόλης ή  $2,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  επί 5 mίη για διάλυμα TBTO) και απομάκρυνση του διαλύματος. Στη συνέχεια εισάγεται στον κύλινδρο ατμός  $120^\circ\text{C}$  μέχρι 12 περίπου ώρες στην περίπτωση της πενταχλωροφαινόλης) ή θερμός αέρας που κυκλοφορεί μέσα στον κύλινδρο για 2 ώρες (στην περίπτωση του TBTO) για απομάκρυνση του διαλύτη από το ξύλο. Η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για στύλους (πενταχλωροφαινόλη) ή για μέρη ξύλου που προορίζονται για ξυλουργικές κατασκευές, αντικολλητά, μοριοπλάκες, κ.ά. (TBTO).

#### 5. ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ

Ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να παίρνεται υπόψη στον εμποτισμό του ξύλου είναι ποιά μέθοδος και ποιό συντηρητικό πρέπει να εφαρμόζονται για μια συγκεκριμένη χρήση του ξύλου. Τα ερωτήματα που προκύπτουν πριν από κάθε περίπτωση εμποτισμού του ξύλου είναι:

- α. Ποιές είναι οι συνθήκες χρησιμοποίησης του ξύλου, αν ευνοούνται βιολογικές προσβολές και σε ποιο βαθμό;
- β. Τι διάρκεια ζωής απαιτείται για το ξύλο σε υπηρεσία;
- γ. Είναι δυνατό να αντιμετωπισθεί η συγκεκριμένη περίπτωση με χρησιμοποίηση ξύλου μεγάλης φυσικής αντοχής πάνω σε οικονομική βάση;

Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα παραπάνω ερωτήματα οδηγούν στην άποψη ότι κάποιας μορφής εμποτισμός χρειάζεται για το ξύλο εφόσον υπάρχει επιθυμία επαρκούς προστασίας του. Ο πίνακας 5.4 δίνει γενικές κατευθύνσεις σχετικά με την επιλογή της μεθόδου προστασίας του ξύλου σε σχέση με ορισμένες κατηγορίες χρήσης του. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι μεταξύ των μεθόδων εμποτισμού που προτείνονται για συγκεκριμένες συνθήκες χρήσης,

κάποιες από τις μεθόδους είναι πιο αποτελεσματικές από τις άλλες. Επίσης, ο τύπος του συντηρητικού και το είδος του ξύλου έχουν σημαντική επίδραση στην όλη διαδικασία του εμποτισμού. Συγκεκριμένες οδηγίες και λεπτομέρειες για κάθε μέθοδο περιλαμβάνονται σε εθνικά ή διεθνή πρότυπα (προδιαγραφές).

Πίνακας 5.4. Μέθοδοι εμποτισμού σε σχέση με τις συνθήκες χρησιμοποίησης του ξύλου

Συνθήκες χρησιμοποίησης του ξύλου	Κατάλληλη μέθοδος				
	Πίεση	Θερμό και ψυχρό λουτρό	Διπλό κενό	Διάχυση	Εμβάπτιση
Σε επαφή με νερό	X				
Σε επαφή με τό έδαφος	X	X			
Στο ύπαιθρο χωρίς επαφή με το έδαφος					
α. Χωρίς επιφανειακό βάψιμο	X	X	X		X
β. Με επιφανειακό βάψιμο	X		X	X	X
Ξύλο σε εσωτερικούς χώρους με υψηλή σχετική υγρασία και συμπύκνωση	X		X	X	
Ξύλο σε εσωτερικούς χώρους (κίνδυνοι από έντομα, πο- λύ μικροί κίνδυνοι από μύκητες).	X		X	X	X

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

### ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ

#### 1. ΓΕΝΙΚΑ

Οι περισσότεροι κοινές μέθοδοι εμποτισμού του ξύλου που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανική κλίμακα περιλαμβάνουν μεθόδους με εφαρμογή πίεσης (κυρίως τις μεθόδους των πλήρων ή κενών κυττάρων). Με τις μεθόδους αυτές είναι δυνατό να επηρεασθεί και να καθορισθεί επακριβώς η ποσότητα εμποτιστικού που συγκρατιέται τελικά από το ξύλο ενώ με τις απλές (χωρίς πίεση) μεθόδους εμποτισμού (π.χ. επάλειψη, εμβάπτιση) δεν μπορούμε να επηρεάσουμε σε μεγάλο βαθμό την ποσότητα του εμποτιστικού που θα συγκρατηθεί. Ο τρόπος οργάνωσης και λειτουργίας που περιγράφεται παρακάτω αναφέρεται επομένως σε μία τυπική βιομηχανική μονάδα εμποτισμού όπου χρησιμοποιούνται μέθοδοι πίεσης αλλά οι βασικές αρχές έχουν εφαρμογή και σε άλλες μονάδες. Επιπλέον πρέπει να σημειωθεί ότι και οι απλές μέθοδοι εμποτισμού δεν υστερούν από πρακτική άποψη γιατί είναι προσιτές στο ευρύ κοινό, χρησιμοποιούνται καθημερινά και σε μεγάλη κλίμακα, αποτελούν τις μοναδικές λύσεις σε πολλές περιπτώσεις, επιτρέπουν την ίδρυση εγκαταστάσεων εμποτισμού χωρίς μεγάλες δαπάνες, η αποτελεσματικότητά τους σε πολλές περιπτώσεις είναι αρκετά ικανοποιητική και μπορούν να εφαρμοσθούν επανειλημμένα σε ξύλινες κατασκευές που είναι σε υπηρεσία.

Ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση μιας βιομηχανικής μονάδας εμποτισμού πρέπει να βασίζεται σε τρεις βασικές αρχές, την ασφάλεια, την αποτελεσματικότητα και την οικονομικότητα. Σε μια εγκατάσταση μονάδας εμποτισμού μπορούν να διακριθούν δύο κυρίως μέρη:

- α. η πλατεία υποδοχής, διακίνησης, προετοιμασίας και αποθήκευσης της ξυλείας και
- β. Η κυρίως μονάδα εμποτισμού ή εμποτιστήριο όπου γίνεται ο εμποτισμός του ξύλου.

#### 2. ΠΛΑΤΕΙΑ ΥΠΟΔΟΧΗΣ, ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ, ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΞΥΛΕΙΑΣ

Η πλατεία όπου η ξυλεία παραμένει μέχρι τον εμποτισμό αλλά πολλές φορές και μετά τον εμποτισμό πρέπει να είναι αρκετά επίπεδη και καλά αποσταγγιζόμενη. Η επιφάνεια που χρειάζεται να καταλαμβάνει (σε  $m^2$ ) εκτιμάται ότι περίπου αντιστοιχεί αριθμητικά στην ποσότητα ξυλείας (σε  $m^3$ ) που εμποτίζεται ετησίως δηλ. αν εμποτίζονται κάθε χρόνο  $50.000 m^3$  ξυλείας,

η πλατεία είναι ανάγκη να έχει επιφάνεια 50.000 - 80.000 m<sup>2</sup>.

Η πλατεία περιλαμβάνει :

- α. Χώρους αποθήκευσης και ξήρανσης σε υπαίθριο ή εστεγασμένο χώρο.
- β. Χώρο αποφλοιώσης με μόνιμο, μηχανικό αποφλοιωτήρα εφόσον η αποφλοιώση μεγάλων ποσοτήτων έμφλοιων κορμών γίνεται στο εργοστάσιο. Μικροί αποφλοιωτήρες μπορεί επίσης να υπάρχουν για αποφλοιώση πασσάλων και μικρών στύλων.
- γ. Εγκαταστάσεις τεχνητής ξήρανσης στην περίπτωση που η ξήρανση ορισμένων κατηγοριών ξυλείας γίνεται τεχνητά.
- δ. Μηχανήματα προετοιμασίας του ξύλου πριν από τον εμποτισμό (δημιουργία επιφανειακών εντομών, διατρήσεων, εσοχών και προεσοχών κ.λ.π.) εφόσον υπάρχουν τέτοιες απαιτήσεις.
- ε. Μηχανήματα ανύψωσης και μετακίνησης της ξυλείας, μεταφορικά συστήματα (με αλυσίδες, με σιδηροτροχιές και βαγονέτα, εναέρια).
- στ. Χώρους επαναξήρανσης και αποθήκευσης εμποτισμένου ξύλου.
- ζ. Χώροι αποδυτηρίων (μπορεί να υπάρχουν).
- η. Αποθήκες εμποτιστικών ουσιών.

Η θέση των παραπάνω χώρων μέσα στην πλατεία πρέπει να σχετίζεται με την αλληλουχία των διαφόρων φάσεων εργασίας και να εξασφαλίζει την ομαλή πορεία της ξυλείας στο εμποτιστήριο. Οι μετακινήσεις και οι χειρισμοί της ξυλείας από τη μια φάση εργασίας στην άλλη πρέπει να γίνονται γρήγορα και να είναι οι απολύτως αναγκαίες. Άσκοπες καθυστερήσεις στην βαθμιαία μετακίνηση της ξυλείας προς την μονάδα εμποτισμού και γενικά κακός σχεδιασμός επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα και την οικονομικότητα λειτουργίας της μονάδας. Όταν η ξυλεία μετακινείται χειρωνακτικά κατ'ευθείαν από τις στοιβάδες ξήρανσης στο μεταφορικό σύστημα για να καταλήξει στη μονάδα εμποτισμού, το εμποτιστήριο και το σύστημα μεταφοράς θα πρέπει να είναι τοποθετημένα παράλληλα με τον κατά μήκος άξονα της πλατείας. Στην περίπτωση αυτή, πλατεία με ορθογώνιο σχήμα (μακρόστενη) είναι προτιμότερη από τετράγωνη. Επίσης, ξυλεία μεγάλων διαστάσεων (π.χ. στύλοι μεγάλου μήκους) διατάσσεται κοντά και παράλληλα με το μεταφορικό σύστημα για το εμποτιστήριο ενώ ξυλεία μικρότερων διαστάσεων και μικρότερης πυκνότητας τοποθετείται σε δεύτερη ή σε τρίτη θέση.

Το είδος και το μέγεθος των μηχανημάτων ανύψωσης και μετακίνησης της ξυλείας εξαρτάται από την κατηγορία των προϊόντων που πρόκειται να εμποτισθούν. Περονοφόρα οχήματα χρησιμοποιούνται πολύ συχνά και για διάφορες εργασίες (ανύψωση, μεταφορά, φόρτωση, εκφόρτωση, κλπ.). Υπάρχει ποικιλία μεγέθους τέτοιων οχημάτων. Μεγάλα περονοφόρα οχήματα μπορούν να ανυψώσουν και μεταφέρουν 60 τόννους ξυλείας κάθε φορά ή και μεγαλύτερο βάρος ξυλείας

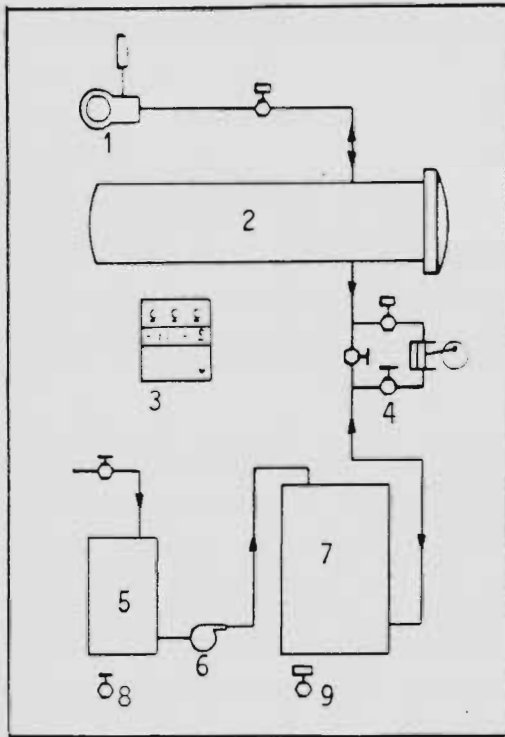
(πριστής, στρωτήρων, στύλων) σε διάφορα σημεία της πλατείας. Όταν πρόκειται για βαριά φορτία (ξυλεία μεγάλων διαστάσεων και μεγάλης πυκνότητας), χρησιμοποιούνται συχνά γερανοί ή, σπανιότερα, μεταφορικές αλυσίδες. Μεταφορικές αλυσίδες χρησιμοποιούνται συνήθως όταν η ξυλεία μετακινείται από τον ένα χώρο στον άλλο για διάφορες μηχανικές κατεργασίες που είναι απαραίτητες πριν από τον εμποτισμό. Γερανοί υπάρχουν διαφόρων ειδών και μεγεθών και μπορεί να είναι μόνιμοι (όταν στην πλατεία υπάρχει ανάγκη να ανυψώνονται και μετακινούνται μεγάλες ποσότητες ξυλείας σε συγκεκριμένο χώρο) ή κινητοί (με τη βοήθεια δηζελομηχανών ή οχημάτων). Κινητοί γερανοί με τη βοήθεια δηζελομηχανών μπορούν να κινηθούν στις σιδηροτροχιές της κύριας γραμμής οι οποίες οδηγούν τα φορτία ξυλείας στο εμποτιστήριο. Με μηχανήματα που φέρουν αιχμηρές αρπάγες πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή όταν χρησιμοποιούνται σε εμποτισμένο ξύλο επειδή υπάρχει κίνδυνος να εισέλθουν τα αιχμηρά άκρα βαθιά μέσα στο ξύλο και να εκτεθούν μέρη του ξύλου που δεν έχουν εμποτισθεί.

Όταν η ξυλεία προετοιμασθεί τελείως τότε οδηγείται στο εμποτιστήριο για εμποτισμό. Η μετακίνηση αυτή της ξυλείας από την πλατεία στο εμποτιστήριο γίνεται με φόρτωσή της σε βαγονέτα τα οποία κινούνται σε σιδηροτροχιές με κατεύθυνση τη μονάδα εμποτισμού. Τα φορτία συγκρατούνται μερικές φορές πάνω στα βαγονέτα με ημικυκλικούς μεταλλικούς βραχίονες ή αλυσίδες. Για καλύτερη αξιοποίηση της δυναμικότητας της μονάδας εμποτισμού χρησιμοποιούνται δύο τουλάχιστο βαγονέτα έτσι ώστε το ένα να βρίσκεται μέσα στον κύλινδρο και το άλλο να είναι με την ξυλεία έτοιμο για εισαγωγή μόλις ο κύλινδρος εκκενωθεί. Για να αποφεύγεται η ανύψωση του βαγονέτου με το φορτίο ξυλείας μέσα στον κύλινδρο λόγω άνωσης μετά την είσοδο του εμποτιστικού, γίνεται είτε στερέωση του βαγονέτου πάνω στις ράγες είτε χρησιμοποίηση βαριών βαγονέτων. Η κίνηση του βαγονέτου προς το εμποτιστήριο γίνεται χειρωνακτικά ή με τη βοήθεια ελκυστήρων, περονοφόρων οχημάτων, βαρούλκων κ.λ.π. Σε πολύ μεγάλα εργοστάσια εμποτισμού χρησιμοποιούνται δηζελομηχανές οι οποίες προμηθεύουν με ξυλεία, εμποτιστικά και καύσιμα το εργοστάσιο αλλά στην επιστροφή μεταφέρουν και εμποτισμένη ξυλεία σε κέντρα κατανάλωσης.

### 3. Η ΚΥΡΙΩΣ ΜΟΝΑΔΑ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ Η' ΕΜΠΟΤΙΣΤΗΡΙΟ

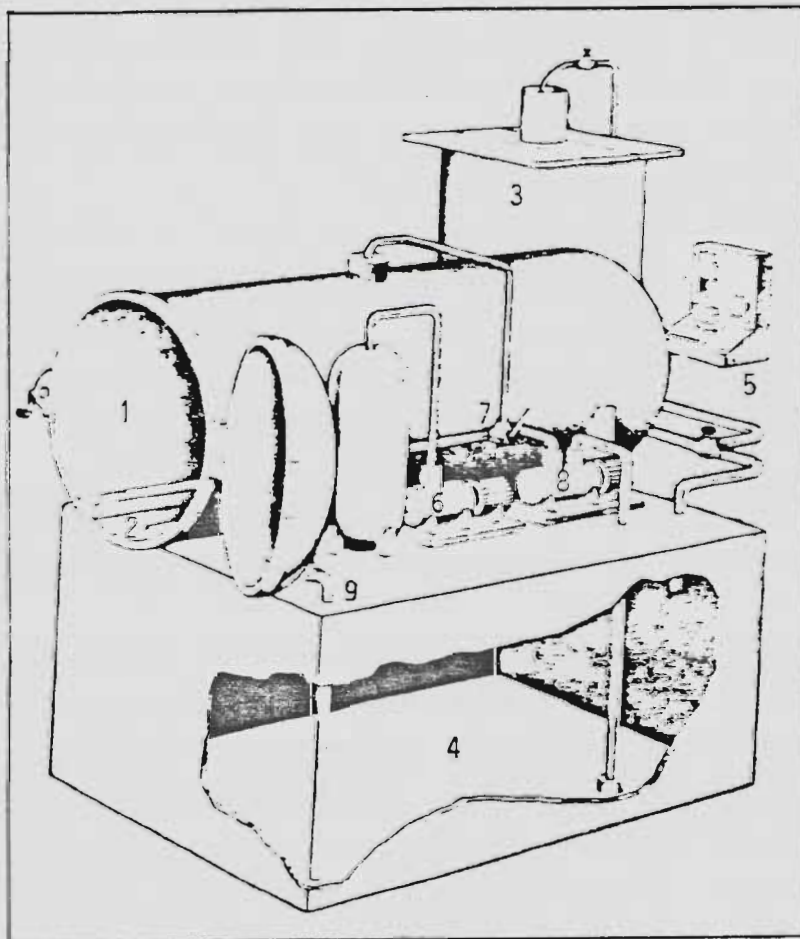
Στην κυρίως μονάδα εμποτισμού διακρίνονται τα εξής βασικά μέρη:

- α. Ο θάλαμος εμποτισμού
- β. Δεξαμενές εμποτιστικών ουσιών.
- γ. Αντλίες, σωληνώσεις και βαλβίδες ασφαλείας
- δ. Όργανα ελέγχου.



Σχ. 6.1. Σχηματική παράσταση ενός αυτόματου εμποτιστηρίου (1. Αντλία κενού, 2. Κύλινδρος, 3. Πίνακας ελέγχου, 4. Αεροσυμπιεστής, 5. Δεξαμενή ανάμιξης, 6. Αντλία μεταβίβασης εμποτιστικού, 7. Δεξαμενή αποθήκευσης εμποτιστικού, 8. Χειροκίνητη βαλβίδα, 9. Αυτόματη βαλβίδα).

(Από Nickolas, 1973)



Σχ. 6.2. Κύρια μέρη ενός εμποτιστηρίου (1. Κύλινδρος, 2. Ράγες για ολίσθηση βαγονέτων με φορτία ξυλείας, 3. Δεξαμενή ανάμιξης και 4. Δεξαμενή αποθήκευσης εμποτιστικού, 5. Αυτόματος πίνακας ελέγχου, 6. Αντλία κενού, 7. Βαλβίδα τριπλής λειτουργίας, 8. Αεροσυμπιεστής, 9. Σωλήνας εκκένωσης).

(Από Wilkinson, 1979)

Στα Σχ. 6.1 και 6.2 δείχνονται τα κύρια μέρη ενός εμποτιστηρίου.

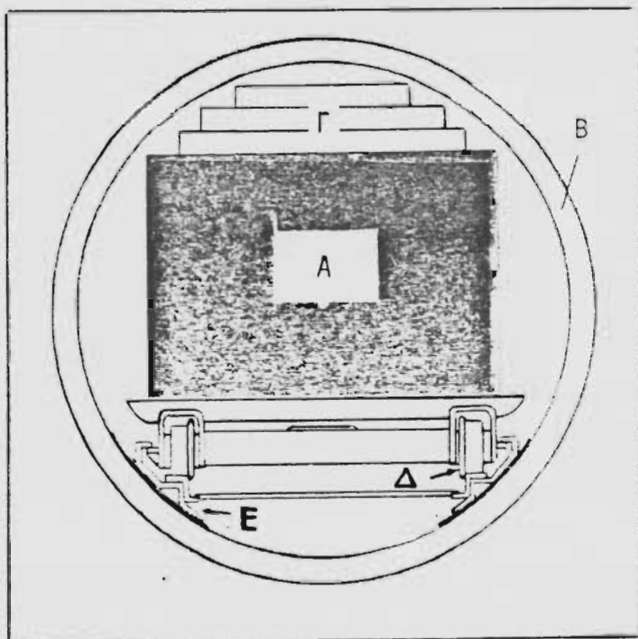
### 3.1. Θάλαμος εμποτισμού.

Ο θάλαμος εμποτισμού είναι από τα πιο βασικά μέρη ενός εμποτιστηρίου και έχει συνήθως κυλινδρικό σχήμα. Θάλαμοι εμποτισμού με τετραγωνικό ή ορθογώνιο σχήμα ενώ διευκολύνουν τις εργασίες προετοιμασίας, μετακίνησης, εισόδου και εξόδου των φορτίων ξυλείας είναι περισσότερο δαπανηροί στην κατασκευή τους για να αντέχουν υψηλές πιέσεις.

Σε κυλινδρικούς θαλάμους εμποτισμού τα φορτία ξυλείας είναι δυνατό να εισάγονται με μορφή κυλινδρικών στοιβάδων ώστε να γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση του εσωτερικού χώρου των θαλάμων και να μην μένουν μεγάλα κενά. Σε ορισμένες όμως περιπτώσεις (π.χ. πριστή ξυλεία) γίνεται από ανάγκη εισαγωγή στοιβάδων σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου με αποτέλεσμα να μένουν κάποια κενά μεταξύ του φορτίου και των τοιχωμάτων των θαλάμων. Για αύξηση του όγκου του φορτίου που εισάγεται στον κύλινδρο μπορούν να προστεθούν πρόσθετα τεμάχια ξύλου στο πάνω μέρος της στοιβάδας με χειρωνακτικό τρόπο. Η χειρωνακτική αυτή στοίβαση πρέπει όμως να περιορίζεται στο ελάχιστο γιατί απαιτεί πρόσθετο χρόνο και μειώνει τον αριθμό φορτίων ξυλείας που εμποτίζονται σε συγκεκριμένο χρόνο. Ένας τρόπος για να αξιοποιείται καλύτερα ο εσωτερικός χώρος του κυλίνδρου σε τέτοιες περιπτώσεις είναι να προετοιμάζεται το μεγαλύτερο δυνατό σε όγκο φορτίο ξυλείας σε σχέση με τη χωρητικότητα του κυλίνδρου (Σχ. 6.3).

Το μέγεθος του θαλάμου εμποτισμού πρέπει να σχετίζεται με το μέγεθος των φορτίων ξυλείας για εμποτισμό αλλά και τη δυναμικότητα των διαθέσιμων μηχανημάτων για την προετοιμασία των στοιβάδων και τη μετακίνησή τους. Στο εμπόριο υπάρχουν διαθέσιμοι θάλαμοι εμποτισμού (κύλινδροι) σε ποικίλες διαστάσεις. Η διάμετρος των κυλίνδρων κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 3 m και το μήκος μεταξύ 6 και 50m ή και περισσότερο. Η επιλογή του μήκους του κυλίνδρου σχετίζεται με το μέγιστο μήκος ή το πολλαπλάσιο συνήθων μηκών ξυλείας και τη συνολική ποσότητα της ξυλείας που είναι απαραίτητο να εμποτισθεί.

Η αποτελεσματικότητα σε μια μονάδα εμποτισμού αυξάνεται σημαντικά όταν γίνεται ταχεία εναλλαγή του φορτίου ξυλείας στον κύλινδρο κατά τη διαδικασία εμποτισμού. Ταχεία εναλλαγή των φορτίων ξυλείας μπορεί να επιτευχθεί με μία από τις διατάξεις που δείχνει το Σχ. 6.4. Η εγκατάσταση τέτοιων διατάξεων απαιτεί προφανώς πρόσθετο χώρο και δαπάνη που σε ορισμένες περιπτώσεις δεν δικαιολογείται. Όταν η διάρκεια εμποτισμού είναι σχετικά μεγάλη και η διάμετρος του κυλίνδρου κατάλληλη για τις διαστάσεις των φορτίων ξυλείας που προετοιμάζονται μηχανικά έτσι ώστε να μην προκύπτει μεγάλη



Σχ. 6.3. Τυπικά μεγέθη φορτίων ξυλείας (Α) που εισάγονται με βαγονέτα σε κύλινδρο (Β) διαφορετικής διαμέτρου και πρόσθετη ξυλεία που τοποθετείται χειρωνακτικά (Γ) για καλύτερη εκμετάλλευση του εσωτερικού χώρου του κυλίνδρου (Δ. Τροχοί βαγονέτου, Ε. Ράγες).

Εσωτερική διάμετρος, m (και εγκάρσια διατομή, m<sup>2</sup>) κυλίνδρου:

1,0(0,79) - 1,5(1,77) - 2,0(3,14)

Ποσοστό κάλυψης της εγκάρσιας διατομής του κυλίνδρου με ξυλεία

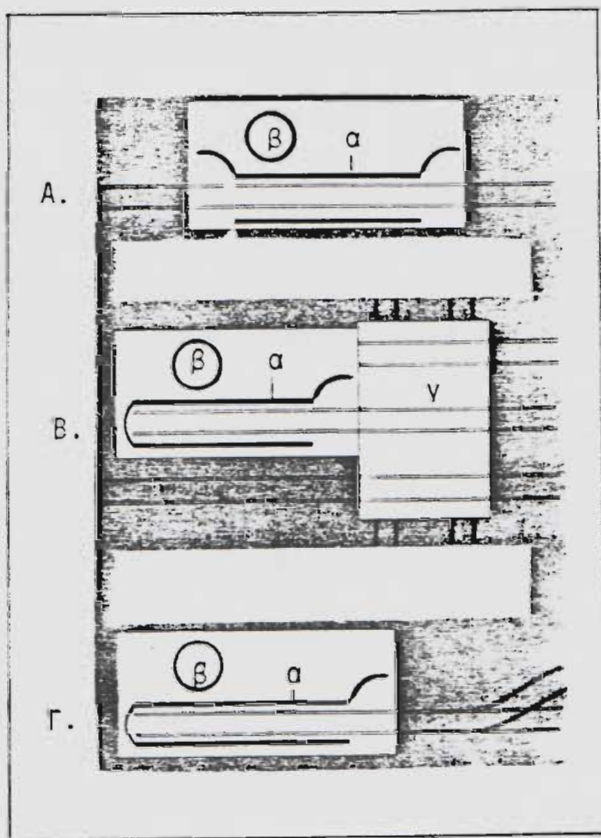
α. που εισάγεται με βαγονέτα:

56,1%, 53,2%, 56% αντίστοιχα

β. που τοποθετείται με χειρωνακτική στοίβαση: 10,2%, 13,0% ή 10,2%

γ. συνολικά: 66,3%, 66,2% ή 66,2%

(Από Wilkinson 1979)



Σχ. 6.4. Διατάξεις για αποτελεσματική είσοδο και έξοδο φορτίων ξυλείας στον κύλινδρο.

Χαρακτηριστικά διατάξεων: Α. Κύλινδρος με δύο πόρτες 1 και 2. Μία σταθερή γραμμή για την κίνηση βαγονέτων που διασχίζει τον κύλινδρο, είσοδος ξυλείας από πόρτα 1 και έξοδος από πόρτα 2 ή αντίστροφα. Β. Κύλινδρος με μία πόρτα εισόδου και εξόδου των φορτίων ξυλείας. Δύο σταθερές γραμμές για την κίνηση βαγονέτων (μία εισέρχεται στον κύλινδρο και μία είναι εκτός κυλίνδρου) και μία πλατφόρμα με τρεις γραμμές που κινείται πλευρικά, συνδυάζεται με τις σταθερές γραμμές και διευκολύνει την είσοδο και έξοδο των φορτίων ξυλείας στον κύλινδρο. Γ. Κύλινδρος με μία πόρτα εισόδου και εξόδου της ξυλείας. Μία σταθερή γραμμή που εισέρχεται στον κύλινδρο και μία δεύτερη γραμμή που συνδέεται τοξοειδώς με την προηγούμενη πριν από την πόρτα του κυλίνδρου.

(α. κύλινδρος, β. διατομή κυλίνδρου, γ. κινητή πλατφόρμα με τρεις γραμμές).

(Από Wilkinson 1979)



αύξηση του όγκου τους με πρόσθετη χειρωνακτική στοίβαση τεμαχίων ξύλου, η εναλλαγή των φορτίων στον κύλινδρο μπορεί να γίνει αποτελεσματικά με τη χρησιμοποίηση κατάλληλου περονοφόρου οχήματος και έτσι να αποφευχθούν οι παραπάνω διατάξεις.

Οι μεταλλικές γραμμές (ράγες) μέσα στον κύλινδρο πάνω στις οποίες μετακινούνται και στηρίζονται τα βαγονέτα με τα φορτία ξυλείας συντελούν συχνά στη μείωση της χωρητικότητας του κυλίνδρου. Σε ένα συγκεκριμένο κύλινδρο, η μείωση της χωρητικότητας του αυξάνει όσο το πλάτος της γραμμής αυξάνει και γι' αυτό η επίδραση αυτή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στην εγκατάσταση του εμποτιστηρίου. Επίσης, όπως προαναφέρθηκε, πρέπει να προβλέπονται και μηχανισμοί στερέωσης των βαγονέτων πάνω στις ράγες ώστε να μην ανυψώνονται και επιπλέουν τα φορτία ξυλείας μέσα στον κύλινδρο με την είσοδο του εμποτιστικού.

Ο κύλινδρος φέρει συνήθως μία πόρτα εισόδου η οποία πρέπει να κλείνει αεροστεγώς αλλά μπορεί να υπάρχει και πόρτα εξόδου. Η πόρτα εισόδου ανοίγει προς τα δεξιά ή αριστερά του κυλίνδρου ή σπάνια προς τα πάνω και κλείνει αποτελεσματικά συνήθως με χρησιμοποίηση σφίγκτήρων που υπάρχουν στις παρυφές της εισόδου του κυλίνδρου. Το κλείσιμο της πόρτας του κυλίνδρου μπορεί να γίνει και υδραυλικά εφόσον ταχύτερη διαδικασία εμποτισμού θεωρείται απολύτως αναγκαία και δικαιολογημένη.

Κύλινδροι που προορίζονται σαν θάλαμοι εμποτισμού με πισσέλαιο έχουν συνήθως μόνωση και σωληνώσεις κάτω και μεταξύ της γραμμής για κυκλοφορία ατμού ή συνδέονται με εξωτερικές θερμαντικές μονάδες δια μέσου των οποίων κυκλοφορεί και θερμαίνεται το πισσέλαιο κατά τη διάρκεια του εμποτισμού.

### 3.2. Δεξαμενές εμποτιστικών ουσιών.

Ο θάλαμος εμποτισμού είναι απαραίτητο να συνοδεύεται από έναν αριθμό χαλύβδινων δεξαμενών που χρησιμεύουν σε διάφορα στάδια της διαδικασίας εμποτισμού για αποθήκευση, προετοιμασία, εφαρμογή και επανάκτηση των εμποτιστικών ουσιών μετά τη χρησιμοποίησή τους. Ο αριθμός, ο τύπος και το μέγεθος των δεξαμενών εξαρτώνται από το είδος του εμποτιστικού και το μέγεθος και την οργάνωση του εμποτιστηρίου. Πάντως, όλα τα εμποτιστήρια έχουν μία δεξαμενή εφαρμογής από την οποία το εμποτιστικό εισάγεται στον κύλινδρο όπου γίνεται ο εμποτισμός του ξύλου και στην οποία επιστρέφει η περίσσεια του εμποτιστικού μετά το τέλος της διαδικασίας. Οι δεξαμενές ενός εμποτιστηρίου ανάλογα με το σκοπό που επιτελούν μπορούν να διακριθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- α. Δεξαμενές υποδοχής και αποθήκευσης: Σε ορισμένα μεγάλα εμποτιστήρια πισσελαίου οι ποσότητες του εμποτιστικού εκφορτώνονται σε πρώτο στάδιο σε υπόγειες δεξαμενές υποδοχής. Από τις δεξαμενές αυτές το

πισσέλαιο μπορεί να διοχετευθεί σε δεξαμενές αποθήκευσης ή σε άλλες δεξαμενές. Συνήθως όμως οι ποσότητες του εμποτιστικού εκφορτώνονται κατ'ευθείαν σε μεγάλες εξωτερικές δεξαμενές (πύργους) αποθήκευσης. Η ύπαρξη μεγάλων δεξαμενών υποδοχής ή αποθήκευσης έχει σχέση με την προμήθεια του εμποτιστικού σε περισσότερο συμφέρουσες τιμές και αντιμετώπισης έκτακτων περιστάσεων. Υδατοδιαλυτά εμποτιστικά δεν απαιτούν μεγάλους χώρους αποθήκευσης επειδή μεταφέρονται και αποθηκεύονται σε μορφή πάστας, σκόνης ή πυκνών διαλυμάτων και σε περίπτωση εφαρμογής τους στο ξύλο προετοιμάζονται τα κανονικά διαλύματα.

#### β. Δεξαμενές ανάμιξης.

Οι δεξαμενές ανάμιξης χρειάζονται σε εμποτιστήρια που χρησιμοποιούν υδατοδιαλυτά εμποτιστικά ή μίγματα όπως πενταχλωροφαινόλη με έλαιο, πισσέλαιο με πετρέλαιο τα οποία πρέπει να προετοιμασθούν σε συγκεκριμένες αναλογίες. Για την ανάμιξη είναι δυνατό να χρησιμοποιούνται αντλίες και (για έλαια) συστήματα θέρμανσης.

#### γ. Δεξαμενή εφαρμογής.

Η ύπαρξη της δεξαμενής αυτής είναι σημαντική για την αποτελεσματικότερη λειτουργία ενός εμποτιστηρίου. Από τη δεξαμενή εφαρμογής το εμποτιστικό οδηγείται κατ'ευθείαν στον κύλινδρο. Συνήθως η χωρητικότητά της είναι 15% μεγαλύτερη από εκείνη του άδειου κυλίνδρου ώστε να χρησιμοποιείται για αρκετά φορτία ξυλείας και να μην επαναλαμβάνεται συχνά η συμπλήρωσή της με εμποτιστικό. Όσο πιο πολύ γεμίζεται ο κύλινδρος με ξυλεία τόσο λιγότεροι κενοί χώροι υπάρχουν και ο όγκος του εμποτιστικού για να γεμίσει εντελώς τον κύλινδρο είναι μικρότερος. Με τη μείωση των κενών χώρων στον κύλινδρο μειώνεται και ο χρόνος εφαρμογής συγκεκριμένου κενού, πλήρωσης του κυλίνδρου με εμποτιστικό και κένωσής του.

Σε σύγχρονα, προκατασκευασμένα εμποτιστήρια που χρησιμοποιούν υδατοδιαλυτά εμποτιστικά, η δεξαμενή εφαρμογής μπορεί να χρησιμεύει ταυτόχρονα και σαν δεξαμενή αποθήκευσης. Όταν χρειάζεται πρόσθετο διάλυμα, αυτό προετοιμάζεται στη δεξαμενή ανάμιξης και μεταφέρεται στη δεξαμενή εφαρμογής (ή και αποθήκευσης). Σε εμποτιστήρια όμως που χρησιμοποιείται πισσέλαιο και εφαρμόζεται πίεση, η δεξαμενή εφαρμογής γεμίζεται από δεξαμενή αποθήκευσης και, πριν αρχίσει ο εμποτισμός, το εμποτιστικό πρέπει να θερμανθεί (συνήθως με σωληνώσεις όπου διέρχεται ατμός) και να ανακατευθεί για να εξασφαλισθεί ομοιογένεια.

### δ. Δεξαμενές συλλογής και επανάκτησης συντηρητικού.

Τα εμποτιστήρια πισσελαίου είναι κατά κανόνα εφοδιασμένα με δεξαμενή στην οποία συλλέγονται νερό και έλαιο αμέσως μετά τον εμποτισμό. Το νερό διαχωρίζεται από το έλαιο και το τελευταίο επαναχρησιμοποιείται. Σε εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν υδατοδιαλυτά εμποτιστικά είναι δυνατό να συλλέγονται σε δεξαμενή μικροποσότητες συντηρητικού που εκρέουν από τον κύλινδρο ή από το εμποτισμένο ξύλο μαζί με βρόχινο νερό και το διάλυμα αυτό να χρησιμοποιείται για την προετοιμασία κανονικών διαλυμάτων.

### 3.3. Αντλίες, σωληνώσεις και βαλβίδες ασφαλείας.

Αντλίες, σωληνώσεις και βαλβίδες ασφαλείας είναι απαραίτητα όργανα για τη λειτουργία ενός εμποτιστηρίου. Η ισχύς των αντλιών και το μέγεθος των σωληνώσεων πρέπει να είναι επαρκή έτσι ώστε οι διάφορες επι μέρους λειτουργίες του εμποτιστηρίου να γίνονται σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Ο χρόνος κένωσης ενός κυλίνδρου εξαρτάται από την χωρητικότητά του και την δυναμικότητά της αντλίας. Όσο μεγαλύτερη η χωρητικότητα του κυλίνδρου και μικρή η δυναμικότητα της αντλίας τόσο περισσότερος χρόνος χρειάζεται για την κένωση του κυλίνδρου. Οι περισσότερες αντλίες κατασκευάζονται για να δημιουργούν κενό 600 mmHg σε 15' περίπου.

Ο χρόνος εφαρμογής της μέγιστης πίεσης κατά τον εμποτισμό εξαρτάται από τον όγκο του φορτίου ξυλείας που εισάγεται στον κύλινδρο και τη δυναμικότητα του συμπιεστή και όχι από τη χωρητικότητα του κυλίνδρου.

Για τη λειτουργία του εμποτιστηρίου είναι απαραίτητη η παρουσία σωληνώσεων και βαλβίδων ασφαλείας που έχουν σχέση με την ασφαλή διακοπή της λειτουργίας σε περίπτωση λανθασμένου χειρισμού, απομόνωση συστημάτων κενού από συστήματα συμπίεσης, είσοδο και έξοδο εμποτιστικού από τον κύλινδρο, κ.ά. Οι σωληνώσεις τοποθετούνται, όπου είναι δυνατό, κοντά στον κύλινδρο και οι βαλβίδες ασφαλείας πρέπει να είναι προσιτές στο χειριστή.

### 3.4. Όργανα ελέγχου.

Τα εμποτιστήρια είναι εφοδιασμένα με όργανα μέτρησης κενού και πίεσης, όργανα ένδειξης του όγκου του εμποτιστικού στις δεξαμενές, θερμομέτρα όπου γίνεται θέρμανση των εμποτιστικών και αυτογραφικά όργανα για καταγραφή όλων των χαρακτηριστικών της πορείας του εμποτισμού αν κρίνεται αναγκαίο. Σε σύγχρονα εμποτιστήρια υπάρχει σύστημα αυτόματου ελέγχου σύμφωνα με το οποίο

από τη στιγμή που εισάγεται το φορτίο ξυλείας στον κύλινδρο και η πόρτα του κυλίνδρου κλείσει, ο χειριστής απλώς πιέζει το διακόπτη "ΕΝΑΡΞΗ" και η προγραμματισμένη διαδικασία εμποτισμού εκτελείται μέχρι το τέλος.

Η αυτοματοποίηση ενός εμποτιστηρίου έχει πολλά πλεονεκτήματα. Μετά την έναρξη του συγκεκριμένου προγράμματος εμποτισμού ο χειριστής μπορεί να επιστρέψει λίγο πριν λήξει το πρόγραμμα για εξαγωγή του εμποτισμένου ξύλου από τον κύλινδρο και οργάνωση του επόμενου προγράμματος εμποτισμού. Κατά τη διάρκεια της αυτόματης εφαρμογής του προγράμματος, ο χειριστής μπορεί να απασχοληθεί σε άλλη εργασία.

Η μετατροπή ενός εμποτιστηρίου μιας βάρδιας που αξιοποιεί σχεδόν ολόκληρη τη δυναμικότητά του σε αυτοματοποιημένο μπορεί να αυξήσει την απόδοσή του τουλάχιστο κατά 25%. Το ύψος επένδυσης δεν είναι μεγάλο και μπορεί να αποσβεσθεί μέσα σε δύο χρόνια.

#### 4. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΜΠΟΤΙΣΤΗΡΙΟΥ

Η παραγωγή εμποτισμένης ξυλείας περιλαμβάνει τις παρακάτω λειτουργίες:

α. Προετοιμασία του ξύλου. Η προετοιμασία του ξύλου πριν από τον εμποτισμό περιγράφηκε στο κεφ. 4. Τα πιο ενδιαφέροντα σημεία της προετοιμασίας του ξύλου είναι: η ξήρασή του κάτω από το σημείο ινοκόρου ( $< 30\%$ ), η απαλλαγή του από φλοιό, πριονίδια, λάσπη, πάγο, μπιγλιές, κ.λ.π., η μηχανική κατεργασία του (διάτρηση, πλάνιση, τομή, κ.ά.) πριν από τον εμποτισμό και η απόρριψη προσβλημένης από μύκητες ή έντομα ξυλείας εκτός αν αλλοιώς συμφωνηθεί. Η υγρασία του ξύλου μπορεί να ελεγχθεί στην πράξη με ηλεκτρικά υγρόμετρα. Για πρακτικούς λόγους, θεωρείται ότι αν τα εξωτερικά στρώματα του ξύλου, πάχους 25 mm, είναι ξηρά τότε είναι πιθανόν και το εσωτερικό του να είναι επίσης ξηρό. Σε περιπτώσεις που γίνονται αναπόφευκτα ορισμένες μεταγενέστερες μηχανικές κατεργασίες (π.χ. σε στύλους, πασσάλους), πρέπει να γίνεται τοποθέτηση κατάλληλων εμποτιστικών στις επιφάνειες του ξύλου που εκτίθενται. Όταν απαιτούνται συγκεκριμένες διαστάσεις της ξυλείας σε υπηρεσία τότε η ξήρασή του στο κατάλληλο επίπεδο υγρασίας πρέπει να γίνεται πριν από τις μηχανικές του κατεργασίες και τον εμποτισμό.

Σε ορισμένες χώρες ισχύουν προδιαγραφές σχετικά με την προετοιμασία του ξύλου πριν από τον εμποτισμό. Ανεξάρτητα όμως από την ύπαρξη ή όχι τέτοιων προδιαγραφών, οι παραπάνω οδηγίες πρέπει να ακολουθούνται πάντα.

#### β. Προετοιμασία εμποτιστικών (διαλυμάτων, μιγμάτων)

Μίγματα πισσελαίου/πετρελαίου, πενταχλωροφαινόλης/ελαίων, κ.ά, είναι δυνατό να προετοιμασθούν στο χώρο του εμποτιστηρίου αλλά συνήθως είναι έτοιμα στο εμπόριο και αποθηκεύονται κατ'ευθείαν στις δεξαμενές αποθή-

μετά την άφιξή τους στο εργοστάσιο. Αντίθετα, τα υδατοδιαλυτά εμποτιστικά προετοιμάζονται κατά κανόνα στη μονάδα εμποτισμού στην επιθυμητή συγκέντρωση.

Ο όρος "συγκέντρωση" (π.χ. 5%) ενός υδατοδιαλυτού εμποτιστικού έχει την έννοια ότι μια συγκεκριμένη ποσότητα καθαρού εμποτιστικού (5 kg) εμπεριέχεται σε ορισμένο όγκο υδατικού διαλύματος (100 lt). Για να επιτευχθεί συγκεκριμένη συγκέντρωση διαλύματος γίνεται μεταφορά και εισαγωγή εμποτιστικού (σε μορφή σκόνης ή πάστας) στη δεξαμενή ανάμιξης όπου προστίθεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού. Στη συνέχεια γίνεται καλή ανάμιξη και το διάλυμα ελέγχεται από άποψη συγκέντρωσης. Πρακτικά, ο έλεγχος αυτός γίνεται με κατάλληλα όργανα (υδρόμετρα) σε συνδυασμό με πίνακες αντιστοιχίας. Τα υδρόμετρα μετρούν γρήγορα και με αρκετή ακρίβεια το ειδικό βάρος του διαλύματος το οποίο είναι συνάρτηση της συγκέντρωσης και της θερμοκρασίας του. Μετά από ρύθμιση των υδρομέτρων, οι μετρήσεις είναι δυνατό να παίρνονται για συγκεκριμένη θερμοκρασία, και από σχετικούς πίνακες αντιστοιχίας να ελέγχεται η συγκέντρωση του διαλύματος. Έλεγχος της συγκέντρωσης του διαλύματος πρέπει να γίνεται σε κανονικά χρονικά διαστήματα και με χημική ανάλυση. Μετά τον έλεγχο της συγκέντρωσης, το διάλυμα μεταφέρεται στη δεξαμενή αποθήκευσης.

#### γ. Εισαγωγή της ξυλείας στον κύλινδρο.

Η ξυλεία τοποθετείται κατάλληλα σε βαγονέτα και συνήθως προσδένεται περιφερειακά (με αλυσίδες ή σχοινιά) για να εξασφαλίζεται η σταθερότητα του φορτίου κατά τη διάρκεια εμποτισμού. Όταν χρειάζεται, είναι δυνατό να γίνει και στερέωση του βαγονέτου στις γραμμές μέσα στον κύλινδρο. Η περιφερειακή πρόσδεση της ξυλείας πρέπει να παίρνει υπόψη της ενδεχόμενη διόγκωση του ξύλου κατά τη διάρκεια εμποτισμού και να είναι αρκετά χαλαρή ώστε να μην προκαλούνται ζημιές στα ακραία τεμάχια ξύλου. Σε πριστή ξυλεία ή σύνθετα προϊόντα (αντικολλητά, μοριοπλάκες) χρησιμοποιούνται συχνά διαχωριστικοί πήχεις και δίνεται μικρή κλίση στο φορτίο ώστε να διευκολύνεται ο εμποτισμός και η αποστράγγιση του ξύλου μετά το χειρισμό και να μειώνεται η τάση παγίδευσης φυσσαλίδων αέρος. Ταυτοχρόνος εμποτισμός ξυλείας διαφορετικών διαστάσεων ή ειδών με διαφορετική διαπερατότητα πρέπει κανονικά να αποφεύγεται. Αν όμως αυτό δεν είναι δυνατό πρέπει να εφαρμόζεται πρόγραμμα εμποτισμού που προσιδιάζει στο είδος ξυλείας με τη μικρότερη διαπερατότητα.

#### δ. Εφαρμογή μεθόδων εμποτισμού.

Για τον εμποτισμό του ξύλου γίνεται επιλογή της μεθόδου και επιχειρείται

εισαγωγή του συντηρητικού υγρού μέσα στο ξύλο σε τέτοιο βαθμό ώστε το ξύλο να μπορεί ν' ανταποκριθεί στις συνθήκες υπηρεσίας για τις οποίες προορίζεται. Η συγκράτηση ( $\text{kg}$  εμποτιστικού/ $\text{m}^3$  ξύλου) στο τέλος του εμποτισμού μπορεί να υπολογισθεί:

- (1) Από τη διαφορά όγκου που προκύπτει από τις διαφορές αναγνώσεων κατάλληλου οργάνου της δεξαμενής εφαρμογής ή αποθήκευσης πριν και μετά τον εμποτισμό. Με γνωστά το ειδικό βάρος και τη θερμοκρασία του εμποτιστικού, τη συγκέντρωση διαλυμάτων (π.χ. σε υδατοδιαλυτά άλατα) και τον όγκο του ξύλου γίνεται υπολογισμός της συγκράτησης.
- (2) Από τη διαφορά βάρους του φορτίου ξυλείας πριν και μετά τον εμποτισμό. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται μόνο σε πισσέλαιο και όταν το ξύλο είναι ξηρό (είτε φυσικά είτε τεχνητά).

Για τη συγκράτηση υδατοδιαλυτών αλάτων έχει επικρατήσει ο όρος "συγκράτηση ξηρών αλάτων" (net dry salt retention) και αναφέρεται στην καθαρή ποσότητα ξηρών αλάτων ανά  $\text{m}^3$  ξύλου. Επειδή όμως τα εμποτιστικά αυτά προσφέρονται με μορφή πάστας περισσότερο και όχι με μορφή σκόνης υπάρχει πρόβλημα του απλούστερου όρου "συγκράτηση εμποτιστικού".

Η απαιτούμενη συγκράτηση των εμποτιστικών από το ξύλο διαφέρει πολύ και εξαρτάται από τις συνθήκες χρησιμοποίησης του ξύλου, το είδος ξύλου και την επιθυμητή διάρκειά του σε υπηρεσία. Σχέτικά με το βάθος διείσδυσης του εμποτιστικού, θεωρείται ότι για αποτελεσματική προστασία πρέπει να εμποτίζεται ολόκληρο ή υψηλό ποσοστό του σομφού ξύλου. Χωρίς προηγούμενο πειραματισμό είναι δύσκολο να προσδιορισθεί η διάρκεια των επί μέρους φάσεων μιά μεθόδου εμποτισμού ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη συγκράτηση και το βάθος διείσδυσης για κάθε είδος ξύλου. Παρά το γεγονός ότι η συγκράτηση του εμποτιστικού διαφέρει ακόμη και για το ίδιο είδος ξύλου λόγω διαφορών πυκνότητας, ποσοστού σομφού ξύλου και υγρασίας, η δημιουργία ενός προγράμματος εμποτισμού για κάθε περίπτωση που να στηρίζεται ασφαλώς σε πειραματισμό είναι επιθυμητή. Σε πολλές χώρες έχουν αναπτυχθεί τέτοια προγράμματα εμποτισμού (προδιαγραφές) που περιγράφουν τη διαδικασία χειρισμού σε σχέση με το είδος, τη μορφή της ξυλείας και τις συνθήκες χρησιμοποίησής της. Όπου δεν έχουν διαμορφωθεί προγράμματα εμποτισμού είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη η διαπερατότητα του σομφού και του εγκεαδίου ξύλου που πρόκειται να εμποτισθεί, η φυσική αντοχή, οι κίνδυνοι αλλοίωσης του ξύλου στη συγκεκριμένη θέση υπηρεσίας του και διαθέσιμα προγράμματα εμποτισμού άλλων ειδών που έχουν παραπλήσιες ιδιότητες με το συγκεκριμένο είδος.

ε. Αποστράγγιση, μετακίνηση και επαναξήρανση της Ξυλείας.

Μετά την εφαρμογή της μεθόδου εμποτισμού, η Ξυλεία αφήνεται να στραγγίσει μέσα στον κύλινδρο για 10-15', η πόρτα του κυλίνδρου ανοίγεται και το φορτίο μετακινείται σε άλλη κατάλληλη θέση όπου παραμένει μέχρι να γίνει τέλεια αποστράγγιση. Ειδικότερα για φορτία που έχουν εμποτισθεί με υδατοδιαλυτά άλατα χαλκού/χρωμίου/αρσενικού, η Ξυλεία πρέπει να παραμείνει τουλάχιστο τρεις μέρες ώστε να λάβουν χώρα οι κύριες αντιδράσεις δέσμευσης του εμποτιστικού. Η ποσότητα του εμποτιστικού που προέρχεται από την αποστράγγιση εμποτισμένης Ξυλείας συλλέγεται στις δεξαμενές συλλογής και μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί.

Μετά τον εμποτισμό και την αποστράγγιση της Ξυλείας είναι απαραίτητη η επαναξήρασή της για μικρότερο ή μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Στην περίπτωση εφαρμογής οργανικών διαλυμάτων (π.χ. πενταχλωροφαινόλη) η Ξήρανση του εμποτισμένου ξύλου έχει την έννοια ότι ο οργανικός διαλύτης πρέπει να εξατμισθεί και αυτό γίνεται σε μικρό χρονικό διάστημα λόγω της σχετικά μεγάλης πτητικότητας του διαλύτη. Ξύλο εμποτισμένο με πισσέλαιο παραμένει ελαιώδες για ορισμένο χρονικό διάστημα και οι εργάτες αποφεύγουν να το χρησιμοποιούν αμέσως. Γι' αυτό η Ξυλεία αυτή παραμένει για λίγο στο εργοστάσιο μέχρι να ξηραθεί και να καθαρίσει η επιφάνειά του. Αποθήκευση όμως για πολύ χρόνο μπορεί να μειώσει την αποτελεσματικότητα του πισσελαίου. Σε εμποτισμένους με πισσέλαιο στύλους που είναι αποθηκευμένοι οριζόντια για πολύ χρόνο (π.χ. πάνω από 14 μήνες) μπορεί να παρατηρηθεί απώλεια εμποτιστικού λόγω έκκρισης, μετακίνησής του προς την κάτω πλευρά του στύλου και εξάτμισης. Ξυλεία που εμποτίζεται με υδατοδιαλυτά εμποτιστικά έχει μεγάλη υγρασία (30-160%) αμέσως μετά την έξοδό της από τον κύλινδρο και για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η επαναξήρασή της εκτός αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε πολύ υγρές συνθήκες (π.χ. αποβάθρες). Και σ' αυτή όμως την περίπτωση θα πρέπει να μην χρησιμοποιείται αμέσως αλλά αφού περατωθεί η διαδικασία "δέσμευσης" των αλάτων. Γενικά η Ξυλεία πρέπει να ξηραίνεται σε τέτοια επίπεδα υγρασίας ανάλογα με εκείνα που αντιστοιχούν στις συνθήκες υπηρεσίας της, π.χ. Ξυλεία που πρόκειται να τοποθετηθεί σε εσωτερικούς, θερμαινόμενους χώρους δεν πρέπει να έχει υγρασία πάνω από 8-10% ενώ για πασσάλους, στρωτήρες, στύλους η υγρασία μπορεί να είναι και 25-30%. Κατά την επαναξήρανση Ξυλείας εμποτισμένης, με υδατοδιαλυτά άλατα μπορεί να εμφανισθούν δύο τύποι μεταχρωματισμών. Ο ένας τύπος εμφανίζεται σε ξύλο εμποτισμένο με άλατα που περιέχουν χρώμιο (π.χ. CCA) όταν η Ξήρασή του γίνεται πολύ γρήγορα (π.χ. με άμεση επίδραση του ηλιακού φωτός). Τα τμήματα του ξύλου που εκτίθενται στον ήλιο παίρνουν ένα όχι

ευχάριστο βαθύ πράσινο χρώμα σε αντίθεση με το γκριζοπράσινο και ελκυστικό χρώμα που παίρνει κανονικά το εμποτισμένο ξύλο. Ο μεταχρωματισμός αυτός μπορεί να αποφευχθεί είτε με καθυστέρηση της έναρξης της ξήρανσης της ξυλείας μετά τον εμποτισμό για δυό μέρες είτε με ξήρανση του ξύλου κάτω από σκιά (σε υπόστεγα, στέγαστρα) για 7 περίπου μέρες. Ο δεύτερος μεταχρωματισμός οφείλεται στην εμφάνιση αλάτων σε κρυσταλλική μορφή στην επιφάνεια του ξύλου που προκαλείται από ιδιόρρυθμες συνθήκες ξήρανσης (π.χ. εναλλαγή θερμοκρασιών). Η επιφανειακή αυτή επίστρωση με άλατα είναι αβλαβής και μπορεί να απομακρυνθεί με βούρτσα ή με νερό χωρίς να επηρεάζεται η αποτελεσματικότητα του εμποτιστικού.

#### στ. Έλεγχος της παραγωγής.

Όπως σε όλες τις περιπτώσεις παραγωγής προϊόντων, ο έλεγχος της ποιότητας του τελικού προϊόντος είναι απαραίτητος και, είναι φυσικό, οι προμηθευτές και οι χρήστες εμποτισμένου ξύλου να χρειάζονται διαβεβαιώσεις ότι το ξύλο έχει εμποτισθεί κατάλληλα. Για να γίνει αυτό πρέπει να εξασφαλίζεται από τον χειριστή του εμποτιστηρίου ότι ο εμποτισμός γίνεται σε υψηλό τεχνικό επίπεδο με κατάλληλη προετοιμασία του ξύλου και κατάλληλη επιλογή του προγράμματος εμποτισμού. Η εμποτισμένη ξυλεία συνοδεύεται συνήθως με "πιστοποιητικό καλού εμποτισμού" και "φύλλο πληροφοριών" που περιλαμβάνει αναλυτική περιγραφή της μεθόδου εμποτισμού και στοιχεία σχετικά με το φορτίο ξυλείας (είδος ξύλου, περιεχόμενη υγρασία, διαστάσεις, κ.λ.π). Φύλλα πληροφοριών κρατούνται και από το εργοστάσιο και σε ορισμένες περιπτώσεις εκδίδονται "μηνιαία δελτία" όπου αναλύεται η συνολική κατανάλωση εμποτιστικού, τα προϊόντα και ο όγκος του ξύλου που εμποτίσθηκε, η απόδοση του εμποτιστηρίου, κ.λ.π., παρουσιάζεται η συνολική εικόνα λειτουργίας της μονάδας και χρησιμεύουν για τη βελτίωση της παραγωγής.

Το εμποτισμένο ξύλο ελέγχεται από άποψη συγκράτησης και διείσδυσης του εμποτιστικού σε αντιπροσωπευτικά δείγματα που παίρνονται από το φορτίο ξυλείας και ικανοποιούν τις στατιστικές απαιτήσεις. Η διείσδυση είναι εμφανής σε ορισμένα εμποτιστικά (π.χ. πισσέλαιο) ενώ σε άλλα (π.χ. υδατοδιαλυτά άλατα) χρησιμοποιούνται διάφορα αντιδραστήρια. Ακριβής προσδιορισμός της συγκράτησης είναι δυνατός μόνον με χημική ανάλυση στο εργαστήριο.

Για να αποφευχθεί η επίδραση της αξονικής διείσδυσης, τα δείγματα (εγκάρσιες φέτες) παίρνονται τουλάχιστο 45 cm από τα άκρα. Τέτοια λήψη δειγμάτων είναι καταστρεπτική για ορισμένα τεμάχια ξύλου αλλά είναι αναγκαία εφόσον πρόκειται να σταλούν στο εργαστήριο για χημική ανάλυση και προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας. Αντί εγκάρσιων δειγμάτων είναι δυνατή η λήψη τρυπανιδίων μήκους μερικών εκατοστών ώστε ν' αποφεύεται η κατα-



στροφή τεμαχίων ξύλου. Οι οπές κλείνονται με εμποτισμένα ξύλινα "καρφιά" που παίρνονται από κανονικό σομφό ξύλο και έχουν το κατάλληλο μέγεθος.

Η επίτευξη των στόχων μιας βιομηχανίας εμποτισμού (π.χ. ασφάλεια, αποτελεσματικότητα, οικονομικότητα) εξαρτάται από την εκπαίδευση και εμπειρία του προσωπικού, τη θέση και τις εγκαταστάσεις, τις διαστάσεις του θαλάμου εμποτισμού και τον τρόπο εισόδου και εξόδου της ξυλείας, τη διάταξη των εγκαταστάσεων, την αλληλουχία των διαφόρων φάσεων εργασίας, την αποτελεσματικότητα των δεξαμενών, αντλιών, σωληνώσεων και βαλβίδων ασφαλείας, το βαθμό αυτοματοποίησης, την εξασφάλιση ελέγχου της παραγωγής κ.ά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7ο

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ

#### 1. ΓΕΝΙΚΑ

Η υψηλή αποτελεσματικότητα των εμποτιστικών ουσιών και η αύξηση της διάρκειας του ξύλου σε υπηρεσία με τον πιό ακένδυνο και φθηνό τρόπο είναι στόχοι κάθε διαδικασίας εμποτισμού. Η εξασφάλιση μακροχρόνιας και αποτελεσματικής προστασίας του ξύλου με τον εμποτισμό είναι απαίτηση κάθε χρήστη αλλά και ένα από τα σπουδαιότερα προβλήματα από την άποψη της αξιολόγησης των εμποτιστικών. Αντίθετα, με τα γεωργικά φάρμακα οι απαιτήσεις για αποτελεσματική προστασία περιορίζονται σε μια μόνο αυξητική περίοδο ή και λιγότερο. Το πρόβλημα της αξιολόγησης είναι ακόμη μεγαλύτερο σε νέους τύπους συντηρητικών για τα οποία δεν υπάρχει προϊστορία για τη διάρκεια της αποτελεσματικότητάς τους από την πράξη. Παρά τις δυσκολίες αυτές, η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των εμποτιστικών είναι επιβεβλημένη, και από διάφορους φορείς (εργοστάσια, κρατικά εργαστήρια και ινστιτούτα, ενώσεις και οργανισμοί εμποτισμού του ξύλου) χρησιμοποιούνται και αναπτύσσονται διάφοροι μέθοδοι αξιολόγησης των εμποτιστικών. Γενικά ισχύει ότι πριν εφαρμοσθεί ένα εμποτιστικό στην πράξη υποβάλλεται λεπτομερής περιγραφή και ο τρόπος ασφαλούς χρησιμοποίησής του σε αρμόδιο κρατικό φορέα από τον οποίο χορηγείται σχετική άδεια.

Η αξιολόγηση των εμποτιστικών ουσιών αναφέρεται:

- α. στην αποτελεσματικότητα ενός νέου εμποτιστικού σε σύγκριση με ήδη δοκιμασμένα εμποτιστικά.
- β. στη σύγκριση αποτελεσματικότητας μεταξύ εμποτιστικών και επιλογή του καλύτερου για τη συγκεκριμένη χρήση.
- γ. στο μηχανισμό δράσης και προστασίας του κάθε εμποτιστικού.
- δ. στην ασφαλή χρησιμοποίησή του και στις επιδράσεις στην υγεία του ανθρώπου, των ζώων και στο περιβάλλον.

ε. στη διάρκεια αποτελεσματικότητας.

Ο βαθμός και η διάρκεια προστασίας του ξύλου με ένα εμποτιστικό αποτελούν βασικές απαιτήσεις στην αξιολόγηση του. Όμως, η απαιτούμενη διάρκεια προστασίας αναφέρεται συχνά σε μεγάλο χρονικό διάστημα (μέχρι 50 χρόνια ή και περισσότερο) και αναμονή έστω και λιγότερων χρόνων για εκτίμηση της αποτελεσματικότητας του εμποτιστικού πριν από την εφαρμογή του δεν παρουσιάζει πρακτικότητα. Έτσι, αναπτύχθηκε μία ακολουθία πειραματισμών για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των εμποτιστικών πρώτα στο εργαστήριο (μικρής σχετικά διάρκειας) και μετά σε πραγματικές συνθήκες υπηρεσίας (μεγαλύτερης διάρκειας). Μια πλήρης σειρά τέτοιων δοκιμών αυξανόμενης διάρκειας περιλαμβάνει:

- α. Δοκιμές επιλογής (screening tests): Γίνονται στο εργαστήριο σε ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, διαρκούν λιγότερο από 1 μήνα (συχνά 1 βδομάδα) και αποσκοπούν στο να δείξουν αν μία χημική ουσία έχει προστατευτικές και συντηρητικές ιδιότητες. Ένας αριθμός δοκιμών μπορεί να γίνει ταυτόχρονα και το κόστος είναι χαμηλό. Η αξιοπιστία τέτοιων δοκιμών δεν είναι μεγάλη.
- β. Δοκιμές επιβεβαίωσης (confirmatory laboratory tests): Είναι εργαστηριακές δοκιμές σε ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας, διάρκειας λίγων μηνών και αρκετά χαμηλού κόστους. Με τις δοκιμές αυτές επιβεβαιώνονται τα αποτελέσματα των δοκιμών επιλογής και η αξιοπιστία τους είναι αρκετά μεγάλη. Στο στάδιο αυτό εξετάζονται και άλλα στοιχεία όπως διαθεσιμότητα και κόστος σε σχέση με άλλα εμποτιστικά που είναι διαθέσιμα στο εμπόριο, κίνδυνοι σε ανθρώπους, ζώα και φυτά, σταθερότητα, συμπεριφορά του εμποτισμένου ξύλου στη βαφή, συγκόλληση και επαφή του με μέταλλα.
- γ. Δοκιμές εξομοίωσης (field trials): Γίνονται σε φυσικές συνθήκες (μπορούν να περιληφθούν πειραματικές θέσεις με διαφορετικές συνθήκες) και διαρκούν τουλάχιστο 3 χρόνια. Το κόστος ποικίλει ανάλογα με τη διάρκεια την έκταση του πειράματος και τον αριθμό των χειρισμών και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι καλή. Στις δοκιμές εξομοίωσης τα δείγματα ξύλου υπόκεινται στην επίδραση περισσότερων παραγόντων αλλοίωσης σε σύγκριση με τις εργαστηριακές δοκιμές. Οι συνθήκες των δοκιμών εξομοίωσης είναι όμοιες με εκείνες του ξύλου σε υπηρεσία αλλά επειδή τα δείγματα ξύλου είναι πολύ μικρότερα, η γήρανση, έκπλυση και η βιολογική αλλοίωση επιταχύνονται.
- δ. Δοκιμές υπηρεσίας (service trials): Είναι το τελευταίο στάδιο δοκιμών

αξιολόγησης των εμποτιστικών και διαρκεί τόσο όσο πρέπει να διαρκεί το εμποτισμένο ξύλο σε υπηρεσία (το ελάχιστο είναι συνήθως 10 χρόνια). Στις δοκιμές αυτές περιλαμβάνονται προϊόντα ξύλου στις πραγματικές τους διαστάσεις, τοποθετημένα σε συνθήκες υπηρεσίας σε μία ή περισσότερες περιοχές. Το κόστος είναι αρκετά υψηλό όπως και στις δοκιμές υπαίθρου μπορεί και μεγαλύτερο. Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων είναι φανερό ότι είναι μεγάλη αλλά, η μεγάλη διάρκεια του πειράματος είναι περιοριστικός παράγοντας και γι' αυτό τα σχετικά σύντομα εργαστηριακά πειράματα είναι πολύ χρήσιμα στην αξιολόγηση των εμποτιστικών.

Σχετικά με τη διάρκεια αποτελεσματικότητας των εμποτιστικών πρέπει να σημειωθεί ότι στις δοκιμές υπαίθρου και υπηρεσίας αυτή εξαρτάται σημαντικά από τις συνθήκες που επικρατούν κάθε φορά στη θέση του πειράματος. Γι' αυτό τα αποτελέσματα μιας περιοχής έχουν περισσότερο τοπικό χαρακτήρα ή μπορούν να ισχύσουν και για άλλες περιοχές με παρόμοιες συνθήκες αλλά η χρησιμοποίησή τους σε θέσεις με πολύ διαφορετικές συνθήκες χρειάζεται σκεπτικισμό.

## 2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΑΠΟ ΜΥΚΗΤΕΣ

Μεγάλος αριθμός εμποτιστικών ουσιών δοκιμάζονται κάθε χρόνο σε ερευνητικά εργαστήρια για να διαπιστωθεί η ικανότητά τους να προστατεύσουν το ξύλο από προσβολές μυκήτων. Με τις δοκιμές επιλογής γίνεται επιλογή των πιο αποτελεσματικών που αποτελούν μικρό ποσοστό του αρχικού αριθμού και σ' αυτά γίνονται στη συνέχεια δοκιμές επιβεβαίωσης και επιλέγονται ακόμη λιγότερα. Σε πολύ λίγα (τα πιο αποτελεσματικά) γίνονται δοκιμές εξομώσεως και σε ένα ή δύο δοκιμές υπηρεσίας.

Οι δοκιμές επιλογής γίνονται σε γιάλινα ή πλαστικά δοχεία (petri-dishes) μέσα στα οποία τοποθετείται το υπόστρωμα (π.χ. ξυλόσκονη, χαρτί κ.λ.π.) και μεταφέρεται ο μύκητας. Σε κάθε πείραμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερα από ένα συντηρητικά, υποστρώματα εμποτισμένα με διάφορες συγκεντρώσεις διαλύματος και διάφοροι μύκητες. Ο μύκητας αναπτύσσεται περισσότερο, λιγότερο ή καθόλου ανάλογα με την αποτελεσματικότητα του συγκεκριμένου εμποτιστικού. Με τον τρόπο αυτό απορρίπτονται οριστικά εμποτιστικά που δεν εμποδίζουν την ανάπτυξη των μυκήτων.

Όταν μία εμποτιστική ουσία κριθεί αποτελεσματική από τις δοκιμές επιλογής ακολουθούν δοκιμές επιβεβαίωσης σε μικρά δείγματα ξύλου που έχουν εμποτισθεί με διάφορες συγκεντρώσεις ενός προστατευτικού διαλύματος και μετά από ξήρανση και αποστείρωσή τους τοποθετούνται μέσα σε γιάλινα δοχεία.

Στα δοχεία αυτά εισάγεται ο μύκητας (λευκής ή καστανής σήψεως) και, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, παρακολουθείται η ανάπτυξή του. Με την πρόοδο της προσβολής, ξυλώδης ύλη καταναλώνεται από το μύκητα και, στο τέλος του πειράματος προσδιορίζεται η απώλεια βάρους των δειγμάτων η οποία αποτελεί μέτρο της αποτελεσματικότητας του εμποτιστικού. Η αποτελεσματικότητα εκφράζεται με τον όρο "τοξική τιμή" ή "τοξικό όριο" (toxic value, toxic limit) που είναι το εύρος μεταξύ της κατώτερης συγκέντρωσης του διαλύματος που μόλις προλαμβάνει την προσβολή και της συγκέντρωσης που μόλις επιτρέπει την προσβολή. Τα πειράματα περιλαμβάνουν και εργαστηριακές δοκιμές έκπλυσης του εμποτιστικού από το εμποτισμένο ξύλο με "πλύσιμο" των δειγμάτων για να διαπιστωθεί η αντίσταση του εμποτιστικού σε έκπλυση από το νερό της βροχής όταν το ξύλο βρίσκεται σε υπηρεσία. Μετά το "πλύσιμο" τα δείγματα ξύλου εκτίθενται στη δράση του μύκητα και εκτιμάται η ποσότητα του εμποτιστικού που παρέμεινε στο ξύλο.

Για τις παραπάνω δοκιμές, τα δείγματα ξύλου τοποθετούνται είτε πάνω σε malt agar\* (μέθοδος agar/ξύλου) είτε σε αποστειρωμένο έδαφος (μέθοδος εδάφους/ξύλου). Και στις δύο περιπτώσεις, οι συνθήκες (θρεπτικά συστατικά, υγρασία) είναι κατάλληλα για την ανάπτυξη των μυκήτων.

Σχετικά με τις μαλακές σήψεις δεν έχει διαπιστωθεί ποιά είδη μυκήτων είναι αποκλειστικά υπεύθυνα. Γι' αυτό οι εργαστηριακές δοκιμές περιλαμβάνουν τοποθέτηση δειγμάτων ξύλου μέσα σε έδαφος ή βερμικουλίτη. Όταν χρησιμοποιείται έδαφος, οι οργανισμοί που υπάρχουν σ' αυτό προκαλούν και την προσβολή των δειγμάτων ξύλου. Στην περίπτωση χρησιμοποίησης βερμικουλίτη ή άλλων αποστειρωμένων υποστρωμάτων μεταφέρεται συγκεκριμένος μύκητας ή διάφοροι γνωστοί μύκητες μαζί ή άγνωστοι μύκητες που καλλιεργούνται από έδαφος. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί, σύμφωνα με ορισμένες προδιαγραφές, και agar σαν υπόστρωμα. Στο τέλος του πειράματος, η μέτρηση της απώλειας του βάρους αποτελεί και μέτρο του βαθμού προστασίας του εμποτιστικού.

Στην περίπτωση χρωστικών μυκήτων (ευρωτίωσης, κυάνωσης) δείγματα σομφού ξύλου ραντίζονται ή εμβαπτίζονται στο εμποτιστικό (όπως συμβαίνει

---

\* Κατάλληλη ουσία που προέρχεται από κριθή και φυτά θαλάσσης που αναπτύσσονται πάνω σε βράχους και έχει μεγάλο ιξώδες.

και στην πράξη) και μετά την ξήρανσή τους "εμβολιάζονται" με μύκητες ευρωτίασης ή κυάνωσης και αποθηκεύονται σε ευνοϊκές για τους μύκητες συνθήκες ανάπτυξης. Στο τέλος του πειράματος (δύο βδομάδες ή περισσότερο) η προσβολή εκτιμάται οπτικά (μεταχρωματισμένα δείγματα ξύλου δείχνουν ότι το χημικό δεν είναι αποτελεσματικό).

Στις δοκιμές εξομοίωσης δεν είναι δυνατή η επιλογή του είδους των μυκήτων και τα αποτελέσματά τους είναι λιγότερα επαναλήψιμα από εκείνα των εργαστηριακών δοκιμών αλλά είναι περισσότερο εφαρμόσιμα επειδή οι συνθήκες του επιράματος είναι σχεδόν όμοιες με τις συνθήκες που επικρατούν στο ξύλο σε υπηρεσία. Διακρίνονται τρεις κυρίως τύποι δοκιμών εξομοίωσης όπως και στις εργαστηριακές δοκιμές επιβεβαίωσης.

α. Προσβολή ξύλου χωρίς να είναι σε επαφή με το έδαφος: Στις δοκιμές αυτές χρησιμοποιούνται δείγματα ξύλου που μοιάζουν στο σχήμα ή στον τρόπο κατασκευής με τα προϊόντα που χρησιμοποιούνται στην πράξη και αφορούν κυρίως στις εξωτερικές και ημιεξωτερικές ξυλουργικές κατασκευές αλλά και σε εσωτερικές κατασκευές όπου μπορεί να επικρατεί αρκετή υγρασία ή το ξύλο να έρχεται σε επαφή με πορώδη οικοδομικά υλικά. Στα σχήματα των πειραματικών δειγμάτων περιλαμβάνονται απλές, ξύλινες συνδέσεις σκελετών των παραθύρων, κατασκευές σχήματος "T" ή "L", λοξά διαμορφωμένα δείγματα, επίπεδες κατασκευές (για εξομοίωση με εξωτερικές επενδύσεις, πατώματα), κ.ά. Οι κατασκευές αυτές στηρίζονται σε κατάλληλες βάσεις έτσι ώστε οι συνθήκες έκθεσής τους να εξομοιώνονται με εκείνες του ξύλου σε υπηρεσία.

β. Προσβολή ξύλου σε επαφή με το έδαφος: Στην περίπτωση αυτή πάσσαλοι μικρού μήκους από εμποτισμένο και όχι εμποτισμένο ξύλο τοποθετούνται σε υπαίθριο χώρο μέσα στο έδαφος κατά το μισό του μήκους τους. Το μέγεθος των πειραματικών πασσάλων ποικίλει μεταξύ 20 mm τετραγωνικής διατομής και κανονικής διατομής στρωτήρα ή στύλου. Συνήθεις διαστάσεις είναι 600x50x50 mm. Οι πειραματικοί πάσσαλοι εξετάζονται περιοδικά και η αποτελεσματικότητα του εμποτιστικού προσδιορίζεται με τη διάρκεια ζωής των εμποτισμένων σε σύγκριση με όχι εμποτισμένους πασσάλους. Η αναμονή για πλήρη προσβολή όλων των πασσάλων δεν θεωρείται αναγκαία. Σαν μέση διάρκεια ζωής έχει προταθεί το χρονικό διάστημα κατά το οποίο προσβάλλεται πλήρως το 1/3 των πασσάλων. Αν χρησιμοποιηθούν μικροί πάσσαλοι (διατομής 20x20 mm), η προσβολή είναι ταχύτερη αλλά τα αποτελέσματα σχετίζονται δυσκολότερα με εκείνα των δοκιμών υπηρεσίας.

γ. Προσβολή ξύλου που έχει υλοτομηθεί ή πρισθεί πρόσφατα από μύκητες παράχρωσης και κυάνωσης: Στις δοκιμές χρησιμοποιούνται σανίδες από κωνοφόρα, διαστάσεων μέχρι 50x300x1200 mm, αμέσως μετά την πρίση και εμβαπτίζονται στο εμποτιστικό για 1 λεπτό. Μετά στοιβάζονται σε σανιδοπλάκες ή υπόστεγα και αφήνονται μέχρι να ξηραθούν. Πολλές φορές οι χειρισμοί των πειραματικών σανίδων είναι διαφορετικοί (έκθεση στον αέρα, κάλυψη με πλαστικά φύλλα, τεχνητή ξήρανση) για να γίνει εξομοίωση με οτιδήποτε συμβαίνει στην ξυλεία μετά την πρίση στην πράξη. Μετά από ορισμένες περιόδους εξετάζεται στις σανίδες ο βαθμός μεταχρωματισμού.

Δοκιμές υπηρεσίας γίνονται για εμποτιστικά που παράγονται σε εμπορική κλίμακα και περιλαμβάνουν εμποτισμό στύλων, στρωτήρων, κ.ά. σε κανονικά εμποτιστήρια και στις πραγματικές τους διαστάσεις. Τα εμποτισμένα προϊόντα τοποθετούνται σε διαφορετικές συνθήκες υπηρεσίας και εκτιμάται η διάρκεια ζωής τους με βάση το βαθμό αλλοίωσής τους και το ποσοστό αντικατάστασής τους με την πάροδο του χρόνου. Ο χρόνος αυτός μπορεί να είναι 1-2 χρόνια για εμποτιστικά που χρησιμοποιούνται για πρόληψη μεταχρωματισμών του ξύλου μέχρι 30-40 χρόνια για εμποτισμένη ξυλεία σε επαφή με το έδαφος (π.χ. στρωτήρες)

### 3. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΑΠΟ ΕΝΤΟΜΑ

Με δοκιμές προσδιορίζεται η αποτελεσματικότητα ενός εμποτιστικού στην πρόληψη της προσβολής του ξύλου από έντομα που ανήκουν στις τάξεις Κολεόπτερα και Ισόπτερα. Δοκιμές επιλογής περιλαμβάνουν άμεση εφαρμογή της εντομοκτόνου ουσίας στο συγκεκριμένο έντομο. Άλλες εργαστηριακές δοκιμές χρησιμοποιούν τη μέθοδο των γιάλινων δοχείων ως εξής:

Στην περίπτωση του εντόμου *Hylotrupes bajulus*, νεαρές προνύμφες που μόλις έχουν εκκολαφθεί εισάγονται μεταξύ πλανισμένης επιφάνειας δείγματος ξύλου και επιφάνειας γυάλινου δοχείου που απέχουν μεταξύ τους 1 mm και αφήνονται να προσβάλλουν το ξύλο. Μετά από παραμονή 4 εβδομάδων σε καλές συνθήκες ανάπτυξης τα δείγματα ξύλου φωτογραφίζονται με ακτίνες Χ. Με τις φωτογραφίες αυτές προσδιορίζονται ο αριθμός νεκρών και ζωντανών προνυμφών και η έκταση των στοών στα δείγματα ξύλου.

Για το *Anobium punctatum*, τα δείγματα ξύλου εκτίθενται κατάλληλα ώστε να εναποτεθούν πάνω σ'αυτά αυγά επειδή οι προνύμφες του εντόμου δεν είναι εύκολο να χρησιμοποιηθούν και στη συνέχεια ελέγχεται η απουσία

ή παρουσία της προσβολής.

Για τις παραπάνω δοκιμές που αφορούν ξυλεία που χρησιμοποιείται σε σπίτια, χρησιμοποιούνται δείγματα από ξύλο σε υπηρεσία που έχει υποστεί μερική γήρανση δηλ. παραμονή στη θέση υπηρεσίας (π.χ. σαν κατασκευή οροφής) για 1, 3, 6 και 10 χρόνια κατά τη διάρκεια της οποίας ένα μέρος του εμποτιστικού χάνεται κυρίως με βαθμιαία εξάτμιση και όχι με έκπλυση από βροχή. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν δείγματα ξύλου που έχουν υποστεί τεχνητή γήρανση. Στην τελευταία περίπτωση η αξιολόγηση είναι πολύ ταχύτερη.

Για τερμίτες, οι δοκιμές περιλαμβάνουν τοποθέτηση μικρών δειγμάτων ευπαθούς ξύλου μετά από εμποτισμό τους κάτω, πάνω ή στην επιφάνεια υγρού υποστρώματος (έδαφος, βερμικουλίτης) που περιέχεται σε γιάλινο δοχείο. Η τοποθέτηση με διάφορους τρόπους γίνεται σκόπιμα για να εξομοιωθεί το πείραμα με τις συνθήκες που επικρατούν σε υπηρεσία. Με τοποθέτηση των δειγμάτων ξύλου πάνω από το υπόστρωμα γίνεται εξομοίωση με την προσβολή ξύλων πάνω από το έδαφος (π.χ. πατώματα πάνω από θεμέλια). Τα δείγματα που τοποθετούνται στην επιφάνεια του υποστρώματος αναπαριστούν τις συνθήκες προσβολής του ξύλου σε υπηρεσία όταν είναι σε επαφή με το έδαφος. Στη δοκιμή μπορούν να περιληφθούν και δείγματα χωρίς εμποτισμό. Οι τερμίτες που χρησιμοποιούνται στις δοκιμές παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Ο αριθμός των εντόμων που τοποθετούνται στο γιάλινο δοχείο σε κάθε δοκιμή διαφέρει από 10 ως 10.000 ανάλογα με το μέγεθος της φυσικής κοινωνίας των εντόμων. Στο τέλος του πειράματος, η προσβολή των δειγμάτων ξύλου εκτιμάται με προσδιορισμό της απώλειας βάρους τους ή οπτικά. Γίνεται επίσης μέτρηση των ζωντανών τερμιτών και, όπου είναι δυνατό, περιγράφεται η συμπεριφορά τους κατά τη διάρκεια του πειράματος. Πειράματα μπορούν να γίνουν και σε δείγματα ξύλου που έχουν υποστεί μερική έκπλυση (φυσική ή τεχνητή) προηγουμένως.

Στις δοκιμές εξομοίωσης και όταν πρόκειται για προσβολές ξύλου από έντομα μέσα σε σπίτια ο μόνος τρόπος αξιολόγησης είναι η φυσική γήρανση των δειγμάτων ξύλου όπως περιγράφηκε παραπάνω. Στο ύπαιθρο όμως, και όπου υπάρχει κίνδυνος από τερμίτες υπάρχουν διάφοροι τύποι δοκιμών. Σύμφωνα με μία δοκιμή, δείγματα ξύλου τοποθετούνται μέσα σε δασικό έδαφος στο οποίο υπάρχουν φυσικά υπόγειοι τερμίτες. Το πάνω μέρος του δείγματος σκεπάζεται με γιάλινο δίσκο ο οποίος με κατάλληλο χειρισμό δεν επιτρέπει το ηλιακό φως να περάσει για να μην εμποδιστεί η δραστηριότητα των τερμιτών. Μετά από μερικές εβδομάδες, ο βαθμός προσβολής εκτιμάται με την έκταση των στοών στα δείγματα ξύλου που γίνεται με φωτογράφιση ή σκιαγράφιση των περιοχών του ξύλου όπου έχει μεταφερθεί έδαφος.

Οι δοκιμές υπηρεσίας διαρκούν μέχρι 30 ή και περισσότερα χρόνια και γίνονται κυρίως από κατασκευαστές εμποτιστικών και βιομηχανίες εμποτισμού που γνωρίζουν επακριβώς τις συνθήκες εμποτισμού και έχουν πρόσβαση στις θέσεις εγκαταστάσεων του ξύλου. Από το ξύλο σε υπηρεσία παίρνονται δείγματα σε διάφορα χρονικά διαστήματα και γίνεται χημική και βιολογική αξιολόγηση του εμποτιστικού.

#### 4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ.

Σύμφωνα με τη μόνη δοκιμή επιλογής που αναπτύχθηκε, διάφορες συγκεντρώσεις χημικού προστίθενται σε αλατόνερο που περιέχει θαλασσινούς οργανισμούς. Ο χρόνος που χρειάζεται για τη θανάτωση των οργανισμών αποτελεί δείκτη αποτελεσματικότητας του εμποτιστικού. Η γνωστή αυτή δοκιμή "τοξικότητας" (toxicity screening test) επιτρέπει τη γρήγορη αξιολόγηση μεγάλου αριθμού εμποτιστικών.

Οι δοκιμές επιβεβαίωσης περιλαμβάνουν έκθεση μικρών δειγμάτων ξύλου μετά από εμποτισμό στη δράση θαλασσινών οργανισμών μέσα σε ειδικά δοχεία. Επειδή οι συνθήκες είναι καλές για την ανάπτυξη των οργανισμών και τα δείγματα ξύλου μικρά, η προσβολή των δειγμάτων προχωρεί γρήγορα και τα αποτελέσματα είναι επαναλήψιμα και συσχετίζονται καλά με την πράξη.

Οι δοκιμές επιβεβαίωσης περιλαμβάνουν τοποθέτηση πειραματικών δειγμάτων ξύλου ή κατασκευών ξύλου (εμποτισμένων ή όχι) σε περιοχές που είναι δυνατή η προσβολή τους από θαλασσινούς οργανισμούς και εκτιμάται συγκριτικά η αντοχή εμποτισμένου ξύλου και η αποτελεσματικότητα του εμποτιστικού.

#### 5. ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΑΦΗΣ, ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ, ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ.

Το εμποτισμένο ξύλο είναι ανάγκη πολλές φορές να βαφεί, συγκολληθεί ή συνδεθεί με άλλα μέρη με τη βοήθεια μεταλλικών συνδέσεων. Χρειάζεται επίσης να ελεγχθεί η μηχανική αντοχή του ξύλου μετά τον εμποτισμό όταν αποτελεί κυρίαρχη ιδιότητα σε ορισμένες χρήσεις.

Η δυνατότητα βαφής του εμποτισμένου ξύλου ενδιαφέρει πολύ τους κατασκευαστές ξυλουργικών κατασκευών. Ξύλο που έχει εμποτισθεί με οργανικά διαλύματα είτε με εμβάπτιση είτε με διπλό κενό πρέπει μέσα σε 24-48 ώρες να αρχίσει η βαφή του. Αν ο διαλύτης δεν είναι πολύ πτητικός ή το ξύλο είναι πολύ διαπερατό το εμποτιστικό παραμένει στην επιφάνεια και ο δεσμός μπογιάς-ξύλου είναι χαλαρός ή δεν πετυχαίνεται συγκόλληση. Εργαστηριακές δοκιμές περιλαμβάνουν εμποτισμό σανίδων ξύλου με διαφορετική διαπερατότητα και με διάφορες εμποτιστικές ουσίες, ξήρανσή τους σε δια-



φορετικά χρονικά διαστήματα και στη συνέχεια βαφή τους με κατάλληλες μπογιές και έλεγχο της ποιότητας, ομοιομορφίας και χρώματος της βαφής.

Η καλή συγκόλληση εμποτισμένων τεμαχίων ξύλου θεωρείται επίσης απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση εμποτιστικών ουσιών σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. ξυλουργικές κατασκευές). Οι δοκιμές περιλαμβάνουν μέτρηση της αντοχής του δεσμού μεταξύ εμποτισμένων τεμαχίων ξύλου και προσδιορισμό του ποσοστού θραύσης μέσα στο ξύλο και μεταξύ των επιφανειών ξύλου. Θραύση αποκλειστικά μέσα στο ξύλο δείχνει ασφαλώς καλή ποιότητα δεσμού.

Η διάβρωση μεταλλικών αντικειμένων που έρχονται σε επαφή με εμποτισμένο ξύλο κατά τη σύνδεση διαφόρων μελών του είναι ανεπιθύμητη. Για τον προσδιορισμό του βαθμού διάβρωσης, οι εργαστηριακές δοκιμές περιλαμβάνουν εμφύσηση μεταλλικών αντικειμένων (ορείχαλκος, αλουμίνιο, κ.ά) γνωστού πάχους σε διάφορες συγκεντρώσεις εμποτιστικού και, έπειτα από ορισμένη χρονική περίοδο (συνήθως 6 μήνες), καθαρισμό των μεταλλικών δειγμάτων, επαναζύγιση και υπολογισμό της διαφοράς αρχικού και τελικού πάχους. Σε άλλες δοκιμές, μεταλλικά αντικείμενα φέρονται σε επαφή με εμποτισμένα δείγματα ξύλου σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα μετά τον εμποτισμό και έπειτα από αναμονή 6 μηνών σε διαφορετικές συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας προσδιορίζεται ο βαθμός διάβρωσης.

Η επίδραση του εμποτιστικού στη μηχανική αντοχή του ξύλου ελέγχεται με συγκριτικό προσδιορισμό διαφόρων μηχανικών ιδιοτήτων εμποτισμένου και όχι εμποτισμένου ξύλου σε μικρά δείγματα αλλά και σε μεγάλους δοκούς. Σε κατασκευές που η μηχανική αντοχή του ξύλου αποτελεί βασικό στοιχείο οι δοκιμές αυτές είναι απαραίτητες.

Οι δοκιμές που περιγράφηκαν παραπάνω είναι βασικές αλλά υπάρχουν και άλλες που αφορούν στην επίδραση εμποτιστικών ουσιών σε οργανισμούς, στην έκπλυση του εμποτιστικού από εμποτισμένο ξύλο κατά τη διάρκεια υπηρεσίας του, στην κατανομή του εμποτιστικού μέσα στο ξύλο κ.λ.π. Πολλές από τις δοκιμές γίνονται με βάση καθιερωμένες προδιαγραφές αλλά μεταξύ κρατών υπάρχουν διαφοροποιήσεις και μπορεί να έχουν αναπτυχθεί και διαφορετικές μέθοδοι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8ο

ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Τα εμποτιστικά ξύλου είναι σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό τοξικά και δηλητηριώδη σε μύκητες, έντομα και θαλασσινούς οργανισμούς. Η ανεξέλεγκτη όμως διαροή τους και η παρουσία τους σε τροφές, σε νερό που χρησιμοποιείται για άρδευση λαχανικών ή άλλων φυτών, σε πόσιμο νερό, κ.λ.π., μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα.

Στους χώρους εργασίας μπορούν επίσης να προκληθούν κίνδυνοι στην υγεία του ανθρώπου από τη χρησιμοποίηση εμποτιστικών αλλά και ατυχήματα από το χειρισμό ξυλείας και των μηχανημάτων. Οι αυξημένοι αυτοί κίνδυνοι που υπάρχουν στους χώρους εμποτισμού του ξύλου για τους εργαζόμενους μπορούν να ελαχιστοποιηθούν αν υπάρχουν σωστός σχεδιασμός, λειτουργία και οργάνωση της μονάδας. Όλοι όσοι εμπλέκονται στον εμποτισμό του ξύλου (εργοστάσια παραγωγής εμποτιστικών ουσιών και μηχανημάτων, διευθυντικά στελέχη εργοστασίων εμποτισμού, τεχνικοί, χειριστές μηχανημάτων κάθε είδους και άλλοι εργαζόμενοι) έχουν ο καθένας μέρος της ευθύνης για το βαθμό ασφάλειας των απασχολουμένων σε μια μονάδα εμποτισμού.

Κίνδυνοι μόλυνσης τροφών, περιβάλλοντος εσωτερικών και εξωτερικών χώρων, φυτών, ζώων και ανθρώπων είναι δυνατό να παρουσιασθούν και από εμποτισμένο ξύλο σε υπηρεσία για διάφορους λόγους όπως π.χ. ακατάλληλος εμποτισμός, χρησιμοποίηση όχι κατάλληλου εμποτιστικού, έκπλυση εμποτιστικού, κ.ά.

2. ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ ΣΕ ΕΡΓΟΣΤΑΣΙΑ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ

Οι πιθανότητες ατυχημάτων σε εργαζόμενους στις μονάδες εμποτισμού είναι μεγάλες εφόσον δεν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για την εγκατάσταση και την ασφαλή λειτουργία τους και οφείλονται σε διάφορα αίτια.

Ατυχήματα μπορούν να προκληθούν με πτώση ξυλείας από στοίβες, φορτωμένα αυτοκίνητα, περονοφόρα και άλλα οχήματα μεταφοράς, βαγονέτα κ.λ.π. Για την αποφυγή των ατυχημάτων πρέπει η στοίβαση της ξυλείας να γίνεται σε σταθερές βάσεις, να χρησιμοποιούνται διαχωριστικοί πήχεις

για μεγαλύτερη σταθερότητα, η κορυφή κάθε στοιβάδας να διατηρείται επίπεδη και καθαρή, οι εργαζόμενοι να μην στέκονται ή εργάζονται κάτω ή κοντά σε φορτία ξυλείας όταν αυτά πρόκειται να δεθούν, ανυψωθούν ή μετακινηθούν και να χρησιμοποιούνται προστατευτικά κράνη.

Η μετακίνηση (χειρωνακτική ή μηχανική) και ο χειρισμός αντικειμένων και κατασκευών μεγάλου βάρους (ξυλεία, δοχεία με εμποτιστικά, πόρτες κυλίνδρων, μηχανήματα κάθε είδους) χρειάζονται βασικά μέτρα ασφαλείας για να γίνεται πρόληψη των ατυχημάτων π.χ. χρησιμοποίηση κατάλληλης ενδυμασίας, υποδημάτων, γαντιών και ορθολογικός τρόπος ανασήκωσης, μεταφοράς και τοποθέτησης ενός δοχείου με συντηρητικό ή άλλου αντικειμένου, προσεκτική συντήρηση και οδήγηση των μηχανημάτων (εξασφάλιση μέγιστης δυνατής ορατότητας, αποφυγή απότομων κινήσεων, τοποθέτηση του φορτίου με συμμετρία, σταθερότητα και με μεγαλύτερο πλάτος παρά ύψος εφόσον αυτό είναι δυνατό, τήρηση γενικών κανόνων οδήγησης, κ.λ.π.). Είναι σημαντικό, ο χώρος του εργοστασίου να είναι κατάλληλα διαμορφωμένος και να μην υπάρχουν εμπόδια (διασκορπισμένη ξυλεία, σωληνώσεις, ανωμαλίες εδάφους, υπερυψωμένες προεξοχές κτισμάτων, άτακτη στοίβαση ξυλείας, λιμνάζοντα νερά, κ.ά) στους διαδρόμους κίνησης εργαζομένων και μηχανημάτων.

Κατά την διαδικασία εμποτισμού είναι δυνατό να δημιουργηθούν κίνδυνοι στην υγεία και ασφάλεια των εργαζομένων από το ίδιο το εμποτιστικό αλλά και από την κίνηση των βαγονέτων εντός και εκτός του κυλίνδρου και τις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Εκτός από την κατάλληλη ενδυμασία και υπόδηση πρέπει να χρησιμοποιούνται μάσκες κατά την προετοιμασία διαλυμάτων συντηρητικών και να μην εκτίθενται και καταναλώνονται τρόφιμα ή ποτά κοντά σε εμποτιστικά. Τα βαγονέτα να έχουν πλευρικούς βραχίονες για συγκράτηση στρόγγυλου ξύλου, η πριστή ξυλεία να μην εξέχει από τις πλευρές του βαγονέτου και κάθε φορτίο να δένεται. Για την κίνηση των βαγονέτων μέσα και έξω από τον κύλινδρο να χρησιμοποιούνται κατάλληλοι μηχανισμοί ώθησης ή έλξης και σταθεροποίησής τους και οι ηλεκτρικές εγκαταστάσεις να ελέγχονται τακτικά.

Τα εργοστάσια εμποτισμού θεωρούνται περιοχές υψηλού κινδύνου από άποψη πυρκαϊάς και πρέπει να τηρούν τα αναγκαία μέτρα ασφαλείας. Πυρκαϊές μπορούν να προκληθούν κατά τη διάρκεια ή και μετά το τέλος (π.χ. εμπρησμοί) της εργασίας. Προληπτικά μέτρα για τον κίνδυνο πυρκαϊάς είναι: απαγόρευση καπνίσματος σε τμήματα της μονάδας με μεγάλο κίνδυνο πυρκαϊάς, τακτικός έλεγχος ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και συστημάτων θέρμανσης, εγκατάσταση δικτύου πυροσβεστήρων σε κατάλληλες θέσεις ώστε να είναι προσιτοί και να μην εμποδίζουν την κίνηση, απομάκρυνση κάθε είδους εμποδίων και καθα-

ρισμός χώρων, συντήρηση μηχανών, τοποθέτηση εύφλεκτων υλικών μακριά από θερμαντικά σώματα, τοποθέτηση φυλάκων μετά το τέλος της εργασίας, κ.ά. Υπάρχουν διάφοροι τύποι πυροσβεστήρων που χρησιμοποιούν κατά τη λειτουργία τους νερό με υψηλή πίεση, διοξειδίο του άνθρακος με υψηλή πίεση, αφρώδη χημικά, εξατμιζόμενα υγρά ή σκόνη. Ο μηχανισμός κατάσβεσης της φωτιάς από τα περισσότερα χημικά που χρησιμοποιούνται στηρίζεται κυρίως στη δημιουργία ενδιάμεσου στρώματος απομόνωσης μεταξύ της φωτιάς και του αέρα. Η καταστολή της πυρκαϊάς εξαρτάται πολλές φορές από την έγκαιρη ειδοποίηση (π.χ. με αυτόματο σύστημα συναγερμού) και επέμβαση.

Άλλα αίτια πρόκλησης ατυχημάτων που μπορούν όμως να αποφευχθούν είναι η μειωμένη προσοχή των εργαζομένων κατά τη διάρκεια της εργασίας, ολισθηρά δάπεδα, όχι ικανοποιητικές συνθήκες εργασίας (κακός αερισμός, ανεπαρκής θέρμανση, φωτισμός και καθαριότητα, δυσκολίες στην άνετη κίνηση των εργαζομένων, υπερβολικός θόρυβος μηχανών), ακατάλληλη ενδυμασία, κ.ά.

### 3. ΑΣΦΑΛΗΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΩΝ

Οι εμποτιστικές ουσίες πρέπει να χρησιμοποιούνται πάντα με προσοχή για να αποφεύγονται βλάβες στην υγεία των εργαζομένων. Οι κίνδυνοι εξαρτώνται από το βαθμό τοξικότητας του κάθε συντηρητικού, τη μορφή με την οποία διατίθενται (σε υγρή μορφή, σε σκόνη), τον τύπο συσκευασίας, και τον τρόπο προετοιμασίας του διαλύματος και της εφαρμογής του στο ξύλο.

Οι προστατευτικές χημικές ουσίες μπορούν να μπουν στο σώμα του ανθρώπου με την αναπνοή, το στόμα ή από την επαφή με το δέρμα. Τοξικοί ατμοί ή σταγονίδια από οργανικά διαλύματα, πισσέλαιο, άνοιγμα πόρτας κυλίνδρου μετά τον εμποτισμό και μικροποσότητες σκόνης εμποτιστικών (κυρίως CCA) κατά την διάρκεια προετοιμασίας των διαλυμάτων είναι εύκολο να μπουν με την αναπνοή στους πνεύμονες, να μεταφερθούν τοξικά συστατικά στο αίμα και να προκαλέσουν βλάβες. Είσοδος τοξικών συστατικών από το στόμα γίνεται όταν τα εμποτιστικά έρθουν σε επαφή με τα χέρια, το πρόσωπο ή με τροφές και στη συνέχεια μεταφέρονται στο στόμα και γίνεται κατάποσή τους. Τα εμποτιστικά μπουν επίσης να ρθούν σε επαφή με το δέρμα σε πολλές περιπτώσεις όπως κατά την εκφόρτωση ή μεταφορά νέων ποσοτήτων εμποτιστικών στις δεξαμενές αποθήκευσης, προετοιμασία διαλυμάτων άδειασμα κυλίνδρου, κ.λ.π. Η απορρόφηση πολλών εμποτιστικών από το δέρμα είναι αργή και τα συμπτώματα εμφανίζονται μετά από παρέλευση αρκετού χρόνου. Τα οργανικά όμως διαλύματα απορροφώνται γρήγορα λόγω της

συγγένειας με τα λιπαρά συστατικά του δέρματος και μπορούν να μεταφέρουν τοξικές ουσίες (π.χ. πενταχλωροφαινόλη) μέσα στο σώμα.

Για τον προσδιορισμό του βαθμού τοξικότητας μιας χημικής ουσίας, οι τοξικολόγοι χρησιμοποιούν πειραματόζωα (κατάλληλα εργαστηριακά ποντίκια) στα οποία εισάγουν από το στόμα τους ποσότητες του χημικού (σε mg ουσίας/kg βάρους πειραματόζωου) και αξιολογούν τα αποτελέσματα. Η δόση που θανατώνει τα μισά (50%) των πειραματόζωων ονομάζεται "οξεία, θανατηφόρος δόση από το στόμα" (acute-oral-lethal dose) και συμβολίζεται "LD<sub>50</sub>". Με βάση τη δόση αυτή εκτιμώνται και οι επιδράσεις ή βλάβες που μπορεί να έχει το χημικό για τον άνθρωπο. Οι δοκιμές αυτές θεωρούνται πιά αντιπροσωπευτικές για πιθανές βλάβες της υγείας αλλά ειδικές δοκιμές μπορούν να γίνουν και με επίδραση των χημικών ουσιών στο δέρμα ή στα μάτια. Δοκιμές τοξικότητας γίνονται και σε φυτά. Η "διαχρονική τοξικότητα" μιας χημικής ουσίας προσδιορίζεται επίσης σε πειραματόζωα στα οποία δίνονται καθορισμένες μικροποσότητες χημικού μαζί με την τροφή τους και καταγράφονται τα συμπτώματα με την πάροδο του χρόνου. Η διαχρονική τοξικότητα εκφράζεται με την ποσότητα του χημικού (σε ppm τροφής) που προκαλεί εμφανή (μετρήσιμα) συμπτώματα στα πειραματόζωα. Όσο πιά μικρή είναι η τιμή LD<sub>50</sub> τόσο πιά μεγάλος ο βαθμός τοξικότητας ενός χημικού και όσο πιά λίγη η ποσότητα του χημικού που χρειάζεται για να προκαλέσει διαχρονικά εμφανή συμπτώματα στον οργανισμό τόσο μεγάλη είναι η διαχρονική τοξικότητα. Δοκιμές ανάλογες με εκείνες για τον προσδιορισμό της διαχρονικής τοξικότητας γίνονται και για την εκτίμηση της ικανότητας μιας χημικής ουσίας για καρκινογένεση. Στην περίπτωση αυτή γίνονται παρατηρήσεις μετά από δύο χρόνια για το αν έχουν δημιουργηθεί ανώμαλοι ιστοί ή όγκοι στα πειραματόζωα. Πρέπει να σημειωθεί ότι η αντίδραση του ανθρώπινου οργανισμού στην επίδραση μιας χημικής ουσίας μπορεί να μην είναι ακριβώς ίδια με εκείνη των πειραματόζωων αλλά η χρησιμότητα και η πρακτική σημασία των παραπάνω δοκιμών είναι αναμφισβήτητη.

Υπάρχει σωρεία προληπτικών μέτρων ασφάλειας που πρέπει να παίρνονται από τα εργοστάσια εμποτισμού αλλά και τους ίδιους τους εργαζόμενους κατά την χρησιμοποίηση και εφαρμογή των εμποτιστικών ουσιών ώστε να αποφεύγονται βλάβες της υγείας. Τέτοια μέτρα αναφέρονται κατά περίπτωση τα εξής: επαρκής αερισμός, χρησιμοποίηση μάσκας, γαντιών, και κράνους, τροποποίηση μεθόδων σε ορισμένες περιπτώσεις, ύπαρξη εγκαταστάσεων καθαριότητας των εργαζομένων (λουτρών, κ.ά.) και προσωπικού παροχής πρώτων βοηθειών, λήψη τροφής ή νερού και κάπνισμα μακριά από εμποτιστικές ουσίες και μετά από πλύσιμο ή και αλλαγή ρούχων, ασφαλής και ανθεκτική συσκευασία των εμποτιστικών, καλός σχεδιασμός και οργάνωση του εργοστασίου για να μην διασκορπίζονται ποσότητες εμποτιστικών ουσιών σε διάφορα μέρη της βιομηχανικής περιοχής, προετοιμασία των διαλυμάτων με ακίνδυνο τρόπο κ.ά.

Εμποτιστικά παρασκευάζονται σε όλο τον κόσμο και η μεταφορά τους γίνεται με όλα σχεδόν τα συγκοινωνιακά μέσα (φορτηγά, τρένα, πλοία). Για τη μεταφορά τους χρησιμοποιούνται ανθεκτικά μεταλλικά ή πλαστικά δοχεία (βαρέλια) ή και κατάλληλες δεξαμενές των συγκοινωνιακών μέσων (βυτίων) από τις οποίες η εκφόρτωση του εμποτιστικού γίνεται κατ'ευθείαν στις δεξαμενές αποθήκευσης. Πλαστικά δοχεία χρησιμοποιούνται κυρίως για μεταφορά του εμποτιστικού CCA σε μορφή πάστας τα οποία, μετά την κατανάλωση του εμποτιστικού, μπορούν να επιστραφούν καθαρά για επαναχρησιμοποίηση. Τα μεταλλικά δοχεία δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν αλλά διατίθενται σαν πρώτη ύλη αφού πρώτα ανοιχθούν και οι δύο βάσεις τους και καθαριστούν καλά για να αποφευχθεί μόλυνση του περιβάλλοντος και κίνδυνος της υγείας των μεταλλουργών. Η χρησιμοποίηση βυτίων έχει ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους μεταφοράς των εμποτιστικών (π.χ. είναι απλούστερη, δεν υπάρχει πρόβλημα διάθεσης των δοχείων, κ.ά.) και αναμένεται να αυξηθεί στο μέλλον. Για μείωση και πρόληψη των κινδύνων που μπορούν να προκληθούν από εμποτιστικές ουσίες είναι απαραίτητο να υπάρχουν σε κάθε δοχείο απαραίτητες πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο, τους ενδεχόμενους κινδύνους και τις πρώτες βοήθειες σε περίπτωση ανάγκης. Επίσης, πρέπει να εξασφαλίζεται η ασφαλής μεταφορά των εμποτιστικών και η λήψη κατάλληλων μέτρων καταστολής των κινδύνων σε έκτακτες περιπτώσεις. Στο χώρο του εργοστασίου όπου τα εμποτιστικά αποθηκεύονται σε μεγάλες ποσότητες σε δεξαμενές πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή και να παίρνονται τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας (π.χ. ανθεκτικές κατασκευές, προληπτικά και κατασταλτικά μέτρα κατά της φωτιάς, καθαριότητα, κ.ά.).

Με την καθημερινή χρησιμοποίηση των εμποτιστικών είναι δυνατό να διασκορπισθούν ποσότητες των χημικών με διάφορους τρόπους είτε στο χώρο του εργοστασίου είτε και έξω από αυτόν. Ο έλεγχος των κινδύνων από αυτή τη διασπορά των συντηρητικών ουσιών γίνεται με περιορισμό της πρόσβασης άλλων εργαζομένων, εκτός του αναγκαίου προσωπικού που παίρνει τα κατάλληλα μέτρα προστασίας, σε "κρίσιμες" θέσεις του εργοστασίου (δεξαμενές αποθήκευσης και ανάμιξης, κύλινδρος, σιδηροτροχιές κοντά στον κύλινδρο, θέσεις στράγγισης) και με κατάλληλη οργάνωση και λειτουργία του εργοστασίου.

Για να μην μεταφέρονται ποσότητες χημικών εκτός της περιοχής του εργοστασίου πρέπει να γίνεται καλή αποστράγγιση του εμποτισμένου ξύλου πριν διατεθεί και να καθαρίζονται καλά τα άδεια δοχεία πριν επιστραφούν ή διατεθούν.

Στο σχεδιασμό του εργοστασίου πρέπει να παίρνονται υπόψη όλοι εκείνοι οι παράγοντες που είναι απαραίτητοι για την ασφαλή αποθήκευση, διακίνηση, μίξη και εφαρμογή των εμποτιστικών ουσιών. Ένα καλά σχεδιασμένο

και εγκατεστημένο εργοστάσιο εμποτισμού δεν προκαλεί βλάβες στην υγεία των εργαζομένων και μόλυνση του περιβάλλοντος (αέρας, έδαφος, νερό) αν λειτουργεί κατάλληλα. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην προετοιμασία διαλυμάτων. Ο χειριστής δεν πρέπει να κάνει ανάμιξη ή διάλυση εμποτιστικών με ανοικτά τα δοχεία που περιέχουν χημικές ουσίες σε μεγάλη συγκέντρωση αλλά σε κλειστό σύστημα ώστε να αποφεύγεται διασπορά των ουσιών αυτών. Ένα τέτοιο σύστημα προϋποθέτει σύνδεση του (κλειστού) δοχείου που περιέχει εμποτιστικό (σε πάστα ή σε σκόνη) με τη δεξαμενή ανάμιξης. Με τη βοήθεια σωλήνωσης και αντλίας διοχετεύεται από τη δεξαμενή στο δοχείο νερό που επιστρέφει με άλλη σωλήνωση στην ίδια δεξαμενή αφού διαλύσει και παρασύρει την εμποτιστική ουσία που περιέχεται στο δοχείο. Διασπορά εμποτιστικών ουσιών κατά τη λειτουργία του εμποτιστηρίου μπορεί να γίνει και κατά τη μεταφορά και στοίβαση του εμποτισμένου ξύλου, την έκλυση του εμποτιστικού από βροχή, την επιστροφή ή διάθεση δοχείων χωρίς να έχουν καθαριστεί από υπολείμματα εμποτιστικής ουσίας, από διαρροές δεξαμενών και σωληνώσεων, κ.λ.π. Περιορισμός της διασποράς των εμποτιστικών στις περιπτώσεις αυτές πετυχαίνεται με εφαρμογή κενού στο τελικό στάδιο του εμποτισμού για απομάκρυνση της περισσειας του εμποτιστικού από το ξύλο, με παραμονή της ξυλείας μέσα στον κύλινδρο για λίγο χρόνο μετά τον εμποτισμό και κλίση του φορτίου για μερική αποστράγγιση, με μεταφορά του εμποτισμένου ξύλου σε ειδικούς χώρους αποστράγγισης και συλλογής της περισσειας του εμποτιστικού, με χρησιμοποίηση σκεπάστρων για να μην γίνεται έκλυση του εμποτιστικού από το εμποτισμένο ξύλο με τη βροχή, με ξέπλυμα του εμποτισμένου με CCA ξύλου στους χώρους αποστράγγισης ώστε να απομακρυνθούν επιφανειακοί κρύσταλλοι αλάτων, με καθαρισμό και πλύσιμο των δοχείων πριν από τη διάθεσή τους, με έλεγχο της στεγανότητας των δεξαμενών, σωληνώσεων, κυλίνδρου, κ.ά.

Το αποτέλεσμα από τη διαρροή εμποτιστικών ουσιών σε ένα εργοστάσιο είναι η μόλυνση του περιβάλλοντος (αέρα, εδάφους, νερού). Σήμερα, η μόλυνση του περιβάλλοντος είναι γενικά έντονη και παρατηρείται διεθνώς μια δικαιολογημένη ευαισθησία στο ζήτημα αυτό η οποία επιβάλλει τη διαμόρφωση και εφαρμογή σχετικής νομοθεσίας σε κάθε περίπτωση. Το πιο σημαντικό πρόβλημα μόλυνσης από τις βιομηχανίες είναι η μόλυνση του νερού της γειτονικής περιοχής. Η μόλυνση ενός παρακείμενου ποταμού, λίμνης ή πηγής μπορεί να γίνει με άμεση εκβολή ή παράσυρση των διαρροών χημικών ουσιών και αποβλήτων των εργοστασίων ή μετά από στράγγιση των ουσιών αυτών στο έδαφος και υπόγεια κίνησή τους. Η μελέτη της περιεκτικότητας του νερού σε διάφορες τοξικές ουσίες καθορίζει το βαθμό μόλυνσής του και τα αναγκαία μέτρα ασφάλειας που επιβάλλεται να παίρνονται από τις βιομηχανίες οι οποίες επηρεάζουν την περιοχή. Για το σκοπό αυτό χρησιμο-

ποιούνται γενικά κριτήρια ποιότητας νερού που περιγράφουν τι δεν πρέπει να περιέχει το νερό (π.χ. έλαια, διάφορα σωματίδια, τοξικές ουσίες, ουσίες που προσδίδουν χρώμα ή οσμή, οξέα, κ.ά.) αλλά και ειδικότερα κριτήρια που περιλαμβάνουν ανώτατα επιτρεπόμενα όρια ορισμένων ουσιών στο νερό. Τα όρια αυτά συνήθως διαφέρουν κατά περίπτωση και σχετίζονται με τις "κλάσεις χρησιμοποίησης νερού" (π.χ. πόσιμο νερό, νερά αναψυχής, νερά για γεωργική και βιομηχανική χρήση, νερά από τα οποία συλλέγονται οστρακόδερμα, νερά για εκτροφεία ψαριών, κ.λ.π.). Για την αξιολόγηση της επίδρασης βιομηχανικών λυμάτων ή άλλων ουσιών στην ποιότητα του νερού εξετάζονται διεθνώς συνήθως τέσσερις παράμετροι, οι εξής: βαθμός έλλειψης οξυγόνου στα βιομηχανικά λύματα, και περιεκτικότητα οξυγόνου στο νερό που μολύνεται (εκφράζονται σε mg οξυγόνου/λίτρο νερού), πληθυσμός παθογενών βακτηρίων και συγκέντρωση τοξικών ουσιών στο νερό που μολύνεται. Ένα παράδειγμα ανώτατων επιτρεπόμενων ορίων ορισμένων τοξικών ουσιών που είναι δυνατό να προέρχονται από απόβλητα βιομηχανιών εμποτισμού, σε πόσιμο νερό δίνεται παρακάτω:

Ουσία	Ανώτατο επιτρεπτό όριο (mg/λίτρο)
Χαλκός	0,50
Χρώμιο	0,05
Αρσενικό	0,05
Ψευδάργυρος	1,00
Φθοριούχες ενώσεις 0,8-1,7 (αντιστρόφως ανάλογο με τη μέση ετησια θερμοκρασία)	
Φαινόλη	0,001
Πενταχλωροφαινόλη	0,05

#### 4. ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΚΑΙ ΕΚΠΛΥΣΗ ΕΜΠΟΤΙΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΞΥΛΟ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΕ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Οι μηχανισμοί και ο βαθμός έκπλυσης και αλλοίωσης των εμποτιστικών ουσιών σε εμποτισμένο ξύλο που βρίσκεται σε υπηρεσία καθώς και οι επιδράσεις στο περιβάλλον γενικότερα αποτελούν σημαντικά στοιχεία για την αποδοχή και χρησιμοποίηση των εμποτιστικών ουσιών και για την προστασία της υγείας



των ζωντανών οργανισμών και του περιβάλλοντος. Το ενδιαφέρον για τη μελέτη των παραπάνω στοιχείων παρουσιάζεται όλο και περισσότερο αυξημένο τελευταία και συνδέεται με τη γενικότερη ευαισθητοποίηση που υπάρχει για τη μόλυνση του περιβάλλοντος και την υγιεινή τροφίμων και φυτικών και ζωικών οργανισμών. Πρέπει να σημειωθεί ότι, η μελέτη των στοιχείων αυτών για εκαντοντάδες εμποτιστικές ουσίες που ήδη χρησιμοποιούνται ή για άλλες νέες που κυκλοφορούν κάθε φορά και η συναγωγή συμπερασμάτων είναι μακροχρόνια υπόθεση και, παρά τα σημαντικά βήματα που έχουν γίνει, παρουσιάζει δυναμικό χαρακτήρα λόγω των νέων συμπερασμάτων που προστίθενται.

Στην αλλοίωση και έκπλυση των εμποτιστικών από το εμποτισμένο ξύλο εμπλέκονται βιολογικοί παράγοντες (βακτήρια και μύκητες κυρίως) και αβιοτικοί παράγοντες (φώς, θερμότητα, νερό). Το είδος του εμποτιστικού και οι συνθήκες υπηρεσίας του ξύλου παίζουν σημαντικό ρόλο στο βαθμό έκπλυσης και αλλοίωσης των εμποτιστικών. Διάφοροι μικροοργανισμοί παρουσιάζουν ανοχή, σε διάφορα εμποτιστικά σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό και μπορούν, κάτω από ορισμένες συνθήκες, να τροποποιήσουν χημικά, να επηρεάσουν τη σταθερότητα και την τοξικότητα και να διευκολύνουν την απομάκρυνση (έκπλυση) των εμποτιστικών από το ξύλο. Οι μηχανισμοί αλλοίωσης των εμποτιστικών ξύλου από βιολογικούς παράγοντες είναι λίγο γνωστοί και, επίσης, λίγο σχετικά μικροοργανισμοί έχουν αναγνωρισθεί μέχρι σήμερα ότι είναι υπεύθυνοι για την αλλοίωση αυτή. Πάντως όλες οι εμποτιστικές ουσίες είναι δυνατό να υποστούν αλλοιώσεις από μικροοργανισμούς σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό. Οι αβιοτικοί παράγοντες μπορούν επίσης να προκαλέσουν χημική αλλοίωση των εμποτιστικών είτε μόνοι τους είτε σε συνδυασμό με βιολογικούς παράγοντες. Η έκπλυση των εμποτιστικών συντελείται με τη δράση του νερού.

Το πισσέλαιο χρησιμοποιείται σαν εμποτιστικό σε όλο τον κόσμο πάνω από 100 χρόνια και, μέχρι σήμερα, πρακτικά δεν υπάρχουν ενδείξεις για εμποτισμένο ξύλο σε υπηρεσία ότι έχει δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην υγεία των εργαζομένων. Το πισσέλαιο έχει χρησιμοποιηθεί ευρύτατα και για πολλά χρόνια σε σταυλικές εγκαταστάσεις και αν υπήρχαν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των ζώων θα είχαν καταγραφεί. Σε ελάχιστες περιπτώσεις, αναφέρθηκαν δηλητηριάσεις ή και θάνατοι ζώων που αποδόθηκαν σε κατάποση πισσελαίου μετά από γλείψιμο εμποτισμένων στύλων. Το πισσέλαιο περιέχει δεκάδες ενώσεων και έκπλυση ορισμένων κλασμάτων από το ξύλο με τη βροχή μπορεί να προκαλέσει βλάβες σε φυτικούς και ζωικούς οργανισμούς γειτονικού εδάφους ή νερού. Η έκπλυση πισσελαίου από το ξύλο και οι δυσμενείς επιπτώσεις στο γειτονικό περιβάλλον θεωρούνται ασήμαντες αλλά

συνιστάται να μην τοποθετείται εμποτισμένο ξύλο σε ιχθυοτροφεία, λίμνες όπου αναπτύσσονται ψάρια, πηγές, κ.λ.π. Νεαρά φύλλα, βλαστοί και ρίζες μεγάλων φυτών που έρχονται σε επαφή με εμποτισμένο ξύλο μπορεί να είναι ευπαθή. Πάντως, αν το εμποτισμένο ξύλο ξηραθεί προσεκτικά πριν τοποθετηθεί στη θέση υπηρεσίας του πρακτικά δεν δημιουργούνται προβλήματα.

Η έκπλυση του πισσελαίου είναι μεγαλύτερη σε αποβάθρες όπου το εμποτισμένο ξύλο έρχεται σε επαφή με θαλασσινό νερό συγκριτικά με άλλες χρήσεις αλλά και πάλι έχει ασήμαντη επίδραση στο περιβάλλον. Στις περιπτώσεις αυτές εξάλλου οι μικροποσότητες πισσελαίου που απομακρύνονται από το ξύλο διασκορπίζονται σε τεράστιες ποσότητες θαλασσινού νερού.

Τελευταία εγείρονται ερωτηματικά για το αν πρέπει να γίνεται καύση εμποτισμένου ξύλου με πισσέλαιο μετά την περίοδο υπηρεσίας του. Στη Σουηδία π.χ., ενώ μέχρι πρόσφατα ήταν ανεπίσημα αποδεκτή η καύση τέτοιου ξύλου, σήμερα συνιστάται να μην καίγεται αλλά είτε να επαναχρησιμοποιείται εφόσον είναι δυνατό είτε να παραμένει αχρησιμοποίητο σε κατάλληλες θέσεις. Πάντως, η άποψη να μην καίγεται το ξύλο δεν βασίζεται ακόμη σε συγκεκριμένα στοιχεία.

Το σημαντικότερο πρόβλημα σε ξύλο εμποτισμένο με πισσέλαιο είναι το φαινόμενο κατά το οποίο πισσέλαιο μπορεί να εξέρχεται από εμποτισμένους στύλους ή άλλα προϊόντα (bleeding) που εκτίθενται στο ηλιακό φως. Το φαινόμενο αυτό έχει συσχετισθεί με δύσκολα διαπερατά ξύλα, εγκλωβισμό αέρα κατά την μέθοδο εφαρμογής του εμποτιστικού (συνήθως των κενών κυττάρων) μέσα στο ξύλο και διαστολή του αέρα με θέρμανση. Έτσι στην προσπάθεια εξόδου του αέρα από το ξύλο μπορεί να παρασυρθεί και πισσέλαιο προς τα έξω. Για τη λύση του προβλήματος έχει προταθεί να γίνεται αύξηση της διαπερατότητας των ξύλων αυτών με παραμονή τους σε νερό ή με ραντισμό πριν από τον εμποτισμό ή να χρησιμοποιούνται έλαια μικρού ιξώδους τα οποία όμως είναι λιγότερο αποτελεσματικά εναντίον μαλακών σήψεων. Επίσης, επιχειρούνται τροποποιήσεις των μεθόδων εμποτισμού αλλά μέχρι σήμερα δεν υπάρχουν οριστικά θετικά αποτελέσματα.

Η χρησιμοποίηση υδατοδιαλυτών εμποτιστικών και ιδιαίτερα του CCA στον εμποτισμό του ξύλου είναι επίσης ευρύτατη σήμερα σε όλο τον κόσμο. Το ζήτημα της έκπλυσης των εμποτιστικών αυτών και της επίδρασής τους στο περιβάλλον αποτέλεσε αντικείμενο πολλών ερευνών και δεν έχει ακόμη εξαντληθεί. Ειδικότερα η χρησιμοποίηση του CCA γίνεται σε πολλές χώρες με αυστηρές προδιαγραφές (π.χ. ΗΠΑ, Σουηδία, Αυστραλία, Αγγλία) ενώ σε ορισμένες άλλες χώρες υπάρχουν επιφυλάξεις. Από τα μέχρι σήμερα διαθέσιμα στοιχεία προκύπτει ότι το CCA παρουσιάζει μεγάλο βαθμό σταθερότητας μετά την είσοδό του

στο ξύλο και οι ποσότητες που εκπλύνονται είναι πολύ μικρές. Ασήμαντη όμως έκπλυση εξασφαλίζεται μόνον όταν προηγηθεί ξήρανση του εμποτισμένου ξύλου πριν από την τοποθέτησή του στην οριστική θέση ώστε να ολοκληρωθούν οι διαδικασίες σχηματισμού αδιάλυτων συμπλόκων και δέσμευσης του εμποτιστικού από το ξύλο. Στην αντίθετη περίπτωση, η έκπλυση του CCA μπορεί να είναι σχετικά μεγάλη με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η απορρόφησή του από τροφές (σε επαφή με το ξύλο), φυτά, ζώα και τον άνθρωπο με δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον. Οι επιφυλάξεις, σε ορισμένες περιπτώσεις, της χρησιμοποίησης του CCA αποδίδονται στην παρουσία του αρσενικού το οποίο στην εξασθενή μορφή του μπορεί να θεωρηθεί επικίνδυνο αλλά στην τρισθενή μορφή του όπως βρίσκεται στα αδιάλυτα σύμπλοκα μέσα στο ξύλο δεν παρουσιάζει κινδύνους.

Σχετικά με το αρσενικό, πρέπει να σημειωθεί ότι ίχνη του θεωρούνται ευεργετικά από θρεπτική άποψη και ότι μικροποσότητες υπάρχουν σε νερά, στο έδαφος και σε πολλές τροφές. Το επίπεδο ασφάλειας από άποψη λήψης αρσενικού από τον άνθρωπο θεωρείται ότι είναι μέχρι 0,5 mg αρσενικού/ημέρα (σύμφωνα με άλλους το μέγιστο επιτρεπτό όριο είναι 15 mg/ημέρα). Ο παρακάτω πίνακας είναι ενδεικτικός της περιεκτικότητας του αρσενικού σε διάφορες τροφές, στο έδαφος και σε επιφανειακές εναποθέσεις CCA και άλλων ουσιών στο ξύλο που κατά κανόνα δεν εμφανίζονται μετά τον εμποτισμό αλλά και αν εμφανιστούν απομακρύνονται εύκολα με νερό.

Φορέας	Περιεκτικότητα αρσενικού
Ψάρια και άλλα θαλασσινά	4,6 mg/Kg
Κρέατα	0,5-5,0 mg/Kg
Λαχανικά και σιτηρά	4,1-6,3 mg/Kg
Γάλα αγελάδας (στοιχεία U.K.)	0,01-0,06 mg/Kg
Έδαφος-διάφοροι τύποι (στοιχεία USA)	5,0-15,0 mg/Kg
Επιφανειακές εναποθέσεις σε ξύλο εμποτισμένο με CCA	0,006-0,04 mg/Kg

Πρέπει να σημειωθεί ότι, εκτός των άλλων παραγόντων, και η σύνθεση του εμποτιστικού μπορεί να επηρεάσει το βαθμό έκπλυσής του από το εμποτισμένο ξύλο.

Προβλήματα είναι δυνατό να δημιουργηθούν όταν γίνεται καύση ξυλείας, εμποτισμένης με CCA, μετά την περίοδο υπηρεσίας της. Κατά την καύση ένα ποσοστό αρσενικού γίνεται πτητικό ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό αρσενικού

με άλλα τοξικά στοιχεία παραμένει στην τέφρα και μετατρέπεται σε διαλυτά στο νερό σύμπλοκα τα οποία μπορούν να μεταφερθούν σε καλλιεργούμενα εδάφη και να γίνουν τοξικά στα φυτά. Γι' αυτό δεν πρέπει να καίγεται εμποτισμένο με CCA ξύλο μετά την περίοδο υπηρεσίας του ή και υπολλείμματα είτε για θέρμανση μέσα στο σπίτι είτε για μαγειρικούς σκοπούς. Τέτοιο ξύλο συνιστάται να θαύεται μακριά από πηγές και υπόγεια υδάτινα ρεύματα ή, εφόσον αυτό δεν είναι δυνατό, να καίγεται σε ανοιχτό χώρο και η τέφρα να θαύεται έτσι ώστε να μην αποτελεί πηγή μόλυνσης. Τέλος κατά την κατεργασία εμποτισμένου ξύλου συνιστάται ν' αποφεύγεται η εισπνοή σκόνης και προιονιδίου από το ξύλο.

Στην περίπτωση οργανικών διαλυμάτων που περιέχουν υδρόφοβα συστατικά δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος από τη χρήση του εμποτισμένου ξύλου γιατί τα συστατικά αυτά (ρητίνες, παραφίνες) είναι αδρανή και ο διαλύτης που χρησιμοποιείται εξατμίζεται πριν από τη χρησιμοποίηση του ξύλου. Όμως έκπλυση τοξικών ουσιών από το ξύλο μπορεί να παρατηρηθεί σε άλλα οργανικά διαλύματα (π.χ. πενταχλωροφαινόλη) και η έκταση της μόλυνσης εξαρτάται από το βαθμό έκπλυσης, τη μορφή χρήσεως του ξύλου και την τοξικότητα των στοιχείων του εμποτιστικού.

ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΟΥ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

Ο εμποτισμός του ξύλου και γενικά η προληπτική προστασία του από παράγοντες αλλοίωσης με διάφορες προστατευτικές ουσίες γίνεται σήμερα σε εκτεταμένη κλίμακα σε όλο τον κόσμο. Η προστασία του ξύλου στοχεύει στην επιμήκυνση της διάρκειας υπηρεσίας του αλλά η εφαρμογή διαφόρων προστατευτικών ουσιών μπορεί να επιδράσει δυσμενώς σε ορισμένες ιδιότητες του ξύλου ή να κάνει το ξύλο ακατάλληλο για ορισμένες χρήσεις. Ιδιότητες του ξύλου που μπορούν να επηρεασθούν δυσμενώς με τον εμποτισμό είναι η μηχανική αντοχή, το εύφλεκτο, η βαφή, η ηλεκτρική αγωγιμότητα, η οσμή, κ.λ.π. Επίσης ο βαθμός τοξικότητας, η σταθερότητα και άλλες ιδιότητες ενός εμποτιστικού είναι παράγοντες που μπορούν να αποκλείσουν την εφαρμογή του στο ξύλο για ορισμένες χρήσεις του.

1. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Ο όρος μηχανική αντοχή αναφέρεται στην αντίσταση του ξύλου σε διάφορους τρόπους φόρτισης και περιλαμβάνει μηχανική αντοχή σε στατική κάμψη, θλίψη, διάτμηση, εφελκυσμό, κρούση, κ.λ.π. Από συγκριτικές έρευνες που έχουν γίνει σε εμποτισμένο και όχι εμποτισμένο ξύλο προκύπτει ότι οι παραπάνω μηχανικές ιδιότητες του ξύλου επηρεάζονται σε διαφορετικό βαθμό από τον εμποτισμό. Στην πράξη, αυτό που ενδιαφέρει είναι να μην μειώνεται η μηχανική αντοχή του ξύλου κάτω από ορισμένα επιτρεπτά όρια. Γενικά, τα ποσοστά μείωσης της μηχανικής αντοχής λόγω εμποτισμού του ξύλου είναι σχετικά μικρά και συνήθως δεν έχουν πρακτική σημασία. Σε ορισμένες όμως χρήσεις του ξύλου (π.χ. γέφυρες, δοκοί σε σπίτια και άλλα κτίρια, ξυλεία μεταλλείων, αποβάθρες, κλπ.) όπου η μηχανική αντοχή του αποτελεί σημαντικό στοιχείο, η τυχόν δυσμενής επίδραση του εμποτισμού είναι ανάγκη να ελέγχεται και να περιορίζεται στο ελάχιστο.

Η επίδραση του εμποτισμού στη μηχανική αντοχή του ξύλου είναι δυνατό να προέρχεται από διάφορες αιτίες όπως π.χ. από την προετοιμασία του ξύλου (δημιουργία επιφανειακών εντομών, άτμιση), τον τρόπο εφαρμογής του εμποτιστικού και το είδος του εμποτιστικού.

Η δημιουργία επιφανειακών εντομών στο ξύλο πριν τον εμποτισμό προκαλεί πράγματι μια μικρή μείωση στην αντοχή του ξύλου. Ο βαθμός αυτής της μείωσης εξαρτάται από τη μέθοδο εντομών που εφαρμόζεται (βάθος, μήκος και πλάτος

εντομών, απόσταση ή πυκνότητα εντομών, πάχος ή εγκάρσια διατομή δοκού ή στύλου κλπ.). Στον πίνακα φαίνεται η επίδραση διαφόρων μεθόδων δημιουργίας εντομών στην μηχανική αντοχή ορισμένων ειδών ξύλου. Η μείωση της μηχανικής αντοχής του ξύλου λόγω δημιουργίας επιφανειακών εντομών μπορεί να διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα με επιλογή κατάλληλης μεθόδου και να αντισταθμιστεί με το παραπάνω από την αύξηση της διάρκειας του ξύλου λόγω καλύτερου εμποτισμού του.

Η άτμιση του ξύλου πριν από εμποτισμό είναι δυνατό να προκαλέσει αισθητή μείωση της μηχανικής αντοχής του αν δεν εφαρμοσθεί η κατάλληλη θερμοκρασία για κάθε είδος ή αν η διάρκεια άτμισης είναι μεγάλη. Από σχετικές έρευνες προκύπτει ότι με την άτμιση επηρεάζονται (μειώνονται) οι παρακάτω μηχανικές ιδιότητες από μεγαλύτερο σε μικρότερο βαθμό ως εξής:

1. Έργο θραύσεως σε στατική κάμψη, αντοχή σε απότομα φορτία (κρούση)
2. Μέτρο θραύσεως (ΜΘ) σε στατική κάμψη
3. Οριακή τάση ινών (ΟΤΙ) σε στατική κάμψη
4. Μέτρο ελαστικότητας (ΜΕ) σε στατική κάμψη

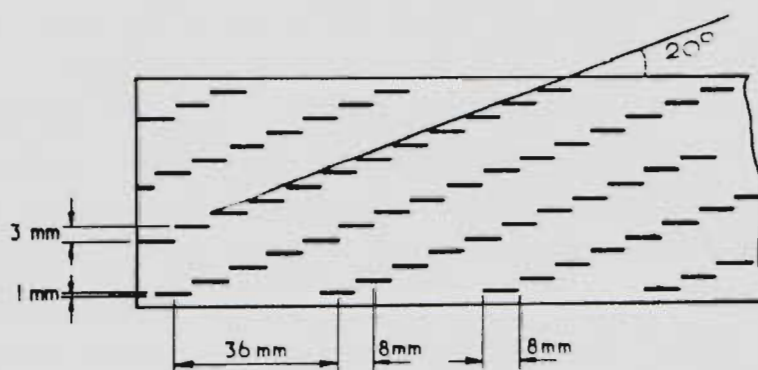
Η επίδραση είναι εντονότερη όσο η θερμοκρασία άτμισης αυξάνεται, π.χ. σε αμερικανικές πεύκες (southern pines) άτμιση 6 ωρών επέφερε μείωση στο ΜΘ μέχρι 25% και στο έργο θραύσεως μέχρι 35% όταν η θερμοκρασία άτμισης αυξήθηκε από 115 °C σε 138 °C. Η αυξανόμενη αρνητική επίδραση της άτμισης στη μηχανική αντοχή του ξύλου με την αύξηση της θερμοκρασίας ή της διάρκειάς της έχει διαπιστωθεί και σε κωνοφόρα (πεύκη, ψευδοτσούγκα, ερυθρελάτη) και σε πλατύφυλλα (σημύδα, σφενδάμι, δρύς, κ.ά.). Κάτω από ίδιες συνθήκες άτμισης, τα κωνοφόρα είναι λιγότερο ευπαθή από τα πλατύφυλλα τα οποία επιπλέον δείχνουν σημαντική τάση για κατάρρευση. Το συμπέρασμα είναι ότι πρέπει να αποφεύγονται θερμοκρασίες άτμισης πάνω από 110-115 °C. Για την οξιιά η οποία κατά κανόνα ατμίζεται στη χώρα μας (συνήθως σε 90-95 °C για 50-55 ώρες και σε ατμοσφαιρική πίεση) βρέθηκε μικρή ή καθόλου μείωση της μηχανικής αντοχής σε στατική κάμψη, αξονική θλίψη και σκληρότητα, 3,5-6% μείωση στην εξήλωση και 7-10% μείωση στην κρούση λόγω άτμισης.

Η θερμοκρασία και η διάρκεια άτμισης πρέπει να προσδιορίζονται πειραματικά για κάθε είδος ξύλου, γιατί η συμπεριφορά των διαφόρων ειδών στην άτμιση διαφέρει μερικές φορές σημαντικά. Για ορισμένα είδη ξύλου εξαρτάται επίσης από τη μορφή και το μέγεθος του ξύλου, την αναλογία σομού-εγκαρδίου κ.ά. Έτσι, ξύλα μεγαλύτερων διαστάσεων έχουν τάση να επηρεάζονται περισσότερο ίσως επειδή αναπτύσσονται μεγαλύτερες εσωτερικές τάσεις. Στρόγγυλη ξυλεία με μεγάλο πλάτος σομού ξύλου μπορεί να επηρεάζε-

Πίνακας Μείωση της μηχανικής αντοχής δοκών ξύλου μετά τη δημιουργία επιφανειακών εντομών

Είδος	Διατομή δοκού	Χαρακτηριστικά εντομών (μήκοςΧβάθοςΧπλάτος)	Μείωση, %		Πηγή
			Στατική κάμψη ΜΘ	ΜΕ	
Ερυθρελάτη	50-300 cm (πάχος δοκού)	8Χ6Χ1 mm <sup>α</sup>	15-4		Op. Days 1974
"	95Χ95 cm	9Χ4-6Χ1,2 mm <sup>β</sup>	7,3	7,2	Peyresaubes, 1985
"	50Χ100 cm	16Χ8-10Χ1,65 mm <sup>γ</sup>	18,5	0	
Ψευδοτσούγκα	50Χ100 cm	"	23,3	3,7	- // -

- α. Απόσταση μεταξύ εντομών 3 mm και πλάγια απόσταση (υπό γωνία 20°) μεταξύ σειρών εντομών 36 mm (βλ. Σχήμα).
- β. Απόσταση μεταξύ εντομών 4 mm και πλάγια απόσταση (υπό γωνία 37°) μεταξύ σειρών εντομών 52 mm.
- γ. Απόσταση μεταξύ εντομών 5 mm και πλάγια απόσταση (υπό γωνία 37°) μεταξύ σειρών εντομών 48 mm.



ται λιγότερο από πριστό εγκάρδιο ξύλο επειδή θεωρείται ότι το εγκάρδιο ξύλο επηρεάζεται περισσότερο από το σομφό. Η διαφορετική αυτή συμπεριφορά οδήγησε σε δημιουργία προδιαγραφών που καθορίζουν τα όρια των θερμοκρασιών και της διάρκειας άτμισης για διάφορα είδη ξύλου και διαστάσεις ώστε να μην προκαλείται μείωση της μηχανικής αντοχής του ξύλου ή αυτή να είναι μικρή.

Κατά τη διαδικασία εμποτισμού του ξύλου συχνά χρησιμοποιείται κενό, πίεση και υψηλή θερμοκρασία. Το ύψος και η διάρκεια πίεσης καθώς και η θερμοκρασία του εμποτιστικού κατά τη διάρκεια του εμποτισμού και ο χρόνος εμποτισμού είναι σημαντικοί παράγοντες που μπορεί να έχουν δυσμενή επίδραση στη μηχανική αντοχή του ξύλου. Υψηλές πιέσεις μπορεί να προκαλούν κατάρρευση του ξύλου ιδιαίτερα όταν αυτό είναι ζεστό και μαλακό. Υψηλή θερμοκρασία εμποτιστικού διευκολύνει τη διείδυση και συγκράτησή του στο ξύλο γι' αυτό, σε πολλές περιπτώσεις και όπου είναι δυνατό, η θερμοκρασία του εμποτιστικού διατηρείται αρκετά υψηλή κατά τον εμποτισμό. Σε περιπτώσεις που συνδυασμοί θερμοκρασίας και πίεσης είναι πιθανό να προκαλέσουν σφάλματα στο ξύλο (ραγαδώσεις, κατάρρευση), είναι προτιμότερο να εφαρμόζεται χαμηλότερη πίεση παρά χαμηλότερη θερμοκρασία και, εφόσον είναι αναγκαίο, να επιμηκύνεται ο χρόνος εμποτισμού.

Η ακριβής επίδραση ενός συνδυασμού πίεσης και θερμοκρασίας κατά τον εμποτισμό εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως είδος, μορφή και διαστάσεις ξύλου, είδος προηγούμενων χειρισμών του ξύλου, είδος εμποτιστικού, συγκράτηση, κ.ά. Ξύλα με χαμηλή πυκνότητα είναι περισσότερο ευπαθή σε υψηλές πιέσεις. Σχετικά υψηλές πιέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια σε ξύλο που έχει υποστεί προηγουμένως μαλάκυνση με θέρμανση μακράς διάρκειας. Κάτω από ίδιες συνθήκες, ξύλα που εμποτίζονται με υδατοδιαλυτά άλατα παρουσιάζουν μεγαλύτερη τάση για κατάρρευση σε σύγκριση με ξύλα που εμποτίζονται με έλαια επειδή πιθανώς τα υδατικά διαλύματα έχουν την τάση να μαλακώνουν το ξύλο περισσότερο.

Από αποτελέσματα σχετικών ερευνών προκύπτει ότι μπορεί να υπάρξει σημαντική μείωση της μηχανικής αντοχής του ξύλου (κυρίως του έργου θραύσεως και μέτρου θραύσεως στη στατική κάμψη, της κρούσης) κάτω από ορισμένες συνθήκες εμποτισμού με διάφορα εμποτιστικά. Σε αμερικανική πεύκη (southern pine) βρέθηκε μείωση του μέτρου θραύσεως κατά 30% και του μέγιστου έργου κατά 68% μετά από εμποτισμό με CCA (με συγκράτηση μεγάλη  $42 \text{ kg/m}^3$ ) και τεχνητή επαναξήρανση σε  $105^\circ\text{C}$ . Με επαναξήρανση εμποτισμένου ξύλου πεύκης με μικρότερη συγκράτηση ( $17 \text{ kg/m}^3$ ) σε  $60^\circ\text{C}$ , η μείωση της μηχανικής αντοχής ήταν πολύ μικρή. Στο ίδιο είδος πεύκης εμποτισμένης με CCA (συγκράτηση μικρή  $5 \text{ kg/m}^3$ ) η μείωση της αντοχής σε κρούση ήταν 22% και 12% αντίστοιχα για θερμοκρασίες επαναξήρανσης του ξύλου  $115^\circ\text{C}$  και  $88^\circ\text{C}$ . Η μείωση του μέτρου



θραύσεως βρέθηκε 12%, του έργου στο όριο ελαστικότητας 11% ενώ η σκληρότητα, το μέτρο ελαστικότητας και η αξονική θλίψη μειώθηκαν λίγο ή καθόλου. Μεγάλη συγκράτηση εμποτιστικού CCA φαίνεται να επιδρά περισσότερο αρνητικά στη μηχανική αντοχή του ξύλου σε σύγκριση με μικρή ή κανονική συγκράτηση. Μείωση της μηχανικής αντοχής μπορεί να προκύψει και από διαφορές υγρασκοπικότητας εμποτισμένου με CCA και όχι εμποτισμένου ξύλου. Η ισοδύναμη υγρασία εμποτισμένου ξύλου πεύκης (southern pine) σε συνθήκες 24 °C και 50% σχετική υγρασία βρέθηκε μέχρι 3,5% υψηλότερη σε σύγκριση με όχι εμποτισμένο ξύλο. Διπλός εμποτισμός ξύλου πεύκης με διάφορους συνδυασμούς (αμμωνιακά άλατα χαλκού+αρσενικού-επαναζήρανση φυσική ή τεχνητή-πισσέλαιο, CCA-επαναζήρανση φυσική ή τεχνητή-πισσέλαιο) βρέθηκε να μειώνει περισσότερο (κατά 21%) το ΜΘ σε στατική κάμψη από ότι απλός εμποτισμός του ξύλου δηλ. μόνο με πισσέλαιο ή με αμμωνιακά άλατα χαλκού+αρσενικού ή με CCA. Περισσότερη μείωση της μηχανικής αντοχής με ορισμένους συνδυασμούς διπλού εμποτισμού του ξύλου σε σύγκριση με απλό εμποτισμό (κατά 38%) παρατηρήθηκε και σε ψευδοτσούγκα.

Γενικά μπορεί να διατυπωθεί το συμπέρασμα ότι εφαρμογή υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών κατά τον εμποτισμό ή κατά την επαναζήρανση, πολύ μεγάλη συγκράτηση, και εφαρμογή διπλού εμποτισμού πρέπει να ελέγχονται από άποψη μείωσης της μηχανικής αντοχής του ξύλου γιατί μια σημαντική μείωση της αντοχής μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα σε μηχανικούς και αρχιτέκτονες για τον υπολογισμό επιτρεπόμενων τάσεων σε ξύλινες κατασκευές ιδιαίτερα όταν δέχονται απότομα φορτία. Όταν η μηχανική αντοχή του ξύλου αποτελεί σημαντικό στοιχείο σε ορισμένες χρήσεις του, η επαναζήρανση ξύλου εμποτισμένου με CCA δεν πρέπει να γίνεται με χρησιμοποίηση θερμοκρασιών πάνω από 70-80 °C ακόμη και με μικρή συγκράτηση. Μεγάλη συγκράτηση εμποτιστικού στο ξύλο είναι επιθυμητή σε ορισμένες δύσκολες συνθήκες χρησιμοποίησης (π.χ. σε αποβάθρες) αλλά δεν θα πρέπει να επιδιώκεται σε βάρος της μηχανικής αντοχής του ξύλου.

## 2. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ

Η επίδραση του εμποτισμού στη συγκόλληση του ξύλου άρχισε να αποκτά μεγάλο ενδιαφέρον με την ευρεία χρησιμοποίηση συγκολλημένων σανιδοδοκών σε συνθήκες που η προστασία του ξύλου με εμποτιστικές ουσίες είναι απαραίτητη.

Η παρουσία εμποτιστικών ουσιών στο ξύλο μπορεί να επηρεάσει αρνητικά

την αντοχή των δεσμών κατά την συγκόλληση αλλά πάντως σήμερα είναι δυνατή η δημιουργία ανθεκτικών δεσμών στην παραγωγή συγκολλημένων σανιδοδοκών που έχουν εμποτισθεί είτε με έλαια είτε με υδατοδιαλυτά εμποτιστικά. Ο τύπος της εμποτιστικής ουσίας που χρησιμοποιείται είναι πολύ σημαντικός παράγοντας για το μέγεθος της αντοχής των δεσμών που παράγεται με μιά συγκολλητική ουσία. Ένα εμποτιστικό μπορεί να συνδυάζεται καλύτερα με συγκεκριμένη συγκολλητική ουσία από άλλο. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι δεσμοί ξύλου πεύκης με φαινόλη-ρεσορκινόλη βρέθηκαν να είναι σημαντικά ανθεκτικότεροι σε εμποτισμένο ξύλο με πενταχλωροφαινόλη από ότι σε εμποτισμένο ξύλο με CCA πριν ή μετά από γήρανση, πράγμα που χαρακτηρίζει το συνδυασμό "πενταχλωροφαινόλη - φαινόλη/ρεσορκινόλη" καλύτερο στη συγκεκριμένη περίπτωση. Σε άλλη περίπτωση (συγκόλληση εμποτισμένων τεμαχιδίων λεύκης με φαινόλη-φορμαλδεΐδη) βρέθηκε ότι ο συνδυασμός "αμμωνιακά άλατα χαλκού και αρσενικού-συγκολλητική ουσία" ήταν καλύτερος από το συνδυασμό "CCA -συγκολλητική ουσία" από άποψη μηχανικής αντοχής των μοριοπλακών. Διαφοροποιήσεις στην μηχανική αντοχή μοριοπλακών παρατηρήθηκαν και μεταξύ δύο τύπων της συγκολλητικής ουσίας φαινόλης-φορμαλδεΐδης (νονόλας, ρεσόλη) με καλύτερο το συνδυασμό "νονόλας-εμποτιστική ουσία".

Ίδιοι συνδυασμοί συγκολλητικής ουσίας-εμποτιστικού (ελαίου ή υδατοδιαλυτού) βρέθηκαν να μην είναι εξίσου καλοί από άποψη αντοχής δεσμών σε διαφορετικά είδη. Σε εμποτισμένο ξύλο πεύκης οι δεσμοί δεν παρουσίασαν διαφορές ενώ σε ξύλο ερυθρελάτης ήταν κατώτεροι από αντίστοιχες τιμές όχι εμποτισμένου ξύλου. Φαίνεται λοιπόν ότι στην ποιότητα δεσμών σε εμποτισμένο ξύλο εμπλέκεται και το είδος ξύλου πέρα από τους συνδυασμούς συγκολλητικής ουσίας-εμποτιστικού.

Ορισμένες βασικές οδηγίες για τη συγκόλληση εμποτισμένου ξύλου είναι οι εξής:

- Για συγκολλημένες σανιδοδοκούς που πρόκειται να εκτεθούν σε εξωτερικές και υγρές συνθήκες πρέπει να χρησιμοποιούνται συγκολλητικές ουσίες ανθεκτικές στις συνθήκες αυτές.
- Η συγκολλητική ουσία πρέπει να συνδυάζεται όσο το δυνατό καλύτερα με το εμποτιστικό που χρησιμοποιείται.
- Κατά τη διαδικασία συγκόλλησης, το ξύλο πρέπει να έχει περιεχόμενη υγρασία τέτοια ώστε να είναι κατάλληλη για παραγωγή καλών δεσμών αλλά και να είναι ανάλογη με εκείνη που θα συγκρατεί σαν τελικό προϊόν.
- Πριν από τη συγκόλληση εμποτισμένων τεμαχιών ξύλου συνιστάται να γίνεται πλάνισή τους ώστε οι επιφάνειες να είναι λείες και επίπεδες για καλή επαφή μεταξύ τους και ελεύθερες από εμποτιστικές ουσίες σε υγρή ή στερεά μορφή.
- Για την επιλογή των συνθηκών σκλήρυνσης της συγκολλητικής ουσίας είναι

απαραίτητο να παίρνονται υπόψη το είδος εμποτιστικού, ο τύπος συγκολλητικής ουσίας και το είδος του ξύλου.

Επιφανειακή επικάλυψη του εμποτισμένου ξύλου με μπογιές, βερνίκια, κ.λ.π. δεν χρειάζεται σε πολλές περιπτώσεις, π.χ. μεταλλεία, στρωτήρες, αποβάθρες, κ.λ.π. Σε άλλες όμως περιπτώσεις (στύλοι και γέφυρες κατά μήκος διεθνών δρόμων, πάσσαλοι με σήματα οδικής κυκλοφορίας, οροφές εργοστασίων, φράκτες, πόρτες κήπων, αυλών ή εισόδων κ.ά.), η επιφανειακή επικάλυψη του εμποτισμένου ξύλου είναι επιθυμητή ή και αναγκαία. Η επικάλυψη αυτή γίνεται για αισθητικούς λόγους, για να κάνει εύκολα ορατή μιά κατασκευή ή να αυξήσει το φωτισμό εσωτερικών χώρων (με άσπρη ή ανοικτού χρώματος μπογιά) αλλά και για πρόσθετη προστασία του ξύλου από αβιοτικούς παράγοντες αλλοίωσης.

Ξύλο που έχει εμποτισθεί με υδατοδιαλυτά άλατα δεν παρουσιάζει προβλήματα στην εφαρμογή μπογιών ή βερνικιών εφόσον έχει επαναξηρανθεί κάτω από το επίπεδο του 22% Π.Υ. Ξύλο εμποτισμένο με οργανικά διαλύματα μπορεί να βαφεί ικανοποιητικά εφόσον εξατμισθεί εντελώς ο διαλύτης και δεν έχουν συσσωρευθεί συστατικά επικαλύψεων (συνθετικές ρητίνες, κηροί, έλαια) στην επιφάνεια. Χειρισμός του ξύλου με βαρέα έλαια ή υπερβολική συγκράτηση διαλύτη δημιουργούν προβλήματα στη βαφή του. Βαφή ξύλου εμποτισμένου με πισσέλαιο είναι ανεπιτυχής γιατί παρατηρούνται εκτεταμένοι μεταχρωματισμοί στην επικάλυψη σε σύντομο χρονικό διάστημα. Αν τέτοιο ξύλο αφεθεί για ορισμένο χρονικό διάστημα ώστε να στεγνώσει η επιφάνειά του από έλαια, τότε είναι δυνατή η εξωτερική επικάλυψή του με μπογιά αλουμινίου σε κατάλληλο έλαιο) χωρίς σοβαρά προβλήματα μεταχρωματισμού. Σε επικαλύψεις που εφαρμόζονται πάνω από τη μπογιά αλουμινίου μπορεί να παρουσιάζονται πάλι μεταχρωματισμοί ακόμα κι όταν αυτοί δεν εμφανίζονται στην επικάλυψη από μπογιά αλουμινίου.

Ορισμένες προϋποθέσεις για ικανοποιητική εξωτερική επικάλυψη του ξύλου όπως πλήρης εξάτμιση του οργανικού διαλύτη, όχι υπερβολική συγκράτηση διαλύτη, κ.ά. ισχύουν και για τη συγκόλληση.

### 3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Ξηρό ξύλο σε χαμηλές τάσεις έχει πολύ μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα και αποτελεί πολύ καλό μονωτικό υλικό. Με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας του, η ηλεκτρική αγωγιμότητά του αυξάνεται γρήγορα και, στο όριο κορεσμού ινών, γίνεται 1.000.000.000 φορές μεγαλύτερη εκείνης του απόλυτα ξηρού ξύλου.

Τυχόν επιδράσεις των εμποτιστικών στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του ξύλου θα πρέπει να ελέγχονται για ορισμένες χρήσεις όπως στρωτήρες, στύλοι ΔΕΗ και

ΟΤΕ, κ.ά. Γενικά, το πιασέλαιο και τα οργανικά εμποτιστικά δεν έχουν καμιά επίδραση ενώ τα υδατοδιαλυτά εμποτιστικά μπορούν να επιφέρουν μικρή αύξηση στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του εμποτισμένου ξύλου. Το μέγεθος της αύξησης αγωγιμότητας εξαρτάται από την ποσότητα του υδατοδιαλυτού εμποτιστικού μέσα στο ξύλο και από την έκταση που το εμποτιστικό παραμένει διαλυτό. Αν ένα υδατοδιαλυτό εμποτιστικό γίνεται αδιάλυτο μέσα στο ξύλο ή δημιουργεί αδιάλυτα σύμπλοκα τότε δεν προκαλεί και μεταβολές στην αγωγιμότητα του ξύλου. Στην πράξη, η μικρή αύξηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε εμποτισμένο ξύλο θεωρείται χωρίς ιδιαίτερη σημασία και μπορεί να αγνοηθεί. Πάντως αναφέρεται και περίπτωση όπου στρωτήρες εμποτισμένοι με χλωριούχο ψευδάργυρο είχαν επίδραση στη λειτουργία γειτονικών, αυτόματων συσκευών σήμανσης (U.S.A.) στην αρχή της εγκατάστασής τους ενώ αργότερα το πρόβλημα εξέλιπε λόγω της μείωσης της περιεχόμενης υγρασίας του ξύλου. Σε άλλη περίπτωση, προϋπόθεση για αποδοχή στύλων εμποτισμένων με υδατοδιαλυτά εμποτιστικά (Boliden K33) ήταν να μην έχουν μεγαλύτερη ηλεκτρική αγωγιμότητα από στύλους εμποτισμένους με πιασέλαιο με εφαρμογή πίεσης (Σουηδία, 1940).

#### 4. ΤΟ ΕΥΦΛΕΚΤΟ

Σε ορισμένες χρήσεις του εμποτισμένου ξύλου (π.χ. αποβάθρες, γέφυρες, μεταλλεία αλλά και φράκτες, στύλοι ΟΤΕ και ΔΕΗ) η επίδραση του εμποτιστικού στο εύφλεκτο του ξύλου είναι απαραίτητο να ελέγχεται και μπορεί να αποτελεί αποφασιστικό παράγοντα στην επιλογή του συντηρητικού. Αυξημένος κίνδυνος πυρκαγιάς σε ξύλινες κατασκευές καθορίζει σε σημαντικό βαθμό την επιλογή μεταξύ εμποτισμένου και όχι εμποτισμένου ξύλου και μεταξύ ξύλων εμποτισμένων με διαφορετικά εμποτιστικά.

Τα υδατοδιαλυτά εμποτιστικά δεν προκαλούν αύξηση του εύφλεκτου του ξύλου και από την άποψη αυτή, πλεονεκτούν σε σύγκριση με τα έλαια. Ένα σχετικά μικρό πρόβλημα με ορισμένους τύπους υδατοδιαλυτών εμποτιστικών είναι το φαινόμενο που το εμποτισμένο ξύλο παρουσιάζει μια τάση συντήρησης της καύσης μετά την έναρξή της (afterglow). Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε στην Αυστραλία σε πασσάλους εμποτισμένους με CCA μετά από εκτεταμένες πυρκαγιές θαμνωδών εκτάσεων και αντιμετωπίστηκε με τροποποίηση του εμποτιστικού με ενώσεις ψευδαργύρου και φωσφόρου.

Ξύλο που εμποτίζεται με πιασέλαιο ή με οργανικά διαλύματα γίνεται περισσότερο εύφλεκτο αμέσως μετά το χειρισμό. Οι πηκτικές ουσίες και η περίσσεια ελαίου που υπάρχει στην επιφάνεια του ξύλου ανάβουν εύκολα και διευκολύνουν το ρυθμό επέκτασης της φωτιάς. Για να ξεπεραστεί το μειονέκτημα αυτό, μερικές

φορές τοποθετείται άμμος ή ξηρό τσιμέντο στην επιφάνεια ξύλου που μόλις έχει εμποτισθεί (π.χ. σε ξύλο που προορίζεται για καταστρώματα γεφυρών). Μετά από γήρανση μερικών μηνών, οι πτητικές ουσίες απομακρύνονται εντελώς και εφόσον δεν παρατηρείται το φαινόμενο της εξόδου εμποτιστικού από το ξύλο (bleeding), το εμποτισμένο ξύλο θεωρείται ότι δεν είναι περισσότερο εύφλεκτο από ότι ήταν πριν τον εμποτισμό. Πάντως, σε ορισμένες χρήσεις του ξύλου (π.χ. σε μεταλλεία) προτιμάται εμποτισμός με υδατοδιαλυτά άλατα ενώ σε περιπτώσεις υψηλού κινδύνου πυρκαϊάς χρησιμοποιούνται αντιπυρικές ουσίες.

Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι ξύλο που βρίσκεται ακόμη και σε αρχικά στάδια σήψης ανάβει πιο εύκολα από ξύλο που διατηρείται υγιές με εμποτισμό.

##### 5. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

Η εισαγωγή εμποτιστικών ουσιών στη μάζα του ξύλου μπορεί να διαφοροποιήσει ορισμένα χαρακτηριστικά (π.χ. χρώμα, οσμή, βάρος) ή ιδιότητες του ξύλου και, κάτω από ορισμένες συνθήκες υπηρεσίας να επηρεάσει την υγεία ανθρώπων, ζώων ή φυτών και το περιβάλλον. Γι' αυτό η επιλογή ενός εμποτιστικού δεν μπορεί να στηριχθεί μόνο στο βαθμό της αποτελεσματικότητάς του αλλά και από τις διαφοροποιήσεις των χαρακτηριστικών του ξύλου και τη συγκεκριμένη χρήση του.

Σχετικά με το πισσέλαιο το οποίο είναι ένα αποτελεσματικό εμποτιστικό, η χρησιμοποίησή του σε σπίτια, δοχεία τροφών, ψυγεία, οχήματα και πλοία μεταφοράς τροφών, φρούτων, κ.λ.π. αποκλείεται από την οσμή που αναδίδει το εμποτισμένο ξύλο για αρκετούς μήνες και τον κίνδυνο μόλυνσης των τροφών από πτητικές ουσίες που εκλύονται. Η έκλυση πτητικών τοξικών ουσιών γίνεται πιο έντονη όταν το ξύλο είναι τοποθετημένο κοντά σε ζεστούς σωλήνες κεντρικής θέρμανσης. Η εμφάνιση του ξύλου από άποψη χρώματος επηρεάζεται επίσης δυσμενώς. Ξύλο εμποτισμένο με πισσέλαιο είναι επίσης ακατάλληλο για παιδικά παιχνίδια πάρκων και κήπων, πράγμα που οφείλεται, εκτός των άλλων, και στην παρουσία ελαίου στην επιφάνειά του. Ξύλο εμποτισμένο με πισσέλαιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμοκήπια μετά όμως την πλήρη έξοδο των πτητικών κλασμάτων τα οποία είναι δυνατό να επηρεάσουν δυσμενώς την ανάπτυξη και την υγεία των φυτών. Η απομάκρυνση των ουσιών αυτών από το ξύλο διαρκεί μήνες αλλά και μετά την περίοδο αυτή κάποιος κίνδυνος εξόδου τέτοιων ουσιών παραμένει ιδιαίτερα όταν το ξύλο είναι τοποθετημένο κοντά σε σωλήνες θέρμανσης του θερμοκηπίου. Για τους λόγους αυτούς δεν συνιστάται γενικά η χρησιμοποίηση ξύλου εμποτισμένου με πισσέλαιο σε θερμοκήπια. Το πισσέλαιο θεωρείται ένα από τα καλύτερα εμποτιστικά για άλλες χρήσεις όπως στύλοι ΟΤΕ και ΔΕΗ, στρωτήρες σιδηροδρόμων, αποβάθρες, ξύλινες γέφυρες, βιομηχανικά κτίρια, αποθήκες,

κατασκευές σταυλισμού ζώων, κ.ά. Εμποτισμός με πισσέλαιο και επιφανειακές επικαλύψεις δεν μπορούν να συνδυασθούν.

Για χρήσεις του ξύλου όπου το πισσέλαιο δεν είναι κατάλληλο (π.χ. ξύλινα σπίτια, παιδικές χαρές, ξύλινες κατασκευές υπαίθρου, θερμοκήπια, σταύλοι, δοχεία τροφίμων), τα υδατοδιαλυτά εμποτιστικά θεωρούνται στις Η.Π.Α., Αγγλία, Αυστραλία, Σκανδιναυϊκές χώρες, κ.ά. ασφαλή (ακίνδυνα) με την προϋπόθεση ότι έχει προηγηθεί πλήρης "δέσμευση" των συστατικών του εμποτιστικού μέσα στο ξύλο και απομάκρυνση τυχόν επιφανειακών εναποθέσεων αλάτων που είναι δυνατό να εμφανισθούν κατά την επαναξήρανση. Σε ορισμένες χρήσεις συνιστώνται συνδυασμοί εμποτισμού με υδατοδιαλυτά άλατα και εξωτερικής επικάλυψης με υδρόφοβα βερνίκια ή μπογιές που υπόσχονται καλύτερη προστασία αλλά και ασφάλεια. Αξίζει πάντως να σημειωθεί ότι στη Γερμανία δεν επιτρέπεται η χρησιμοποίηση πριστής ξυλείας εμποτισμένης με CCA για σπίτια, και σε άλλες χώρες (π.χ. Πολωνία, Τσεχοσλοβακία) επιχειρείται υποκατάσταση του CCA με άλλα υδατοδιαλυτά εμποτιστικά. Ο σκεπτικισμός αυτός από ορισμένες χώρες στη χρησιμοποίηση του CCA αποδίδεται στην παρουσία του αρσενικού που θεωρείται κυρίως, ότι μπορεί να επηρεάσει την υγεία των ζωντανών οργανισμών δυσμενώς.

Τα οργανικά διαλύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σπίτια, βιομηχανικά κτίρια, αποθήκες, κατασκευές σταυλισμού ζώων, εξωτερικές και ημιεξωτερικές ξυλουργικές κατασκευές, κ.ά. Οργανικά διαλύματα που περιέχουν πενταχλωροφαινόλη δεν συνιστώνται για θερμοκήπια και για ορισμένες άλλες χρήσεις λόγω της τοξικότητας της πενταχλωροφαινόλης. Εμποτισμός του ξύλου με οργανικά διαλύματα μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη δυνατότητα επιφανειακών επικαλύψεων. Αυτό εξαρτάται από το είδος του διαλύτη που χρησιμεύει σαν φορέας της διαλυμένης εμποτιστικής ουσίας και που εξατμίζεται σχεδόν στο σύνολό του άλλοτε με ταχύτερο και άλλοτε με βραδύτερο ρυθμό μετά τον εμποτισμό, την υπερβολική συγκράτηση του διαλύματος από το ξύλο και τη συγκέντρωση διαλυμένων ουσιών (κηροί, ρητίνες, έλαια, κ.λ.π.) στην επιφάνεια του ξύλου.

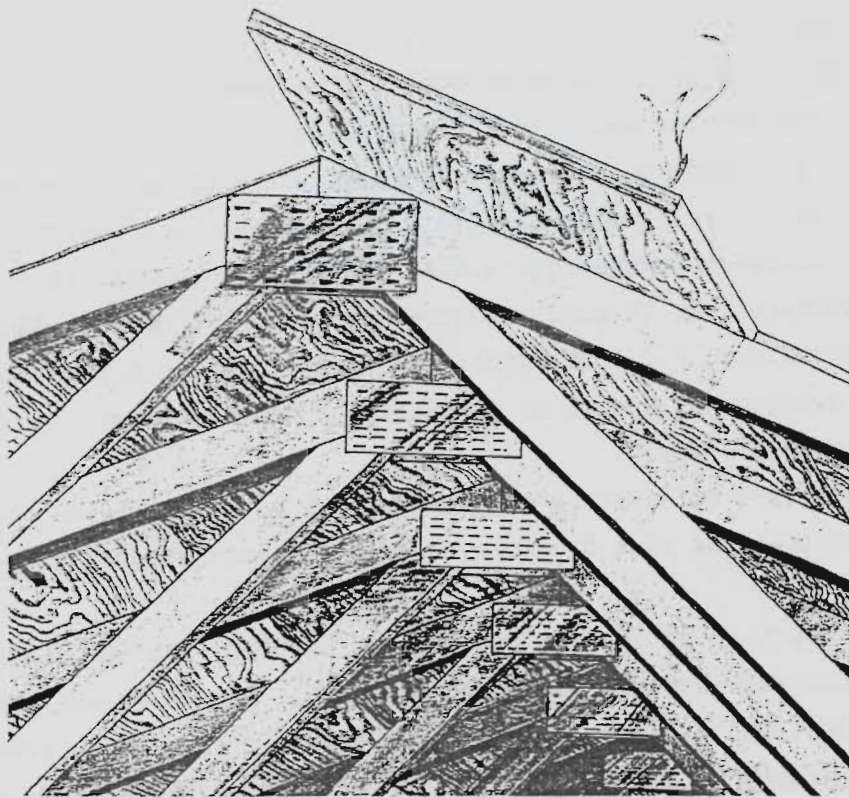
Γενικά, η τοξικότητα και η σταθερότητα αλλά και άλλα στοιχεία ενός εμποτιστικού μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την επιλογή του για συγκεκριμένες χρήσεις του ξύλου. Από πειράματα εμποτισμού σε κυψέλες μελισσών με διάφορα εμποτιστικά π.χ. διαπιστώθηκε παρουσία μικροποσοτήτων πενταχλωροφαινόλης ή στοιχείων TBTO και CCA στο μέλι, στο κερί αλλά και στις μέλισσες. Επιπλέον, τα παραπάνω εμποτιστικά συσχετίστηκαν και με μεγαλύτερες απώλειες μελισσών κατά τη διάρκεια του πρώτου χειμώνα. Τα αποτελέσματα αυτά οδήγησαν στη σύσταση να μην προτιμούνται τα εμποτιστικά αυτά σε κυψέλες μελισσών. Άλλα εμποτιστικά (ναφθιονικός χαλκός, αμμωνιακά άλατα χαλκού και χρωμίου, copper 8 - quipolinate, υδρόφοβα διαλύματα χωρίς τοξικά εμποτιστικά) παρουσίασαν καλή συμπεριφορά και προσέφεραν ακίνδυνη προστασία στη συγκεκριμένη περίπτωση.

Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται πλαστικές ή μεταλλικές συνδέσεις (βίδες, καρφιά, κ.ά.) στις ξύλινες κατασκευές και το ερώτημα είναι ποιός είναι ο βαθμός διάβρωσης ή αλλοίωσης των συνδέσεων αυτών όταν έρχονται σε επαφή με το εμποτιστικό. Υπάρχουν διαφορές ως προς την ένταση της διάβρωσης μεταξύ εμποτισμένου και όχι εμποτισμένου ξύλου, μεταξύ τύπων και συνθέσεων εμποτιστικών ουσιών, μεταξύ συνθηκών υπηρεσίας και μεταξύ λιγότερο και περισσότερο διαπερατών ειδών ξύλου. Οι παραπάνω συνδέσεις μπορούν να προσαρμοσθούν στο ξύλο πριν τον εμποτισμό οπότε έρχονται σε άμεση επαφή με το εμποτιστικό ή μετά τον εμποτισμό. Στην πρώτη περίπτωση, το πισσέλαιο και τα περισσότερα οργανικά διαλύματα δεν αλλοιώνουν τις μεταλλικές συνδέσεις αλλά μπορεί να προσβάλλουν τις πλαστικές. Μερικά μέταλλα δεν προσβάλλονται επίσης από τα υδατοδιαλυτά εμποτιστικά ενώ άλλα διαβρώνονται σε σημαντικό βαθμό, π.χ. ο ανοξειδωτος χάλυβας, ορείχαλκος, σίδηρος και χαλκός δεν παρουσιάζουν προβλήματα διάβρωσης με το CCA ενώ το αλουμίνιο, κάδμιο και ψευδάργυρος ή κράματα που περιέχουν αυτά τα μέταλλα διαβρώνονται με το εμποτιστικό αυτό. Τα περισσότερα πλαστικά δεν αλλοιώνονται με το CCA αν και μερικά μπορεί να υποστούν μεταχρωματισμό ή μηχανική αλλοίωση λόγω εφαρμογής υψηλών πιέσεων κατά τον εμποτισμό.

Στην περίπτωση που οι συνδέσεις προσαρμόζονται στο ξύλο μετά τον εμποτισμό οι κίνδυνοι διάβρωσης αν και μικρότεροι μπορεί να υπάρχουν λόγω της επαφής των συνδέσεων με το εμποτισμένο ξύλο και συνεπώς με μικροποσότητες εμποτιστικού. Διάβρωση μετάλλων παρατηρείται και με την επίδραση συνθηκών του περιβάλλοντος (υγρός αέρας, υγρές συνθήκες). Είναι ανάγκη πάντως να γίνεται σωστή επιλογή των συνδέσεων σε σχέση με το εμποτιστικό που χρησιμοποιείται και τις συνθήκες υπηρεσίας και τοποθέτησή τους την κατάλληλη στιγμή γιατί αλλιώς μπορεί να προκύψουν σοβαρά προβλήματα διάβρωσης και να οδηγήσουν ακόμη και σε αποτυχία των κατασκευών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10ο

ΑΝΤΙΠΥΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10ο

ΑΝΤΙΠΥΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

1. ΓΕΝΙΚΑ

Από την αρχή της χρησιμοποίησης του ξύλου από τον άνθρωπο θεωρήθηκε αναγκαία κάποια προστασία του από τη φωτιά. Για την προστασία αυτή, οι αρχαίοι Έλληνες εμβάπτιζαν το ξύλο σε θαλασσινό νερό, οι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν διάλυμα στυπτηρίας καθώς και διάφορες μεθόδους διαβροχής του ξύλου και οι Ρωμαίοι επιφανειακές επικαλύψεις με μίγμα από άργιλλο, άσβεστο και χρώμα (Wilkinson, 1979).

Το ξύλο αποτελεί σήμερα σε πολλές περιπτώσεις βασικό ή και αποκλειστικό υλικό κατασκευών. Τέτοιες κατασκευές περιλαμβάνουν σχολεία, εκκλησίες, γυμναστήρια, αποθήκες, εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια, ξενοδοχεία, κατοικίες, υπόστεγα, κτίρια συνεδριάσεων και συγκεντρώσεων, θέατρα, αίθουσες ψυχαγωγίας, κ.λ.π. Το ξύλο χρησιμοποιείται στις παραπάνω κατασκευές με τη μορφή υποστυλωμάτων, δοκών, αψίδων, δαπέδων, οροφών, μεσότοιχων, κ.ά. Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης ο χειρισμός του ξύλου με αντιπυρικές ουσίες σε μεταλλεία, στρατιωτικά και επιβατικά πλοία και βαγόνια τραίνων.

Η παραγωγή επικολλητού (συγκολλημένου, σύνθετου) ξύλου (laminated wood) δημιούργησε νέες δυνατότητες στις ξύλινες κατασκευές που στηρίχθηκαν:

- α. στην παραγωγή επιθυμητών μεγεθών και σχημάτων που δεν είναι δυνατό να παραχθούν από τις ορισμένες διαστάσεις του ξύλου των δέντρων.
- β. στη βελτιωμένη μηχανική αντοχή και διάρκεια των παραγόμενων στοιχείων. Η βελτιωμένη διάρκεια προκύπτει επειδή υπάρχει δυνατότητα καλύτερου εμποτισμού των επι μέρους πριστών τεμαχίων του επικολλητού ξύλου για προστασία του από βιοτικούς παράγοντες αλλοίωσης.
- γ. στη βελτιωμένη αντοχή στη φωτιά στοιχείων μεγάλου πάχους επειδή η επιφανειακή απανθράκωση εμποδίζει τη μείωση της διατομής τους κάτω από ένα όριο εφόσον βέβαια έχουν προβλεφθεί μεγαλύτερες από τις αναγκαίες διατομές στους στατικούς υπολογισμούς.

Ανάλογα με τις διαστάσεις που χρησιμοποιείται το ξύλο μπορούν να διακριθούν τριών τύπων ξύλινες κατασκευές (μεγάλες, συνήθεις και ελαφρές) (USDA 1974). Η χρησιμοποίηση του επικολλητού ξύλου συνετέλεσε στην ανάπτυξη κυρίως μεγάλων, ενυψωσιακών κατασκευών.

Το ξύλο έχει την ιδιότητα να καίγεται. Βέβαια, ξύλινα μέλη μεγάλων διαστάσεων καίγονται δύσκολα λόγω των καλών θερμομονωτικών ιδιοτήτων του απανθρακωμένου επιφανειακού στρώματος του ξύλου κατά τη διάρκεια της πυρκαϊάς. Η επιφανειακή αυτή απανθράκωση εμποδίζει την καύση του ξύλου σε βάθος με συνέπεια να μην μειώνεται σημαντικά η διατομή των δοκών και επομένως η μηχανική αντοχή του ξύλου σε αντίθεση με τα μεταλλικά μέλη που κάμπτονται με την επίδραση μεγάλων θερμοκρασιών. Πρέπει να σημειωθεί ότι η περιεχόμενη υγρασία του ξύλου και η θερμοκρασία που αναπτύσσεται κατά την πυρκαϊά επηρεάζουν τη μηχανική αντοχή του ξύλου. Η σχέση είναι αντίστροφη, δηλ. όσο πιο μεγάλη είναι η περιεχόμενη υγρασία του ξύλου και η θερμοκρασία που επικρατεί τόσο πιο πολύ μειώνεται η μηχανική αντοχή του ξύλου. Η επίδραση αυτή είναι αντιστρεπτή (η μηχανική αντοχή του ξύλου αυξάνεται με ξήρανση και ψύξη του) εφόσον η διάρκεια επίδρασης της θέρμανσης δεν είναι μεγάλη (Östman 1985). Η μείωση του εύλεκτου του ξύλου είναι ασφαλώς επιθυμητή στις ξύλινες κατασκευές και μπορεί να γίνει με χρησιμοποίηση κατάλληλων χημικών ουσιών, των αντιπυρικών ουσιών (fire retardants), που επιβραδύνουν την ανάφλεξη και καύση του ξύλου. Οι αντιπυρικές ουσίες βασίζονται κυρίως σε ανόργανα άλατα ενώ επιχειρείται και η ανάπτυξη αντιπυρικών ουσιών οργανικής φύσεως. Στις αντιπυρικές ουσίες είναι δυνατό να προστεθούν και τοξικές ή βελτιωτικές ουσίες ώστε να είναι δραστικές και εναντίον μυκήτων και εντόμων και να βελτιώνονται ορισμένες ιδιότητες του ξύλου.

Οι αντιπυρικές ουσίες πρέπει να είναι ασφαλείς κατά την εφαρμογή τους και χρήση του ξύλου, αποτελεσματικές, σταθερές και χαμηλού κόστους. Η αποτελεσματικότητά τους βασίζεται στη μείωση της πιθανότητας ανάφλεξης του ξύλου, στην πρόληψη της εξάπλωσης της φωτιάς πάνω στην επιφάνεια του ξύλου και στη μείωση του ρυθμού αλλοίωσης και καύσης του ξύλου. Επίσης, είναι επιθυμητό να μην επηρεάζονται αρνητικά άλλες ιδιότητες του ξύλου.

Η πρόληψη μιας πυρκαϊάς σε ξύλινες ή και άλλες κατασκευές που χρησιμοποιούνται σαν χώροι εργασίας ή κατοικίας αποκτά μεγάλο ενδιαφέρον γιατί απειλούνται ανθρώπινες ζωές. Στις Η.Π.Α. αναφέρονται 12.000 θάνατοι ετησίως και ζημιές πάνω από 1,5 τρισεκατομμύρια δολάρια από

τέτοιες πυρκαϊές (Hunt/Garrant 1967).

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι Η.Π.Α. καταναλώνουν σήμερα περί τους 10.000 τόνους αντιπυρικών ουσιών και το Ηνωμένο Βασίλειο περί τους 1500 τόνους ετησίως (Wilkinson 1979).

## 2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΥΡΚΑΙΑΣ

Σε μια πυρκαϊά μπορούν να διακριθούν τρία χαρακτηριστικά (Levan 1987):

- α. η διάδοση της φωτιάς
- β. η απελευθέρωση θερμότητας
- γ. η τοξικότητα των προϊόντων της καύσεως.

Η διάδοση της φωτιάς σε ένα κτίριο επηρεάζεται από το ρυθμό με τον οποίο οι φλόγες εξαπλώνονται στις διάφορες επιφάνειες "υπό καύση". Η ευκολία ή η δυσκολία καύσεως και τα χαρακτηριστικά εξάπλωσης της φλόγας για κάθε υλικό (π.χ. έπιπλα, επενδύσεις, πατώματα, κ.λ.π.) είναι σημαντικές παράμετροι. Ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας διακρίνεται, σύμφωνα με ορισμένους αμερικανικούς "οικοδομικούς κώδικες" σε τρεις κατηγορίες (Πίν. 10.1.).

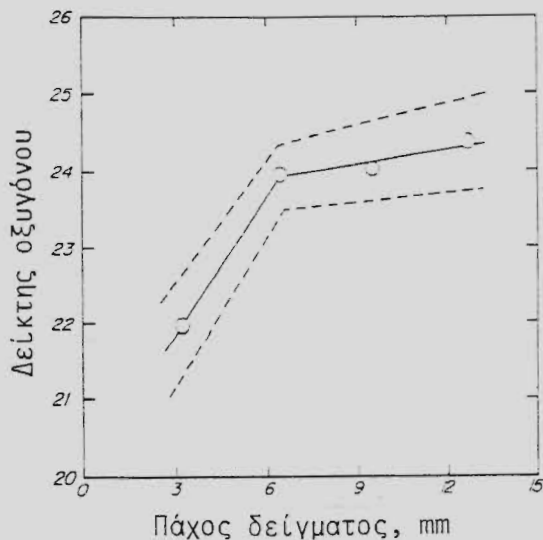
Πίνακας 10.1. Αμερικανικοί οικοδομικοί κώδικες για το ρυθμό εξάπλωσης της φλόγας (Levan 1987).

Κατηγορία	Δείκτης ρυθμού εξάπλωσης της φλόγας*	Χαρακτηρισμός
I ή A	25	Μικρός ρυθμός
II ή B	25-75	Μέτριος "
III ή C	76-200	Μεγάλος "

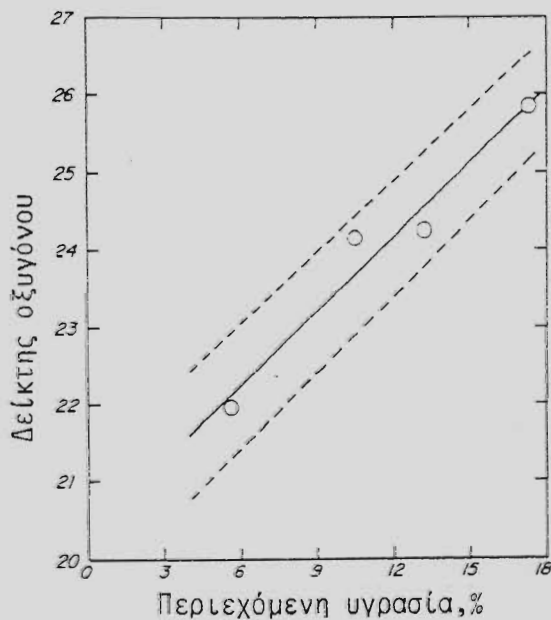
\*σύμφωνα με τις προδιαγραφές ASTM E84, 1985α

Τα ξύλα χωρίς χειρισμό κατατάσσονται συνήθως στην III κατηγορία.

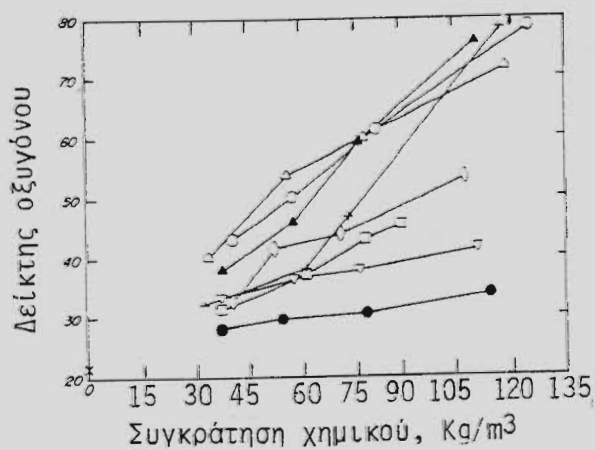
Ο ρυθμός απελευθέρωσης θερμότητας κατά τη διάρκεια μια πυρκαϊάς αποτελεί σημαντική ιδιότητα για την αξιολόγηση της συμπεριφοράς των διαφόρων υλικών στη φωτιά.



Σχ. 10.1. Επίδραση του πάχους ξύλου πεύκης στο δείκτη οξυγόνου (συνεχόμενη γραμμή: μέσοι όροι, διακεκομμένες γραμμές: μέσοι όροι ± τυπική απόκλιση). (White 1979)



Σχ. 10.2. Ευθύγραμμη σχέση δείκτη οξυγόνου και περιεχόμενης υγρασίας του ξύλου πεύκης (συνεχόμενη και διακεκομμένες γραμμές όπως στο Σχ. 10.1). (White 1979)



Σχ. 10.3. Δείκτης οξυγόνου σε δείγματα αντικολλητών ψευδοτσούγκα για οκτώ αντιπυρικές ουσίες και διαφορετική συγκράτηση. Ο δείκτης οξυγόνου για μη εμποτισμένα δείγματα(χ) είναι 21,7 (για τους τύπους των αντιπυρικών ουσιών βλ. Σχ.10.10). (White 1979)

Ο ρυθμός απελευθέρωσης της θερμότητας είναι δείκτης του εύφλεκτου του ξύλου (δηλ. της ταχύτητας με την οποία καίγεται). Σχετική έννοια με το εύφλεκτο ενός υλικού είναι και ο δείκτης οξυγόνου (oxygen index). Ο δείκτης αυτός είναι ένας αριθμός που προσδιορίζεται σε δείγματα ξύλου κάτω από συγκεκριμένες εργαστηριακές συνθήκες και εκφράζει την ελάχιστη ποσότητα οξυγόνου που χρειάζεται για να διατηρηθεί η καύση (White 1979). Εύφλεκτα υλικά έχουν μικρό δείκτη οξυγόνου. Ο δείκτης οξυγόνου αυξάνεται με το πάχος του δείγματος, με την περιεχόμενη υγρασία του ξύλου και τη συγκράτηση της αντιπυρικής ουσίας από το ξύλο (Σχ.10.1,10.2 και10.3).

Σε στερεά σώματα διακρίνονται δύο στάδια: (α) η ανάφλεξη και (β) η διάδοση της φωτιάς.

Για την ανάφλεξη απαιτείται επαρκής ποσότητα θερμότητας από εξωτερικές πηγές ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία του υλικού μέχρι το κρίσιμο εκείνο σημείο που να αρχίσει να καίγεται. Για τη διάδοση της φωτιάς απαιτείται η εξάπλωση της φλόγας πάνω στην επιφάνεια ενός υλικού και η συντήρηση της καύσεως. Για τη διατήρηση της διαδικασίας πυρόλυσης χρειάζεται απελευθέρωση θερμότητας σε ρυθμό που να συντηρεί τουλάχιστο την καύση. Η συντήρηση της καύσης εξαρτάται από το ρυθμό απελευθέρωσης θερμότητας ενώ είναι ανεξάρτητη από τη θερμαντική αξία του υλικού (heating value).

Το περιβάλλον γύρω από τη φωτιά είναι εχθρικό για τον άνθρωπο. Η εισπνοή τοξικών αερίων που απελευθερώνονται κατά τη διάρκεια της καύσης αποτελεί την κύρια αιτία πρόκλησης θανάτων. Περίπου 80% των θανάτων από πυρκαϊές προκαλούνται από τοξικά αέρια. Τα τοξικά αέρια δεν περιορίζονται στο χώρο πυρκαϊάς όπως οι φλόγες και η απελευθέρωση θερμότητας αλλά μετακινούνται εύκολα και πέρα από το επίκεντρο της πυρκαϊάς όπου μπορούν επίσης να προκαλέσουν ασφυξίες. Η μείωση των θανάτων αυτών μπορεί να αντιμετωπισθεί με νομοθετήματα, προδιαγραφές, εξειδικευμένη πυροσβεστική υπηρεσία και σχετικές έρευνες.

### 3. ΑΝΤΙΠΥΡΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥΣ ΣΤΟ ΞΥΛΟ

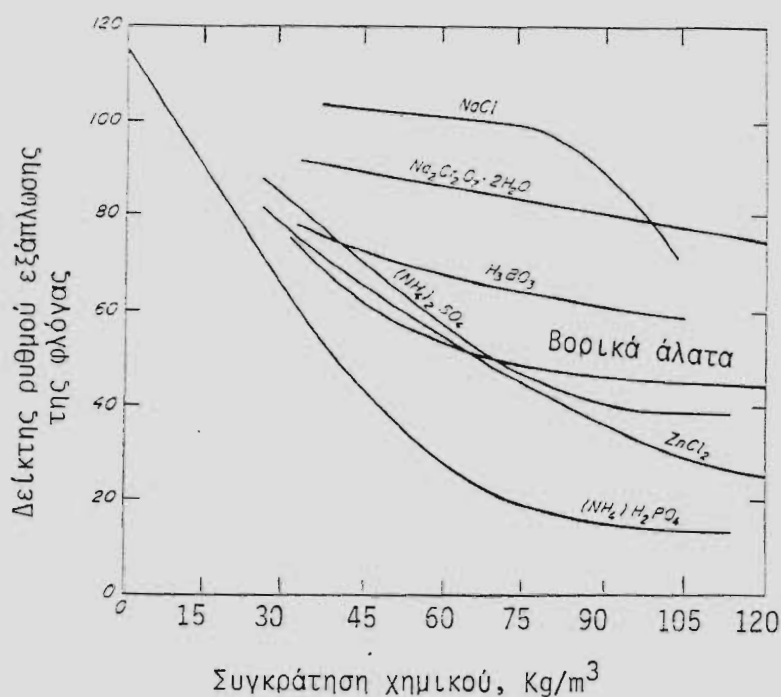
Δύο είναι οι κύριες μέθοδοι εφαρμογής των αντιπυρικών ουσιών στο ξύλο (USDA 1974, Levan 1987).

- α. Τυπικές μέθοδοι εμποτισμού του ξύλου με εφαρμογή κενού και πίεσης και χρησιμοποίηση υδατοδιαλυτών αλάτων σαν αντιπυρικών ουσιών.

β. Επιφανειακή επικάλυψη. Με τη μέθοδο αυτή οι αντιπυρικές ουσίες τοποθετούνται στην επιφάνεια του ξύλου και την επικαλύπτουν.

Οι μέθοδοι εμποτισμού είναι συνήθως πιο αποτελεσματικές, διαρκούν περισσότερο και συνιστώνται για καινούργιες ξύλινες κατασκευές. Για ξύλο που είναι ήδη τοποθετημένο σε κατασκευές, μόνος τρόπος βελτίωσης της αντίστασης του στη φωτιά είναι οι επιφανειακές επικαλύψεις (USDA 1974).

Ο εμποτισμός του ξύλου με αντιπυρικές ουσίες που βασίζονται σε ανόργανα άλατα γίνεται με τη μέθοδο των πλήρων κυττάρων επειδή για καλή αποτελεσματικότητα χρειάζεται διείσδυση σε βάθος και σχετικά υψηλή συγκράτηση (Nickolas 1973). Συγκράτηση ξηρών αλάτων 40-80 Kg/m<sup>3</sup> ξύλου θεωρείται αποτελεσματική (Σχ. 10.4). Άλατα γνωστά για τα αντιπυρικά τους χαρακτηριστικά εδώ και πάνω από 70 χρόνια είναι ενώσεις πυριτίου, φωσφό-



Σχ. 10.4. Μείωση του δείκτη ρυθμού εξάπλωσης της φλόγας με την αύξηση της συγκράτησης του χημικού από το ξύλο για διάφορες αντιπυρικές ουσίες.

(LeVan 1987)

ρου, θείου, κ.ά., όπως χλωριούχος ψευδάργυρος ( $ZnCl_2$ ), φωσφορικό μοναμ-  
μώνιο και διαμμώνιο [ $NH_4H_2PO_4$ ,  $(NH_4)_2HPO_4$ ], θειϊκό αμμώνιο  $(NH_4)_2$   
 $SO_4$ , τετραβορικό νάτριο (βόρακας) ( $Na_2B_4O_7$ ), διχρωμικό νάτριο  
( $Na_2Cr_2O_7 \cdot H_2O$ ), βορικό οξύ ( $H_3BO_3$ ), πυριτικό νάτριο ( $Na_2SiO_3$ ), πυριτικό  
κάλιο ( $K_2SiO_3$ ), χλωριούχο μαγνήσιο ( $MgCl_2$ ), χλωριούχο αμμώνιο ( $NH_4Cl$ ),  
ανθρακικό κάλιο ( $K_2CO_3$ ), κ.ά. (USDA 1974, Lee and Schaffer 1982, Winandy  
et al. 1988). Αντιπυρικές ουσίες προετοιμάζονται με συνδυασμό των παρα-  
πάνω ενώσεων έτσι ώστε να παρουσιάζουν άριστα αντιπυρικά χαρακτηριστικά  
αλλά και να μην επηρεάζουν αρνητικά άλλες ιδιότητες του ξύλου όπως υδρο-  
σκοπικότητα, μηχανική αντοχή, κατεργασιμότητα, εμφάνιση, συγκόλληση, βα-  
φή, διαβρωτικότητα και το κόστος.

Ενδεικτικά αναφέρονται τρεις τυπικές αντιπυρικές ουσίες που προκύ-  
πτουν από συνδυασμό ενώσεων σύμφωνα με προδιαγραφές του Αμερικανικού  
Συνδέσμου Εμποτισμού του Ξύλου (A.W.P.A.) (USDA 1974):

<u>Σύνθεση</u>	<u>Συμμετοχή (%)</u>
<u>Τύπος Β</u> (εμπορική ονομασία PYRESOTE)	
$ZnCl_2$ (χλωριούχος ψευδάργυρος)	65,2
$(NH_4)_2SO_4$ (θειϊκό αμμώνιο)	10,0
$H_3BO_3$ (βορικό οξύ)	10,0
$Na_2Cr_2O_7 \cdot H_2O$ (διχρωμικό νάτριο)	14,8
<u>Τύπος C</u> (εμπορική ονομασία MINALITH)	
$(NH_4)_2HPO_4$ (φωσφορικό διαμμώνιο)	10,0
$(NH_4)_2SO_4$ (θειϊκό αμμώνιο)	60,0
$Na_2B_4O_7$ (άνυδρο τετραβορικό νάτριο)	10,0
$H_3BO_3$ (βορικό οξύ)	20,0
<u>Τύπος D</u>	
$ZnCl_2$ (χλωριούχος ψευδάργυρος)	35,0
$(NH_4)_2SO_4$ (θειϊκό αμμώνιο)	35,0
$H_3BO_3$ (βορικό οξύ)	25,0
$Na_2Cr_2O_7 \cdot H_2O$ (διχρωμικό νάτριο)	5,0

Οι αντιπυρικές ουσίες εφαρμόζονται στο ξύλο με τη μορφή υδατικών διαλυμάτων συγκέντρωσης 10-18%. Το ξύλο εμποτίζεται σε ξηρή κατάσταση (μετά από φυσική ή τεχνητή ξήρανση), αλλά μερικά είδη μπορούν να εμποτισθούν χλωρά εφόσον το ξύλο υποστεί προηγουμένως άτμιση μέχρι 4 ώρες (USDA 1974). Μετά τον εμποτισμό είναι αναγκαία η επαναξήρανση του ξύλου. Η επαναξήρανση γίνεται συνήθως σε τεχνητά ξηραντήρια όπου η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία διατηρούνται σχετικά σε χαμηλά επίπεδα. Θερμοκρασίες πάνω από 70 °C μπορούν να προκαλέσουν μείωση της μηχανικής αντοχής του ξύλου και υψηλές σχετικές υγρασίες έκπλυση των αλάτων και, πιθανώς, διάβρωση των μεταλλικών μερών του ξηραντηρίου (Wilkinson 1979). Πειραματισμοί γίνονται και με οργανικές αντιπυρικές ουσίες οι οποίες εφαρμόζονται στο ξύλο με μορφή υδατικών ή οργανικών διαλυμάτων είτε με εμποτισμό είτε σαν επιφανειακές επικαλύψεις (Nickolas 1973, Rowell et al. 1984, Panayotou 1988). Στις ουσίες αυτές συμμετέχει ο εύφλεκτος άνθρακας αλλά περιλαμβάνονται και επαρκείς ποσότητες αζώτου, αλογονούχες ενώσεις και παράγωγα φωσφόρου που προσφέρουν στο ξύλο αντιπυρική προστασία.

Οι οργανικές αντιπυρικές ουσίες μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες χωρίς όμως να υπάρχουν πάντοτε και σαφή όρια μεταξύ τους (Nickolas 1973):

#### α. Πολυμερή και ρητίνες

Γίνονται διάφορες μίξεις ρητινών (ουρία, φορμαλδεΐδη, μελαμίνη κ.ά.) με άλλες ενώσεις (π.χ. φωσφορικό διαμμώνιο, πυροφωσφορικό οξύ) και εφαρμόζονται στο ξύλο με μορφή υδατικών διαλυμάτων όπου επέρχεται σκλήρυνση του χημικού. Αντιπυρική προστασία στο ξύλο παρέχεται και με πολυμερισμό μέσα στο ξύλο των οργανικών συνθέσεων. Ο πολυμερισμός επιτυγχάνεται με θέρμανση, καταλύτες ή ακτινοβολία.

#### β. Σύμπλοκα με χημική δραστηριότητα

Στην περίπτωση αυτή οι αντιπυρικές οργανικές συνθέσεις αντιδρούν με τα πολυμερή του ξύλου (κυρίως με την κυτταρίνη) και δημιουργούν ισχυρούς χημικούς δεσμούς. Έτσι επιχειρείται η αποφυγή της έκπλυσής τους κατά τη χρησιμοποίηση του ξύλου αλλά



και άλλων μειονεκτημάτων των ανόργανων αντιπυρικών ουσιών, όπως αύξηση της υγροσκοπικότητας, μείωση της μηχανικής αντοχής και διάβρωση μετάλλων (Rowell et al. 1984).

#### γ. Άλλες οργανικές αντιπυρικές ουσίες

Περιλαμβάνονται πολλές αλογονούχες και οργανοφωσφορικές ενώσεις οι οποίες εφαρμόζονται στο ξύλο με μορφή οργανικών διαλυμάτων και προσδίδουν αντιπυρικές ιδιότητες. Οι διαλύτες που χρησιμοποιούνται είναι χαμηλής πτητικότητας και πρέπει να μην είναι εύφλεκτοι.

Οι επιφανειακές επικαλύψεις έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα όπως εύκολη εφαρμογή και χαμηλό κόστος. Μπορούν επίσης να αναμιχθούν με διαφανή βερνίκια τα οποία αφού εφαρμοσθούν στο ξύλο διατηρούν την ελκυστική σχεδίασή του (Levan 1987). Για την εφαρμογή επιφανειακών επικαλύψεων σε ξύλο που βρίσκεται σε υπηρεσία χρειάζεται έλεγχος του πάχους της επικάλυψης το οποίο επηρεάζει την αποτελεσματικότητα (White 1984, 1986). Οι χημικές ουσίες των επιφανειακών επικαλύψεων μπορεί να είναι ίδιες με εκείνες που εφαρμόζονται με εμποτισμό. Το ερευνητικό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη και εφαρμογή στο ξύλο αποτελεσματικών αντιπυρικών ουσιών με τη μορφή επιφανειακών επικαλύψεων είναι μεγάλο (White 1984, 1985, 1986).

Ανάλογα με τη σύνθεση και το χρόνο παραγωγής τους, οι αντιπυρικές επιφανειακές επικαλύψεις διακρίνονται σε ανόργανες κυρίως που αναπτύχθηκαν μέχρι τα μέσα της 10ετίας του 1930 και σε επικαλύψεις που αναπτύχθηκαν από τότε μέχρι σήμερα και βασίσθηκαν σε οργανικές ενώσεις (Nickolas 1973).

Η βάση για τις περισσότερες ανόργανες αντιπυρικές επιφανειακές επικαλύψεις είναι η υδρίαλος και το πυριτικό νάτριο. Για καλύτερη επιφάνεια χρησιμοποιείται πυριτικό κάλιο το οποίο όμως είναι πιο ακριβό. Συνήθως γίνεται προσθήκη και αδρανών υλικών όπως άσβεστος, μαγνησίτης, κιμωλία, τσιμέντο, τάλκης, κ.ά.

Οι οργανικές αντιπυρικές επικαλύψεις υποδιαιρούνται (i) σε ουσίες που έχουν την ιδιότητα να μαλακώνουν, να επεκτείνονται ή να διογκώνονται, να παράγουν άκαυστα αέρια και να δημιουργούν αφορόμενο πάχους με την επίδραση θερμότητας για να σχηματίσουν απανθρακωμένο σώμα που δρά σαν μονωτικό και (ii) σε ουσίες που βασίζονται εν μέρει στη φυσική ανθεκτικότητά τους στη φωτιά και στη χαμηλή θερμοαγωγιμότητά τους (Níckolas 1973, Wilkinson 1979).

Οι οργανικές ουσίες της πρώτης κατηγορίας περιέχουν ποικιλία χημικών που κατατάσσονται σε τρεις ομάδες: (α) χημικά που παράγουν αέρια (β) χημικά που περιέχουν άνθρακα και δημιουργούν το μονωτικό στρώμα και (γ) χημικά που δίνουν στο αφορόμενο στρώμα που δημιουργείται στην επιφάνεια του ξύλου στερεότητα και μηχανική αντοχή. Μια τυπική σύνθεση οργανικής αντιπυρικής επικάλυψης της κατηγορίας αυτής περιλαμβάνει:

- α. προϊόν συμπίκνωσης ουρίας-φορμαλδεΐδης, 13% (μέσο συγκόλλησης και παραγωγής αερίου)
- β. προϊόν αντίδρασης πεντοξειδίου του φωσφόρου και αμμωνίας αδιάλυτο στο νερό, 5% (καταλύτης ανθρακοποίησης)
- γ. μη υδρολυόμενο άμυλο από καλαμπόκι, 23% (μέσο παραγωγής άνθρακα)
- δ. αρυλσουλφοναμίδια, 3% (πλαστικοποιητές που παρουσιάζουν αντίσταση στη φωτιά)
- ε. πιληματοποιημένες ίνες μαλλιού, 2% (βελτιωτικό)
- στ. διοξειδίο του τιτανίου, 4% (χρώμα)
- ζ. νερό, 50%

Οργανικές συνθέσεις της δεύτερης κατηγορίας βασίζονται σε χλωριωμένα ελαστικά ή χλωριωμένα ισοβουτυλικά πολυμερή. Μίγμα κονιοποιημένης ασβέστου και συγκολλητικής ουρίας-φορμαλδεΐδης μπορεί να ραντισθεί πάνω στην επιφανειακή επικάλυψη αλλά πριν από τη σκλήρυνσή της.

#### 4. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΑΠΟ ΦΩΤΙΑ ΜΕ ΑΝΤΙΠΥΡΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ

Αν και δεν είναι εντελώς ξεκαθαρισμένο πως ένα χημικό δρά σαν αντιπυρική ουσία, πιστεύεται ότι οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα σε υψη-

λές θερμοκρασίες είναι υπεύθυνες για τη συμπεριφορά αυτή.

Ο περιορισμός του εύφλεκτου του ξύλου με αντιπυρικές ουσίες επιτυγχάνεται (α) με τον περιορισμό της ποσότητας των εύφλεκτων αερίων που απελευθερώνονται με αποτέλεσμα την επιβράδυνση του ρυθμού διάδοσης της φωτιάς και (β) με τη μείωση της ποσότητας θερμότητας που είναι διαθέσιμη ή απελευθερώνεται από πτητικές ουσίες κατά τα αρχικά στάδια της φωτιάς, πράγμα που κάνει το ξύλο να αντιστέκεται περισσότερο με την προϋπόθεση ότι η αρχική πηγή θερμότητας και η φωτιά μετακινείται ή αποδυναμώνεται (USDA 1974). Στην πρώτη περίπτωση δημιουργείται ένα "φράγμα" που οφείλεται σε επιτάχυνση δημιουργίας απανθρακωμένου στρώματος ή σχηματισμό ογκώδους στρώματος αφρού. Στη δεύτερη περίπτωση, η "δέσμευση θερμότητας" οφείλεται σε τήξη των χημικών ουσιών, εξάτμιση ή θερμική αποσύνθεσή τους (Τσουμής 1983).

Με τη δράση των αντιπυρικών ουσιών συνδέεται η παραγωγή αερίων που δεν καίγονται, η μείωση της παραγωγής εύφλεκτων αερίων, η υποβοήθηση της μετατροπής του ξύλου κατ'ευθείαν σε κάρβουνο, διοξείδιο του άνθρακα και νερό με αποτέλεσμα να περιορίζεται η παραγωγή προϊόντων που είναι υπεύθυνα για την εξάπλωση της φωτιάς και η ιδιότητά τους να τήκονται σε ιξώδη μάζα (Hunt/Garratt 1967).

Με τις αντιπυρικές ουσίες επιδιώκεται η βελτίωση της αντοχής του ξύλου στη φωτιά. Είναι όμως σημαντικό, η βελτίωση αυτή να είναι σταθερή και μακροχρόνια.

Τα χημικά που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως ανόργανα άλατα τα οποία είναι γενικά σταθερά μέχρι τη θερμοκρασία 165 °C. Κάτω από συνήθειες επομένως συνθήκες εσωτερικών χώρων, οι αντιπυρικές ουσίες παραμένουν στο ξύλο ανθεκτικές και αποτελεσματικές. Αυτό έχει αποδειχθεί με κατάλληλες δοκιμές του ξύλου σε υπηρεσία μέχρι 40-50 χρόνια. Επειδή όμως οι αντιπυρικές ουσίες είναι συνήθως άλατα διαλυτά στο νερό, έκθεση του ξύλου σε εξωτερικές συνθήκες ή όπου γίνεται επανειλημμένη διαβροχή του έχει σαν συνέπεια τη μείωση της αποτελεσματικότητας του χειρισμού λόγω έκπλυσης των χημικών. Επίσης, το εμποτισμένο ξύλο είναι περισσότερο υγροσκοπικό και κάτω από την επίδραση υψηλής σχετικής υγρασίας (> 80%) αρκετής διάρκειας παρατηρείται έξοδος νερού με χημικό από το ξύλο και βαθμιαία μείωση της αποτελεσματικότητας του χειρισμού (USDA 1974). Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι δυνατό να τοποθετηθεί επιφανειακή επικάλυψη για βελτίωση της αντίστασης σε έκπλυση (Levan and Holmes 1986).

Νέοι τύποι αντιπυρικών ουσιών έχουν αναπτυχθεί και εφαρμόζονται όταν το ξύλο πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες δύσκολες εξωτε-

ρικές συνθήκες. Με τους χειρισμούς αυτούς μειώνεται δραστικά η έκπλυση των χημικών και δεν αυξάνεται η υγροσκοπικότητα του ξύλου.

Οι αντιπυρικές επιφανειακές επικαλύψεις (fire-retardant coatings) μειώνουν επίσης το εύφλεκτο του ξύλου (α) με τη δημιουργία μονωτικού σώματος μεταξύ ξύλου και θερμότητας που εμποδίζει την παραγωγή εύφλεκτων αερίων από το ξύλο και (β) με την παρεμπόδιση του οξυγόνου να βρίσκεται σε άμεση επαφή με το ξύλο (Nickolas 1973). Οι ιδιότητες που πρέπει να συγκεντρώνει μια ιδεώδης αντιπυρική επικάλυψη είναι: δυσκολία στην καύση, διατήρηση της κατάστασής τους κατά την έκθεσή τους στις καιρικές συνθήκες, επιδεκτικότητα επανεφαρμογής και χαμηλό κόστος. Παρά το γεγονός ότι είναι σχεδόν αδύνατο να συγκεντρώνονται όλες οι παραπάνω ιδιότητες σε μια αντιπυρική επικάλυψη, η χρησιμοποίηση επιφανειακών αντιπυρικών επικαλύψεων είναι αρκετά συχνή, ιδιαίτερα σε υπάρχουσες ξύλινες κατασκευές, π.χ. γυμνάσια, νοσοκομεία, ξενοδοχεία, μουσεία, εστιατόρια, κ.ά.

Ανάλογα με τον τρόπο δράσης των αντιπυρικών επιφανειακών επικαλύψεων διακρίνονται (White 1984, 1986):

- (α) επικαλύψεις που επιβραδύνουν την εξάπλωση της φλόγας στο υπόστρωμα (fire retardant coatings),
- (β) επικαλύψεις που έχουν την ιδιότητα να αντιστέκονται στην καύση ή να προστατεύουν το υπόστρωμα (ξύλο) από αυτή (fire resistant coatings).

Επικαλύψεις που αντιστέκονται στην καύση δεν έχουν ακόμη οριστικοποιηθεί για το ξύλο και οι πληροφορίες είναι περιορισμένες.

##### 5. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ ΜΕ ΑΝΤΙΠΥΡΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ

Η βελτίωση της αντοχής του ξύλου στη φωτιά είναι επιθυμητή επίδραση του χειρισμού του ξύλου με αντιπυρικές ουσίες. Παράλληλα όμως επηρεάζονται, λιγότερο ή περισσότερο και άλλες ιδιότητες του ξύλου όπως η μηχανική αντοχή, η υγροσκοπικότητα, η κατεργασιμότητα, η συγκόλληση, η βαφή, κ.ά. (USDA 1974).

α. Μηχανική αντοχή

Η μηχανική αντοχή του εμποτισμένου ξύλου είναι λίγο μικρότερη. Έχει υπολογισθεί μείωση του μέτρου ελαστικότητας κατά 5-10% και του μέτρου θραύσεως κατά 10-20%. Αυτό εξηγείται από τη μεγαλύτερη υγροσκοπικότητα που παρουσιάζει το εμποτισμένο ξύλο κάτω από ίδιες συνθήκες και, επομένως, τη μικρότερη πυκνότητά του. Το εμποτισμένο ξύλο έχει μικρότερη αντοχή σε απότομη φόρτιση (30% ή και περισσότερο). Μείωση της μηχανικής αντοχής στα ίδια επίπεδα έχει διαπιστωθεί και σε εμποτισμένα αντικολλητά ψευδοτσούγκας και λεύκης, πάχους 15 mm. Το ύψος της μείωσης επηρεάζεται και από τη μέθοδο και τη θερμοκρασία ξήρανσης (Winandy et al. 1988, Σχ. 10.5). Σημαντική μείωση του μέτρου θραύσεως και της εσωτερικής αντοχής (μέχρι 50%) παρατηρήθηκε σε μοριοπλάκες στις οποίες προστέθηκαν κατά την παραγωγή και αντιπυρικές ουσίες (Marí et al. 1983).

Λόγω της μικρής μείωσης της μηχανικής αντοχής του εμποτισμένου ξύλου, οι επιτρεπόμενες τάσεις υπολογίζονται κατά 10% μικρότερες σε σύγκριση με όχι εμποτισμένο ξύλο.

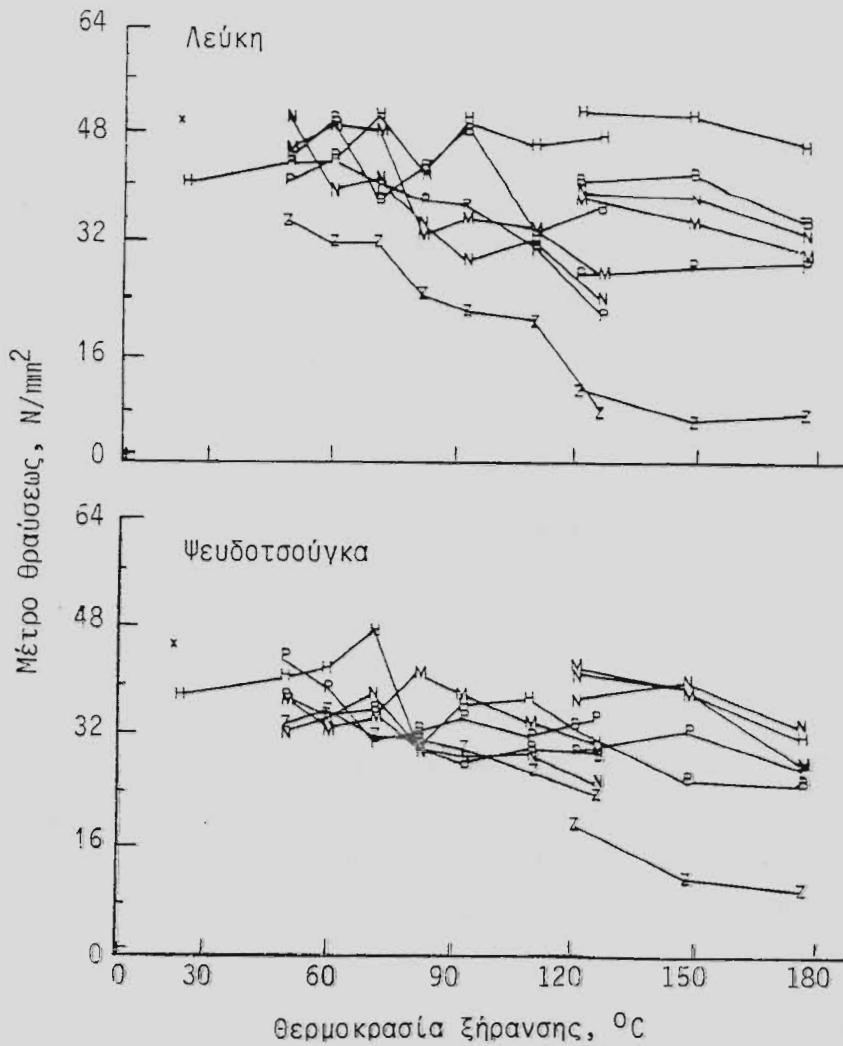
β. Υγροσκοπικότητα-Ρίκνωση και Διόγκωση

Το εμποτισμένο ξύλο είναι περισσότερο υγροσκοπικό σε σύγκριση με το όχι εμποτισμένο, ιδιαίτερα σε υψηλές σχετικές υγρασίες (Πίν. 10.2). Η αυξημένη ισοδύναμη υγρασία του εμποτισμένου ξύλου εξαρτάται από το είδος του χημικού, τη συγκράτηση του χημικού από το ξύλο, το είδος ξύλου και τις διαστάσεις του. Ο Πίν. 10.2 είναι ενδεικτικός των μεταβολών της ισοδύναμης υγρασίας στο εμποτισμένο ξύλο.

Πίνακας 10.2. Μεταβολές ισοδύναμης υγρασίας του εμποτισμένου ξύλου σε σχέση με τη σχετική υγρασία.

Θερμοκρασία °C	Σχετική υγρασία, %	Αύξηση της ισοδύ- ναμης υγρασίας, %
27 °C	30-50 %	Μηδαμινή
27 °C	65 %	2-8 %
27 °C	80 %	2-15 %

Σε σχετικές υγρασίες 80% και άνω παρατηρείται έξοδος διαλύματος χημικού από το ξύλο. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με λιγότερο



Σχ. 10.5. Επίδραση διαφόρων αντιπυρικών ουσιών και συνθηκών ξήρανσης στο μέτρο θραύσεως (ΜΘ) αντικολλητών ψευδοτσούγκας και λεύκης, πάχους 15,6 mm (B=βόρακας-βορικό οξύ, H=νερό, M=Minalith, N=NCF-σύνθεση εμπορίου, P=Pyresote, x=μάρτυρας, Z=χρωμιωμένος χλωριούχος ψευδάργυρος).

(Winandy et al. 1988)

υγροσκοπικά και ανθεκτικά στην έκπλυση χημικά.

Σε μοριοπλάκες στις οποίες προστέθηκαν αντιπυρικές ουσίες παρατηρήθηκε σημαντικά αυξημένη προσρόφηση και κατά πάχος διόγκωση (Mari et al. 1983).

Σε υψηλές σχετικές υγρασίες, οι διαστάσεις του εμποτισμένου ξύλου μπορεί να αυξηθούν κατά 10% ενώ σε χαμηλές υγρασίες η παρουσία των αλάτων στο ξύλο μειώνει τη διόγκωση. Έτσι για άλατα που είναι υγροσκοπικά μόνο σε μεγάλες σχετικές υγρασίες (π.χ. φωσφορικό μοναμώνιο), η διόγκωση του εμποτισμένου ξύλου είναι μικρότερη από εκείνη του μη εμποτισμένου. Με μη υγροσκοπικά άλατα, η διόγκωση μπορεί να μειωθεί μέχρι 40% (Milkinson 1979).

#### γ. Διάβρωση μετάλλων

Ορισμένα άλατα διαβρώνουν σε αρκετά μεγάλο βαθμό μέταλλα που χρησιμοποιούνται για συνδέσεις ξύλινων μελών. Κατάλληλοι συνδυασμοί διαφόρων αλάτων οδηγούν σε περισσότερο ουδέτερα διαλύματα και ικανοποιητικά αποτελέσματα.

#### δ. Κατεργασιμότητα

Η παρουσία κρυστάλλων από άλατα στο ξύλο οδηγεί σε άμβλυση των κοπτικών εργαλείων. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τοποθέτηση δοντιών ή ακμών από ανθεκτικά μέταλλα ή κράματα. Συνιστάται επίσης, όπου είναι δυνατό, ορισμένες μηχανικές κατεργασίες του ξύλου να γίνονται πριν τον εμποτισμό.

#### ε. Συγκόλληση

Ορισμένες φάσεις της συγκόλλησης εμποτισμένου ξύλου παρουσιάζουν προβλήματα. Έχει παρατηρηθεί όμως ότι μη εμποτισμένα ξυλόφυλλα μπορούν να συγκολληθούν ικανοποιητικά πάνω σε εμποτισμένο ξύλο (θερμή συγκόλληση, φαινολική κόλλα). Σε περιπτώσεις που το εμποτισμένο ξύλο δεν χρησιμοποιείται σε κατασκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν συγκολλητικές ουσίες όπως καζεΐνη, ουρία και ρεσορκινόλη. Το κυριότερο πρόβλημα με τη συγκόλληση εμποτισμένου ξύλου στις κατασκευές είναι η δημιουργία δεσμών εξίσου ανθεκτικών με εκείνους που επιτυγχάνονται σε μη εμποτισμένο ξύλο. Για εμποτισμένο ξύλο έχουν χρησιμοποιηθεί ειδικές κόλλες που βασίζονται στη ρεσορκινόλη και σκληρυντή με μεγάλη περιεκτικότητα σε φορμαλδεΰδη. Με την κόλλα αυτή δημιουρ-

γούνται ανθεκτικοί δεσμοί εφόσον η σκλήρυνση γίνεται σε θερμοκρασία 65 °C ή υψηλότερη.

#### στ. Βαφή

Το εμποτισμένο ξύλο δεν επηρεάζει γενικά τους δεσμούς των επιφανειακών επικαλύψεων με το ξύλο εκτός εάν το ξύλο έχει υψηλή υγρασία εξαιτίας της αυξημένης υγρασκοπικότητάς του. Κατά τη διάρκεια εφαρμογής της επικάλυψης, η περιεχόμενη υγρασία του εμποτισμένου ξύλου πρέπει να είναι 12% ή λιγότερο. Φυσικές μπογιές δεν χρησιμοποιούνται συνήθως επειδή κατά τη διάρκεια του χειρισμού και της ξήρανσης που ακολουθεί προκαλούνται ανομοιόμορφοι χρωματισμοί και το ξύλο γίνεται σκοτεινότερο. Για να αποφευχθούν οι συνέπειες αυτές σε διακοσμητικά αντικολλητά γίνεται εμποτισμός των εσωτερικών ξυλοφύλλων, συγκόλληση με λεπτά επιφανειακά ξυλόφυλλα και βαφή των επιφανειακών ξυλοφύλλων. Σε εμποτισμένο ξύλο με μεγάλη συγκράτηση αλάτων μπορούν να εμφανισθούν κρύσταλλοι στις επιφανειακές επικαλύψεις αλλά μόνο στην περίπτωση που το ξύλο εκτίθεται για πολύ χρόνο σε υψηλές σχετικές υγρασίες.

Ο εμποτισμός του ξύλου με αντιπυρικές ουσίες μπορεί να επηρεάσει και άλλες ιδιότητές του. Π.χ. η συμπεριφορά του εμποτισμένου ξύλου ή προϊόντων ξύλου κατά την ξήρανση μπορεί να είναι διαφορετική σε σύγκριση με μη εμποτισμένο ξύλο, π.χ. σε ορισμένες περιπτώσεις εμποτισμένων αντικολλητών παρατηρήθηκαν πιο έντονα σφάλματα (ραγαδώσεις, στρεβλώσεις), επιβράδυνση του ρυθμού ξήρανσης και διαφοροποίηση της κατά πάχος ρίκνωσης (Lee and Schaffer 1982).

#### 6. ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΝΤΙΠΥΡΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Η χρησιμοποίηση συγκεκριμένων μεθόδων αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των αντιπυρικών ουσιών θεωρείται αναγκαία για τη σύγκριση διαφορετικών χημικών και μεθόδων εφαρμογής τους στο ξύλο. Δυστυχώς δεν υπάρχει διεθνώς καθιερωμένη μέθοδος. Όσες μέθοδοι χρησιμοποιούνται έχουν αναπτυχθεί εμπειρικά και τα αποτελέσματά τους δεν είναι συγκρίσιμα επειδή διαφέρουν οι διαστάσεις των δειγμάτων ξύλου και οι συνθήκες της δοκιμής.

Οι μέθοδοι αξιολόγησης βασίζονται συχνά στο γεγονός ότι μη εμποτι-



σμένο ξύλο αναφλέγεται κάτω από συνήθεις συνθήκες, υπάρχει έντονη τάση εξάπλωσης της φλόγας, αύξησης της θερμότητας και ελάττωσης του βάρους του ξύλου. Σε ξύλο εμποτισμένο με αποτελεσματικές αντιπυρικές ουσίες η εξάπλωση της φλόγας δυσκολεύεται, η θερμότητα αυξάνεται πολύ λιγότερο και η αλλοίωση ή η ελάττωση του βάρους του είναι επίσης μικρότερη. Επιπλέον, με την απομάκρυνση της πηγής θερμότητας η καύση στο εμποτισμένο ξύλο σταματά αμέσως.

Ορισμένες σημαντικές μέθοδοι αξιολόγησης των αντιπυρικών ουσιών περιγράφονται παρακάτω (Hunt/Garratt 1967):

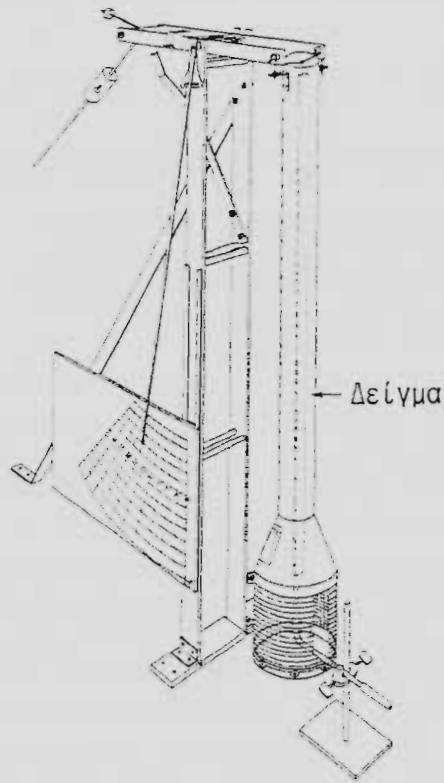
α. Μέθοδος σωλήνα (fire-tube test)

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή δείγμα ξύλου μήκους 100 εκ. και εγκάρσιας διατομής 3,1x6,3 χιλ. κρέμεται μέσα σε λεπτό μεταλλικό σωλήνα, διάτρητο στα τοιχώματά του. Στο πάνω άκρο του σωλήνα το δείγμα συνδέεται με ένα βραχίονα ζυγαριάς για την συνεχή μέτρηση της απώλειας του βάρους του ενώ στο άλλο άκρο τοποθετείται πηγή θερμότητας συγκεκριμένης έντασης και διάρκειας (4 λεπτά) για την ανάφλεξη του κάτω άκρου του δείγματος (Σχ. 10.6). Το μη εμποτισμένο δείγμα αναφλέγεται εύκολα, η φλόγα προχωρεί γρήγορα προς τα επάνω και η θερμοκρασία στο σημείο αυτό του σωλήνα παραμένει υψηλή μέχρις ότου μειωθεί πολύ το βάρος του ή καταναλωθεί. Αντίθετα, στο εμποτισμένο ξύλο τα φαινόμενα αυτά έχουν πολύ μικρότερη ένταση. Στο Σχ. 10.7 (Α,Β) απεικονίζονται τυπικές καμπύλες απώλειας βάρους των δειγμάτων ξύλου-χρόνου καθώς και θερμοκρασίας στο πάνω σημείο του σωλήνα-χρόνου με τη μέθοδο του σωλήνα.

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε στις Η.Π.Α. και υιοθετήθηκε σαν εθνική προδιαγραφή.

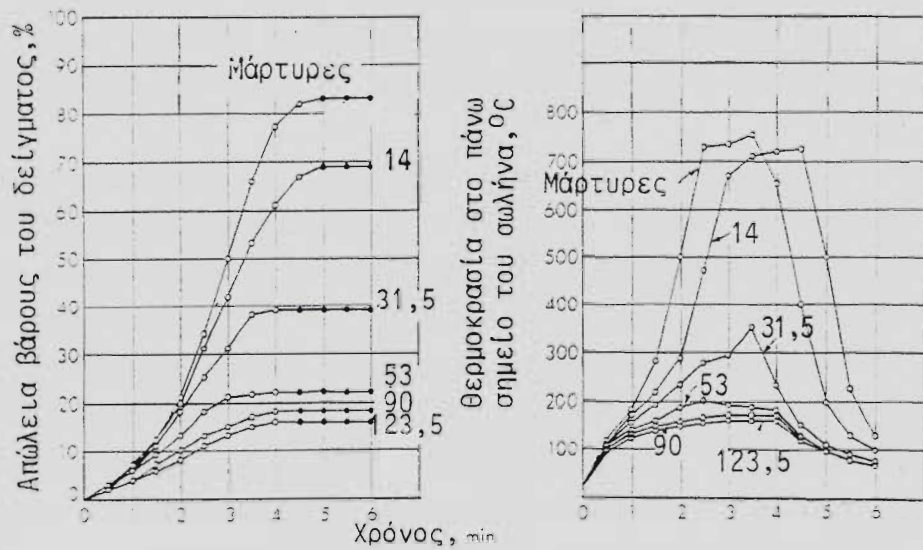
β. Μέθοδος "καπνοδόχου" (crib test)

Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται 24 τεμάχια ξύλου, εγκάρσιας διατομής 12,5x12,5 χιλ. και μήκους 75 χιλ., τα οποία ζυγίζονται και στοιβάζονται σε μορφή καπνοδόχου και σε 12 επίπεδα πάνω σε συρμάτινο σκελετό (Σχ. 10.8). Ο σκελετός με τα δείγματα ξύλου τοποθετείται σε κατάλληλη βάση όπου υπάρχει πηγή θερμότητας (λύχνος Meker) συγκεκριμένης έντασης και ύψους 25 εκ. Η θέρμανση διαρκεί 3 λεπτά και μετά ο λύχνος απομακρύνεται. Μετά την παύση της καύσης και πυράκτωσης του ξύλου τα δείγματα ξύλου επαναζυγίζονται και υπολογίζεται η απώλεια βάρους η



Σχ. 10.6. Μέθοδος σωλήνα (η απώλεια βάρους καθώς το δείγμα καίγεται στο σωλήνα δείχνεται κατ'ευθείαν από το δείκτη της κλίμακας επί τοις %).

(Hunt/Garratt 1967)



Σχ. 10.7. Τυπικές καμπύλες απώλειας βάρους του δείγματος - χρόνου (Α) και θερμοκρασίας στο πάνω σημείο του σωλήνα - χρόνου (Β) με τη μέθοδο του σωλήνα για διάφορες συγκεντρώσεις του φωσφορικού διαμμωνίου (ο = μέγιστες θερμοκρασίες και απώλεια βάρους κατά τη διάρκεια της φωτιάς, ● = απώλεια βάρους μετά την παύση της καύσης. Οι αριθμοί στις καμπύλες δείχνουν τη συγκράτηση του χημικού).

(Hunt/Garratt 1967)

οποία χρησιμεύει σαν δείκτης αντοχής στη φωτιά. Επίσης, καταγράφεται η διάρκεια διατήρησης της φλόγας και της πυράκτωσης μετά την απομάκρυνση του λύχνου.

Η μέθοδος αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Columbia, Η.Π.Α.

γ. Σήμερα χρησιμοποιούνται στις Η.Π.Α. κυρίως οι παρακάτω τρεις μέθοδοι:

(i) Μέθοδος "μεγάλου τούνελ" (large-tunnel-furnace test).

(ii) Μέθοδος "ακτινοβόλου πλάκας" (radiant-panel test), και

(iii) Μέθοδος "τούνελ 8 ποδιών" (8-ft-tunnel test).

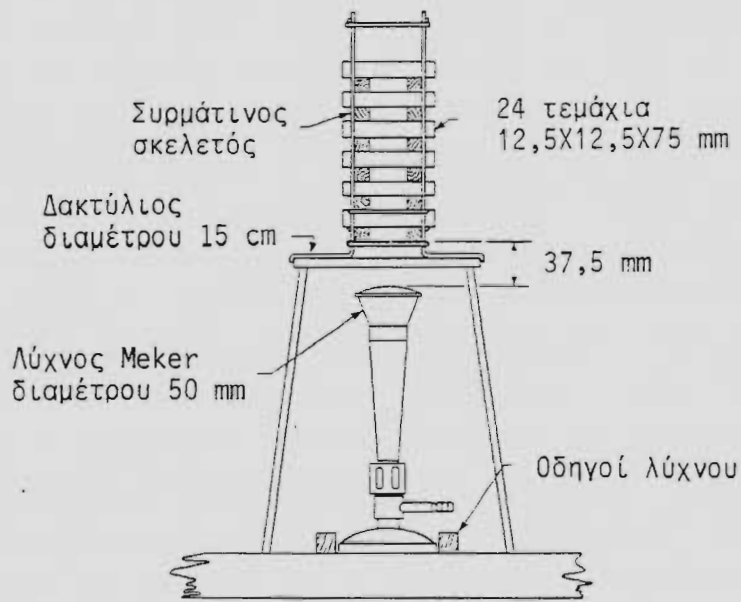
Οι δύο τελευταίες μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως για ερευνητικούς σκοπούς ενώ η πρώτη κυρίως από υπηρεσίες ή Ινστιτούτα ελέγχου.

Στη μέθοδο "μεγάλου τούνελ", το δείγμα (πλάκα μήκους 7,5 μ. και πλάτους 0,5 μ.) εκτίθεται σε φλόγες αερίου συγκεκριμένης έντασης στο ένα άκρο του τούνελ και καταγράφονται ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας κατά μήκος του δείγματος, οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται και η πυκνότητα του καπνού που παράγεται. Το δείγμα αποτελεί την οροφή του άκαυστου στο υπόλοιπο τμήμα τούνελ ενώ οι φλόγες και τα παραγόμενα αέρια διατηρούν συνεχή επαφή με το δείγμα καθώς οδηγούνται προς την έξοδο του άλλου άκρου του τούνελ. Ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας παρατηρείται από παράθυρα που υπάρχουν στα πλευρικά τοιχώματα του τούνελ ενώ η πυκνότητα του καπνού δείχνεται από φωτοηλεκτρικό κύτταρο.

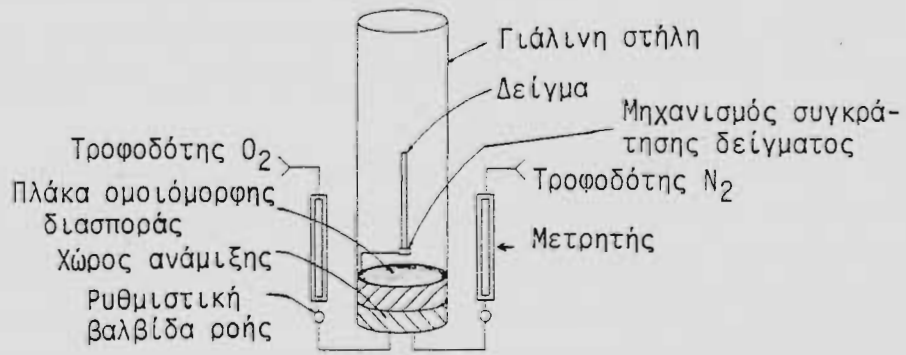
Στη μέθοδο "ακτινοβόλου πλάκας" το δείγμα (πλάκα 15X45 εκ.) εκτίθεται για 15 λεπτά σε θέρμανση συγκεκριμένης έντασης που ακτινοβολείται από κατακόρυφη θερμαντική πλάκα. Το δείγμα τοποθετείται όρθιο και απέχει το πάνω μέρος του 11,25 εκ. και το κάτω μέρος του 24 εκ. από τη θερμαντική πλάκα. Ένας λύχνος αερίου που βρίσκεται κοντά στο πάνω μέρος του δείγματος προκαλεί ανάφλεξη αφού προηγηθεί επαρκής θέρμανση του δείγματος. Ο ρυθμός εξάπλωσης της φλόγας προς το κάτω μέρος του δείγματος, η θερμοκρασία στο σωλήνα εξόδου, και η συγκέντρωση καπνού σε κατάλληλο μηχανισμό καταγράφονται.

Στη μέθοδο "τούνελ 8 ποδιών" χρησιμοποιείται θάλαμος μήκους 3,15 μ. και δείγμα (πλάκα) μήκους 2,4 μ. Κατά τα άλλα είναι όμοια με τη μέθοδο "μεγάλου τούνελ".

Πολυάριθμες άλλες μέθοδοι έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί ή βρίσκονται σε εξέλιξη.



Σχ. 10. 8. Μέθοδος "καπνοδόχου"  
(Hunt/Garratt 1967)



Σχ. 10. 9 . Διάγραμμα της συσκευής  
προσδιορισμού του δείκτη οξυγόνου.  
(White 1979)

Για τον προσδιορισμό του δείκτη οξυγόνου χρησιμοποιείται κατάλληλη συσκευή (White 1979, Σχ. 10.9). Η συσκευή αυτή αποτελείται από γυάλινη στήλη και λειτουργεί έτσι ώστε το δείγμα ξύλου, το οποίο τοποθετείται κατακόρυφα στο μέσο της στήλης, να καίγεται βαθμιαία (όπως το κερί) μέσα σ'ένα μίγμα οξυγόνου και αζώτου που αυξάνεται σιγά-σιγά. Η τροφοδοσία της στήλης με το μίγμα αερίων γίνεται με δύο χωριστούς τροφοδότες (οξυγόνου και αζώτου) και ελέγχεται με ρυθμιστικές βαλβίδες ροής. Στο κάτω μέρος της στήλης υπάρχει βάση ανάμιξης των δύο αερίων και γυάλινη πλάκα ομοιόμορφης διασποράς τους μέσα στη στήλη. Το δείγμα αναφλέγεται στο ένα άκρο του με τη βοήθεια φλόγας που παράγεται στο άκρο ενός σωλήνα με μικρό στόμιο και αρχίζει να καίγεται όπως το κερί. Οι διαστάσεις των δειγμάτων που χρησιμοποιούνται είναι 3X6,5X70 ή 150 mm. Για τον προσδιορισμό του δείκτη οξυγόνου χρειάζεται πειραματισμός σε κάθε περίπτωση ώστε η παροχή οξυγόνου να είναι η ελάχιστη δυνατή για τη διατήρηση της καύσης. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μέθοδο της "αύξησης ή ελάττωσης" της παροχής οξυγόνου κατά σταθερή ποσότητα και με επαναλαμβανόμενο τρόπο.

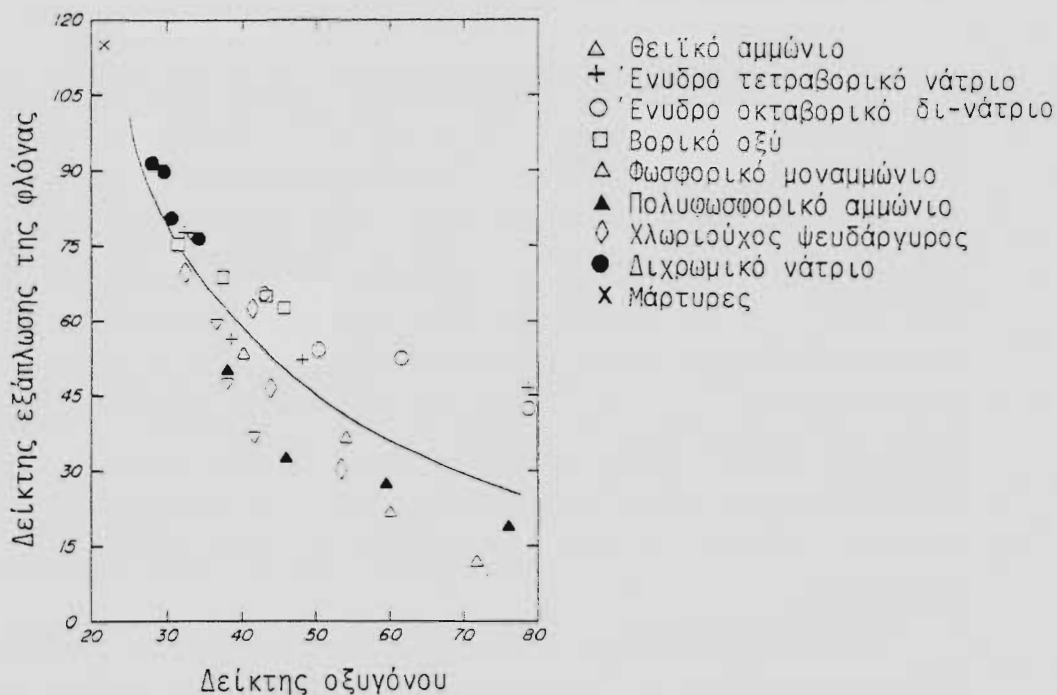
Ο δείκτης οξυγόνου βρέθηκε να παρουσιάζει κάποια συσχέτιση ( $r=0,81-0,89$ ) με αντιπυρικές δοκιμές που περιγράφηκαν προηγουμένως (βλ. Σχ.10.10). Επειδή όμως τα αποτελέσματα προκύπτουν σε ήπιες εργαστηριακές συνθήκες και όχι σε πραγματικές συνθήκες πυρκαϊάς η χρησιμοποίηση του δείκτη αυτού χρειάζεται προσοχή. Πρέπει να σημειωθεί ότι η περιεχόμενη υγρασία, η διεύθυνση των ινών και οι διαστάσεις των δειγμάτων επηρεάζουν πολύ το δείκτη οξυγόνου.

Μια απλή μέθοδος προσδιορισμού του δείκτη αντοχής στη φωτιά είναι η μέθοδος "πυράκτωσης πυριτικού τεμαχίου" που αναπτύχθηκε στην Ανατολική Γερμανία. Το κύριο χαρακτηριστικό της μεθόδου είναι η πυράκτωση ενός πυριτικού τεμαχίου (μετά από θέρμανση σε  $950^{\circ}\text{C}$  για 3 λεπτά) το οποίο βρίσκεται πολύ κοντά στο άκρο δείγματος ξύλου διαστάσεων 4X10X100 mm (Panayotou 1988, Σχ. 10.11). Ο δείκτης αντοχής στη φωτιά ( $\Delta\text{A}\Phi$ ) προσδιορίζεται με την εξίσωση: 
$$\Delta\text{A}\Phi = \log \frac{10^6}{M \cdot l}$$

όπου, M= η απώλεια βάρους του δείγματος ξύλου, mg

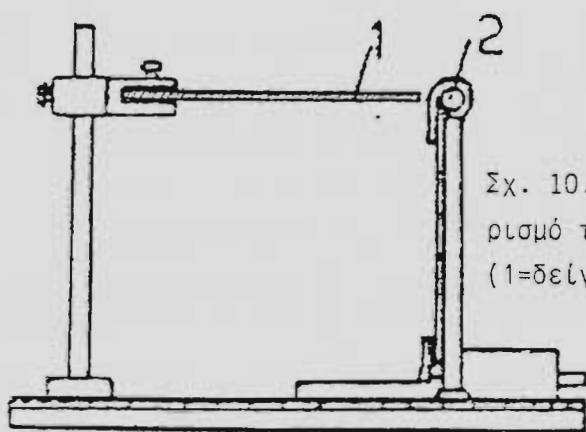
l= το μήκος της επιφανειακής εξάπλωσης της φλόγας, cm.

Ανάλογα με τις τιμές του  $\Delta\text{A}\Phi$  ( $0 < \Delta\text{A}\Phi < 4,1$ ) διακρίνονται έξι κατηγορίες 0, 1, 2, 3, 4 και 5 που αντιστοιχούν σε: πάρα πολύ εύφλεκτα, πολύ εύφλεκτα, εύφλεκτα, μέτρια εύφλεκτα, λίγο εύφλεκτα και όχι εύφλεκτα υλικά.



Σχ. 10. 10. Σχέση μεταξύ δείκτη οξυγόνου (ΔO) και δείκτη εξάπλωσης της φλόγας (ΔΕΦ) με τη μέθοδο του "τούνελ 8 ποδιών" (εξίσωση:  $\Delta E\Phi = -9,055 + \frac{2687}{\Delta O}$ )

(White 1979)



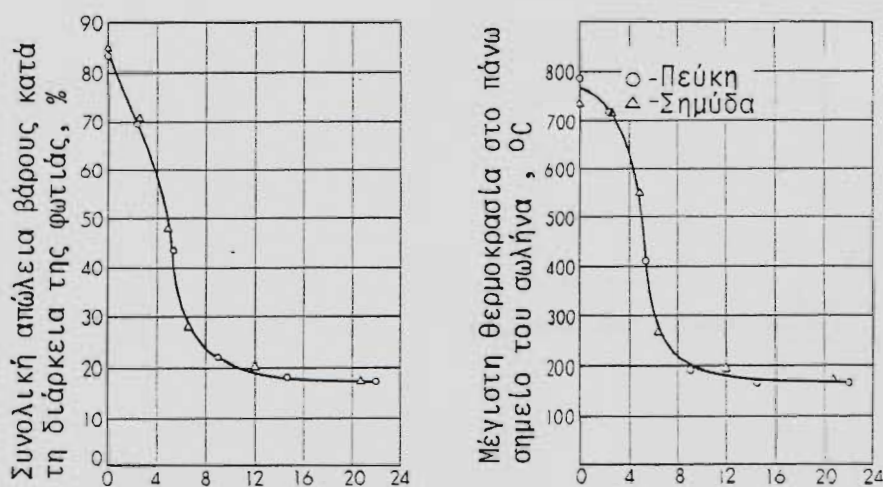
Σχ. 10.11. Συσκευή για τον προσδιορισμό του δείκτη αντοχής στη φωτιά (1=δείγμα, 2=τεμάχιο πυριτίου).

(Panayotov 1983)

7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΝΤΙΠΥΡΙΚΩΝ ΟΥΣΙΩΝ

Η αποτελεσματικότητα των αντιπυρικών ουσιών που εφαρμόζονται στο ξύλο με εμποτισμό εξαρτάται από το είδος του χημικού και τη συγκράτηση του από το ξύλο (βλ. Σχ.10.3). Γενικά, η συγκράτηση αντιπυρικών ουσιών από το ξύλο είναι συνήθως 5-10 φορές μεγαλύτερη σε σύγκριση με τις κοινές εμποτιστικές ουσίες ώστε να υπάρχει αποτελεσματική προστασία (Nicksolas 1973). Χαμηλή συγκράτηση, ακόμη και των πιο αποτελεσματικών χημικών δεν προσδίδουν μεγάλη αντιπυρική προστασία. Αυτό φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχ. 10.12 όπου η συγκράτηση του φωσφορικού διαμμωνίου σε πεύκη και σημύδα πρέπει να είναι τουλάχιστο 8 Kg ξηρού άλατος/100 Kg ξύλου ξηρού στον αέρα (51-59 Kg/m<sup>3</sup>). Χαμηλότερες συγκρατήσεις μπορεί να είναι αποδεκτές σε ορισμένες περιπτώσεις, π.χ. σε ξυλεία μεγαλύτερων διαστάσεων.

Άλλα αποτελέσματα με τη μέθοδο σωλήνα στις Η.Π.Α. έδειξαν ότι για διάφορα χημικά και για δείγματα ξύλου πάχους 2,5 cm, χρειάζεται συγκράτηση μεγαλύτερη από 85 Kg/m<sup>3</sup> ώστε η απώλεια βάρους του ξύλου να διατηρείται κάτω του 20% (Hunt/Garratt, 1967). Συνήθως όμως συγκράτηση 26-51 Kg/m<sup>3</sup> είναι αποδεκτή για ξυλεία κατασκευών.



Συγκράτηση ξηρού άλατος, Kg/100 Kg ξύλου ξηρού στον αέρα

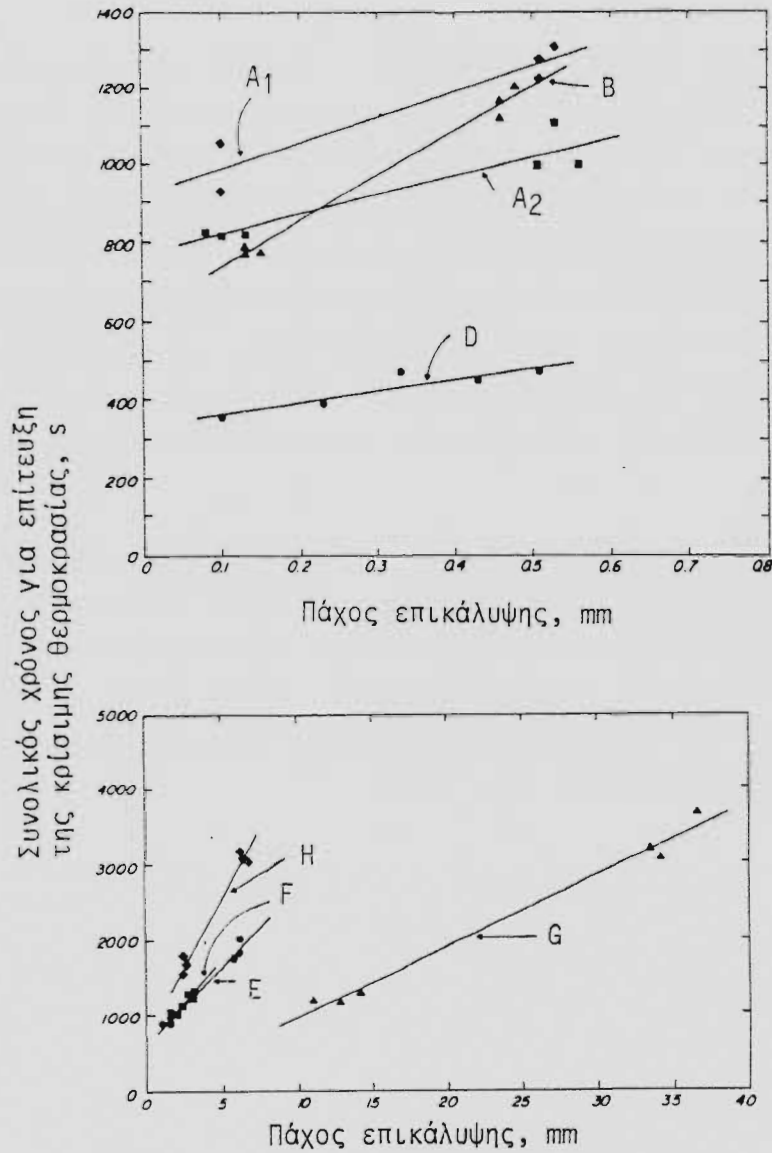
Σχ. 10. 12 . Αποτελεσματικότητα αντιπυρικών ουσιών για διαφορετικές συγκρατήσεις φωσφορικού διαμμωνίου σε πεύκη και σημύδα, όπως προκύπτει με τη μέθοδο του σωλήνα.

(Hunt/Garratt 1967)

Από σχετικές έρευνες αναγνωρίζεται η υπεροχή του φωσφορικού αμμωνίου (μονοβασικού και διβασικού) σαν αντιπυρικής ουσίας. Άλλα χημικά που επιβραδύνουν σημαντικά την εξάπλωση της φλόγας και την πυράκτωση του ξύλου είναι το φωσφορικό οξύ, βρωμιούχο αμμώνιο, χλωριούχο αμμώνιο, μονοβασικός φωσφορικός ψευδάργυρος, κ.ά. Πρέπει να σημειωθεί ότι συχνά στα χημικά αυτά προστίθενται και άλλες ουσίες ώστε να αντιμετωπίζονται ορισμένα μειονεκτήματα. Αντίθετα, άλλα χημικά (π.χ. άλατα όπως χλωριούχο χρώμιο, χλωριούχο κοβάλτιο, οξαλικό αμμώνιο, χρωμικό ασβέστιο, κλπ.) μπορεί να αυξάνουν την τάση του ξύλου να πυρακτώνεται μετά την παύση της καύσης.

Η αποτελεσματικότητα της αντιπυρικής ουσίας γίνεται μεγαλύτερη όσο το πάχος της επικάλυψης αυξάνεται (Σχ. 10.13 και 10.14). Επίσης, αύξηση του πάχους του ξύλου ή του προϊόντος ξύλου που επικαλύπτεται με αντιπυρική ουσία αυξάνει την αποτελεσματικότητα (Σχ.10.14 και 10.15). Διαφορές αποτελεσματικότητας εμφανίζονται μεταξύ τύπων επικαλύψεων (Σχ. 10.13, Σχ. 10.14) και ειδών ξύλου (Σχ. 10.15).



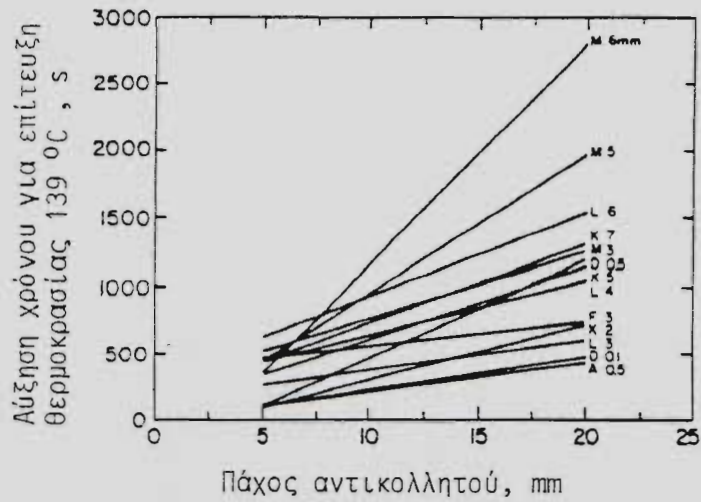


Σχ. 10.13 . Συνολικός χρόνος που απαιτείται για την επιφάνεια του αντικολλητού κάτω από την αντιπυρική επικάλυψη να φθάσει την κρίσιμη θερμοκρασία (μέση τιμή  $139^{\circ}\text{C}$  / μέγιστη  $181^{\circ}\text{C}$ ) σε σχέση με το πάχος της επικάλυψης και για διάφορους τύπους επικαλύψεων (χρόνος για αντικολλητά χωρίς αντιπυρική επικάλυψη = 210 s, 670 s και 870 s για πάχη αντικολλητού 6 mm , 16 mm και 19 mm αντίστοιχα).

A-D : επικαλύψεις που επιβραδύνουν την εξάπλωση της φλόγας  
(πάχη αντικολλητού:  $A_1=19$  mm ,  $A_2$  και  $B=16$  mm ,  $D=6$  mm)

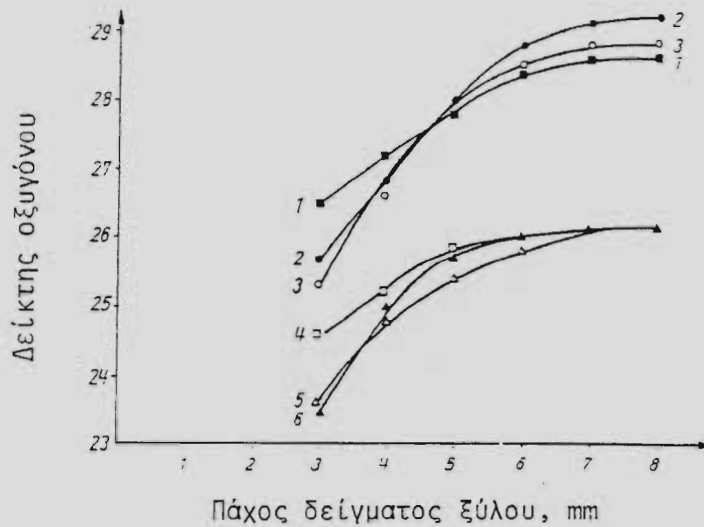
E-H : επικαλύψεις που αντιστέκονται στην καύση.

(White 1984)



Σχ. 10.14. Αύξηση του χρόνου σε σύγκριση με τους μάρτυρες για την επίτευξη της κρίσιμης θερμοκρασίας από την επιφάνεια του αντικολλητού που βρίσκεται κάτω από την αντιπυρική επικάλυψη σε σχέση με το πάχος του αντικολλητού και για διάφορους τύπους και πάχη επικάλυψης (Α-Μ : διάφοροι τύποι επικαλύψεων. Οι αριθμοί δίπλα στους κωδικούς δείχνουν το πάχος της επικάλυψης).

(White 1986)

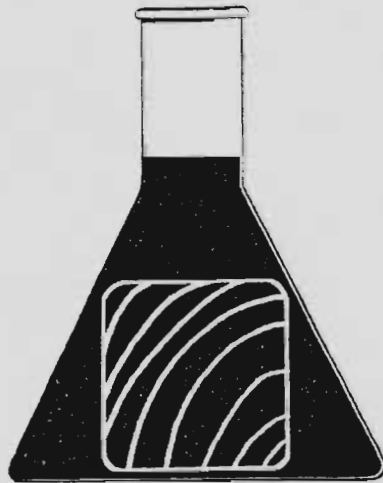
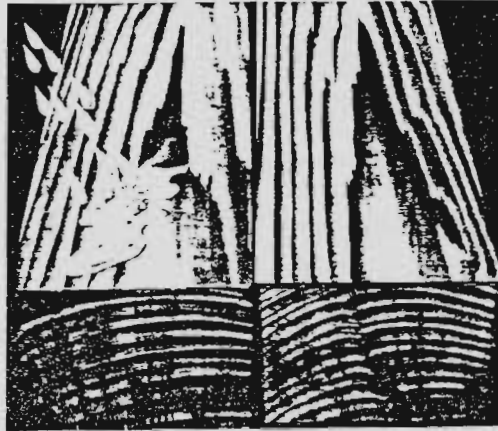


Σχ. 10.15. Αύξηση του δείκτη οξυγόνου (μείωση του εύφλεκτου) με την αύξηση του πάχους διαφόρων δειγμάτων ξύλου (1. λάριξ, 2. οξιιά, 3. δρυς, 4. ερυθρελάτη, 5. ελάτη, 6. σημύδα) μέχρι 8 mm.

(Rietz 1989)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11ο

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΥΔΡΟΦΟΒΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΑΚΗΣ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑΣ  
ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ



### 11.1. ΓΕΝΙΚΑ

Το ξύλο είναι υδρόφιλο υλικό και όταν βρεθεί σε επαφή με νερό τότε αυτό μπαίνει στις κυτταρικές κοιλότητες με τη βοήθεια τριχοειδών δυνάμεων και μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα με διάχυση. Στα κυτταρικά τοιχώματα τα μόρια του νερού σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου με διαθέσιμα -OH των χημικών συστατικών του ξύλου αλλά και μεταξύ τους. Από τα χημικά συστατικά του ξύλου, υπεύθυνα για την διείσδυση του νερού στα κυτταρικά τοιχώματα και τη δέσμευσή τους είναι, κατά σειρά σπουδαιότητας, οι μη κρυσταλλικές περιοχές της κυτταρίνης, οι ημι-κυτταρίνες και, σε μικρό βαθμό, η λιγνίνη. Με την έναρξη της διείσδυσης του νερού στα κυτταρικά τοιχώματα αρχίζει και η διόγκωσή τους.

Η συνολική ογκομετρική διόγκωση είναι ανάλογη της πυκνότητας του ξύλου και η σχέση αυτή αποδίδεται κατά προσέγγιση με την εξίσωση (Stamm 1964):

$$V (\%) = (O.K.I.) \cdot d$$

όπου  $V$  = συνολική ογκομετρική διόγκωση (%)

$O.K.I$  = όριο κορεσμού ινών (%)

$d$  = πυκνότητα ( $g/cm^3$ )

Αποκλίσεις από την παραπάνω εξίσωση υπάρχουν, ιδιαίτερα σε είδη με υψηλό ποσοστό εκχυλισμάτων.

Η διόγκωση του ξύλου λόγω προσρόφησης νερού είναι μεγάλη και οι δυνάμεις που αναπτύσσονται σημαντικές. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν τεμάχια ξύλου για θρυμματισμό βράχων στο βουνό με τον εξής τρόπο (Rowell, Banks 1985):

(α) διάνοιξη οπών στο βράχο

(β) τοποθέτηση ξηρών τεμαχίων ξύλου μέσα στις οπές (σε στενή επαφή με την εσωτερική επιφάνεια των οπών).

(γ) ύγρανση του ξύλου για να διογκωθεί, και

(δ) θρυμματισμός του βράχου λόγω της μεγάλης πίεσης που εξασκούσε το ξύλο κατά τη διόγκωσή του στα τοιχώματα των οπών.

Οι παραπάνω δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη διόγκωση του ξύλου είναι υπεύθυνες για την εμφάνιση ποικίλων σφαλμάτων (π.χ. στρέβλωση, ραγάδωση, κ.ά.) κατά τη χρήση του και για την αποτυχία ξύλινων κατασκευών. Τα σφάλματα που παρουσιάζονται στις ξύλινες κατασκευές είναι εντονότερα όσο:

(1) ο βαθμός διόγκωσης είναι μεγάλος

(2) ο ρυθμός διόγκωσης είναι μεγάλος

(3) η εναλλαγή ρίκνωσης και διόγκωσης του ξύλου είναι συχνή, και

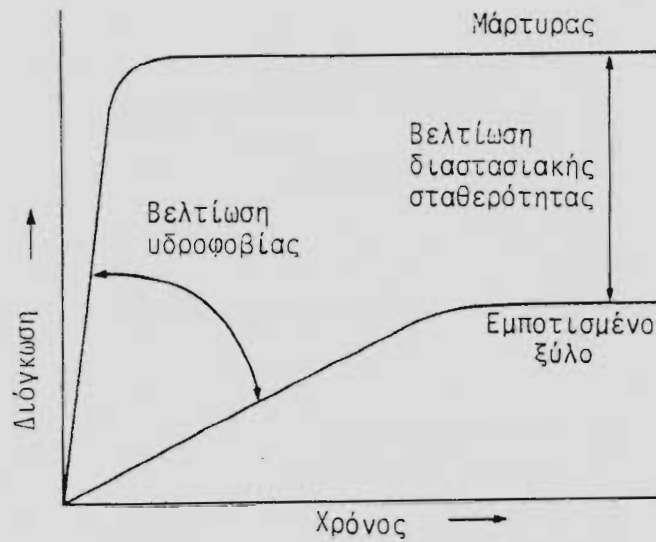
(4) υπάρχει διαθέσιμος χρόνος επαφής του ξύλου με το νερό για σημαντική διόγκωση ή κατάλληλες συνθήκες ξήρανσης για σημαντική ρίκνωση.

Πρόσληψη (ή απώλεια) νερού από το ξύλο γίνεται και από την ατμόσφαιρα. Στην περίπτωση αυτή δεν υπάρχει άμεση επαφή υγρού νερού και ξύλου αλλά το ξύλο λόγω της υγροσκοπικότητάς του προσλαμβάνει (ή αποβάλλει) μόρια νερού από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται για να αποκτήσει ισοδύναμη υγρασία. Τα μόρια αυτά νερού προσλαμβάνονται (ή αποβάλλονται) από τα κυτταρικά τοιχώματα και, επομένως, το ξύλο διογκώνεται (ή ρικνώνεται). Το μέγεθος των διαστασιακών μεταβολών του ξύλου εξαρτάται από το μέγεθος των μεταβολών της σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου.

#### 11.2. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΞΥΛΟΥ-ΝΕΡΟΥ

Η υγροσκοπικότητα και οι διαστασιακές μεταβολές (ρίκνωση, διογκωση) του ξύλου αποτελούν σοβαρά μειονεκτήματα σε πολλές χρήσεις του. Σημαντικός, επομένως, στόχος για την καλύτερη αξιοποίηση του ξύλου είναι η βελτίωση (ελάττωση) της υγροσκοπικότητας και της διαστασιακής σταθερότητάς του. Η υγροσκοπικότητα έχει άμεση σχέση με το μέγεθος των διαστασιακών μεταβολών του ξύλου. Εάν το νερό (σε υγρή ή αέρια κατάσταση) εμποδιστεί να μπει στις κυτταρικές κοιλότητες ή στα κυτταρικά τοιχώματα, το αποτέλεσμα θα είναι μείωση του ρυθμού ή του βαθμού διογκωσης του ξύλου. Για την ελάττωση της υγροσκοπικότητας και των διαστασιακών μεταβολών έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι που, στις περισσότερες περιπτώσεις, περιλαμβάνουν εισαγωγή διαφόρων χημικών ουσιών μέσα στο ξύλο αλλά μπορεί να διαφέρουν στο είδος και βαθμό βελτίωσης και στο μηχανισμό προστασίας. Πάντως, η ανάπτυξη νέων ή βελτιωμένων μεθόδων, πιο αποτελεσματικών και με μικρό σχετικά κόστος αποτελεί πάντοτε επίκαιρη επιδίωξη.

Με διάφορους χειρισμούς προσδίδεται στο ξύλο υδροφοβία και διαστασιακή σταθερότητα. Η υδροφοβία δυσκολεύει το υγρό νερό να μπει στις κυτταρικές κοιλότητες και στη συνέχεια στα κυτταρικά τοιχώματα για να τα διογκώσει με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός διογκωσης του ξύλου χωρίς όμως να ελαττώνεται ο τελικός βαθμός διογκωσης εφόσον υπάρχει διαθέσιμος χρόνος. Με τη διαστασιακή σταθερότητα επιτυγχάνεται, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, η ελάττωση του τελικού βαθμού διογκωσης του ξύλου χωρίς να αποκλείεται και μείωση του ρυθμού διογκωσης. Στο Σχ. 11.1. δείχνεται μια τυπική σχέση διογκωσης-χρόνου για μη εμποτισμένα (μάρτυρες) και εμποτισμένα με βελτιωτικές χημικές ουσίες δείγματα ξύλου όταν γίνεται εμβάπτισή τους στο νερό. Στους μάρτυρες παρατηρείται ταχεία πρόσληψη νερού και επίτευξη της μέγιστης διογκωσης σε σχετικά μικρό χρόνο ενώ στα εμποτισμένα περιορίζεται η αλληλεπίδραση ξύλου-νερού (α) με ελάττωση του ρυθμού διογκωσης του ξύλου και (β) με ελάττωση του τελικού μεγέθους της διογκωσης. Το πρώτο αποτέλεσμα δηλώνει βελτίωση της υδροφοβίας και το δεύτερο βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας.



Σχ. 11.1. Ρυθμός και τελικός βαθμός διόγκωσης δειγμάτων ξύλου (εμποτισμένων και μή) σε σχέση με το χρόνο εμβάπτισής τους στο νερό.

(Rowell/Banks 1985)

Ανάλογα με το είδος των βελτιωτικών ουσιών που χρησιμοποιούνται και τα αποτελέσματα των χειρισμών διακρίνονται τρεις τύποι βελτίωσης και προστασίας του ξύλου Α, Β και Γ (βλ. Σχ. 11.2.).

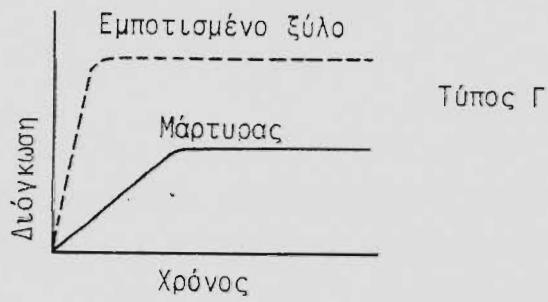
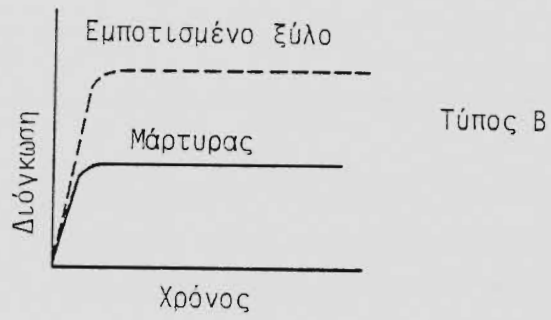
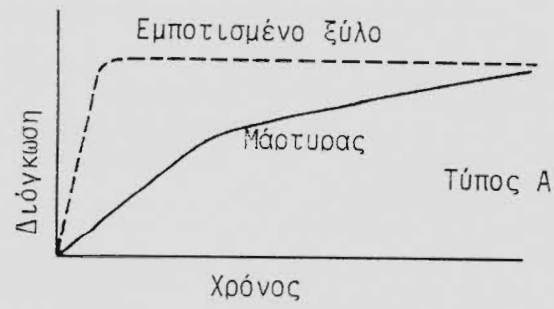
Α. Βελτίωση της υδροφοβίας (μείωση του ρυθμού διόγκωσης του ξύλου όταν αυτό βρεθεί σε επαφή με υγρό νερό).

Β. Βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας του ξύλου (μείωση του τελικού βαθμού διόγκωσης).

Γ. Συνδυασμός των παραπάνω Α και Β.

Οι έννοιες, επομένως, υδροφοβία και διαστασιακή σταθερότητα δεν είναι ταυτόσημες και διαφέρουν μεταξύ τους ως προς το μηχανισμό προστασίας του ξύλου από το νερό.

Πρέπει να σημειωθεί ότι με τους χειρισμούς για τη βελτίωση της υγροσκοπικότητας και διαστασιακής σταθερότητας επιδιώκεται να βελτιωθούν και άλλες ιδιότητες του ξύλου (π.χ. αντοχή σε προσβολές από μύκητες, έντομα και θαλασσινούς οργανισμούς, μηχανική αντοχή, κ.λ.π.).



Σχ. 11.2. Τύποι βελτίωσης και προστασίας του ξύλου από τη δράση του νερού. Α. Βελτίωση υδροφοβίας, Β. Βελτίωση διαστασιακής σταθερότητας, Γ. Συνδυασμός των Α και Β.

(Rowell/Banks 1985)

### 11.3. ΥΔΡΟΦΟΒΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΦΙΛΙΑ

Μεταξύ των μορίων ενός σώματος υπάρχουν ελκτικές δυνάμεις (δυνάμεις συνοχής) αλλά και μεταξύ των μορίων δύο σωμάτων (π.χ. ενός στερεού και ενός υγρού) αναπτύσσονται παρόμοιες δυνάμεις (δυνάμεις συνάφειας). Στα στερεά σώματα οι δυνάμεις συνοχής είναι μεγάλες, στα υγρά μικρότερες και στα αέρια σχεδόν ανύπαρκτες.

Αν πάνω σε μια επιφάνεια στερεού σώματος τοποθετηθεί μια σταγόνα υγρού μπορούν να παρατηρηθούν τα εξής:

- (α) ταχεία εξάπλωση πάνω στην επιφάνεια του στερεού και εξαφάνιση της σταγόνας λόγω εισόδου της στο στερεό σώμα. Αυτό συμβαίνει επειδή οι δυνάμεις συνάφειας μεταξύ υγρού και στερεού είναι ίσες ή μεγαλύτερες των δυνάμεων συνοχής του υγρού.
- (β) η σταγόνα του υγρού παραμένει κυρτή πάνω στην επιφάνεια του στερεού και σχηματίζει γωνία με την επιφάνεια στα σημεία επαφής στερεού/υγρού/αερίου. Στην περίπτωση αυτή οι δυνάμεις συνοχής του υγρού είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συνάφειας μεταξύ υγρού και στερεού.

Η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της σταγόνας του υγρού και της επιφάνειας του στερεού ονομάζεται γωνία επαφής (Σχ. 11.3) και είναι τόσο μεγάλη όσο οι δυνάμεις συνάφειας μεταξύ υγρού και στερεού είναι μικρότερες από τις δυνάμεις συνοχής του υγρού. Στην παραπάνω περίπτωση (α) η γωνία επαφής είναι 0.

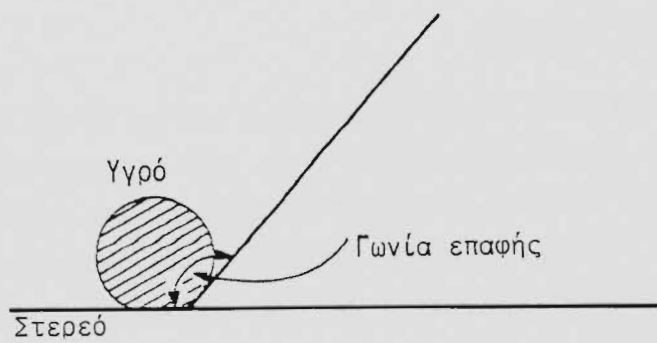
Παρόμοια φαινόμενα συμβαίνουν και στα τοιχώματα τριχοειδών. Η επιφάνεια των υγρών μέσα στα τριχοειδή σχηματίζουν κυρτή επιφάνεια (γωνία επαφής  $> 90^\circ$ ), ή κοίλη επιφάνεια (γωνία επαφής  $< 90^\circ$ ). Στην πρώτη περίπτωση λέγεται ότι δεν διαβρέχει το στερεό ενώ στη δεύτερη περίπτωση ότι διαβρέχει το στερεό (Σχ. 11.4). Όταν η γωνία επαφής είναι  $0^\circ$ , το υγρό λέγεται ότι διαβρέχει τελείως το στερεό.

Στα παραπάνω φαινόμενα μοριακών δυνάμεων εμπλέκονται οι επιφανειακές τάσεις των διαφόρων φάσεων οι οποίες συνδέονται αλγεβρικά με την παρακάτω εξίσωση (γνωστή συνήθως σαν εξίσωση του Young) (Adam 1941):

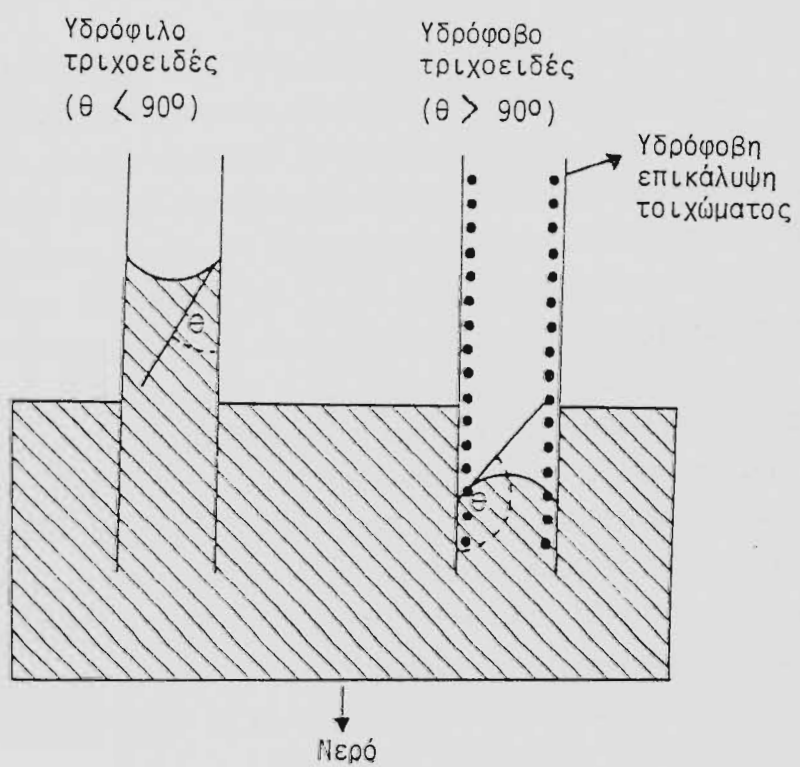
$$\gamma_S = \gamma_{SL} + \gamma_L \cos\theta$$

- όπου,
- $\gamma_S$  = επιφανειακή τάση του στερεού
  - $\gamma_L$  = επιφανειακή τάση του υγρού
  - $\gamma_{SL}$  = τάση στην επιφάνεια επαφής μεταξύ στερεού και υγρού
  - $\theta$  = γωνία επαφής





Σχ. 11.3. Γωνία επαφής μεταξύ σταγόνας υγρού και επιφάνειας στερεού.



Σχ. 11.4. Διαβροχή (A) και μη διαβροχή (B) τριχοειδών από νερό. Οι μαύρες τελείες παριστάνουν εναπόθεση υδρόφοβων ουσιών στα εσωτερικά τοιχώματα τριχοειδών ξύλου με αποτέλεσμα να γίνονται υδρόφοβα και να μην διαβρέχονται από νερό ( $\theta$ =γωνία επαφής).

Ο υδρόφιλος ή υδρόφοβος χαρακτήρας μιας επιφάνειας ή τοιχώματος τριχοειδούς ενός στερεού σώματος εκφράζεται με τη γωνία επαφής ( $\theta$ ) που σχηματίζεται μεταξύ της επιφάνειας ή του τοιχώματος του τριχοειδούς του σώματος και της εφαπτομένης στα σημεία επαφής στερεού/υγρού/αερίου (Σχ. 11.3,4). Όταν  $\theta > 90^\circ$  η επιφάνεια χαρακτηρίζεται σαν υδρόφοβη ενώ όταν  $\theta < 90^\circ$  σαν υδρόφιλη. Οι επιφάνειες που περιλαμβάνουν πολικές χημικές ρίζες, ιδιαίτερα ρίζες που σχηματίζουν δεσμούς υδρογόνου με το νερό, όπως π.χ. επιφάνειες ξύλου, είναι υδρόφιλες ενώ επιφάνειες με όχι πολικές ρίζες είναι υδρόφοβες

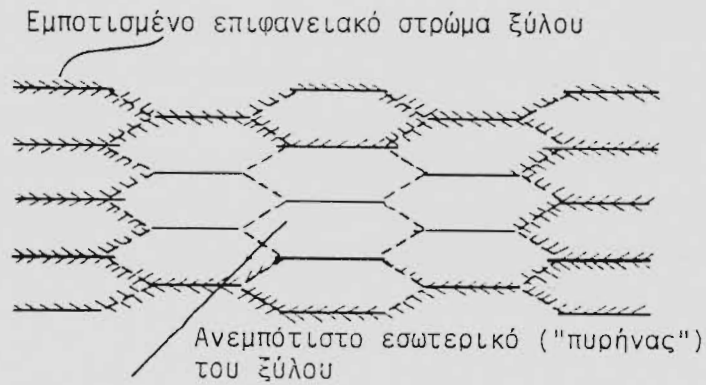
### 11.3.1. Προστασία του ξύλου με υδρόφοβες ουσίες

Με εισαγωγή υδρόφοβων ουσιών στο ξύλο επιδιώκεται η μετατροπή της επιφάνειας του ξύλου (εξωτερικής και εσωτερικής) από υδρόφιλη σε υδρόφοβη. Αυτό γίνεται με εμποτισμό του ξύλου με υδρόφοβα (οργανικά) διαλύματα, εξάτμιση του οργανικού διαλύτη και παραμονή μόνο των υδρόφοβων συστατικών (π.χ. ρητίνες, έλαια, παραφίνες) στο ξύλο (βλ. κεφ. 2.2.4 ).

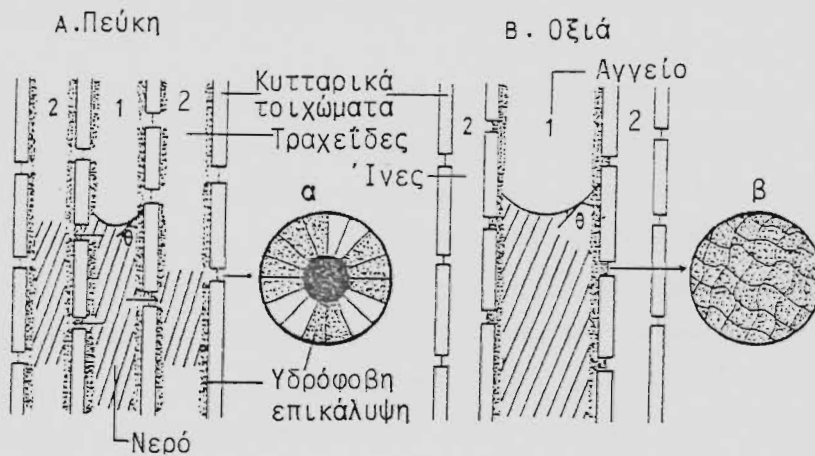
Μετά το χειρισμό, η εξωτερική επιφάνεια και η εσωτερική επιφάνεια (εσωτερικά τοιχώματα κοιλοτήτων των κυττάρων και των βοθρίων) του επιφανειακού στρώματος του ξύλου επικαλύπτονται με πολύ λεπτό υδρόφοβο στρώμα. Το κεντρικό, εσωτερικό τμήμα του ξύλου συνήθως δεν εμποτίζεται και περιβάλλεται από το εμποτισμένο επιφανειακό στρώμα (Σχ.11.5 ).

Από τα μέχρι σήμερα αποτελέσματα υδρόφοβων χειρισμών προκύπτουν τα εξής (Voulgaridis 1980, 1985, Banks 1981, Voulgaridis/Banks 1981, 1982, Banks/Voulgaridis 1980, Razzaque 1982, Banks/Carragher 1984, Rowell/Banks 1985, Voulgaridis 1988):

- a. Το υγρό νερό εμποδίζεται να διεισδύσει γρήγορα μέσα στο ξύλο εκτός εάν εφαρμοσθεί εξωτερική πίεση που να υπερνικά την αντίσταση αυτή. Η επιβράδυνση αυτή της διείσδυσης του νερού οφείλεται (i) στην υδροφοβία των εσωτερικών τοιχωμάτων των τριχοειδών του επιφανειακού στρώματος του ξύλου η οποία εμποδίζει την είσοδο του νερού στα τριχοειδή και (ii) στην επικάλυψη των τοιχωμάτων των τριχοειδών με στρώμα υδρόφοβων ουσιών που εμποδίζει την εύκολη διείσδυση του νερού στα κυτταρικά τοιχώματα και επομένως επιβραδύνει το ρυθμό διάχυσης του νερού και διόγκωσης του ξύλου. Η σημασία της καθεμιάς από τις παραπάνω αιτίες είναι διαφορετική σε κωνοφόρα και πλατύφυλλα λόγω διαφορών δομής μεταξύ τους και κυρίως της ύπαρξης τριχοειδών στις μεμβράνες των βοθρίων των κωνοφόρων. Στα κωνοφόρα, μεγάλος βαθμός υδροφοβίας είναι απαραίτητος ενώ σε πλατύφυλλα φαίνεται ότι σημαντική προστασία παρέχει και μόνη η επικάλυψη χωρίς μεγάλο βαθμό υδροφοβίας (Σχ. 11.6 ).



Σχ. 11.5. Υδρόφοβος χειρισμός του ξύλου. Το υδρόφοβο επιφανειακό στρώμα περιβάλλει το ανεμπότιστο εσωτερικό στρώμα του ξύλου. (Rowell/Banks 1985)



Σχ. 11.6. Στα πλατύφυλλα (π.χ. οξιλά) και μόνη η επικάλυψη των εσωτερικών τοιχωμάτων των τριχοειδών (αγγείων) χωρίς να είναι απαραίτητα υδρόφοβη εμποδίζει την κίνηση του νερού από τα αγγεία(1) στις γειτονικές ίνες (2) επειδή οι χωρίς μικροσκοπικά τριχοειδή μεμβράνες των βοθρίων (β) επικαλύπτονται αποτελεσματικά. Στα κωνοφόρα (π.χ. πεύκη), λόγω της ύπαρξης μικρών τριχοειδών των μεμβρανών(α) τα οποία δεν είναι δυνατό να επικαλυφθούν επαρκώς, μία μη υδρόφοβη επικάλυψη δεν εμποδίζει το νερό να κινηθεί από μια τραχειίδα (1) στις κοιλότητες γειτονικών τραχειϊδών (2) με τριχοειδείς δυνάμεις δια μέσου των βοθρίων.

(Voulgaridis 1980)

- β. Η προστασία του ξύλου με υδρόφοβες ουσίες βασίζεται στη σημαντική μείωση του ρυθμού διείσδυσης του υγρού νερού στο ξύλο. Όταν ο χρόνος επαφής ξύλου και νερού είναι μεγάλος το νερό κατορθώνει τελικά να διεισδύσει στο ξύλο και να το διογκώσει στον ίδιο σχεδόν βαθμό του όχι εμποτισμένου ξύλου.
- γ. Ο ρυθμός προσρόφησης νερού σε αέρια κατάσταση μειώνεται λίγο με υδρόφοβους χειρισμούς.
- δ. Το υδρόφοβο στρώμα επικαλύπτει μάλλον ανομοιόμορφα την εσωτερική επιφάνεια του επιφανειακού στρώματος του ξύλου λόγω των τριχοειδών δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια εξάτμισης του οργανικού διαλύτη. Έτσι ακόμη και στο επιφανειακό στρώμα του ξύλου υπάρχουν περιοχές των εσωτερικών τοιχωμάτων των κοιλοτήτων που δεν επικαλύπτονται ή επικαλύπτονται πλημμελώς με υδρόφοβα συστατικά.
- ε. Τα υδρόφοβα συστατικά συνδέονται με τα κυτταρικά τοιχώματα με ασθενείς δυνάμεις Van der Waal's επειδή συμβαίνει κατά την εκχύλιση εμποτισμένου ξύλου με οργανικούς διαλύτες να απομακρύνονται.
- στ. Οι υδρόφοβοι χειρισμοί προστατεύουν το ξύλο από ταχεία διείσδυση του νερού για αρκετό χρονικό διάστημα. Η αρχική (μετά τον εμποτισμό) αποτελεσματικότητα είναι σημαντική αλλά με την πάροδο του χρόνου παρατηρείται μείωσή της. Αυτή η μείωση της αποτελεσματικότητας συνδέεται μάλλον με εξασθένηση του δεσμού ξύλου-υδρόφοβων συστατικών λόγω της εναλλαγής πρόσληψης και απώλειας νερού από το ξύλο και αλλά και της αλλοίωσης του ξύλου που συνεπάγεται η εναλλαγή αυτή. Οι ασθενικοί δεσμοί ξύλου-υδρόφοβων συστατικών και η παραπέρα εξασθένησή τους οδηγεί σε προσπάθειες ανάπτυξης πιο αποτελεσματικών υδρόφοβων συστημάτων με επίκεντρο τη δημιουργία ισχυρών δεσμών ξύλου-υδρόφοβων συστατικών.
- ζ. Το εμποτισμένο ξύλο προστατεύεται έμμεσα και μέχρι ορισμένου βαθμού και από έναρξη μυκητικών δραστηριοτήτων επειδή κατά τη χρήση του διατηρείται συχνότερα σε χαμηλότερα επίπεδα υγρασίας σε σύγκριση με μη εμποτισμένο ξύλο.

Για το βαθμό αποτελεσματικότητας των υδρόφοβων χειρισμών εμπλέκονται διάφοροι παράγοντες όπως:

- α. η κατανομή των υδρόφοβων συστατικών μέσα στο ξύλο. Η κατανομή αυτή έχει σχέση με τις ιδιότητες των υδρόφοβων διαλυμάτων και των συστατικών (π.χ. ιξώδες και συγκέντρωση διαλύματος, μέγεθος μορίων και υδροφοβία των συστατικών, ταχύτητα εξάτμισης του διαλύτη, αναλογία μίξεως συστατικών κ.λ.π), τη μέθοδο εμποτισμού και το είδος του ξύλου.

- β. ο δεσμός μεταξύ ξύλου και υδρόφοβων συστατικών.
- γ. οι συνθήκες χρησιμοποίησης του ξύλου. Σημαντικά στοιχεία των συνθηκών αυτών είναι η συχνότητα επαφής υγρού νερού και ξύλου, ο χρόνος επαφής, η συχνότητα εναλλαγής πρόσληψης και απώλειας νερού από το ξύλο.

### 11.3.2. Μέτρηση της αποτελεσματικότητας των υδρόφοβων χειρισμών

Ο προσδιορισμός της αρχικής αποτελεσματικότητας ενός χειρισμού του ξύλου αλλά και της αποτελεσματικότητας μετά από διάφορα χρονικά διαστήματα υπηρεσίας του εμποτισμένου ξύλου είναι σημαντικό στοιχείο για το χαρακτηρισμό του χειρισμού σαν επιτυχούς και αποδεκτού στην πράξη.

Η μέτρηση της αποτελεσματικότητας ενός υδρόφοβου χειρισμού γίνεται με διάφορες μεθόδους, όπως:

- α. με μέτρηση της γωνίας επαφής μεταξύ του νερού και της επιφάνειας του ξύλου είτε με τοποθέτηση μιας σταγόνας στην επιφάνεια του ξύλου είτε με μερική εμβάπτιση δείγματος ξύλου σε νερό (Σχ. 11.7, 11.8). Όσο μεγαλύτερη από 90° είναι η γωνία επαφής τόσο πιο υδρόφοβη είναι η επιφάνεια του ξύλου και πιο αποτελεσματικός κρίνεται ο χειρισμός (Gray/Wheeler 1959, Borgin 1961, Rak 1975, Voulgaridis 1980).
- β. με μέτρηση της διόγκωσης του ξύλου ή της πρόσληψης νερού από το ξύλο μετά από πλήρη εμβάπτιση του ξύλου για ορισμένο χρόνο (Miniutti et al. 1961, Borgin 1965, Banks 1970, 1973, Voulgaridis 1980). Η αποτελεσματικότητα προκύπτει από την παρακάτω εξίσωση και κυμαίνεται μεταξύ 0 και 100%.

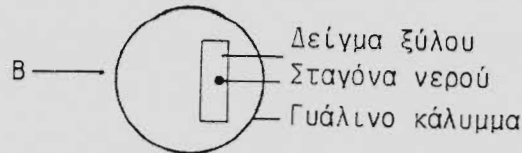
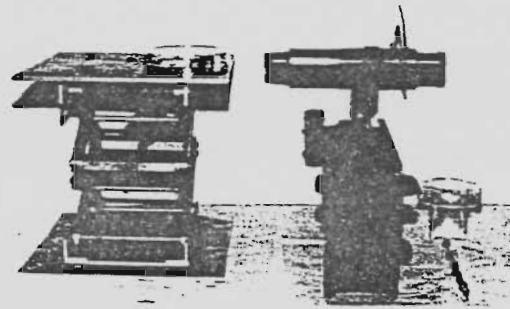
$$AYX = \frac{\Delta\mu - \Delta\epsilon}{\Delta\mu} \cdot 100$$

όπου, AYX = αποτελεσματικότητα υδρόφοβου χειρισμού, %

$\Delta\mu$  = διόγκωση όχι εμποτισμένου ξύλου (ή πρόσληψη νερού) σε χρόνο t

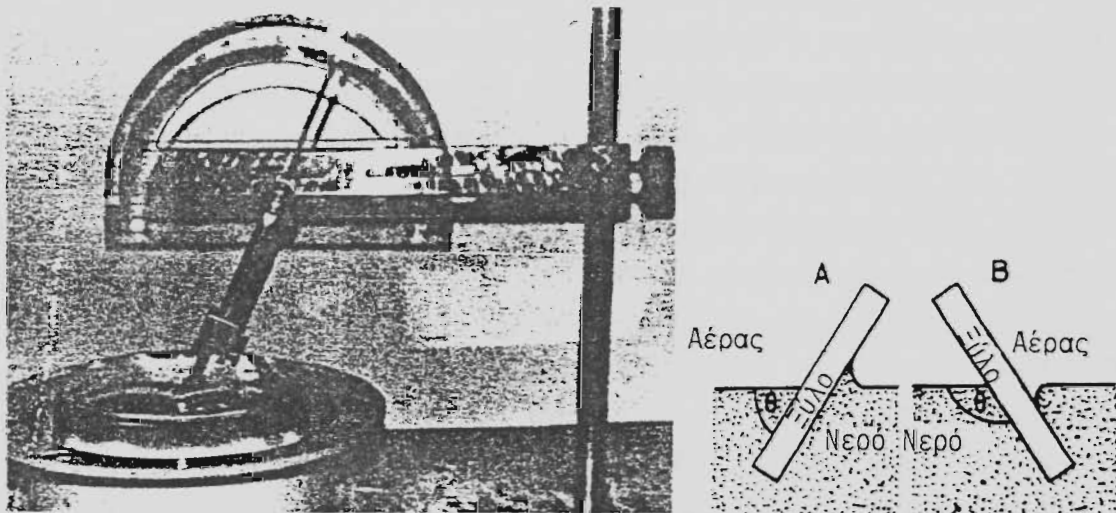
$\Delta\epsilon$  = όπως  $\Delta\mu$  αλλά εμποτισμένου ξύλου

Κατά τη διαδρομή του χρόνου έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες υπομέθοδοι που βασίζονται στα παραπάνω στοιχεία (γωνία επαφής, διόγκωση, πρόσληψη νερού). Η μέθοδος β έχει χρησιμοποιηθεί περισσότερο και, σήμερα, έχει σχεδόν καθιερωθεί. Χρησιμοποιούνται συνήθως λεπτά εγκάρσια δείγματα, εμποτισμένα ή όχι. Κριτήριο της αποτελεσματικότητας των υδρόφοβων χειρισμών με βάση το στοιχείο της διόγκωσης έχει χρησιμοποιηθεί τελευταία με επιτυχία ο ρυθμός εφαπτομενικής διόγκωσης και ο συντελεστής διάχυσης.



Σχ. 11.7. Τρόπος μέτρησης της γωνίας επαφής με τη μέθοδο της σταγόνας (sessile drop method). Α. τράπεζα, Β. δείγμα ξύλου κάτω από γυάλινο κάλυμμα με σταγόνα νερού στην επιφάνειά του (βλ. λεπτομέρεια κάτω), Γ. μικροσκόπιο με μοιρογνωμόνιο και φακό με σταυρόνημα, Δ. απεσταγμένο νερό και σύριγγα για την τοποθέτηση της σταγόνας στην επιφάνεια του ξύλου.

(Voulgaridis 1980)



Σχ. 11.8. Απλή συσκευή μέτρησης της γωνίας επαφής με τη μέθοδο της εμβύθισης του δείγματος ξύλου στο νερό (tilting plate method). Το δείγμα προσαρμοσμένο στο ένα άκρο περιστρεφόμενου άξονα εμβυθίζεται εν μέρει και βαθμιαία στο νερό υπό γωνία και, με ταυτόχρονη μερική περιστροφή του, σταθεροποιείται όταν η επιφάνεια του νερού από τη μια πλευρά (δεξιά ή αριστερά του δείγματος) γίνει επίπεδη. Ο δείκτης (το άλλο άκρο του άξονα) δείχνει κατ'ευθείαν τη γωνία επαφής στο μοιρογνωμόνιο.

(Voulgaridis 1980)

Χρησιμοποιούνται συνήθως λεπτά εγκάρσια δείγματα, εμποτισμένα όχι. Κριτήριο της αποτελεσματικότητας των υδρόφοβων χειρισμών με βάση το στοιχείο της διόγκωσης έχει χρησιμοποιηθεί τελευταία με επιτυχία ο ρυθμός εφαπτομενικής διόγκωσης και ο συντελεστής διάχυσης.

Ο ρυθμός εφαπτομενικής διόγκωσης εκφράζεται με το χρόνο που χρειάζεται ένα λεπτό εγκάρσιο δείγμα να φθάσει στο 1/2 ή στο 1/4 της μέγιστης διόγκωσής του (Σχ. 11.9 ).

Ο "συντελεστής διάχυσης" υπολογίζεται από το ρυθμό εφαπτομενικής διόγκωσης ως εξής (Stamm 1959):

$$D = \frac{\pi \cdot a^2 \cdot \Delta a}{16t}$$

όπου,  $D$  = "συντελεστής διάχυσης"

$a$  = πάχος του δείγματος

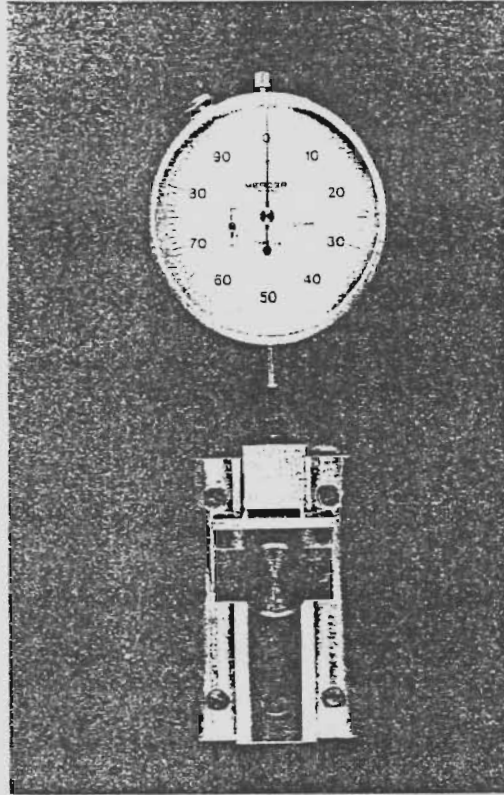
$\Delta a$  = διόγκωση του δείγματος σε χρόνο  $t$  σαν κλάσμα του τελικού βαθμού διόγκωσης

Η τιμή του "συντελεστή διάχυσης" στην προκειμένη περίπτωση δεν αποτελεί μέτρο καθαρά της διάχυσης του νερού στο ξύλο αλλά στη διαμόρφωση της τιμής του εμπλέκονται και η διάχυση και η διείδυση του νερού με τριχοειδείς δυνάμεις. Μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί επιτυχώς σαν συγκριτικό μέτρο αποτελεσματικότητας για υδρόφοβους χειρισμούς. Χαμηλός "συντελεστής διάχυσης" είναι δείκτης αργής κίνησης του νερού μέσα στο ξύλο.

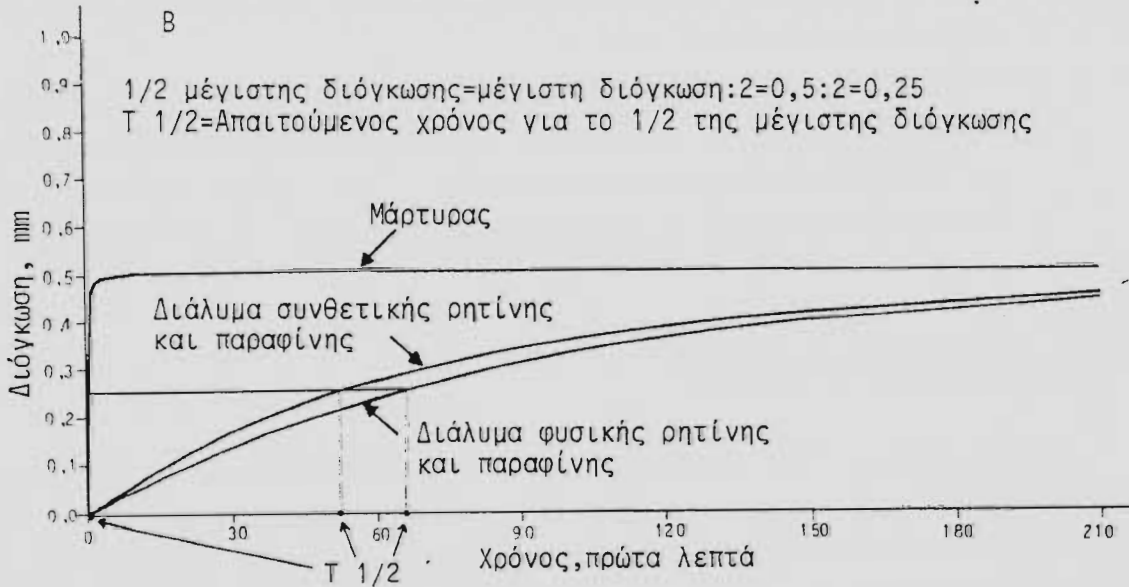
Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα μεταξύ διαφόρων ερευνών ή διαφορετικών χειρισμών πρέπει να εφαρμόζεται ή ίδια συγκεκριμένη τεχνική και να υπάρχει έλεγχος των συνθηκών της δοκιμής. Οι συνθήκες αυτές έχουν σχέση με το σχήμα και μέγεθος των δειγμάτων, τη θερμοκρασία του νερού στο οποίο γίνεται η εμβάπτιση των δειγμάτων του ξύλου, την υγρασία των δειγμάτων κατά τη στιγμή της δοκιμής, κ.ά. (Banks 1971).

Η αποτελεσματικότητα των υδρόφοβων χειρισμών χωρίς να προηγηθεί έκθεση του εμποτισμένου ξύλου σε φυσικούς παράγοντες (νερό, θερμοκρασία, φώς) ονομάζεται αρχική αποτελεσματικότητα. Μεγαλύτερη όμως σημασία έχει η μακροχρόνια διατήρηση της αποτελεσματικότητας σε υψηλό βαθμό κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας του ξύλου. Για την εκτίμηση της μακροχρόνιας αποτελεσματικότητας των υδρόφοβων χειρισμών γίνεται έκθεση των εμποτισμένων δειγμάτων ξύλου σε ελεγχόμενες εργαστηριακές συνθήκες (τεχνητή γήρανση) ή σε μη ελεγχόμενες συνθήκες υπαίθρου (φυσική γήρανση) και μετά από ορισμένους κύκλους γήρανσης επαναπροσδιορίζεται η αποτελεσματικότητα των υδρόφοβων χειρισμών. Είναι φανερό ότι οι εργαστηριακές συνθήκες μπορεί

A



B



Σχ. 11.9. Α. Συσκευή συγκράτησης του δείγματος ξύλου και μέτρησης του ρυθμού εφαπρομενικής διόγκωσής του μετά την εμβάπτισή του στο νερό.

Β. Γραφικός προσδιορισμός του χρόνου που χρειάζεται το δείγμα ξύλου για να φθάσει το 1/2 της μέγιστης διόγκωσης.



να είναι επαναλαμβανόμενες και να δίνουν συγκρίσιμα αποτελέσματα ενώ τα αποτελέσματα μετά από έκθεση των δειγμάτων ξύλου σε υπαίθριες συνθήκες έχουν τοπική σημασία ή μπορεί να ισχύουν το πολύ για περιοχές με ίδια κλιματικά δεδομένα. Στα Σχ. 11.10-11.12 φαίνεται η αποτελεσματικότητα διαφόρων υδρόφοβων χειρισμών πριν και μετά από έκθεση δειγμάτων ξύλου πεύκης και οξιάς σε φυσικούς παράγοντες αλλοίωσης.

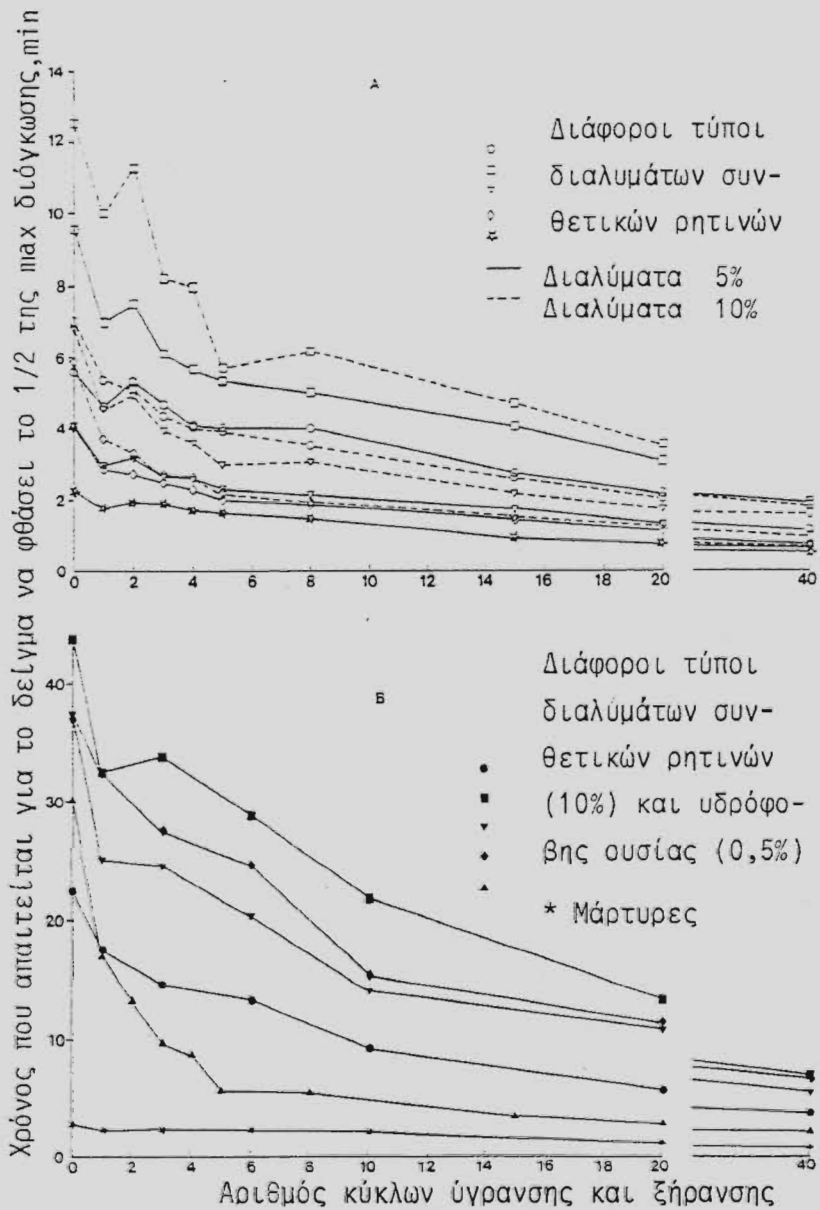
Για τη μέτρηση της αποτελεσματικότητας των υδρόφοβων χειρισμών είναι απαραίτητος ο κλιματισμός των δειγμάτων πριν από τη δοκιμή σε σταθερές συνθήκες, π.χ. σε θερμοκρασία 20 °C και σε σχετική υγρασία 65%. Άλλα στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την εκτίμηση της αποτελεσματικότητας των υδρόφοβων ουσιών είναι τα παρακάτω:

- α. Μεγάλη αρχική αποτελεσματικότητα δεν σημαίνει απαραίτητα και μακροχρόνια αποτελεσματικότητα.
- β. Η επέκταση αποτελεσμάτων που προέρχονται από μικρά δείγματα ξύλου σε δείγματα μεγαλύτερα και με διαφορετική γεωμετρία πρέπει να γίνεται με προσοχή και ύστερα από ειδικές μελέτες συσχέτισης. Αυτό γιατί ο ρυθμός μείωσης της αποτελεσματικότητας σε μικρά δείγματα μετά από έκθεσή τους σε φυσικούς παράγοντες είναι μεγαλύτερος από ότι σε μεγαλύτερα δείγματα. Επίσης η αναλογία εγκάρσια/πλάγια επιφάνεια στα δείγματα ξύλου επηρεάζει σημαντικά τα αποτελέσματα.
- γ. Χρησιμοποίηση μεγάλων σχετικά δειγμάτων δίνουν περισσότερο αξιόπιστα αποτελέσματα επειδή η μορφή και το μέγεθός τους σχετίζονται καλύτερα με τα τεμάχια ξύλου που χρησιμοποιούνται στην πράξη. Μικρά δείγματα όμως δίνουν αποτελέσματα σε μικρό σχετικά χρόνο και με μικρή δαπάνη.

#### 11.4. ΔΙΑΣΤΑΣΙΑΚΗ ΣΤΑΘΕΡΟΤΗΤΑ

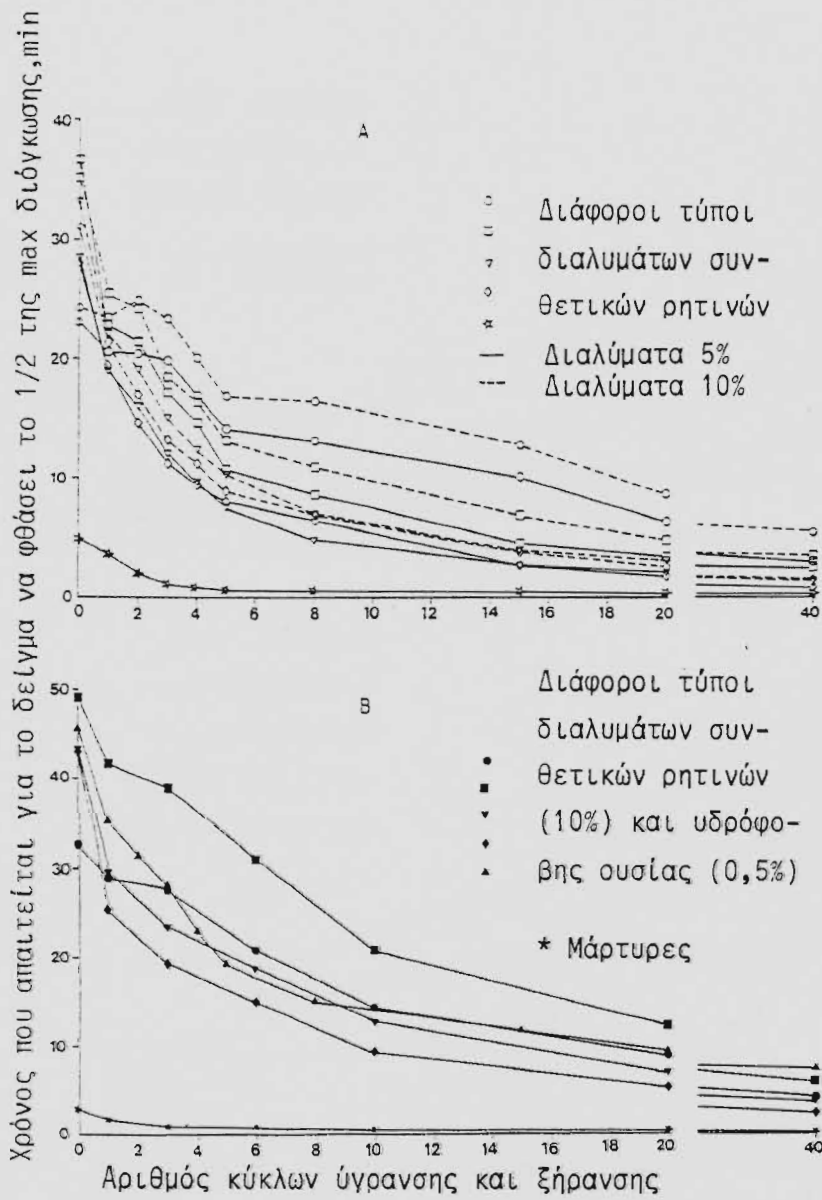
Σε αντίθεση με τους υδρόφοβους χειρισμούς όπου επιδιώκεται η μείωση του ρυθμού διείσδυσης του υγρού νερού στο ξύλο και της διόγκωσης του ξύλου, με τη διαστασιακή σταθερότητα επιδιώκεται η μείωση του τελικού βαθμού διόγκωσης χωρίς να αποκλείεται μείωση του ρυθμού διείσδυσης του νερού και του ρυθμού διόγκωσης του ξύλου.

Ξύλα με μεγάλη διόγκωση και ρίκνωση παρουσιάζουν μικρότερη διαστασιακή σταθερότητα σε σύγκριση με ξύλα στα οποία οι τιμές διόγκωσης και ρίκνωσης βρίσκονται



Σχ. 11.10. Επίδραση 40 κύκλων ύγρρανσης και ξήρανσης στην αποτελεσματικότητα υδρόφοβων διαλυμάτων σε ξύλο μαύρης πεύκης. Α. διαλύματα συνθετικής ρητίνης 5% και 10% χωρίς παραφίνη, Β. διαλύματα συνθετικής ρητίνης 10% και παραφίνης 0,5%. Η αποτελεσματικότητα των ρητινών χωρίς παραφίνη είναι μικρή στην πεύκη.

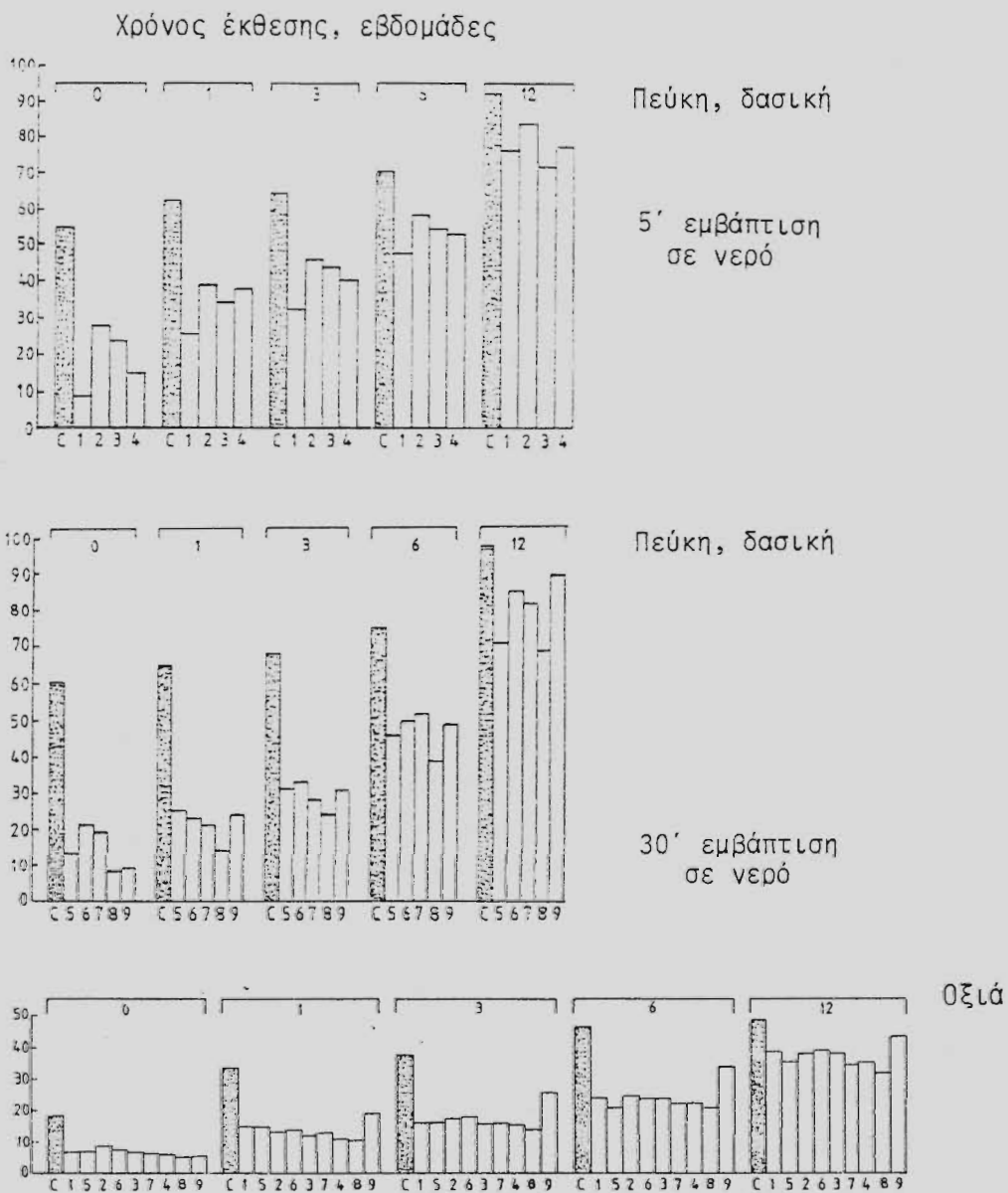
(Voulgaridis 1980)



Σχ. 11.11. Επίδραση 40 κύκλων ύγρανσης και ξήρανσης στην αποτελεσματικότητα υδρόφοβων διαλυμάτων σε ξύλο οξιός. Α και Β όπως στο Σχ. 11.10. Η αποτελεσματικότητα των ρητινών χωρίς παραφίνη είναι υψηλή στο ξύλο οξιός.

(Voulgaridis 1980)

Προσρόφηση νερού, % του ξηρού στον αέρα βάρος του ξύλου



Σχ. 11.12. Αποτελεσματικότητα υδρόφοβων χειρισμών πριν και μετά από έκθεση εγκάρσιων δειγμάτων του ξύλου στο ελεύθερο περιβάλλον με βάση την προσρόφηση νερού μετά από εμβάπτιση κλιματισμένων δειγμάτων για συγκεκριμένο χρόνο (5' για διαλύματα ρητινών σε πεύκη και 30' στις άλλες περιπτώσεις). 1,2,3,4: διαλύματα συνθετικών ρητινών 10%, 5,6,7,8,9: διαλύματα συνθετικών ρητινών 10% και παραφίνης 0,5% ή άλλης υδρόφοβης ουσίας (9) με τη σειρά όπως στα Σχ. 10.10 και 10.11. C:Μάρτυρες.

(Voulgaridis 1980)

σε χαμηλά επίπεδα. Σημασία στη διαστασιακή σταθερότητα έχει και η ανισοτροπία του ξύλου (εφαπτομενική/ακτινική ρίκνωση ή διόγκωση). Στον Πίν. 11.1 δίνονται τιμές συνολικής και μερικής ογκομετρικής ρίκνωσης, διαστασιακής σταθερότητας και ανισοτροπίας ορισμένων κύριων ελληνικών και τροπικών ξύλων.

Για τη βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας του ξύλου, εκτός από τη μηχανική μεταποίηση του (π.χ. παραγωγή αντικολλητών, μοριοπλακών, κ.λ.π.) που εφαρμόζεται ευρύτατα στην πράξη έχουν αναπτυχθεί και ειδικές φυσικές ή χημικές μέθοδοι χειρισμού του ξύλου με τις οποίες συχνά επηρεάζονται και άλλες ιδιότητές του. Οι μηχανισμοί προστασίας του ξύλου με τις ειδικές αυτές μεθόδους βασίζονται κυρίως:

- α. στη διατήρηση του ξύλου σε κατάσταση μερικής ή ολικής διογκώσεως ή, σπάνια, με πλήρωση των κυτταρικών κοιλοτήτων, με εισαγωγή διαφόρων χημικών στη μάζα του ξύλου.
- β. στην ελάττωση της υδροσκοπικότητας του ξύλου με αδρανοποίηση των υδρόφω-  
βων υδροξυλίων (-OH) του. Αυτό επιτυγχάνεται με εισαγωγή διαφόρων χη-  
μικών στο ξύλο ή με εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων.

Τα χημικά που χρησιμοποιούνται για βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας είναι δυνατό να εκπλύνονται από το ξύλο (leachable) ή να μην εκπλύνονται (non-leachable). Επίσης, τα χημικά αυτά μπορεί να δεσμεύονται ή να μη δε-  
σμεύονται χημικά με τα συστατικά του ξύλου (bonded, non-bonded).

Για τον προσδιορισμό της αποτελεσματικότητας των χειρισμών γίνεται μέτρηση των διαστασιακών μεταβολών με εμφύπτιση των δειγμάτων ξύλου στο νερό (κυρίως για μη εκπλυνόμενα χημικά) ή με έκθεση των δειγμάτων σε διάφορες συνθήκες σχε-  
τικής υγρασίας και θερμοκρασίας (συνήθως σε εκπλυνόμενα χημικά). Για εκπλυνό-  
μενα χημικά μόνο μία δοκιμή εμφύπτισης σε νερό μπορεί να γίνει. Μπορεί να δια-  
κριθεί και εδώ αρχική και μακροχρόνια αποτελεσματικότητα των χειρισμών όπως  
και στους υδρόφοβους χειρισμούς. Επειδή η αποτελεσματικότητα ενός χειρισμού  
στηρίζεται στη σύγκριση εμποτισμένων με όχι εμποτισμένα δείγματα πρέπει τα  
δείγματα αυτά να παίρνονται κατά ζεύγη (μάρτυρας-εμποτισμένο) ώστε να μην  
υπάρχουν διαφορές δομής μεταξύ τους και τα αποτελέσματα να είναι αξιόπιστα.  
Για τον προσδιορισμό της μακροχρόνιας αποτελεσματικότητας ενός χειρισμού  
χρησιμοποιείται ένας ορισμένος αριθμός κύκλων ύγρανσης-ξήρανσης ή έκθεσης των  
δειγμάτων σε χαμηλή και υψηλή σχετική υγρασία υπό σταθερή θερμοκρασία.

Πίνακας 11.1. Χαρακτηριστικά ρίκνωσης και διαστασιακής σταθερότητας ορισμένων ξύλων

α/α	Είδος ξύλου	Πυκνότητα ( $\rho_{12}$ ) Kg/m <sup>3</sup>	Ρίκνωση όγκου, %		Διαστασιακή σταθερότητα, % **			Συντελεστής ανισοτροπίας*** <u>Εφαπτ. ρίκνωση</u> <u>Ακτιν. ρίκνωση</u>
			Συνολική	Μερική*	Εφαπτομενική	Ακτινική	Εφαπτ. + Ακτιν.	
1	Δρυς (απόδισκη και ποδισκοφόρος)	700	12,2	7,3	2,5	1,5	4,0	1,95
2	Καστανιά	540	11,6	7,0	1,3	0,7	2,0	1,49
3	Λεύκη (καναδική)	430	13,1	7,9	2,8	1,2	4,0	-
4	Οξιιά	720	17,6	10,6	3,1	1,7	4,8	2,03
5	Ελάτη	420	10,5	6,3	1,4	0,5	1,9	2,20
6	Πεύκη (δασική ή μαύρη)	510	12,5	7,5	2,1	0,9	3,0	1,88
7	Ερυθρελάτη	470	12,0	7,2	2,1	1,0	3,1	2,16
8	Acajou	530	9,1	5,5	1,5	0,9	2,4	1,78
9	Balsa	150	7,5	4,5	2,0	0,6	2,6	1,83
10	Bete	590	10,3	6,2	2,3	1,3	3,6	1,50
11	Iroko	640	9,4	5,6	1,0	0,5	1,5	1,71
12	Makore	620	11,2	6,7	1,8	1,1	2,9	1,34
13	Obeche	380	9,1	5,5	1,3	0,8	2,1	1,70
14	Okoume	430	9,7	5,3	-	-	-	1,50
15	Ramin	600	14,3	8,6	3,1	1,5	4,6	2,35
16	Sipo	660	11,8	7,1	1,6	1,4	3,0	1,58
17	Teak	640	9,4	5,6	1,2	0,7	1,9	1,93

\* Ρίκνωση μέχρι 12% περιεχόμενη υγρασία.

\*\* Η διαστασιακή σταθερότητα του ξύλου σχετίζεται με το άθροισμα των ποσοστών εφαπτομενικής και ακτινικής ρίκνωσης όταν η σχετική υγρασία του αέρα μειώνεται από 90% σε 60%, σε θερμοκρασία 25°C. Χαρακτηρίζεται μεγάλη (όταν εφ. + ακτ. ρίκνωση 3%), μέτρια (3-4,5%) και μικρή ( 4,5%).

\*\*\* Μεγάλος συντελεστής ανισοτροπίας δεν είναι επιθυμητός.

#### 11.4.1. Μέθοδοι βελτίωσης της διαστασιακής σταθερότητας και άλλων φυσικών ιδιοτήτων του ξύλου

Το ξύλο είναι από τα λίγα βιολογικά προϊόντα που έχει χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη κλίμακα από τον άνθρωπο ως έχει χωρίς βελτιωτικούς χειρισμούς. Για ορισμένες όμως εξειδικευμένες χρήσεις έχουν αναπτυχθεί διάφοροι χειρισμοί που βελτιώνουν τη διαστασιακή σταθερότητα αλλά και άλλες φυσικές ιδιότητες (π.χ. μηχανική αντοχή, ελαστικότητα, ηλεκτρική αντίσταση του ξύλου, κ.λ.π). Τέτοιοι χειρισμοί βελτίωσης των ιδιοτήτων του ξύλου είναι: (α) εμποτισμός του ξύλου με υδατοδιαλυτά πολυμερή ή συνθετικές ρητίνες, (β) χημική τροποποίηση του ξύλου, (γ) εισαγωγή υγρών μονομερών στο ξύλο και πολυμερισμός τους στις κυτταρικές κοιλότητες, (δ) συμπίεση ξύλου (εμποτισμένου ή όχι με ρητίνες) σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες και (ε) χρησιμοποίηση υψηλών θερμοκρασιών.

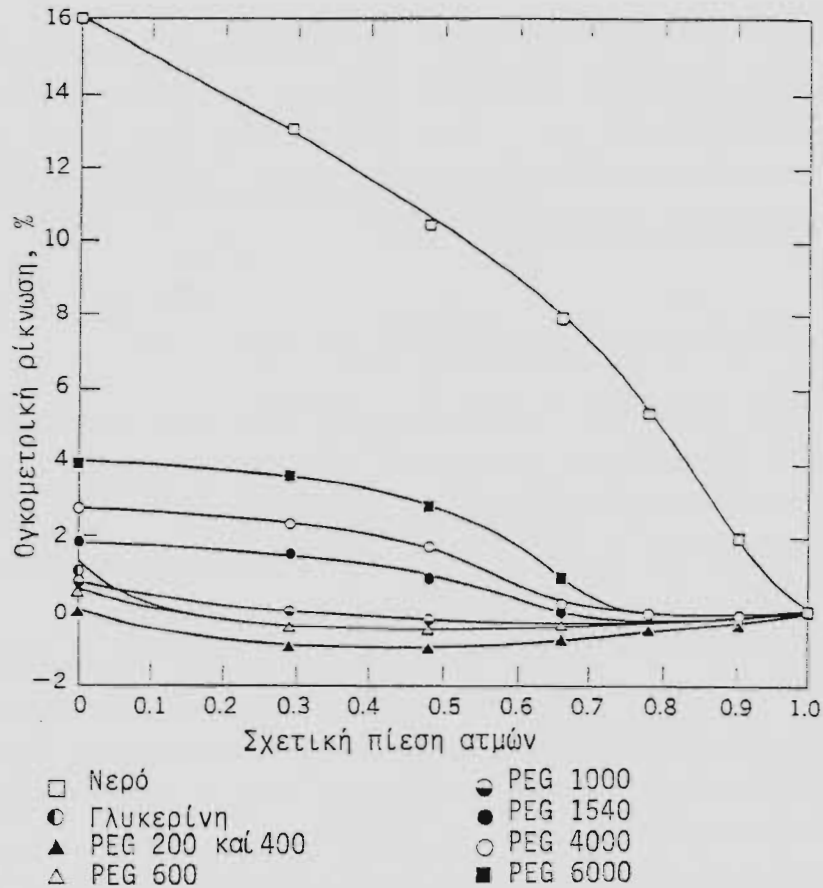
##### 11.4.1.1. Εμποτισμός του ξύλου με υδατοδιαλυτά πολυμερή ή συνθετικές ρητίνες

Ο εμποτισμός του ξύλου με υδατοδιαλυτά πολυμερή όπως η πολυαιθυλενική γλυκόλη (PEG) ή με συνθετικές ρητίνες που γίνονται αδιάλυτες μετά τον πολυμερισμό τους βελτιώνουν τη διαστασιακή σταθερότητα του ξύλου επειδή το διατηρούν σε κατάσταση μερικής ή ολικής διόγκωσης. Ο εμποτισμός του ξύλου με ρητίνες βελτιώνει επιπλέον τη μηχανική αντοχή και εμποδίζει την είσοδο νερού.

##### 11.4.1.11. Πολυαιθυλενική γλυκόλη (Polyethylene glycol, PEG)

Στον όρο πολυαιθυλενική γλυκόλη περιλαμβάνεται σειρά πολυμερών γλυκόλης με διάφορο μοριακό βάρος (M.B.) που είναι διαλυτά στο νερό. PEG με M.B. μέχρι και 600 είναι υγρή και αναμιγνύεται με το νερό σε όλες τις αναλογίες. Πολυμερή με M.B. 1000 είναι στερεά και διαλύονται εύκολα στο νερό. Όταν το M.B. φθάσει 6.000, η PEG είναι στερεά και σκληρή, διαλύεται ακόμη στο νερό αλλά σε περιορισμένο βαθμό (Stamm 1964, Rowell/Konkol 1987).

Στο Σχ. 11.13 δείχνεται συγκριτικά η αποτελεσματικότητα γλυκερίνης και μιας σειράς πολυαιθυλενικών γλυκολών με διάφορα M.B. σε εμποτισμένους (κορεσμένους με το χημικό) δίσκους ερυθρελάτης. Από το Σχ.11.13 φαίνεται η πολύ καλή αποτελεσματικότητα της PEG με M.B.  $\leq 1000$ . Τα μόρια της PEG με μικρό M.B. μπορούν



Σχ. 11.13. Επίδραση της γλυκερίνης και πολυαιθυλενικής γλυκόλης διαφόρων μοριακών βαρών στη σχέση ογκομετρικής ρίκνωσης - σχετικής πίεσης ατμών σε λεπτές εγκάρσιες τομές ξύλου ερυθρελάτης, κορεσμένες με 25% υδατικά διαλύματα.

(Stamm 1964)

εύκολα να υποκαταστήσουν όλο το νερό των κυτταρικών τοιχωμάτων μικρών δειγμάτων ξύλου και να εξαλείψουν σχεδόν εντελώς τη ρίκνωση. Με τα περισσότερα διαλυτά πολυμερή παρουσιάζεται μια ελαφρά διόγκωση του εμποτισμένου ξύλου καθώς αυτό ξηραίνεται. Αυτό το περίεργα οφείλεται στο γεγονός ότι η διόγκωση του ξύλου είναι μεγαλύτερη σε πυκνότερο διάλυμα παρά σε αραιότερο. Η μικρότερη αποτελεσματικότητα της PEG με μεγάλο M.B. οφείλεται κυρίως στη δυσκολία διαλυτότητας της στο νερό και στο μεγαλύτερο ιξώδες των διαλυμάτων και λιγότερο στο μεγάλο M.B. της.



Η PEG-1000 προτιμάται στην πράξη περισσότερο γιατί παρουσιάζει υψηλή αποτελεσματικότητα, διαλύεται εύκολα στο νερό και, σε μεγάλες σχετικές υγρασίες, το ξύλο δεν παρουσιάζεται υγρό. Έχει μέσο μοριακό βάρος 1000, τήκεται σε 40 °C, διαλύεται εύκολα σε χλιαρό νερό, είναι άχρωμη και άοσμη, δεν διαβρώνει και έχει πολύ υψηλό σημείο ανάφλεξης (305 °C).

#### 11.4.1.12. Τρόπος εφαρμογής της PEG-1000 στο ξύλο

Η PEG χρησιμοποιείται συνήθως με υγρό ξύλο. Κατά τον χειρισμό δεν χρειάζεται πίεση επειδή η είσοδος του χημικού στο ξύλο γίνεται με διάχυση. Η PEG διαλύεται σε νερό σε συγκέντρωση 30 ή 50% κατά βάρος. Το διάλυμα προετοιμάζεται σε πλαστικό ή σε ξύλινο δοχείο με πλαστική εσωτερική επένδυση που έχει το κατάλληλο μέγεθος για τις διαστάσεις των ξύλων προς χειρισμό. Το ξύλο πρέπει να καλύπτεται εντελώς από το διάλυμα κατά τη διάρκεια του χειρισμού. Το διάλυμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί πολλές φορές αλλά χρειάζεται μετά από κάθε χειρισμό να προστίθεται και άλλη ποσότητα PEG ώστε η συγκέντρωση του διαλύματος να επανέρχεται στην αρχική (ειδικό βάρος διαλύματος 1,05 σε 15 °C για συγκέντρωση 30% και 1,09 για συγκέντρωση 50%). Ο χρόνος παραμονής του ξύλου στο διάλυμα ρυθμίζεται έτσι ώστε η συγκράτηση του διαλύματος από το ξύλο να είναι ομοιόμορφη και περί τα 25-30% με βάση το ξηρό βάρος του ξύλου (Spielman 1980).

Ο εμποτισμός του ξύλου με PEG γίνεται συνήθως σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 21 °C και 60 °C. Η διάχυση της PEG μέσα στο ξύλο μπορεί να επιταχυνθεί πολύ με αύξηση της συγκέντρωσης του διαλύματος. Ο χρόνος που χρειάζεται για την απαιτούμενη συγκράτηση του χημικού (25-30%) από το ξύλο εξαρτάται από το πάχος και την πυκνότητα του ξύλου και μπορεί να είναι εβδομάδες. Ανάλογα με το είδος, μέγεθος και πάχος του ξύλου χρειάζεται πειραματισμός για τον καθορισμό του κατάλληλου προγράμματος εμποτισμού με PEG.

Μετά τον εμποτισμό με PEG, τα τεμάχια ξύλου στοιβάζονται με διαχωριστικούς πήχεις και ξηραίνονται κατά προτίμηση σε θερμαινόμενους και καλά εξαεριζόμενους χώρους. Ο χρόνος φυσικής ξήρανσης εξαρτάται από το πάχος του ξύλου, τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία. Φλοιός που είναι στενά συνδεδεμένος με το ξύλο πριν τον χειρισμό παραμένει έτσι και μετά τον εμποτισμό με PEG.

Η PEG δεν δεσμεύεται ούτε πολυμερίζεται μέσα στο ξύλο αλλά παραμένει διαλυτή στο νερό. Αν εμποτισμένο ξύλο έλθει σε επαφή με υγρό νερό, η PEG αρχίζει και εκπλύνεται.

#### 11.4.1.13. Συνέπειες του εμποτισμού με γλυκόλη

Ο εμποτισμός χλωρού ξύλου με γλυκόλη ελαχιστοποιεί τη ρίκνωσή του επειδή το διατηρεί σε κατάσταση μερικής ή ολικής διογκώσεως. Έτσι μπορούν να αποφευχθούν πολλά σφάλματα που παρουσιάζονται κατά την ξήρανση του ξύλου, όπως ραγδώσεις, στρεβλώσεις, κ.λ.π. Με γλυκόλη εμποτίζονται εγκάρσιοι δίσκοι ξύλου και διατηρούνται χωρίς να ραγδώνονται ακτινικά. Χρησιμοποιείται επίσης γλυκόλη ευρέως στην ξυλογλυπτική και ξυλοχαρακτική, στα κοντάκια όπλων, στη διατήρηση αρχαίων ξύλινων αντικειμένων (π.χ. πλοίων) που παρέμειναν πολλά χρόνια μέσα στο νερό και παρουσιάζουν κατά την ξήρασή τους τάση υπερβολικής ρίκνωσης, κ.ά. (Mitchell 1972).

Εμποτισμένο ξύλο με γλυκόλη μπορεί να συγκολληθεί επιτυχώς. Σχεδόν όλες οι κρινές συγκολλητικές ουσίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ξύλο εμποτισμένο με PEG. Καλά αποτελέσματα δίνουν πολυβινυλική κόλλα, εποξειδική, ουρία-φορμαλδεΰδη, ρεσορκινόλη. Οι επιφάνειες πρέπει να είναι καθαρές και λείες πριν την εφαρμογή της κόλλας.

Ξύλο εμποτισμένο με PEG γίνεται κολλώδες σε σχετική υγρασία πάνω από 60% γιατί η γλυκόλη είναι υδρόφιλη. Συνεπώς, ορισμένα μέταλλα σε επαφή με το ξύλο μπορεί να διαβρώνονται. Το εμποτισμένο ξύλο συνήθως βερνικώνεται ώστε να εγκλεισθεί η γλυκόλη στο ξύλο. Δύο επαλείψεις με βερνίκι πολυουρεθάνης δίνουν τα καλύτερα αποτελέσματα. Επίσης, μπορεί να γίνει επάλειψη με προστατευτικά έλαια που διεισδύουν στο ξύλο (π.χ. με φυσικό "Danish oil" το οποίο είναι ιδιαίτερα κατάλληλο και για εμποτισμένο φλοιό). Πάνω από την επάλειψη αυτή ελαίων μπορεί να γίνει εφαρμογή χρώματος σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Οι μηχανικές ιδιότητες του εμποτισμένου ξύλου μειώνονται σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό ανάλογα με τη συγκράτηση της γλυκόλης. Η μείωση αυτή είναι ανάλογη εκείνης που προκαλεί η αύξηση της υγρασίας του ξύλου. Η αντοχή σε κρούση δεν επηρεάζεται ενώ η αντοχή σε αποτριβή μειώνεται ελαφρώς.

#### 11.4.1.14. Εμποτισμός με συνθετικές ρητίνες (Impreg)

Υδατοδιαλυτές θερμοσκληρυνόμενες ρητίνες (κυρίως φαινόλη-φορμαλδεΰδη) εισάγονται στο ξύλο όπου πολυμερίζονται με επίδραση θερμοκρασίας αλλά χωρίς εφαρμογή πίεσης και παράγουν το γνωστό εμπορικά ξύλο Impreg που παρουσιάζει διαστασιακή σταθερότητα (Stamm 1964, Stamm/Seborg 1962, Rowell/Konkol 1987).

Όπως και η PEG έτσι και η φαινόλη-φορμαλδεΰδη διεισδύει στα κυτταρικά τοιχώματα και διατηρεί το ξύλο σε κατάσταση μονίμου διογκώσεως. Εκεί πολυμερίζεται ή σκληρύνεται και σχηματίζει ρητίνη αδιάλυτη στο νερό, τοποθετημένη μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα.

Κατά τον εμποτισμό, το ξύλο (κατά προτίμηση υγρά ξυλόφυλλα για να διευκολύνεται η διείσδυση ρητίνης) εμβαπτίζεται πλήρως σε υδατοδιαλυτό διάλυμα ρητίνης. Ξύλο ξηρό στον αέρα εμποτίζεται στο διάλυμα με εφαρμογή πίεσης μέχρι να συγκρατηθεί 25-35% ρητίνη με βάση το ξηρό βάρος του ξύλου. Μερικά εμπορικά υδατικά διαλύματα φαινόλης-φορμαλδεΰδης διατίθενται σε μεγάλη συγκέντρωση και πρέπει να αραιώνονται πριν από τη χρησιμοποίησή τους. Το ξύλο εμποτίζεται σε θερμοκρασίες 21-38 °C για διευκόλυνση της διείσδυσης.

Ο εμποτισμός με τις παραπάνω ρητίνες περιορίζεται συνήθως σε ξυλόφυλλα πάχους κάτω από 8,5 mm γιατί η διάρκεια εμποτισμού αυξάνει πολύ γρήγορα με την αύξηση του πάχους. Οποιοδήποτε είδος ξύλου μπορεί να εμποτισθεί με ρητίνες εκτός από το ρητινώδες ξύλο των πευκών. Ομοιόμορφη κατανομή ρητίνης σε δείγματα μεγάλου σχετικά πάχους μπορεί να εξασφαλισθεί μόνον σε σομφό ξύλο διαπερατών δασοπονικών ειδών. Ξύλο σχετικά μεγάλου πάχους έχει τάση για ραγάδωση και κυψελίδωση. Αντί όμως να χρησιμοποιείται ξύλο μεγάλου σχετικά πάχους είναι προτιμότερο να γίνεται συγκόλληση εμποτισμένων με ρητίνη ξυλοφύλλων για την επίτευξη του επιθυμητού πάχους.

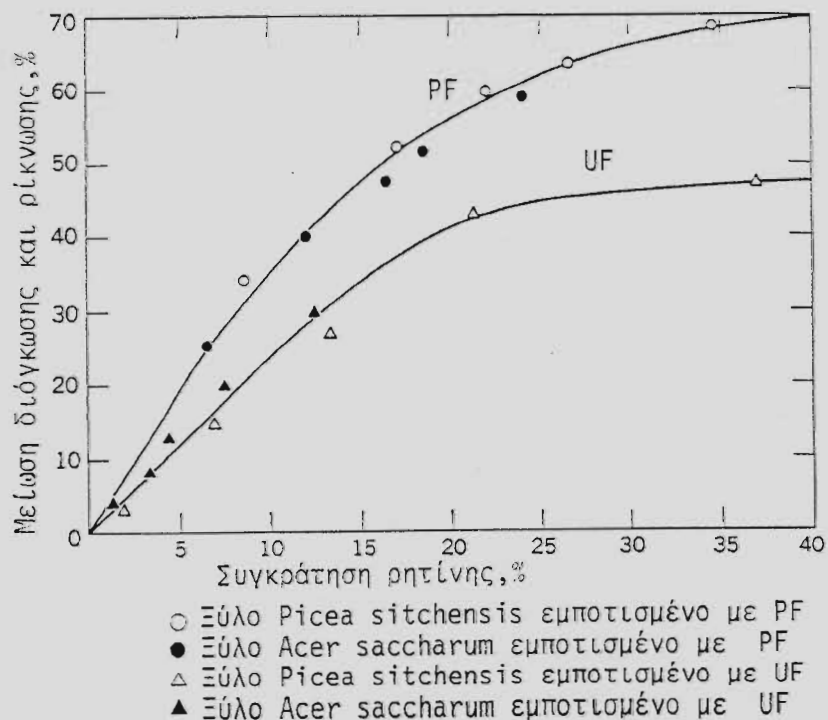
Μετά τον εμποτισμό, το ξύλο ξηραίνεται σε θερμοκρασία 80-93 °C για 30 λεπτά περίπου και η υγρασία του πέφτει στο 10% περίπου. Χρησιμοποιείται χαμηλή θερμοκρασία (κάτω από το σημείο βρασμού του νερού) για να προληφθεί ταχεία κίνηση της υδατοδιαλυτής ρητίνης στην επιφάνεια του ξύλου όπως συνέβαινε με υψηλές θερμοκρασίες. Ακολουθεί η σκλήρυνση της ρητίνης μέσα στη μάζα των ξυλοφύλλων που έχουν ξηρανθεί στον αέρα με εφαρμογή υψηλής θερμοκρασίας (155 °C) για 30 λεπτά περίπου. Σε περίπτωση τεχνητής ξήρασης, τοποθετούνται διαχωριστικοί πήχεις μεταξύ των φύλλων για να επιτρέπεται επαρκής κυκλοφορία του αέρα. Ο χρόνος ξήρασης και σκλήρυνσης της ρητίνης εξαρτάται από τη μέγιστη θερμοκρασία η οποία διατηρείται στο ξηραντήριο και κυμαίνεται από λίγες μέρες ως μία βδομάδα ή περισσότερο.

Το τελικό προϊόν Impreg μπορεί να βαφεί και βερνικωθεί. Το χρώμα που προσδίδει ο χειρισμός στο προϊόν είναι συνήθως ερυθροκαστανό και γίνεται αποδεκτό στις περισσότερες εφαρμογές.

Το εμποτισμένο ξύλο παρουσιάζει βελτιωμένες ιδιότητες σε σχέση με μη τροποποιημένο ξύλο και αντικολλητά. Η διόγκωση, μετά από εμβάπτιση σε νερό, μειώνεται κατά 25-35% όταν η περιεκτικότητα ρητίνης μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα είναι 30-35% (με βάση το αρχικό ξηρό βάρος του ξύλου). Η μείωση αυτή της διόγκωσης συνοδεύεται και από σημαντική μείωση των επιφανειακών ραγαδώσεων και της επιφανειακής ανομοιομορφίας (grain raising). Η αντοχή σε θλίψη βελτιώνεται, το μέτρο ελαστικότητας και το μέτρο θραύσεως δεν επηρεάζονται και η αντοχή σε δυναμική κάμψη (απότομα φορτία) μειώνεται. Το εμποτισμένο ξύλο δείχνει σημαντική αντίσταση σε προαβολές από μύκητες, τερμίτες και θαλασσινούς ξυλοφάγους οργανισμούς,

πιθανώς γιατί τα κυτταρικά τοιχώματα δεν συγκρατούν επαρκείς ποσότητες νερού που χρειάζονται οι οργανισμοί αλλοίωσής του. Παρουσιάζει επίσης ικανοποιητική αντίσταση σε οξέα και έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν διαχωριστικά συσσωρευτών. Δεν παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση σε φωτιά αλλά μπορεί να θερμανθεί σε πολύ υψηλότερες θερμοκρασίες χωρίς να μεταβληθούν αισθητά οι ιδιότητές του. Η καλή διαστασιακή σταθερότητα και αντίσταση στη θερμότητα το κάνουν κατάλληλο για μήτρες (καλούπια). Η ηλεκτρική του αντίσταση είναι μεγαλύτερη από εκείνη του κανονικού ξύλου. Λόγω της περιεκτικότητάς του σε ρητίνες αμβλύνει λίγο περισσότερο τα μαχαίρια ή δόντια κατά την κατεργασία του αλλά παρουσιάζει μικρότερη τάση σχίσσεως.

Στο Σχ. 11.14 φαίνεται η αποτελεσματικότητα συνθετικών ρητινών (φαινόλης-φορμαλδεΰδης, ουρίας-φορμαλδεΰδης) σε ξύλο ερυθρελάτης και σφενδαμιού. Η φαινόλη-φορμαλδεΰδη είναι αποτελεσματικότερη. Πάνω από 35% συγκράτηση ρητίνης, η βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας είναι μικρή.



Σχ. 11.14. Μείωση διόγκωσης και ρίκνωσης μετά από εμποτισμό του ξύλου με φαινόλη-φορμαλδεΰδη (PF) και ουρία-φορμαλδεΰδη (UF) σε σχέση με τη συγκράτηση ρητίνης από το ξύλο.

(Stamm 1964)

#### 11.4.1.2. Χημική τροποποίηση του ξύλου

##### 11.4.1.21. Γενικά

Η αντιμετώπιση ορισμένων μειονεκτημάτων του ξύλου χημικής φύσεως (π.χ. μεταβολές διαστάσεων με την υγρασία, καύση, αλλοίωση από βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες, κ.ά.) μπορεί να γίνει με αλλαγή της βασικής χημείας των διαφόρων πολυμερών της ξυλώδους ύλης δηλαδή με χημική τροποποίηση του ξύλου.

Χημική τροποποίηση του ξύλου προκύπτει με χημική αντίδραση ενός χημικού συστατικού του ξύλου και μίας χημικής ουσίας, με ή χωρίς τη βοήθεια καταλύτη, και δημιουργία ιονικών δεσμών μεταξύ τους. Στο ξύλο, οι ομάδες οι οποίες κατ'εξοχήν αντιδρούν με διάφορες χημικές ουσίες είναι τα υδροξύλια ( $-OH$ ) της κυτταρίνης, των ημικυτταρινών και της λιγνίνης, γι'αυτό και η έρευνα έχει εντοπισθεί στις χημικές αντιδράσεις των ομάδων αυτών.

Σκοπός της χημικής τροποποίησης του ξύλου είναι η βελτίωση ορισμένων ιδιοτήτων του. Μέχρι σήμερα, οι προσπάθειες εντοπίζονται κυρίως στη βελτίωση της φυσικής αντοχής του ξύλου έναντι βιολογικών παραγόντων αλλοίωσης και της διαστασιακής του σταθερότητας. Η χημική τροποποίηση του ξύλου για βελτίωση της φυσικής αντοχής του βασίζεται στη θεωρία ότι οι εξειδικευμένες βιολογικές αντιδράσεις μεταξύ ενζύμων και ξύλου (κυτταρίνης) δεν μπορούν να λάβουν χώρα αν το ξύλο τροποποιηθεί χημικά. Η χημική τροποποίηση του ξύλου μπορεί επίσης να μεταβάλλει και τον υδρόφιλο χαρακτήρα του. Εισαγωγή χημικών μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα και δημιουργία χημικών δεσμών με το ξύλο ελαττώνουν το μέγεθος ρίκνωσης και διόγκωσης επειδή το ξύλο βρίσκεται σε μερική ή ολική κατάσταση διόγκωσης και πολλά υδροξύλια αποκλείονται από τη δημιουργία δεσμών υδρογόνου με μόρια νερού. Μείωση της υγρασίας που συγκρατείται στα κυτταρικά τοιχώματα έχει αρνητική επίδραση στην ανάπτυξη μυκήτων για την οποία χρειάζονται απαραίτητα κάποια ποσά υγρασίας. Τα χημικά που χρησιμοποιούνται για χημική τροποποίηση του ξύλου δεν είναι ανάγκη να είναι τοξικά στους οργανισμούς γιατί εκείνο που επιδιώκεται είναι η μετατροπή του ξύλου σε μη αναγνωρίσιμη πηγή τροφής από τους οργανισμούς αυτούς. Με άλλα λόγια οι οργανισμοί αυτοί αλλοίωσης δεν μπορούν να αναπτυχθούν αν και υπάρχει άφθονη τροφή γύρω τους, επειδή, λόγω χημικής τροποποίησης του ξύλου, δεν τη θεωρούν κατάλληλη.

Οι περισσότερες έρευνες για τη βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας του ξύλου βασίζονται στην εισαγωγή χημικών μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα και διατήρηση του ξύλου σε κατάσταση μερικής ή ολικής διόγκωσης (cell wall bulking treatments). Έχει βρεθεί ότι η αύξηση του όγκου του ξύλου είναι ευθέως ανάλογη του θεωρητικού όγκου του χημικού που εισάγεται στα κυτταρικά τοιχώματα.

Ο όγκος του ξύλου αυξάνει όσο αυξάνει η ποσότητα του χημικού που εισάγεται στα κυτταρικά τοιχώματα και αυτό συμβαίνει μέχρι το σημείο στο οποίο το βάρος του ξύλου έχει αυξηθεί κατά 25%. Στο σημείο αυτό, ο όγκος του ξύλου είναι σχεδόν ίσος με το χλωρό όγκο του. Ξύλο που έρχεται σε επαφή με νερό μετά από τέτοιο χειρισμό διογκώνεται πολύ λίγο. Με το μηχανισμό αυτό βελτιώνεται η διαστασιακή σταθερότητα του ξύλου μετά από εισαγωγή χημικών ουσιών στα κυτταρικά τοιχώματα.

Ο βαθμός βελτίωσης της διαστασιακής σταθερότητας ενός ξύλου με διάφορες μεθόδους περιγράφεται με διάφορους όρους όπως (Rowell/Youngs 1981):

- α. Αντιρικνωτική αποτελεσματικότητα (APA), (antishrink efficiency, ASE)
- β. Ποσοστό διόγκωσης (swelling percent)
- γ. Αποτελεσματικότητα διαστασιακής σταθερότητας (dimensional stabilization efficiency).
- δ. Αντιδιογκωτική αποτελεσματικότητα (antishwelling efficiency)
- ε. Ποσοστό μείωσης της διόγκωσης (percent reduction in swelling)

Γενικά ο βαθμός βελτίωσης της διαστασιακής σταθερότητας προσδιορίζεται ως εξής:

$$S = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100 \quad , \quad \text{όπου}$$

S = συντελεστής ογκομετρικής διόγκωσης

V<sub>2</sub> = Όγκος ξύλου μετά από διαβροχή με νερό

V<sub>1</sub> = Όγκος απόλυτα ξηρού ξύλου πριν από τη διαβροχή

και έπειτα

$$APA(ASE) = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \times 100 \quad , \quad \text{όπου}$$

APA(ASE) = μείωση διόγκωσης ή αντιρικνωτική αποτελεσματικότητα που προέρχεται από το χειρισμό

S<sub>2</sub> = συντελεστής ογκομετρικής διόγκωσης για ξύλο που έχει υποστεί χειρισμό

S<sub>1</sub> = Όπως S<sub>2</sub> αλλά για ξύλο που δεν έχει υποστεί χειρισμό

#### 11.4.1.22. Προϋποθέσεις για χημική τροποποίηση του ξύλου

Σε προκαταρκτικά πειράματα και στη διαθέσιμη σχετική βιβλιογραφία βασίζεται ένας αριθμός προϋποθέσεων για τη χρησιμοποίηση ενός χημικού στη χημική τροποποίηση του ξύλου. Οι προϋποθέσεις αυτές μπορούν να συνοψισθούν ως εξής (Stamm 1964, Rowell/Youngs 1981, Rowell 1982,83, Rowell/Ellis 1984, Rowell/Konkol 1987):

1. Το χημικό πρέπει να έχει ομάδες που να αντιδρούν με τα υδροξύλια των πολυμερών του ξύλου.
2. Το χημικό δεν πρέπει να είναι τοξικό στους ανθρώπους στο τελικό προϊόν. Κατά την διάρκεια εισαγωγής του στο ξύλο θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό λιγότερο τοξικό. Επίσης να διαβρώνει λίγο ή καθόλου τα μέταλλα, ώστε η ανάγκη χρησιμοποίησης ειδικών συσκευών χειρισμού να γίνεται ελάχιστη.
3. Το χημικό να είναι υγρό και με σχετικά χαμηλό σημείο βρασμού ώστε να απομακρύνεται εύκολα η περίσσειά του μετά το χειρισμό. Η χρησιμοποίηση χημικών αερίων δεν μπορεί να υποκαταστήσει επιτυχώς τα υγρά και παρουσιάζει προβλήματα στο χειρισμό. Γενικά ισχύει ότι το κατώτερο μέλος μιας ομολόγου σειράς αντιδρά πιο αποτελεσματικά και έχει το χαμηλότερο σημείο βρασμού. Σημείο βρασμού των χημικών υγρών μεταξύ 30 και 150 °C θεωρείται το πιο κατάλληλο.
4. Η ευκολία αντίδρασης του χημικού με τα χημικά συστατικά του ξύλου σε όλη τη μάζα του είναι σημαντικός παράγοντας. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διείσδυση του χημικού στο ξύλο και τη δυνατότητά του να διογκώνει τα κυτταρικά τοιχώματα. Αν το χημικό δεν διογκώνει το ξύλο τότε πρέπει να προστεθεί άλλο χημικό (καταλύτης) ή βοηθητικός διαλύτης.
5. Σχεδόν όλες οι χημικές αντιδράσεις απαιτούν καταλύτη. Με το ξύλο σαν αντιδρών υπόστρωμα, ισχυρά οξέα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν καταλύτες γιατί προκαλούν εκτεταμένη αλλοίωση του ξύλου. Περισσότερο κατάλληλους καταλύτες αποτελούν ελαφρά αλκαλικές ουσίες επειδή δεν προκαλούν αλλοιώσεις στο ξύλο αλλά και γιατί, στις περισσότερες περιπτώσεις, τα χημικά αυτά διεισδύουν εύκολα στο ξύλο και το διογκώνουν. Οι ιδιότητες του καταλύτη είναι παράλληλες με αυτές του κυρίως χημικού (π.χ. υγρό χαμηλού σημείου βρασμού, όχι τοξικό, αποτελεσματικό σε χαμηλές θερμοκρασίες, κ.λ.π.). Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι οργανικές τριτοταγείς αμίνες ( $R_3N$ ) είναι οι πιο κατάλληλες.
6. Κάθε χημική αντίδραση απαιτεί ορισμένες συγκεκριμένες συνθήκες. Στην περίπτωση της αντίδρασης του χημικού με το ξύλο η θερμοκρασία πρέπει να είναι

σχετικά χαμηλή ώστε να μην προκαλείται αλλοίωση του ξύλου (π.χ. κάτω από 120 °C) και ο ρυθμός αντίδρασης σχετικά γρήγορος.

Η υγρασία του ξύλου είναι μια άλλη παράμετρος. Αν και τα υδροξύλια αντιδρούν πιο εύκολα όταν είναι σε νερό, η υγρασία του ξύλου πρέπει να είναι πολύ χαμηλή (< 5%) γιατί έτσι επιτυγχάνεται χαμηλός ρυθμός υδρόλυσης του χημικού που χρησιμοποιείται και υψηλός ρυθμός ακετυλίωσης. Φυσικά, δεν είναι πρακτικό να ξηραίνεται το ξύλο σε επίπεδα υγρασίας κάτω του 1%.

Μιά τρίτη παράμετρος είναι ότι η αντίδραση πρέπει να είναι απλή και να αποφεύγονται πολύπλοκα συστήματα αντιδράσεων και δύσκολοι χειρισμοί για διαχωρισμό των χημικών μετά την αντίδραση και επανάκτησή τους. Η επιθυμητή κατάσταση είναι το χημικό που αντιδρά να διογκώνει το ξύλο και να δρά επίσης σαν διαλύτης.

7. Κατά την αντίδραση δεν είναι επιθυμητό να δημιουργούνται παραπροϊόντα τα οποία φυσικά θα πρέπει να απομακρύνονται με συνέπεια την αύξηση του κόστους του χειρισμού.

8. Ο χημικός δεσμός μεταξύ του χημικού και των συστατικών του ξύλου είναι μεγάλης σημασίας. Για να προσδίδει διάρκεια στο ξύλο ο δεσμός αυτός πρέπει να έχει μεγάλη σταθερότητα ώστε να αντιστέκεται στην γήρανση. Από άποψη σταθερότητας οι χημικοί δεσμοί κατατάσσονται κατά φθίνουσα σειρά ως εξής: αιθέρες, ακετάλες, εστέρες.

Ο δεσμός αιθέρων είναι ο πιο σταθερός και ο πιο επιθυμητός δεσμός άνθρακα-οξυγόνου. Οι δεσμοί αυτοί είναι πιο σταθεροί των γλυκοζιτικών δεσμών μεταξύ των μονοσακχάρων στους πολυσακχαρίτες του ξύλου έτσι ώστε τα πολυμερή του ξύλου να αλλοιώνονται πριν από τους δεσμούς αιθέρων.

9. Η υδρόφιλη ή υδρόφοβη συμπεριφορά του χημικού είναι μια σημαντική παράμετρος. Το χημικό που προστίθεται δεν πρέπει να αυξάνει την υδρόφιλη συμπεριφορά των συστατικών του ξύλου αλλιώς η ευπάθεια σε προσβολές μικροοργανισμών αυξάνει. Όσο πιο υδρόφοβο προϊόν παράγεται τόσο η διαστασιακή σταθερότητα αυξάνει με την παρουσία υγρασίας.

10. Η προτίμηση της απλής υποκατάστασης κάθε θέσης -OH (single-site substitution) αντί του σχηματισμού πολυμερούς (πολυμερισμού) είναι σημαντική επιλογή. Όσο πιο μεγάλος είναι ο βαθμός υποκατάστασης των συστατικών του ξύλου τόσο πιο καλή είναι η αντίσταση του προϊόντος σε σήψεις. Το πιο επιθυμητό είναι ένα απλό μόριο του χημικού να αντιδρά με ένα ένα απλό υδροξύλιο.



Σταυροειδής σύνδεση (cross linking) μπορεί να γίνει όταν το χημικό έχει περισσότερες από μία ομάδες που αντιδρούν ή, μετά από ενδιάμεση αντίδραση με το ξύλο, το προϊόν της αντίδρασης αντιδρά παραπέρα με υδροξύλιο. Η σταυροειδής σύνδεση μπορεί να κάνει το ξύλο πιο εύθρυπτο γιατί αυτό η επιλογή των αντίστοιχων χημικών χρειάζεται προσοχή.

Ο σχηματισμός πολυμερούς μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα μετά την πρώτη αντίδραση με τα  $-OH$  του ξύλου δίνει καλή αντίσταση σε βιολογικούς παράγοντες αλλοίωσης και προσδίδει επιπλέον διαστασιακή σταθερότητα. Το μειονέκτημα του πολυμερισμού είναι η μεγάλη ποσότητα του χημικού που απαιτείται ώστε να επιτευχθεί αντίσταση κατά βιολογικών παραγόντων αλλοίωσης σε σύγκριση με την απλή υποκατάσταση κάθε θέσης.

11. Το τροποποιημένο ξύλο πρέπει να διατηρεί τις ιδιότητες του φυσικού ξύλου που είναι επιθυμητές.

12. Το κόστος της μεθόδου είναι μια τελευταία παράμετρος. Στο εργαστήριο, το υψηλό κόστος των χημικών δεν είναι σημαντικό ζήτημα, αλλά στην πράξη το κόστος του χημικού που θα χρησιμοποιηθεί αποτελεί κυρίαρχο παράγοντα.

Συμπερασματικά, τα χημικά για εργαστηριακές δοκιμές πρέπει να αντιδρούν με τα  $-OH$  του ξύλου σε ουδέτερες ή ελαφρά αλκαλικές συνθήκες, σε θερμοκρασίες  $120^{\circ}C$ . Οι χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα κατά το χειρισμό πρέπει να μην είναι πολύπλοκες και το χημικό να διογκώνει το ξύλο ώστε να διευκολύνεται η διείσδυσή του. Τα μόρια του χημικού πρέπει να αντιδρούν γρήγορα με τα συστατικά του ξύλου και να παράγουν σταθερούς δεσμούς. Το τροποποιημένο ξύλο θα πρέπει να διατηρεί τις επιθυμητές ιδιότητες του φυσικού ξύλου και να βελτιώνει μία ή περισσότερες ανεπιθύμητες ιδιότητές του.

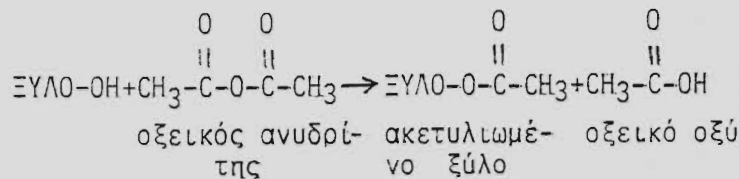
#### 11.4.1.23. Αντιδράσεις με το ξύλο

Η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες και η λιγνίνη κατανέμονται στα κυτταρικά τοιχώματα σε διάφορες αναλογίες και τα  $-OH$  που έχουν αποτελούν τις πιο άφθονες χημικές θέσεις που αντιδρούν. Αυτά τα παραπάνω τρία πολυμερή που έχουν  $-OH$  συνιστούν τα κυτταρικά τοιχώματα. Οι κενοί χώροι μπορούν να θεωρηθούν σαν αποθηκευτικές δεξαμενές για τα χημικά που χρησιμοποιούνται για χημική τροποποίηση του ξύλου αλλά και τα κυτταρικά τοιχώματα μπορούν να διογκωθούν και να δράσουν σαν τέτοιες δεξαμενές. Συνδεδεμένα κυτταρικά τοιχώματα και κενοί χώροι συγκροτούν το συμπαγές ξύλο.

α. Αντιδράσεις εστεροποίησης

(i) Ακετυλίωση

Η ακετυλίωση έχει ερευνηθεί περισσότερο από κάθε άλλη μέθοδο χημικής τροποποίησης του ξύλου και περιέλαβε στην αρχή το χειρισμό του ξύλου με οξεικό ανυδρίτη και με καταλύτη πυριδίνη ή χλωριούχο ψευδάργυρο. Κατά την αντίδραση γίνεται ακετυλίωση του ξύλου και παράγεται οξεικό οξύ σαν παραπροϊόν: (Stamm 1964, Rowell 1983, Rowell/Banks 1985, Rowell/Konkoi 1987):

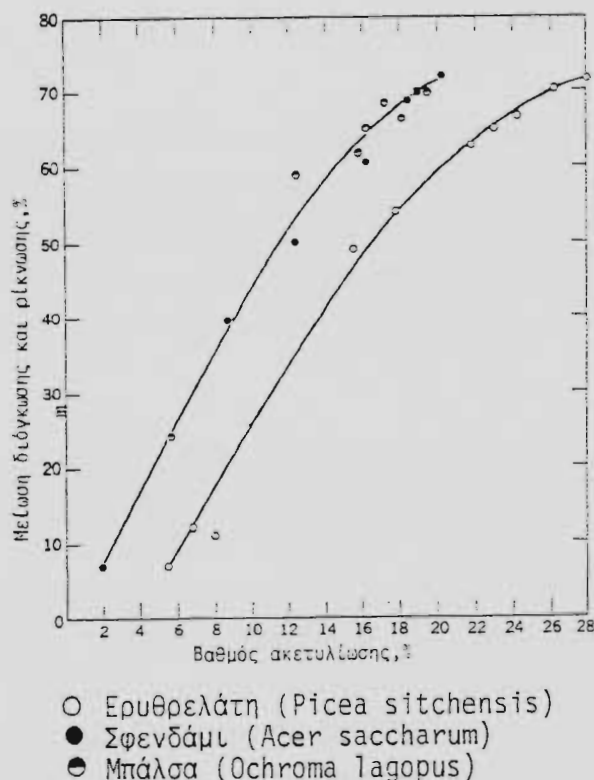


Σαν καταλύτες χρησιμοποιούνται οξέα ή βάσεις και έχουν δοκιμασθεί οξεικό νάτριο ή κάλιο ( $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}$ ,  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{K}$ ), διμεθυλοφορμαμίδιο  $\text{HCON}(\text{CH}_3)_2$ , σύμπλοκο ουρίας-θειϊκού αμμωνίου  $(\text{H}_2\text{N-CO-NH}_2)_2 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , υπερχλωρικό μαγνήσιο  $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$ , τριφθοριοξικό οξύ ( $\text{CF}_3\text{CO}_2\text{H}$ ), φθοριούχο βόριο ( $\text{BF}_3$ ), κ.ά. Από ορισμένους συγγραφείς έχει διαπιστωθεί ότι η καλύτερη ακετυλίωση (χωρίς καταλύτη) είναι με οξεικό ανυδρίτη σε ξυλόλη, σε θερμοκρασία 100-130 °C.

Η ακετυλίωση είναι αντίδραση απλής υποκατάστασης δηλ. μία ακετυλική ομάδα υποκαθιστά ένα υδροξύλιο χωρίς πολυμερισμό. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση του βάρους του ξύλου λόγω πρόσληψης τέτοιων ομάδων ανάγεται κατ'ευθείαν σε αριθμό -OH που έχουν υποκατασταθεί. Αυτό όμως δεν ισχύει όταν σε μια αντίδραση δημιουργούνται αλυσίδες ενός πολυμερούς. Για αύξηση του βάρους πάνω από 17%, το ακετυλιωμένο ξύλο έχει βρεθεί ότι είναι ανθεκτικό σε προσβολές από ορισμένα είδη μυκήτων όπως *Coniophora puteana*, *Lentinus lepideus*, *Poria incrassata*, *Polyporus versicolor*, *Gloeophyllum trabeum*, *Poria monticola*, *Poria microsporia* και *Coniophora cerebella*. Ακετυλιωμένο ξύλο (συγκολλημένα ξυλόφυλλα σημύδας) με αύξηση του βάρους του κατά 19,2% σε επαφή με το έδαφος είχε μια μέση διάρκεια ζωής 17,5 χρόνια ενώ δείγματα χωρίς χειρισμό μόνον 2,7 χρόνια.

Σε ακετυλιωμένο ξύλο έχουν παρατηρηθεί τα εξής:

1. Μειώνεται η διόγκωση ή αυξάνεται η αντιρικνωτική ικανότητα (APA). Ακετυλίωση με αύξηση του βάρους κατά 20-25% έδειξε 70% APA (Σχ. 11.15). Μετά από έκθεση ακετυλιωμένου ξύλου πεύκης στο φυσικό περιβάλλον για 12 μήνες η APA είχε πτώση από 78% σε 64% ενώ παρατηρήθηκε πολύ μικρή μείωση στο περιεχόμενο ακετυλικών ομάδων.



Σχ. 11.15. Μείωση διόγκωσης και ρίκνωσης σε ξυλόφυλλα ερυθρελάτης και σφενδαμιού και σε δείγματα ξύλου Μπάλα σε σχέση με το βαθμό ακετυλίωσης.

(Stamm 1964)

2. Το ακετυλιωμένο ξύλο είναι πιο βαρύ από ξύλο χωρίς χειρισμό πράγμα που οφείλεται στην είσοδο ακετυλικών ομάδων, που είναι βαρύτερες από το νερό, στα κυτταρικά τοιχώματα και πλήρωση κενών χώρων (bulking).

3. Μετά από ακετυλίωση του ξύλου με οξεικό ανυδρίτη (χωρίς καταλύτη) το χρώμα του ξύλου γίνεται ελαφρά σκοτεινότερο και η φυσική στιλπνότητα του ξύλου χάνεται σε μεγάλο βαθμό. Το χρώμα ακετυλιωμένου ξύλου όταν χρησιμοποιείται καταλύτης εξαρτάται από τις συνθήκες αντίδρασης και το είδος του καταλύτη. Οι μεταβολές χρώματος κυμαίνονται από ελαφρά σκοτεινότερες του φυσικού μέχρι σχεδόν μαύρες στην περίπτωση των καταλυτών πυριδίνης και διμεθυλοφορμαμιδίου.

4. Η διαπερατότητα του ακετυλιωμένου ξύλου σε αέρια μειώνεται γεγονός που αποδίδεται στον περιορισμένο όγκο των κενών χώρων του ξύλου λόγω εισόδου του χημικού. Η μειωμένη διαπερατότητα έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της προσρόφησης νερού 2 έως 3 φορές.

5. Οι μηχανικές ιδιότητες γενικά βελτιώνονται. Συγκεκριμένα, η διάτμηση παράλληλα με τις ίνες μειώνεται ενώ παρατηρήθηκε μικρή μείωση και στο μέτρο ελαστικότητας. Στη δυναμική κάμψη δεν παρατηρήθηκαν μεταβολές. Η αντοχή σε θλίψη, η σκληρότητα, η τάση και το έργο στο όριο ελαστικότητας αυξάνονται. Το μέτρο θραύσεως αυξάνεται (κωνοφόρα) ή ελαττώνεται (πλατύφυλλα).

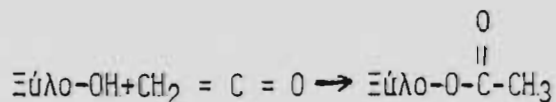
6. Το ξύλο βιάζεται καλύτερα και δεν σκουραίνει, όπως το ξύλο χωρίς χειρισμό, με την επίδραση της υπεριώδους ακτινοβολίας. Γενικά, η συγκόλληση επηρεάζεται αρνητικά. Συγκεκριμένα, η αντοχή των δεσμών ουρίας-φορμαλδεΐδης και καζεΐνης είναι μικρότερη ενώ πολύ μικρές μεταβολές παρατηρήθηκαν με ρεσορκινόλη-φορμαλδεΐδη.

Πολλές από τις ιδιότητες του ακετυλιωμένου ξύλου εξαρτώνται από τη μέθοδο ακετυλίωσης. Η θερμοκρασία, ο χρόνος αντίδρασης, ο τύπος και η ποσότητα καταλύτη παίζουν σημαντικό ρόλο στην έκταση της αλλοίωσης των ινών κατά τον χειρισμό. Ενδιαφέρουσα παράμετρος είναι και η υγρασία του ξύλου. Χαμηλή υγρασία (2-5%) φαίνεται να χρειάζεται για επιτυχή αντίδραση αλλά πάνω από αυτό το επίπεδο το νερό υδρολύει τον οξεικό ανυδρίτη σε οξεικό οξύ. Αυτή η απώλεια του ανυδρίτη λόγω υδρόλυσης ανέρχεται σε 5,7% για κάθε 1% υγρασία του ξύλου. Ο ρυθμός ακετυλίωσης ελαττώνεται όσο η περιεχόμενη υγρασία του ξύλου αυξάνεται.

Κατά την ακετυλίωση με ανυδρίτες παράγονται όξινα παραπροϊόντα που έχουν σαν αποτέλεσμα να μεταβάλλεται το pH του ξύλου προς το όξινο και να χάνεται 50% του χημικού που αντιδρά. Αυτά τα παραπροϊόντα πρέπει να απομακρύνονται για να προλαμβάνεται αλλοίωση του ξύλου. Το οξεικό οξύ (παραπροϊόν της ακετυλίωσης με οξεικό ανυδρίτη) είναι αδύνατο να απομακρυνθεί εντελώς από το ξύλο με αποτέλεσμα (α) το ξύλο να μυρίζει οξεικό οξύ, (β) να επικρατεί όξινο περιβάλλον στο ξύλο οπότε είναι δυνατή η μετακίνηση πολλών ακετυλικών ομάδων, (γ) να γίνεται όξινη υδρόλυση των κυτταρινικών ινών και να μειώνεται η μηχανική αντοχή μακροπρόθεσμα και (δ) να προκαλείται οξειδωση και αλλοίωση μεταλλικών συνδέσεων στο ξύλο.

Ακετυλίωση μπορεί να γίνει και με το χημικό σε αέρια κατάσταση αλλά ο ρυθμός διάχυσης είναι αντιστρόφως ανάλογος του τετραγώνου του πάχους του ξύλου και γι' αυτό μπορεί να εφαρμοσθεί μόνο σε λεπτά ξυλόφυλλα.

Μια άλλη μέθοδος ακετυλίωσης του ξύλου περιλαμβάνει αντίδραση με κετένη σε αέριο μορφή διαλυμένης σε ακετόνη ή τολουόλιο ως εξής:



Οι αντιδράσεις με κετένη δίνουν αύξηση του βάρους κατά 22% όταν γίνονται σε θερμοκρασία 55-60 °C και διαρκούν για 6-8 ώρες. Γενικά όμως η αύξηση του βάρους με τον χειρισμό αυτό είναι μικρότερη. Σε επιτυχείς χειρισμούς έχει παρατηρηθεί μείωση σε προσρόφηση νερού κατά 35%, εφαπτομενική διόγκωση κατά 77% και ακτινική διόγκωση κατά 69%.

Παρά τις εκτεταμένες έρευνες για το ακετυλιωμένο ξύλο, η εφαρμογή της μεθόδου στην πράξη συναντά δυσκολίες. Προσπάθειες σε ΗΠΑ και Σοβιετική Ένωση έφθασαν κοντά σε εμπορικές εφαρμογές αλλά διακόπηκαν πιθανώς λόγω αυξημένου κόστους της μεθόδου.

(ii) Φθαλίωση

Με χρησιμοποίηση φθαλικού ανυδρίτη παράγεται τροποποιημένο ξύλο με υψηλή αρχική APA η οποία όμως μειώνεται με επανειλημμένη έκθεση στο νερό (π.χ. από 100% APA σε 50% μετά τον 5ο κύκλο ύγρανσης). Έχει βρεθεί ότι σε κάθε κύκλο ύγρανσης αντιστοιχεί μια απώλεια του χημικού που είναι δεσμευμένο με το ξύλο πράγμα που δείχνει την ευπάθεια των φθαλικών ομάδων στην υδρόλυση. Οι ομάδες αυτές έχουν μεγαλύτερη συγγένεια με το νερό από ότι με τα υδροξύλια του ξύλου γι' αυτό φθαλιωμένο ξύλο είναι πιο υγροσκοπικό από ξύλο χωρίς χειρισμό. Ενώ ο μηχανισμός της ακετυλίωσης είναι η χημική αδρανοποίηση των -OH, στη φθαλίωση η δράση είναι μηχανικής φύσεως μεταξύ του ξύλου και του χημικού που εισέρχεται στο μικροτριχοειδές σύστημα πόρων των κυτταρικών τοιχωμάτων. Είναι χαρακτηριστικό ότι η αύξηση του βάρους του ξύλου μετά την φθαλίωση είναι μεγάλο (40-130%) ενώ στην ακετυλίωση μόνον 15-21%. Η μεγάλη αύξηση του βάρους μπορεί να προέρχεται από αντιδράσεις πολυμερισμού (Rowell 1983).

(iii) Άλλοι ανυδρίτες και χημικά (Rowell 1982, 1983, Rowell/Banks 1985)

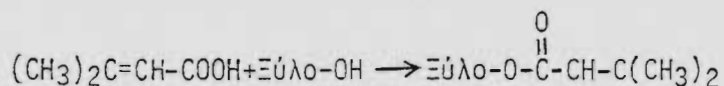
Άλλοι ανυδρίτες που αντιδρούν με το ξύλο και χρησιμοποιούνται σε ξυλόλη χωρίς καταλύτη είναι προπιονικοί και βουτυρικοί. Κάτω από ίδιες συνθήκες αντίδρασης (π.χ. σε ξυλόλη 125 °C, διάρκεια: 10 ώρες, είδος ξύλου: πεύκη) η αύξηση βάρους βρέθηκε 17% στην ακετυλίωση, 4% στην προπιωνυλίωση και 0% στην βουτυριλίωση.

Χλωρίδια οργανικών οξέων χρησιμοποιούνται επίσης σε αντιδράσεις εστεροποίησης. Το προϊόν της αντίδρασης είναι εστεροποιημένο ξύλο και παραπροϊόν το υδροχλωρικό οξύ:



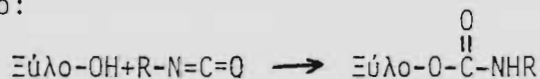
Χρησιμοποίηση lead acetate σαν καταλύτη με ακετυλοχλωρίδιο ( $\text{CH}_3\text{COCl}$ ) έδειξε μικρότερη περιεκτικότητα ακετυλίου ( $\text{CH}_3\text{-CO-}$ ) σε σύγκριση με το χειρισμό με οξεικό ανυδρίτη ενώ η APA ήταν μεγαλύτερη (60-84% έναντι 47% για οξεικό ανυδρίτη). Με χρησιμοποίηση 20% διαλύματος οξεικού μολύβδου μειώνεται η ποσότητα του  $\text{HCl}$  που παράγεται κατά την αντίδραση. Το ισχυρό  $\text{HCl}$  προκαλεί εκτεταμένη αλλοίωση του ξύλου (υδρόλυση πολυσακχαριτών) και για το λόγο αυτό δεν έχουν γίνει πολλές έρευνες για τη μέθοδο αυτή.

Ορισμένα ακόρεστα οργανικά οξέα αντιδρούν με το ξύλο παρουσία του καταλύτη τριφθοριοοξικό ανυδρίτη και τα αποτελέσματα είναι αύξηση του απόλυτα ξηρού όγκου και APA και μείωση της κρυσταλλικότητας και περιεχόμενης υγρασίας. Βρέθηκε ότι αντιδράσεις του ξύλου με β-μεθυλοκροτονικό οξύ δίνει βαθμό υποκατάστασης  $-\text{OH}$  αρκετά υψηλό ώστε το εστεριοποιημένο ξύλο που παράγεται κατά την αντίδραση:



να είναι διαλυτό σε ακετόνη και χλωροφόρμιο σε ποσοστό 30%. Περαιτέρω εστεροποίηση αυξάνει τη διαλυτότητα αλλά συνοδεύεται με σημαντική αλλοίωση των συστατικών του ξύλου. Η διαλυτότητα φαίνεται να επιβραδύνεται από τη λιγνίνη και τις ημικυτταρίνες.

Ισοκυανιούχες ενώσεις αντιδρούν με το ξύλο και σχηματίζουν εστέρες που περιέχουν άζωτο:



Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου είναι η αντίδραση του ξύλου με ισοκυανικό φαινύλιο σε διμεθυλοφορμαμίδιο. Ξυλόφυλλα εμποτισμένα με διμεθυλοφορμαμίδιο και εκτεθειμένα σε ατμούς ισοκυανικού φαινυλίου έδωσαν APA μέχρι 77% χωρίς ν' αυξηθεί το βάρος τους. Τα τροποποιημένα ξυλόφυλλα είχαν αυξημένη μηχανική αντοχή με λίγη ή καθόλου μεταβολή στο χρώμα.

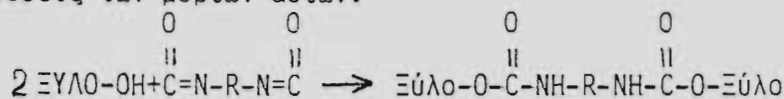
Αντίδραση του ξύλου με ισοκυανικό αιθύλιο, η-βουτύλιο και t-βουτύλιο έδωσε APA 67% με αύξηση βάρους 31%. Αναφέρονται APA μέχρι 80% με αύξηση βάρους μέχρι 50%.

Ισοκυανικό μεθύλιο αντιδρά πολύ γρήγορα χωρίς καταλύτη με το ξύλο και η αύξηση βάρους φθάνει μέχρι 75%. Με αύξηση του βάρους κατά 25-30% οι μέγιστες τιμές APA φθάνουν τα 60%. Πάνω από 30% αύξηση βάρους που οφείλεται στο δεσμευμένο χημικό προκαλεί μείωση της APA. Το στερεοσκοπικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο (ΣΗΜ) δείχνει ότι αυτές οι υψηλές ποσότητες του χημικού που δεσμεύονται στα κυτταρικά τοιχώματα προκαλούν σχίσση των τοιχωμάτων των τραχειϊδών και όχι στους μεσοκυττάριους χώρους. Σε μερικές περιπτώσεις οι σχισμές διέρχονται από τα αλωφόρα βοθρία. Μόλις αρχίσουν να εμφανίζονται τέτοιες σχισμές η APA μειώνεται και μάλιστα περισσότερο όσο αυξάνεται το βάρος του χημικού που μπαίνει στο

ξύλο. Οι σχισμές έχουν σαν αποτέλεσμα να εκτίθενται καινούργιες επιφάνειες ινών που διευκολύνουν τη δράση του νερού (διόγκωση του ξύλου). Διόγκωση μπορεί να λάβει χώρα και πέρα από τον χλωρό όγκου του ξύλου επειδή τα κυτταρικά τοιχώματα θραύονται και ο χειρισμός δεν μπορεί να δράσει παραπέρα περιοριστικά στη διόγκωση.

Χωρίς καταλύτη αντιδρούν και το ισοκυανικό αιθύλιο, η-προπύλιο, η-βουτύλιο και φαινύλιο ενώ άλλες ισοκυανιούχες ενώσεις χρειάζονται σαν καταλύτη διμεθυλοφορμαμίδιο ή τριαιθυλαμίνη.

Δι-ισοκυανικές ενώσεις αντιδρούν με -OH γειτονικών μοριακών αλυσίδων των πολυμερών μορίων του ξύλου και σχηματίζουν χημικές γέφυρες και σταυροειδείς συνδέσεις των μορίων αυτών.

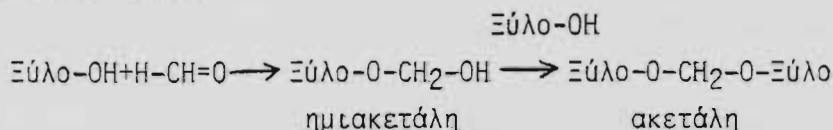


Στις περιπτώσεις αυτές η βελτίωση των ιδιοτήτων (APA, μηχανικές ιδιότητες) είναι σημαντική ακόμη και σε χαμηλούς βαθμούς χημικής τροποποίησης.

Οι ισοκυανιούχες ενώσεις είναι ευπαθείς στην υγρασία γι' αυτό η αντίδραση πρέπει να γίνεται σε ξηρό ξύλο. Όσο η υγρασία του ξύλου αυξάνει πριν την αντίδραση τόσο λιγότεροι χημικοί δεσμοί δημιουργούνται μετά την αντίδραση. Ξύλο υγρό κατά την αντίδραση δίνει υψηλές τιμές APA στο πρώτοτέστ εμβάπτισης σε νερό (water-soak test) αλλά μετά προκαλείται έκπλυση και σημαντική πτώση της APA. Αυτό σημαίνει ότι το χημικό δεν δημιουργεί χημικούς δεσμούς στα κυτταρικά τοιχώματα και με την επίδραση του νερού εκπλύνεται.

### β. Αντιδράσεις με αλδεΐδες

Η αντίδραση μεταξύ -OH και φορμαλδεΐδης λαμβάνει χώρα σε δύο στάδια. Σε πρώτο στάδιο δημιουργείται ημιακετάλη και στη συνέχεια, μετά από αντίδραση με άλλο -OH και σχηματισμό σταυροειδών συνδέσεων, η ακετάλη (Rowell 1983, 1984, Stamm 1964):



Τα δύο -OH μπορούν να προέρχονται:

- (α) από -OH ενός απλού σακχάρου
- (β) από -OH διαφορετικών σακχάρων μέσα σε μια αλυσίδα κυτταρίνης
- (γ) από -OH που ανήκουν σε δύο διαφορετικές αλυσίδες κυτταρίνης
- (δ) όπως (α), (β) και (γ) αλλά στις ημικυτταρίνες
- (ε) από -OH που ανήκουν σε διαφορετικά μόρια λιγνίνης, και
- (στ) από -OH που ανήκουν σε διαφορετικά μόρια, π.χ. κυτταρίνη και ημικυτταρίνες, κυτταρίνη και λιγνίνη, κ.λ.π.

Οι συνδυασμοί των δεσμών είναι πολλοί και, θεωρητικά όλοι είναι δυνατοί. Επειδή η αντίδραση ολοκληρώνεται σε δύο στάδια, ένα μέρος της φορμαλδεΐδης δεσμεύεται με τη μορφή της ημιακετάλης χωρίς σταυροειδείς συνδέσεις (non-crosslinking bonds). Οι δεσμοί αυτοί δεν είναι σταθεροί και δεν έχουν μεγάλη διάρκεια μετά το χειρισμό.

Καλοί καταλύτες για την αντίδραση είναι τα ισχυρά οξέα όπως υδροχλωρικό οξύ, νιτρικό οξύ, χλωριούχος ψευδάργυρος, κ.ά. Ασθενέστερα οξέα (π.χ. τριτοταγείς αμίνες) μπορούν να βοηθήσουν την έναρξη της αντίδρασης αλλά η τραιθυλαμίνη ήταν αναποτελεσματική.

Αύξηση του βάρους του ξύλου κατά 2% μετά το χειρισμό με φορμαλδεΐδη έχει σαν αποτέλεσμα την μη προσβολή του από μύκητες αλλά δεν είναι αρκετή να εξουδετερώσει τη δράση ενζύμων. Για να είναι αποτελεσματικός ο χειρισμός σ'αυτά τα χαμηλά επίπεδα θεωρείται ότι οι χημικές σταυροειδείς συνδέσεις πρέπει να συγκρατούν ισχυρά μεταξύ τους τα πολυμερή μόρια του ξύλου. Ενδεικτικά αναφέρεται αντιρικνωτική αποτελεσματικότητα (APA) 55% σε αύξηση βάρους του ξύλου λόγω δέσμευσης της φορμαλδεΐδης 3,1%, APA 60% για 4,1%, και APA 90% για 7%. Έτσι, αύξηση βάρους του ξύλου με φορμαλδεΐδη κατά 4% έχει σαν αποτέλεσμα αύξησης της APA τέσσερις φορές σε σύγκριση με ακετυλίωση.

Η μηχανική αντοχή του ξύλου μετά από χειρισμό με φορμαλδεΐδη μειώνεται. Ειδικότερα η μείωση σε κρούση και σε αποτριβή είναι μεγάλη. Η αντοχή σε στατική κάμψη και θλίψη μειώνονται κατά 20% και η δυναμική κάμψη μέχρι 50%. Πάντως, επειδή οι δύο τελευταίες μετρήσεις προσδιορίστηκαν σε ξύλο που είχε υποστεί επίδραση από ακτίνες Υ ένα μέρος της μείωσης της αντοχής μπορεί να οφείλεται στην επίδραση αυτών των ακτίνων. Η μείωση σε κρούση είναι ανάλογη της αντιρικνωτικής αποτελεσματικότητας (APA), π.χ. 60% APA ισοδυναμεί με 60% μείωση στην αντοχή σε κρούση.

Επίσης, ξύλο που έχει υποστεί χειρισμό με φορμαλδεΐδη γίνεται εύθραυστο, γεγονός που οφείλεται στους μη ελαστικούς δεσμούς του τύπου -O-C-O-. Η περισσότερη μείωση της μηχανικής αντοχής του ξύλου οφείλεται πιθανώς στην υδρόλυση μορίων κυτταρίνης από τα ισχυρά οξέα που χρησιμοποιούνται σαν καταλύτες.

Η ακεταλδεΐδη και βενζυλοαλδεΐδη αντιδρούν επίσης με το ξύλο με κατάλυτες νιτρικό οξύ ή χλωριούχο ψευδάργυρο. Με την ακεταλδεΐδη επιτυγχάνεται καλή APA αλλά με την βενζυλοαλδεΐδη μόνον 40% APA. Η επίδραση του χειρισμού στις μηχανικές ιδιότητες είναι ίδια με εκείνη της φορμαλδεΐδης.

Άλλες επίσης αλδεΐδες (διδραστικές αλδεΐδες, τριχλωροακεταλδεΐδη κ.ά) έχουν χρησιμοποιηθεί με ή χωρίς διάφορους καταλύτες αλλά τα αποτελέσματα



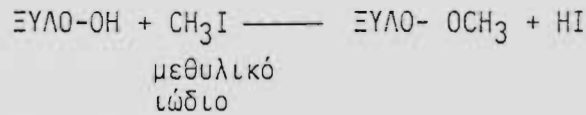
δεν ήταν ικανοποιητικά (χαμηλή APA, ασθενείς δεσμοί, ταχεία απώλεια της APA, κ.λ.π).

γ. Αντιδράσεις αιθεροποίησης

(Rowell/Youngs 1981, Rowell 1982, 1983, Rowell/Ellis 1984, Rowell/Banks 1985).

(i). Μεθυλίωση

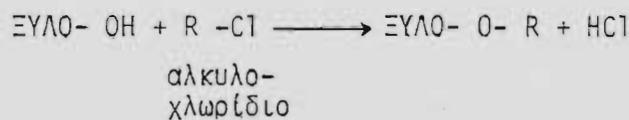
Αντίδραση του ξύλου με διμεθυλικό sulphate ή μεθυλικό ιώδιο έχει σαν αποτέλεσμα τη μεθυλίωση των πολυμερών του ξύλου, π.χ.



Απλή μεθυλίωση οδηγεί σε μικρή αύξηση του βάρους του ξύλου (συγκράτηση αντιδραστηρίου) αλλά με επανειλημμένη μεθυλίωση μπορεί να επιτευχθεί αύξηση του βάρους μέχρι 20%. Αύξηση του βάρους του ξύλου 17-20% δίνει APA 55-60%. Οι μηχανικές ιδιότητες μεθυλιωμένου ξύλου μειώνονται σημαντικά γιατί οι συνθήκες των αντιδράσεων δεν είναι ήπιες και προκαλούν αλλοιώσεις.

(ii). Αντιδράσεις με αλκυλοχλωρίδια

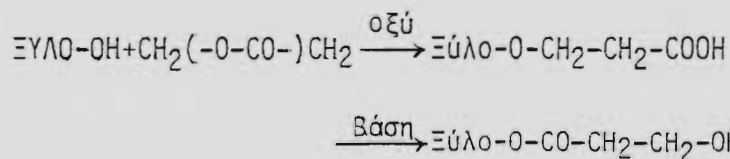
Στην αντίδραση ξύλου και αλκυλοχλωριδίων σχηματίζεται υδροχλωρικό οξύ σαν παραπροϊόν, π.χ.



Για το λόγο αυτό προκαλούνται αλλοιώσεις στο ξύλο και οι μηχανικές του ιδιότητες ελαττώνονται. Αντίδραση του ξύλου με αλκυλοχλωρίδιο σε πυριδίνη ή σε χλωριούχο αργίλιο δίνει υψηλές τιμές APA αλλά με ξήρανση και επανεμβάπτιση του ξύλου σε νερό η APA μειώνεται σημαντικά.

(iii). Αντιδράσεις με λακτόνες

Με το ξύλο αντιδρά η β-προπιολακτόνη και σχηματίζει αιθέρες ή εστέρες ανάλογα με το pH της αντίδρασης. Σε όξινες συνθήκες σχηματίζονται αιθέρες με ελεύθερη καρβοξυλική ρίζα ενώ σε βασικές συνθήκες σχηματίζονται εστέρες:

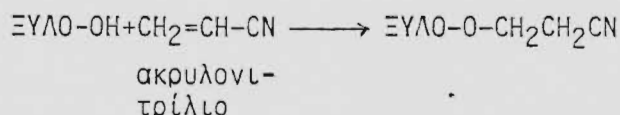


Με αύξηση του βάρους του ξύλου κατά 25%, το τροποποιημένο ξύλο παρουσιάζει αντίσταση σε σηπτικούς μύκητες (*Lentinus lepideus*, *Lenzites trabea*, *Poria monticola*, *Coniophora puteana*). Με αύξηση του βάρους σε 45% δεν μεταβάλλεται η αντίσταση αυτή. Με αύξηση του βάρους σε 30%, το τροποποιημένο ξύλο δίνει APA 60%.

Το κυριότερο πρόβλημα με τη β-προπιολακτόνη είναι ότι πρόσφατα έχει χαρακτηριστεί καρκινογενής και για το λόγο αυτό η έρευνα αναμένεται να περιορισθεί στο μέλλον. Είναι ενδιαφέρον να μελετηθούν περισσότερο οι αντιδράσεις σε βασικές συνθήκες.

#### (iv). Αντιδράσεις με ακρυλονιτρίλια

Με ακρυλονιτρίλια και παρουσία αλκαλικού καταλύτη προκαλείται κυανοαιθυλίωση του ξύλου:



Με NaOH σαν καταλύτη η αύξηση του βάρους του ξύλου (βαθμός κυανοαιθυλίωσης)\* φθάνει μέχρι 30% και η APA στο επίπεδο αυτό φθάνει το 60% σε υγρό νερό. Με NH<sub>4</sub>OH σαν καταλύτη, η APA φθάνει το 80% για βαθμό κυανοαιθυλίωσης 26%. Στην περίπτωση αυτή όμως το χημικό εκπλύνεται με ζεστό νερό και η APA μειώνεται σημαντικά. Αυτό οφείλεται πιθανώς σε αντιδράσεις του ακρυλονιτριλίου με τον καταλύτη και σε σχηματισμό υδατοδιαλυτών πολυμερών στα κυτταρικά τοιχώματα.

Με το χειρισμό αυξάνεται σημαντικά η αντοχή του ξύλου σε σηπτικούς μύκητες. Η αντοχή αυτή δεν οφείλεται σε τοξικότητα του ακρυλονιτριλίου αλλά στο μηχανισμό εναπόθεσης του χημικού στα κυτταρικά τοιχώματα και πλήρωσης κάθε διαθέσιμου χώρου (bulking mechanism) ώστε το ξύλο σαν τροφή δεν είναι αναγνωρίσιμο από τους μύκητες.

Στον Πίνακα 11.2 δείχνεται ενδεικτικά η αντιρικνωτική αποτελεσματικότητα χειρισμού του ξύλου με ακρυλονιτρίλια σε σύγκριση και με άλλους χειρισμούς.

---

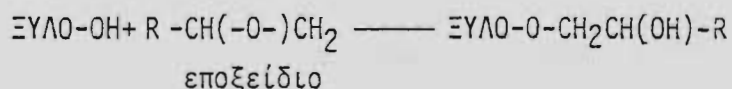
\* Η αύξηση του βάρους του ξύλου εκφράζει την ποσότητα του χημικού που δεσμεύεται στα κυτταρικά τοιχώματα επί τοις % του αρχικού βάρους του ξύλου. Σχετικοί όροι είναι συγκράτηση αντιδραστηρίου, βαθμός μεθυλίωσης, βαθμός κυανοαιθυλίωσης, κ.λ.π.

Πίνακας 11.2. Ογκομετρική διόγκωση και αντιρικνωτική αποτελεσματικότητα (APA) με βάση τη μέθοδο εμφύσησης εμποτισμένων δειγμάτων στο νερό (Rowell 1983).

Χειρισμός	Αύξηση βάρους του ξύλου μετά το χειρισμό, %	Ογκομετρική διόγκωση ξύλου, %	APA, %
Μάρτυρες (χωρίς χειρισμό)	-	14-15	-
Οξείδιο προ- πυλενίου	29,2	6	62
Οξείδιο βου- τυλενίου	26,7	3,5	74,3
	27	3,6	73,5
Οξεικός ανυ- δρίτης	16,3	5,1	63
	21,1	4,2	69,6
	22,5	4,1	70,3
Ακρυλονιτρίλιο NH <sub>4</sub> OH NaOH	26,1	2,7	80,9
	25,7	10,5	48,3
Ισοκυανικός μεθυλεστέρας	10,9	7,2	48,3
	26,0	4,2	69,7
	29,9	4,7	66,4
	41,5	3,2	77,1

(v). Αντιδράσεις με εποξειδία

Η αντίδραση του ξύλου με εποξειδία μπορεί να γίνει σε όξινες ή βασικές συνθήκες, αλλά η έρευνα που έχει γίνει μέχρι σήμερα αναφέρεται σε ήπιες βασικές συνθήκες:



Ένα νέο υδροξύλιο σχηματίζεται κατά την αντίδραση το οποίο μπορεί να αντιδράσει με άλλο εποξείδιο και να παραχθούν διμερή ή πολυμερή παράγωγα.

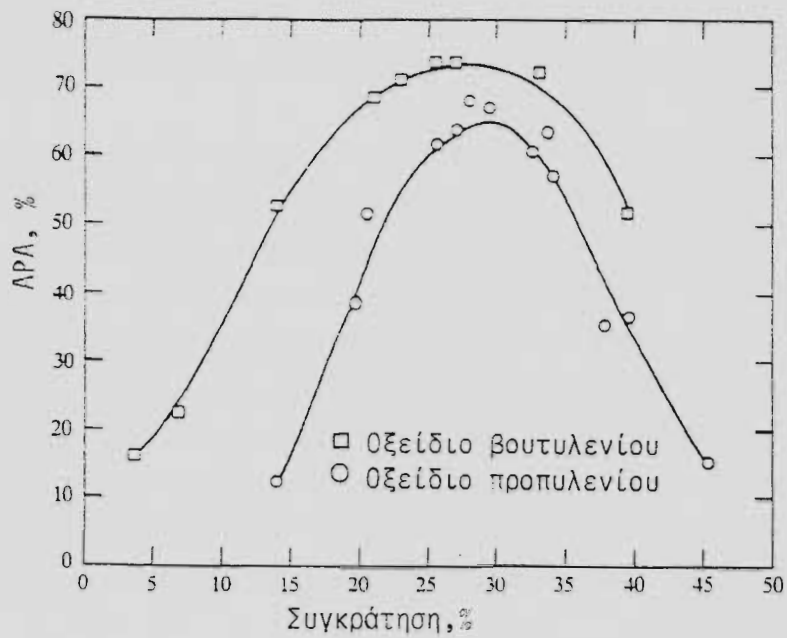
Συνήθως χρησιμοποιούνται τα απλά εποξειδία του αιθυλενίου, του προπανίου, του βουτανίου και η επιχλωρυδρίνη σε αέρια μορφή με καταλύτη τριαιθυλαμίνη και δίνουν ΑΡΑ που φθάνει μέχρι 70-75% (βλ. Πίν. 11.2 ).

Τα αποτελέσματα ενός χειρισμού του ξύλου με εποξειδία συνοψίζονται στα εξής:

- (1) Η ΑΡΑ αυξάνεται (μέχρι 70-75%) όσο αυξάνεται και η συγκράτηση του εποξειδίου αλλά μέχρι 35% περίπου. Μεγαλύτερη συγκράτηση είναι δυνατή αλλά προκαλεί θραύσεις των κυτταρικών τοιχωμάτων όπως και στην περίπτωση των ισοκυανιούχων ενώσεων με αποτέλεσμα μείωση της ΑΡΑ (Σχ. 11.16, 11.17). Αυτές οι θραύσεις θεωρούνται ότι είναι αποτέλεσμα της υπερδιόγκωσης των κυτταρικών τοιχωμάτων λόγω των συνεχών αντιδράσεων των χημικών αυτών με τα κυτταρικά τοιχώματα και δημιουργία πολυμερών παραγώγων. Σε όλους του άλλους χειρισμούς (εκτός των εποξειδίων και των ισοκυανιούχων ενώσεων) η συγκράτηση φθάνει μέχρι το επίπεδο του 35% και δεν παρατηρούνται θραύσεις των κυτταρικών τοιχωμάτων (Σχ. 11.18 ).
- (2) Ο βαθμός δέσμησης των χημικών με το ξύλο και η αποτελεσματικότητα των χειρισμών επηρεάζεται σημαντικά από την υγρασία του ξύλου κατά τη διάρκεια της αντίδρασης με περισσότερο ευπαθές το οξειδίο του προπυλενίου.
- (3) Το εμποτισμένο ξύλο παρουσιάζει καλή αντοχή σε μύκητες, έντομα (Πίν. 11.3, Σχ. 11.19) και πολύ καλή αντοχή σε θαλασσινούς οργανισμούς.
- (4) Οι περισσότερες μηχανικές ιδιότητες του ξύλου που έχει υποστεί χειρισμό με οξειδίο προπυλενίου ελαττώνονται σε ποσοστά 9-17%. Η σκληρότητα παραμένει ίδια. Με οξειδίο του αιθυλενίου δεν παρατηρήθηκε μείωση σε στατική κάμψη.

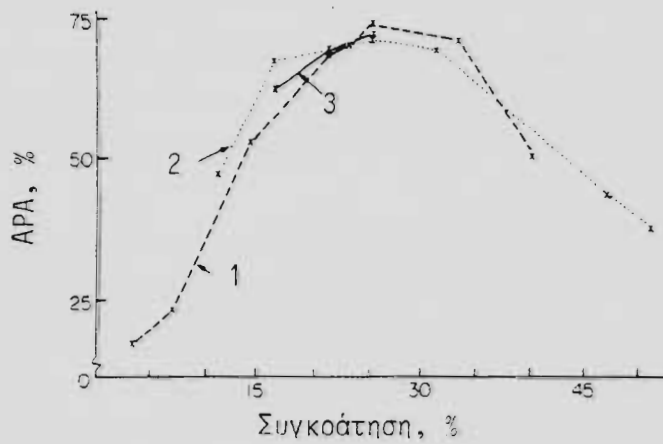
Απλά εποξειδία (και ισοκυανιούχες ενώσεις) αντιδρούν γρήγορα με τα πολυμερή του ξύλου. Όταν το ξύλο είναι ξηρό δεν παράγονται παραπροϊόντα κατά την αντίδραση, υπάρχει πλήρης δέσμηση του χημικού και οι χημικοί δεσμοί είναι σταθεροί. Οι αντιδράσεις γίνονται μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα και γι' αυτό η αύξηση του όγκου του ξύλου είναι ανάλογη του χημικού που δεσμεύεται. Για να επιτευχθεί καλή διαστασιακή σταθερότητα χρειάζεται δέσμηση σημαντικής ποσότητας χημικών (20-30%) με αποτέλεσμα να γίνεται δαπανηρός ο χειρισμός και περιορισμένη η εφαρμογή του στην πράξη.

Η χημική τροποποίηση των συστατικών του ξύλου αποτελεί εμπόδιο σε ορισμένες εξειδικευμένες βιολογικές αντιδράσεις. Σ' αυτό το στοιχείο και όχι στην τοξικότητα βασίζεται ο μηχανισμός βελτίωσης της αντοχής του ξύλου σε μύκητες και έντομα. Με αναλύσεις αζώτου προέκυψε ότι το χημικό



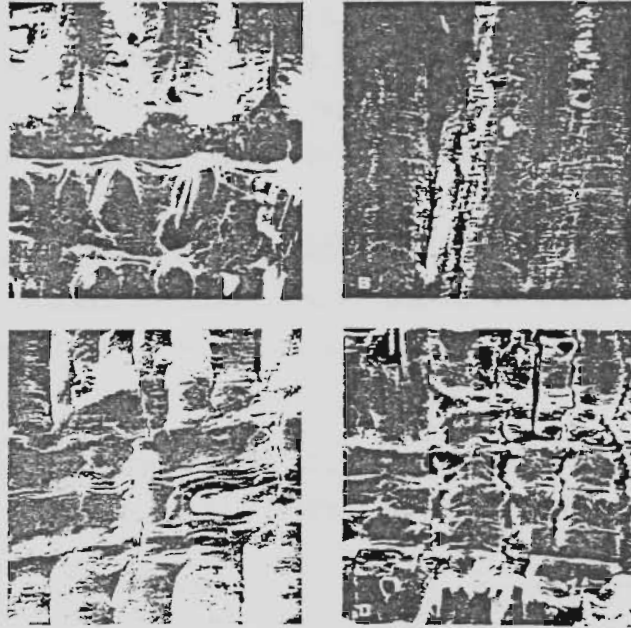
Σχ. 11.16. Σχέση μεταξύ αντιρικνωτικής αποτελεσματικότητας (APA) και συγκράτησης εποξειδίου.

(Rowell 1983)



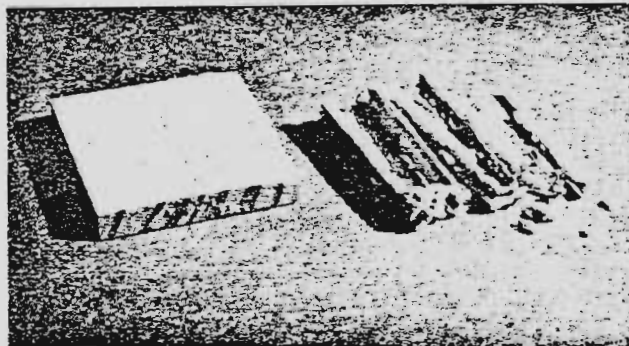
Σχ. 11.17. Αντιρικνωτική αποτελεσματικότητα (APA) οξειδίου του βουτυλενίου (1) σε σύγκριση και με άλλους χειρισμούς (2. με ισοκυανικό μεθυλεστέρα, 3. με οξεικό ανυδρίτη).

(Rowell/Banks 1985)



Σχ. 11.18. Εμφάνιση ακτινικών επιφανειών ξύλου πεύκης σε στερεοσκοπικό ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Α. μάρτυρας, Β, C, D . τροποποιημένο ξύλο με οξείδιο προπυλενίου/τριαιθυλαμίνη με συγκράτηση 29,5%, 32,6% και 45,3% αντίστοιχα. Θραύσεις κυτταρικών τοιχωμάτων αρχίζουν να εμφανίζονται στο C και είναι έντονες στο D (Α,Β. 1100X, C. 600X, D. 550X).

(Rowell 1982, Rowell/Ellis 1984)



Σχ. 11.19. Τροποποιημένο ξύλο πεύκης με οξείδιο του βουτυλενίου (αριστερά) και μάρτυρας (δεξιά) μετά από προσβολή τερμιτών.

(Rowell 1982, Rowell/Ellis 1984)

υποκαθιστά μόνο το 10-20% του θεωρητικού αριθμού υδροξυλίων των υδρογονανθράκων και σχεδόν όλα τα υδροξύλια της λιγνίνης. Η υποκατάσταση όμως των υδροξυλίων της λιγνίνης έχει δευτερεύοντα ρόλο στο μηχανισμό προστασίας κατά μυκήτων και εντόμων και για το λόγο αυτό η υποκατάσταση αυτή μπορεί να θεωρηθεί σπατάλη χημικού. Πάντως, η χρησιμοποίηση μη τοξικών χημικών ουσιών στην προστασία του ξύλου ενδέχεται να αποτελέσει μελλοντικά μια δυνατή λύση.

Αν χρησιμοποιείται υγρό ξύλο, τότε υπάρχει απώλεια χημικού λόγω υδρόλυσης με αποτέλεσμα το χημικό να μην είναι διαθέσιμο για υποκατάσταση υδροξυλίων, να αυξάνει η δαπάνη χειρισμού και να μην πετυχαίνονται ανάλογα οφέλη.

Πίνακας 11.3. Αντοχή τροποποιημένου ξύλου με εποξειδία σε μύκητες και τερμίτες σε διαφορετική συγκράτηση (Rowell 1982).

Χειρισμός	12 βδομάδες έκθεση σε μύκητες*		2 βδομάδες έκθεση σε υπόγειους τερμίτες		
	Συγκράτηση χημικού, %	Απώλεια βάρους, %	Συγκράτηση χημικού, %	Εσωτερικό (Εσ) ή Επιφανειακό (Επ) στρώμα ξύλου	Απώλεια βάρους, %
Μάρτυρες	0	44	0	-	31
Οξειδίο προπυλενίου	5	18	9	Εσ.	24
	24	4,8		Επ.	19
	37	4,6	17	Εσ.	15
	45	7,3		Επ.	13
	51	5,3	23	Εσ. Επ.	5 8
Μάρτυρες	0	63	0		31
Οξειδίο βουτυλενίου	7	19	27	Εσ.	4
	14	12		Επ.	4
	23	4	34	Εσ. Επ.	3 3

\* *Lentinus terebrans* για οξειδίο προπυλενίου και *Gloeophyllum trabeum* για οξειδίο βουτυλενίου.

Η χημική τροποποίηση με τις διάφορες μεθόδους που αναφέρθηκαν έχει γίνει σε σχετικά λίγα είδη ξύλου. Από κωνοφόρα, συχνά έχουν χρησιμοποιηθεί είδη πεύκης και ψευδοτσούγκα και από πλατύφυλλα συνήθως σημύδα και σφενδάμι. Τα αποτελέσματα δεν μπορούν να γενικευθούν σε όλα τα υπόλοιπα είδη. Τα εκχυλίσματα για παράδειγμα μπορεί να εμπλέκονται στη διαδικασία των αντιδράσεων και στην διείσδυση του χημικού. Έτσι, θεωρείται απαραίτητη η απόκτηση εμπειρίας για κάθε είδος ξύλο που για πρώτη φορά επιχειρείται να τροποποιηθεί χημικά.

Για τη διαπίστωση ότι η αντίδραση του χημικού έχει λάβει χώρα στα κυτταρικά τοιχώματα χρησιμοποιούνται τρία κριτήρια: (α) αύξηση του όγκου του ξύλου σαν αποτέλεσμα της αντίδρασης, (β) σταθερότητα του χημικού δηλ. αντίσταση μετά την αντίδραση στην έκπλυση, και (γ) βαθμός απορρόφησης υπέρυθρης ακτινοβολίας.

Έχει παρατηρηθεί ότι η διόγκωση του ξύλου μετά από ορισμένους χειρισμούς (π.χ. οξειδίο προπυλενίου, τσοκυανιούχες ενώσεις, οξεικός ανυδρίτης) είναι σχεδόν ίδια με τον όγκο του χημικού που χρησιμοποιείται. Η παρατήρηση αυτή δείχνει ότι το χημικό μπαίνει μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα αλλά δεν δείχνει αν σχηματίζει εκεί χημικούς δεσμούς. Στους χειρισμούς με ακρυλονιτρίλια η διόγκωση του ξύλου είναι μικρότερη από την ποσότητα του χημικού, πράγμα που σημαίνει ότι ένα μέρος του χημικού δεν μπαίνει στα κυτταρικά τοιχώματα. Στην περίπτωση του μεθακρυλικού μεθυλίου, η διόγκωση του ξύλου είναι πολύ μικρή και το χημικό τοποθετείται κυρίως στις κυτταρικές κοιλότητες.

Όταν το χημικό που διογκώνει τα κυτταρικά τοιχώματα δημιουργεί χημικούς δεσμούς με τα πολυμερή του ξύλου τότε η εκχύλιση με διάφορους διαλύτες δεν το απομακρύνει (bonded-nonleachable). Αντίθετα, χημικά που δεν δημιουργούν χημικούς δεσμούς με τα πολυμερή του ξύλου εκπλύνονται με αποτέλεσμα την απώλεια βάρους του εμποτισμένου ξύλου (nonbonded-leachable). Με εκχύλιση, επομένως, μπορεί να διαπιστωθεί αν δημιουργούνται χημικοί δεσμοί και να προσδιορισθεί η σταθερότητα του χημικού με βάση το βαθμό έκπλυσής του. Ένας άλλος τρόπος ελέγχου της σταθερότητας είναι επαναλαμβανόμενες δοκιμές έκπλυσης του χημικού με νερό και μέτρηση της APA μετά από κάθε δοκιμή.

Ένδειξη για τη δημιουργία χημικών δεσμών μεταξύ χημικού και υδροξυλίων στα κυτταρικά τοιχώματα μπορεί να αποτελέσει και το διάγραμμα απορρόφησης (ή διέλευσης) υπέρυθρης ακτινοβολίας από κατάλληλο δείγμα εμποτισμένου ξύλου (π.χ. ξυλόσκονη μετά από εκχύλιση με βενζόλιο/αιθανόλη (2:1) και στη συνέχεια με νερό για την περίπτωση ισοκυανιούχων ενώσεων).



Είναι απαραίτητο να τονισθεί ότι η πιο ενδιαφέρουσα παράμετρος για επίτευξη καλής διαστασιακής σταθερότητας και όχι αντοχής για μύκητες και έντομα είναι ο βαθμός υποκατάστασης υδροξυλίων της ολοκυτταρίνης (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες).

Με τη χημική τροποποίηση γενικά και ιδιαίτερα με χημικά που δημιουργούν σταθερούς χημικούς δεσμούς στα κυτταρικά τοιχώματα μπορεί να βελτιωθεί η αντίσταση σε φωτιά, η διαστασιακή σταθερότητα, η αντοχή σε βιολογικές προσβολές, και να αντιμετωπισθούν μεταβολές χρώματος και αλλοιώσεις από υπεριώδη ακτινοβολία.

Πολλές από τις μεθόδους βελτίωσης της διαστασιακής σταθερότητας προσδίδουν, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό και για μικρότερη ή μεγαλύτερη διάρκεια, και υδροφοβία στο ξύλο με αποτέλεσμα να μειώνεται εκτός από το τελικό μέγεθος διόγκωσης και ο ρυθμός διόγκωσης. Στον Πίν.11.4 φαίνεται η APA και η αποτελεσματικότητα σαν υδρόφοβων χειρισμών ορισμένων ειδικών μεθόδων βελτίωσης του ξύλου.

Από τον Πίνακα 11.4 προκύπτουν τα εξής: Το μεθακρυλικό μεθύλιο το οποίο μπαίνει μόνο στις κυτταρικές κοιλότητες θεωρείται χειρισμός βελτίωσης της διαστασιακής σταθερότητας αλλά δεν παρουσιάζεται ικανοποιητικός σαν τέτοιος χειρισμός ούτε δίνει καλά αποτελέσματα υδροφοβίας του ξύλου. Σε μεγάλα δείγματα ξύλου αναμένεται μείωση του ρυθμού διόγκωσης λόγω του φαινομένου απόφραξης των κυτταρικών κοιλοτήτων. Με την πολυαιθυλενική γλυκόλη προκύπτει μεγάλη αρχική APA και υδροφοβία αλλά μετά από γήρανση η αποτελεσματικότητά της πέφτει σε χαμηλά επίπεδα. Αυτό συμβαίνει επειδή η πολυαιθυλενική γλυκόλη (α) μπαίνει στα κυτταρικά τοιχώματα αλλά δεν δεσμεύεται χημικά με τα κυτταρικά τοιχώματα, (β) μετά από γήρανση ένα μέρος της εκπλύνεται και (γ) είναι υδρόφιλη. Ο χειρισμός με οξείδιο του βουτυλίου και η ακετυλίωση δίνουν ικανοποιητική APA και υδροφοβία πριν και μετά από γήρανση. Πρέπει να σημειωθεί ότι και στις δυο περιπτώσεις δημιουργούνται σταθεροί χημικοί δεσμοί στα κυτταρικά τοιχώματα και προσδίδουν σ'αυτά διαστασιακή σταθερότητα. Έτσι, η διόγκωση είναι μικρή. Η πρόσληψη όμως νερού στις κυτταρικές κοιλότητες δεν εμποδίζεται και γι'αυτό η υδροφοβία που προσδιορίζεται με βάση τα στοιχεία πρόσληψης νερού είναι μικρή.

Συμπερασματικά μπορεί να διατυπωθεί ότι ο βαθμός υδροφοβίας που προσδίδεται στο ξύλο από χειρισμούς βελτίωσης της διαστασιακής σταθερότητας εξαρτάται από την κατανομή του χημικού μέσα στη μάζα του ξύλου, τη δημιουργία ή όχι σταθερών χημικών δεσμών στα κυτταρικά τοιχώματα, το είδος του χημικού, τη συγκράτηση, κ.λ.π.

Πίνακας 11.4. APA και υδροφοβία του ξύλου που έχει υποστεί χειρισμό με ορισμένες ειδικές μεθόδους βελτίωσης του ξύλου (διαστάσεις δειγμάτων ξύλου δοκιμών: 20x20mm εγκάρσια και 5 mm αξονικά). (Rowell/Banks 1985).

Χειρισμός	APA,%*		Υδροφοβία, %			Γωνία επαφής (μετά από γήρανση), μοίρες	
	A	B	Διόγκωση (πριν από γήρανση)	Διόγκωση (μετά από γήρανση)	Πρόσληψη νερού (μετά από γήρανση)	Αρχική	Μετά από 1'
Μάρτυρες						125	70
Μεθακρυλικό μεθύλιο	2	2	15	35	23	95	60
Πολυαιθυλενική γλυκόλη	70	20	73	8,5	0	115	100
Οξείδιο του βουτυλίου	75	74	52	62	25	0	0
Ακετυλίωση	75	70	70	76	20	120	100

A: μετά από μία δοκιμή και B: μετά από δύο δοκιμές με εμβάπτιση των δειγμάτων σε νερό.

#### 11.4.1.3. Εισαγωγή υγρών μονομερών και πολυμερισμός τους στις κυτταρικές κοιλότητες

Στις προηγούμενες μεθόδους βελτίωσης του ξύλου, βασικό χαρακτηριστικό είναι η είσοδος των χημικών ουσιών μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα ενώ οι κυτταρικές κοιλότητες παραμένουν ουσιαστικά άδειες. Στην περίπτωση που το ξύλο εμποτισθεί σε κενό με ορισμένα υγρά μονομερή τα οποία δεν διογκώνουν το ξύλο και πολυμερίζονται με ακτίνες γ ή καταλύτη (θερμότητα, χημική ουσία ή συνδυασμός), το πολυμερές μένει σχεδόν αποκλειστικά στις κυτταρικές κοιλότητες.

Εμποτισμός του ξύλου με μονομερή και στη συνέχεια πολυμερισμό τους στις κυτταρικές κοιλότητες γίνεται στην πράξη.

(α) με μεθακρυλικό μεθύλιο, και

(β) με εποξεικές ρητίνες.

Και οι δύο χειρισμοί αυξάνουν τη μηχανική αντοχή και το μέτρο ελαστικότητας του ξύλου αλλά βελτιώνουν πολύ λίγο τη διαστασιακή σταθερότητα (βλ. Πίν. 11.4).

#### 11.4.1.31. Μεθακρυλικό μεθύλιο (methyl methacrylate)

Το μονομερές αυτό είναι άχρουν υγρό με σημείο βρασμού 100 °C. Πριν από το χειρισμό, το ξύλο τοποθετείται σε θάλαμο όπου εφαρμόζεται κενό για την απομάκρυνση του αέρα μέσα από τη μάζα του ξύλου. Ενώ διατηρείται το κενό, εισάγεται στο θάλαμο το χημικό για να καλύψει εντελώς το ξύλο. Στη συνέχεια αφαιρείται το κενό και σημαντικές ποσότητες του χημικού εισχωρούν στη μάζα του ξύλου. Ο χρόνος παραμονής του ξύλου στο θάλαμο με το χημικό εξαρτάται από τη δομή του. Μετά το χειρισμό, το εμποτισμένο ξύλο μετακινείται (μερικές φορές περιτυλιγμένο με λεπτό φύλλο αλουμινίου) και τοποθετείται σε χώρο όπου εφαρμόζεται θερμότητα ή ακτινοβολία για πολυμερισμό του μονομερούς. Ο χρόνος εφαρμογής θερμότητας εξαρτάται από τη θερμοκρασία του χώρου που μπορεί να είναι 60 °C ή μεγαλύτερη (Meyer 1984, Rowell/Konkol 1987).

Το παραγόμενο προϊόν, το οποίο είναι σύνθετο από ξύλο και πλαστικό (wood-plastic composite) έχει επιπλέον βάρος μέχρι 160% λόγω του πολυμεθακρυλικού μεθυλίου που είναι τοποθετημένο σχεδόν αποκλειστικά στις κυτταρικές κοιλότητες. Πολύ μικρές ποσότητες μόνο εισχωρούν στα κυτταρικά τοιχώματα. Συνεπώς, το εμποτισμένο ξύλο γίνεται πολύ υδρόφοβο με την έννοια ότι ο ρυθμός πρόσληψης νερού ελαττώνεται πολύ. Αν όμως το ξύλο εκτεθεί σε υγρό νερό ή σε υγρή ατμόσφαιρα για αρκετό χρονικό διάστημα διογκώνεται σχεδόν όσο και το μη εμποτισμένο ξύλο. Έτσι η διαστασιακή σταθερότητα (τιμές  $APA = \frac{S_2 - S_1}{S_1} \times 100$ ) του ξύλου είναι μόνο 10%-20%. Το ειδικό βάρος του πλαστικού ξύλου είναι περίπου 1.

Το παραγόμενο σύνθετο προϊόν μπορεί να συγκολληθεί πολύ καλά με συγκολλητικές ουσίες που έχουν αναπτυχθεί για πλαστικά. Με μηχανική κατεργασία μπορεί να δοθεί υψηλή στιλπνότητα χωρίς να χρειάζεται βερνίκι. Σε περίπτωση που το ξύλο χαραχθεί επιφανειακά, η αποκατάσταση της λείας και στιλπνής επιφάνειας μπορεί να γίνει εύκολα επειδή το πολυμερές βρίσκεται σε όλη τη μάζα του ξύλου. Με προσθήκη χρωστικών στο μονομερές μπορεί να παραχθεί ξύλο με διαφορετικό χρώμα από το φυσικό. Το προϊόν μπορεί ακόμη να βαφεί εφόσον ακολουθούνται οι οδηγίες των κατασκευαστών που αναφέρονται σε μπογιές πλαστικών. Οι μηχανικές ιδιότητες του πλαστικού ξύλου βελτιώνονται πολύ (αυξάνονται συνήθως κατά 100-200%) (Meyer 1984, Rowell/Konkol 1987).

Συνήθως, η κύρια εφαρμογή του πλαστικού ξύλου είναι στα παρκέτα. Άλλες εφαρμογές περιλαμβάνουν μουσικά εργαλεία, είδη γραφείου, λαβές μαχαιριών, στέκες μπιλιάρδου, τόξα, ρόπαλα γκόλφ, μικροαντικείμενα, κ.ά. Το μεθακρυλικό μεθυλιωμένο ξύλο πωλείται με διάφορα εμπορικά ονόματα (π.χ. Acrylic wood, Perma-Grain, methyl methacrylated-wood plastic composite).

Στην Ευρώπη, Ιαπωνία, Ταϊβάν και Ν.Ζηλανδία έχει γίνει εκτεταμένη έρευνα στη χρησιμοποίηση στυρολίου σαν μονομερές ή συνδυασμού στυρολίου και μεθακρυλικού μεθυλίου για εμποτισμό του ξύλου. Τα παραγόμενα προϊόντα είναι γνωστά σαν Lignomer (Πολωνία) και Arloid (Ιαπωνία).

#### 11.4.1.32. Εποξεικές ρητίνες (epoxy resins)

Στην περίπτωση του μεθακρυλικού μεθυλίου το ξύλο εμποτίζεται με μονομερή τα οποία πολυμερίζονται ενώ βρίσκονται μέσα στη μάζα του ξύλου. Στον εμποτισμό του ξύλου με εποξεικές ρητίνες, οι ρητίνες είναι ήδη μερικώς πολυμερισμένες και σκληρύνονται μέσα στις κυτταρικές κοιλότητες. Η εποξεική ρητίνη είναι διαυγές διάλυμα, με λίγο μεγαλύτερο ιξώδες από ένα βερνίκι (σε θερμοκρασία 21 °C). Λίγο πριν το χειρισμό, η ρητίνη αναμειγνύεται με σκληρυντή. Ο χρόνος μεταξύ αναμίξεως των συστατικών (ρητίνης και σκληρυντή) και εφαρμογής τους στο ξύλο (pot life) διαφέρει από λίγα λεπτά μέχρι λίγες ώρες ανάλογα με το είδος του σκληρυντή και τη θερμοκρασία (Rowell/Konkol 1987).

Η εισαγωγή των εποξεικών ρητινών σε συμπαγές ξύλο είναι δύσκολη επειδή το μόριά τους έχουν μεγάλο μέγεθος και υψηλό ιξώδες. Για τους λόγους αυτούς, γίνεται συνήθως εμποτισμός ξυλοφύλλων. Τα ξυλόφυλλα εμποτίζονται (με εμβάπτιση μεγάλης διάρκειας ή με εφαρμογή κενού) με το διάλυμα εποξεικής ρητίνης-σκληρυντή και μετά ξηραίνονται και η κόλλα αφήνεται να σκληρυνθεί. Η ρητίνη σκληραίνεται σε 5-6 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου. Η σκλήρυνση επιταχύνεται σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες.

Τα ξυλόφυλλα μπορούν να συγκολληθούν μαζί μετά το χειρισμό αλλά πριν από την σκλήρυνση ενώ μπορεί να γίνει και προσθήκη διαφόρων χρωστικών στο διάλυμα ρητίνης-σκληρυντή. Επίσης, μπορεί να γίνει και βαφή του προϊόντος όπως συμβαίνει στα πλαστικά σύμφωνα με οδηγίες των κατασκευαστών.

Μετά το χειρισμό, η εποξεική ρητίνη επιβραδύνει πολύ την είσοδο νερού στο ξύλο αλλά δεν αυξάνει τη διαστασιακή σταθερότητα του ξύλου επειδή δεν εισέρχεται σχεδόν καθόλου στα κυτταρικά τοιχώματα. Οι μηχανικές ιδιότητες του ξύλου (ιδιαίτερα η σκληρότητα) βελτιώνονται σημαντικά και το ξύλο γίνεται κατάλληλο για εξωτερικά μέρη ξύλινων σκαφών και επιφανειακών στρώσεων αντικολλητών (Gougeon 1979). Επίσης, εποξεικές ρητίνες έχουν χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση των ιδιοτήτων αλλοιωμένου ξύλου. Εισαγωγή εποξεικών ρητινών μέχρι κορεσμού σε αλλοιωμένο από μύκητες ξύλο και σκλήρυνσή τους μπορεί να αποκαταστήσει μερικώς τη μηχανική αντοχή και την ελαστικότητα του ξύλου.

#### 11.4.1.4. Συμπίεση του ξύλου σε υψηλές θερμοκρασίες

##### 11.4.1.4.1. Συμπίεση όχι εμποτισμένου ξύλου σε υψηλές θερμοκρασίες

##### (Staypak)

Το προϊόν που παράγεται με εφαρμογή πίεσης σε λεπτά ξυλόφυλλα και σχετικά υψηλής θερμοκρασίας έχει καθιερωθεί στο εμπόριο με το όνομα "Staypak". Πριν από την εφαρμογή πίεσης, τα ξυλόφυλλα κλιματίζονται σε σχετική υγρασία 30-60%. Η πίεση που εφαρμόζεται ανέρχεται σε  $10-11 \text{ N/mm}^2$  σε θερμοκρασία  $170-177^\circ\text{C}$ . Ο χρόνος συμπίεσης διαφέρει ανάλογα με το πάχος των ξυλοφύλλων. Για να παραχθεί το προϊόν Staypak, το ξύλο συμπιέζεται συνήθως τόσο ώστε η πυκνότητά του να είναι τουλάχιστο  $1,3 \text{ g/cm}^3$ . (Seborg et al. 1945, Stamm 1964, Rowell/Konkol 1987).

Οι παραπάνω συνθήκες (πίεση, θερμοκρασία) προκαλούν "ροή λιγνίνης" σε βαθμό που να μειώνονται σημαντικά οι εσωτερικές τάσεις οι οποίες αναπτύσσονται μέσα στο ξύλο σαν αποτέλεσμα της συμπίεσης. Ο χειρισμός αυτός μειώνει σε μεγάλο βαθμό την τάση του ξύλου να διογκώνεται όταν υγρανθεί.

Το Staypak μπορεί να παραχθεί από ξύλο διαφόρων δασοπονικών ειδών με εξαίρεση είδη που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε ρητίνη. Η πίεση θα πρέπει να εφαρμόζεται σε εφαπτομενικές επιφάνειες του ξύλου. Το όψιμο ξύλο συμπιέζεται δυσκολότερα σε σύγκριση με το πρώιμο, ενώ ρόζοι πρέπει να αποφεύγονται γιατί είναι δύσκολο να συμπιεστούν.

Το Staypak μπορεί να συγκολληθεί και να βερνικωθεί όπως το ξύλο που δεν έχει υποστεί χειρισμό. Το ξύλο, μετά το χειρισμό, παίρνει σκοτεινότερο χρώμα.

Το Staypak μειώνει τον ρυθμό εισόδου του νερού, είναι περισσότερο διαστασιακά σταθερό αλλά η αντίστασή του σε βιολογική αλλοίωση δεν αυξάνεται σε σύγκριση με ξύλο που δεν έχει υποστεί χειρισμό. Οι μηχανικές του ιδιότητες αυξάνονται πολύ και η αύξηση αυτή είναι ανάλογη του βαθμού συμπίεσης. Η αντοχή του ξύλου σε εφελκυσμό παράλληλα ή κάθετα προς τις ίνες, το μέτρο θραύσεως και η ελαστικότητα σε κάμψη αυξάνονται. Η πιο μεγάλη αύξηση παρατηρείται σε δυναμική κάμψη.

Το ξύλο Staypak είναι κατάλληλο για χειρολαβές εργαλείων, κεφαλές σφυριών, καλούπια, σφραγίδες, ζάρια, κ.ά. Στη Γερμανία ανάλογα προϊόντα είναι το Lignofof και στην Αγγλία το Jicwood και Jablo (τύποι συμπιεσμένων αντικολλητών).

11.4.1.42. Συμπύεση εμποτισμένου ξύλου με ρητίνες σε υψηλές θερμοκρασίες (Compreg)

Το προϊόν, γνωστό με το όνομα Compreg, παράγεται με συμπύεση εμποτισμένου με ρητίνη ξύλου σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες και ταυτόχρονη σκλήρυνση της ρητίνης. Όπως και στο προϊόν Impreg, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες ρητίνες αλλά η πιο επιτυχής είναι η υδατοδιαλυτή φαινόλη-φορμαλδεΰδη. Το Compreg συνήθως παράγεται από εμποτισμένα με ρητίνη ξυλόφυλλα τα οποία συμπιέζονται για να αποκτήσουν την επιθυμητή πυκνότητα και πάχος. (Stamm/Seborg 1951, Stamm 1964, Rowell/Konkol 1987).

Όταν το Compreg παράγεται από ξυλόφυλλα, κάθε ξυλόφυλλο εμποτίζεται με τη ρητίνη φαινόλη-φορμαλδεΰδη σε επίπεδα 25-30% ρητίνης με βάση το απόλυτο ξηρό βάρος του ξύλου. Τα ξυλόφυλλα ξηραίνονται σε θερμοκρασία 30 °C ή λιγότερο έτσι ώστε η ρητίνη να μην σκληρύνεται κατά τη διάρκεια ξήρανσης. Η ρητίνη σκληρύνεται αργότερα κατά την διάρκεια εφαρμογής πίεσης και θερμοκρασίας (αντίθετα στο προϊόν Impreg, η ρητίνη σκληρύνεται στο τελικό στάδιο ξήρανσης των ξυλοφύλλων σε υψηλή θερμοκρασία). Όταν οι πλάκες Compreg που γίνονται από εμποτισμένα ξυλόφυλλα έχουν πάχος μεγαλύτερο από 3 mm, η περιεχόμενη υγρασία του ξύλου θα πρέπει να είναι μικρότερη του 2% για να αποφεύγεται η δημιουργία ραγάδωσης στο προϊόν. Απλά ξυλόφυλλα μπορούν να έχουν λίγο μεγαλύτερη υγρασία χωρίς τον κίνδυνο δημιουργίας ραγάδωσης.

Τα εμποτισμένα με ρητίνη ξυλόφυλλα συγκολλούνται παράλληλα μεταξύ τους σε υψηλής πυκνότητας πλάκες χωρίς να χρειάζεται πρόσθετη συγκολλητική ουσία επειδή εξέρχεται επαρκής ρητίνη από τη μάζα του ξύλου στους χώρους μεταξύ ξυλοφύλλων η οποία παράγει καλούς δεσμούς. Η πίεση που απαιτείται για συμπύεση των ξυλοφύλλων εξαρτάται από τον τύπο της ρητίνης και τα πτητικά συστατικά της, το βαθμό της πρόωρης σκλήρυνσης της ρητίνης (pre-cure), την κατανομή της ρητίνης μέσα στη μάζα του ξύλου και το είδος ξύλου. Ξυλόφυλλα από τα περισσότερα δασοπονικά είδη μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραγωγή Compreg πυκνότητας 1,3-1,4 g/cm<sup>3</sup> (σε 25-30% περιεκτικότητα ρητίνης) με εφαρμογή πιέσεων 6,9-8,3 N/mm<sup>2</sup> και σε θερμοκρασία 150 °C όταν η περιεκτικότητα της ρητίνης σε πτητικά συστατικά (ποσοστό του διαλύματος που εξατμίζεται) είναι μεταξύ 2-4%. Πλάκες που συμπιέζονται για να παραχθεί Compreg πυκνότητας πάνω από 1,35 g/cm<sup>3</sup> παρουσιάζουν μεγαλύτερο κίνδυνο ραγάδωσης σε σύγκριση με πλάκες μικρότερης πυκνότητας: Έτσι, πλάκες με πυκνότητα μεγαλύτερη από 1,4 g/cm<sup>3</sup> πρέπει να αποφεύγονται.

Η εμπειρία έχει δείξει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία κατά τη συμπύεση τόσο μεγαλύτερη είναι και η τάση των πλακών για ραγάδωση. Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται με συμπύεση σε θερμοκρασία 140-150 °C. Η θερμοκρασία στο εσωτερικό του ξύλου πρέπει να διατηρείται στους 150 °C για 30-40'

ώστε να γίνεται πλήρης σκλήρυνση της ρητίνης (ισχύει για τις περισσότερες ρητίνες). Σε πλάκες Compreg πάχους  $> 3$  mm, η σκλήρυνση πρέπει να γίνεται σε μικρότερη θερμοκρασία για να αποφεύγονται εξωθερμικές αντιδράσεις κατά την σκλήρυνση της ρητίνης οι οποίες θα είχαν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό της πλάκας πάνω από  $150^{\circ}\text{C}$ .

Οι πλάκες Compreg μπορούν να συγκολληθούν μεταξύ τους ή με ξύλο μετά την απομάκρυνση επιφανειακών ανωμαλιών ή υπολειμμάτων με πλάνιση ή λείανση. Οι πιο ικανοποιητικές κόλλες για συγκόλληση που χρησιμοποιούνται εκτεταμένα είναι η φαινόλη και ρεσορκινόλη με αλκαλικό καταλύτη οι οποίες σκληρύνονται σε θερμοκρασία κάτω του σημείου βρασμού του νερού. Η μηχανική κατεργασία του Compreg γίνεται συνήθως με μηχανήματα κατεργασίας μετάλλων γιατί οι ακμές ή τα δόντια μηχανημάτων ξύλου αμβλύνονται γρήγορα. Οποιαδήποτε τομή του Compreg μπορεί να αποκτήσει υψηλό βαθμό στιλπνότητας και στίλβωσης με λεπτό σμυριδόχαρτο και επιφανειακή επεξεργασία με δέρμα (buffing). Η φυσική στιλπνότητα είναι πολύ ανθεκτική στους οργανικούς διαλύτες αλκοόλη και ακετόνη.

Το ξύλο Compreg είναι πολύ "συμπυκνωμένο" λόγω της ρητίνης που περιέχει και της συμπίεσης που έχει υποστεί ώστε ο ρυθμός και η ποσότητα του νερού που μπαίνει στο ξύλο να μειώνεται σημαντικά. Μικρά δείγματα πάχους  $\leq 12$  mm και πυκνότητας  $1,35 \text{ g/cm}^3$  διογκώνονται μονον 4-7% σε πάχος όταν εμβαπτισθούν σε νερό, σε θερμοκρασία δωματίου. Μεγαλύτερα δείγματα (πάχους  $\gg 25$  mm) μετά από εμβάπτιση σε νερό ακόμη και για ένα χρόνο δεν φθάνουν το φυσιολογικό επίπεδο διογκωσης. Το προϊόν είναι πολύ ανθεκτικό σε τερμίτες, προσβολές από μύκητες και θαλασσινούς οργανισμούς. Η αντίστασή του στη δίοδο του ηλεκτρικού ρεύματος και σε οξέα αυξάνεται πολύ ενώ η αντίστασή του σε φωτιά βελτιώνεται λόγω της μεγάλης του πυκνότητας. Η αντίστασή του σε φωτιά μπορεί να αυξηθεί περισσότερο αν προστεθούν αντιπυρικές ουσίες στο διάλυμα της ρητίνης με την οποία εμποτίζεται το ξύλο. Οι μηχανικές ιδιότητες (εκτός της αντοχής σε δυναμική κάμψη) αυξάνουν ανάλογα με την αύξηση της πυκνότητας. Η αντίστασή του σε αποτριβή και η αντοχή του σε σκληρότητα είναι σημαντικά μεγαλύτερες.

Το ξύλο Compreg βρίσκει εφαρμογές στην παραγωγή ζαριών, πτερυγίων ανεμιστήρων, μερών αεροπλάνων, μουσικών εργαλείων, βάσεις και θήκες μουσικών εργαλείων, σαϊτών, καρουλιών, ηλεκτρικών μονωτών, μικροαντικειμένων, λαβών μαχαιριών και άλλων σκευών, κ.ά. Σε αντικολλητά που απαιτείται υψηλή αντοχή σε αποτριβή χρησιμοποιείται σαν εξωτερική στρώση. Στη Γερμανία το προϊόν Compreg είναι γνωστό σαν "Kunstharzschichtholz".

#### 11.4.1.5. Χρησιμοποίηση υψηλών θερμοκρασιών (Staybwood)

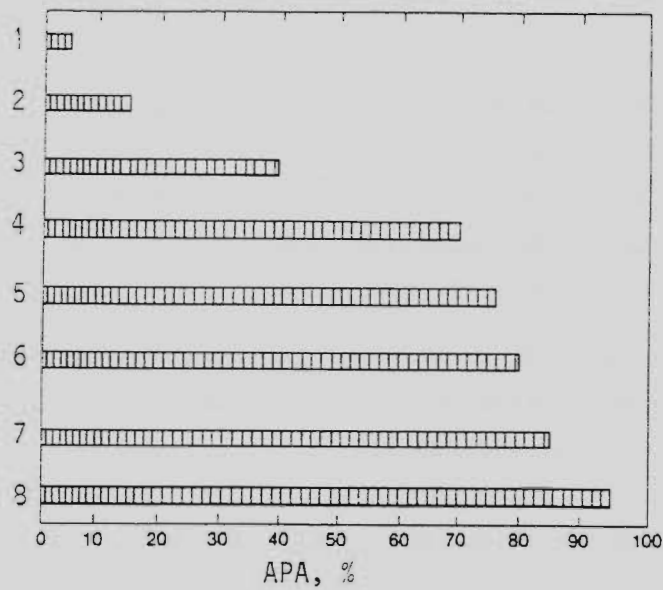
Θέρμανση του ξύλου σε κενό και σε υψηλές θερμοκρασίες προκαλεί ροή λιγνίνης και χημική τροποποίηση των ημικυτταρινών που παράγουν πολυμερή αδιάλυτα στο νερό. Η μέθοδος αυξάνει τη σταθερότητα του ξύλου αλλά ελαττώνει τη μηχανική αντοχή. Το προϊόν που παράγεται είναι γνωστό με το όνομα Staybwood. (Stamm et al. 1960, Stamm 1964, Rowell/Konkol 1987).

Το Staybwood παράγεται με θέρμανση του ξύλου σε θερμοκρασίες μεταξύ 93 και 160 °C σε μίγμα λυωμένων μετάλλων (50% κασσίτερος, 30% μόλυβδος και 20% κάδμιο) με σημείο τήξεως περίπου 150 °C. Το μίγμα αυτό δεν κολλάει στις επιφάνειες του ξύλου. Για θέρμανση ξυλοφύλλων έχει χρησιμοποιηθεί και άμμος με ξηρό άζωτο με όμοια αποτελέσματα. Ο χρόνος θέρμανσης κυμαίνεται μεταξύ λίγων λεπτών σε υψηλές θερμοκρασίες και λίγων ωρών σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η διαστασιακή σταθερότητα του staybwood αυξάνει όσο αυξάνει ο χρόνος θέρμανσης ή η θερμοκρασία χειρισμού ενώ η μηχανική αντοχή μειώνεται. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι όταν η διόγκωση και η ρίκνωση μειώνεται κατά 40%, η αντοχή σε κρούση ελαττώνεται στο μισό, η ακόμη περισσότερο σε σύγκριση με την αντίστοιχη αντοχή του ξύλου χωρίς χειρισμό. Η αντίσταση σε αποτριβή επίσης ελαττώνεται. Η υγροσκοπικότητα μειώνεται σημαντικά και η αντοχή σε μυκητικές προσβολές αυξάνεται.

Επειδή οι μηχανικές ιδιότητες του Staybwood μειώνονται σημαντικά, το προϊόν δεν έχει αποκτήσει εμπορική σημασία.

Οι χειρισμοί που περιγράφηκαν προηγουμένως βελτιώνουν τη μηχανική αντοχή ελαστικότητα, υγροσκοπικότητα και διαστασιακή σταθερότητα του ξύλου. Στο Σχ. 11.20 φαίνεται συγκριτικά η αρχική αποτελεσματικότητα διαφόρων βασικών κατηγοριών των χειρισμών αυτών και ειδικότερα ο βαθμός διαστασιακής σταθερότητας που επιτυγχάνεται στο ξύλο. Όμως, παρά τη σημαντική βελτίωση των ιδιοτήτων του ξύλου, τα προϊόντα που προκύπτουν με τους χειρισμούς αυτούς αποτελούν μικρό μόνο ποσοστό των προϊόντων ξύλου που κυκλοφορούν στο εμπόριο. Το υψηλό κόστος παραγωγής τέτοιων προϊόντων τα περιορίζει σε ορισμένες μόνον ειδικές χρήσεις. Η ερευνητική προσπάθεια για βελτίωση των παραπάνω μεθόδων ή για ανάπτυξη νέων συνεχίζεται σε παγκόσμια κλίμακα.





Σχ. 11.20. Αρχική αντιρικνωτική αποτελεσματικότητα (ΑΡΑ) διαφόρων βασικών κατηγοριών χειρισμών βελτίωσης του ξύλου.

(Rowell/Youngs 1981)

1. Εμβάπτιση σε παραφίνη (εξωτερική επικάλυψη)
2. Μεθακρυλικό μεθύλιο (εσωτερική επικάλυψη και συγκράτηση στις κυτταρικές κοιλότητες)
3. Επίδραση υψηλών θερμοκρασιών (μείωση υγροσκοπικότητας)
4. Impreg (το χημικό δεν δεσμεύεται με τα χημικά συστατικά του ξύλου και δεν εκπλύνεται)
5. Χημική τροποποίηση (το χημικό δεσμεύεται με τα χημικά συστατικά του ξύλου και δεν εκπλύνεται)
6. Πολυαιθυλενική γλυκόλη (δεν δεσμεύεται με τα χημικά συστατικά του ξύλου και εκπλύνεται)
7. Φορμαλδεΐδη (σχηματισμός σταυροειδών συνδέσεων)
8. Compreg (το χημικό δεν δεσμεύεται με τα χημικά συστατικά του ξύλου και δεν εκπλύνεται. Εφαρμόζεται πίεση).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (Ι ΜΕΡΟΣ)

(Κεφάλαια: 1ο-5ο)

1. Banks, W.B. 1971. The role of water repellents in the protection of timber. Rec. Ann. Conv. B.W.P.A. : 129-147.
2. Banks, W.B. 1975. Physical Factors Affecting the Flow of Gases and Liquids through Swollen and Unswollen Softwood. Ph.D. Thesis, London.
3. Banks, W.B. and T.B. Dearling. 1973. The water storage of Scots pine sapwood in conditions of high and low oxygen concentration. Material u. Organismen 3(1):39-49.
4. Banks, W.B. and E. Voulgaridis. 1980. The performance of water repellents in the control of moisture absorption by wood exposed to the weather. Rec. Ann. Conv. B.W.P.A. :43-53.
5. Bariska, M. A. Osuský und H.H. Bosshard. 1983. Änderung der Mechanischen Eigenschaften von Holz nach Abbau durch Basidiomyceten. Holz Roh- u. Werkstoff 40:241-245.
6. Bletchly, J.D. 1967. Insect and Marine Borer Damage to Timber and Woodwork, Recognition, Prevention and Eradication. Min. Techn., For. Prod. Res. HMSO, London.
7. Borgin, K. 1968. The protection of wood against dimensional instability. Bosb. Suid-Afr. 9:81-94.
8. Bolton, A.J. 1976. Biological implications of a model describing liquid flow through conifer wood. Leiden Botanical Series, No 3:222-237.
9. Bolton, A.J. and J.A. Petty. 1975. Structural components influencing the permeability of ponded and unponded Sitka spruce. Journal of Microscopy, Vol. 104:33-46.
10. Βουλγαρίδης, Η. 1983. Υγροσκοπικότητα του ξύλου και σημασία της στις ξυλουργικές κατασκευές. Πρακτικά 5ου συνεδρίου FURNIDEC, Θεσσαλονίκη.
11. Βουλγαρίδης, Η. 1984. Προστασία του ξύλου σε εξωτερικές και ημι-εξωτερικές ξυλουργικές κατασκευές. Γεωτεχνικά 3:41-48.
12. Βουλγαρίδης, Η. 1985. Το εμποτιστικό ξύλου CCA και οι δυνατότητες χρησιμοποίησής του. Γεωτεχνικά 3:169-177.
13. Βουλγαρίδης, Η. 1986. Προστασία του ξύλου σε υπηρεσία από προσβολές μυκήτων και εντόμων (υπό δημοσίευση).
14. BRE. 1970. The Common Furniture Beetle. F.P.L. Dept. Env. Techn. Note No. 47

15. BRE. 1974. Preservation of Spruce-incising. Princes Risb. Lab., Open Days 1974, No. 16.
16. B.W.P.A. and T.R.A.D.A. (undated). Timber Preservation. London.
17. Cartwright, K.St.G. and W.P.K.Findlay. 1957 (5th ed.). Dry Rot in Wood. F.P.L., Dept. Scient. Ind. Res., Bull. No.1, HMSO, London.
18. Cartwright,K.St.G. and W.P.K. Findlay. 1958. Decay of Timber and its Prevention. HMSO, London.
19. Comstock, G.L. 1967. Longitudinal permeability of wood to gases and non-swelling liquids. F.P.J. 17(10):41-46.
20. Comstock. G.L. 1968. Relationship between permeability of green and dry eastern hemlock. F.P.J. 18(8):20-23.
21. Comstock, G.L. and W.A. Côté,Jr. 1968. Factors affecting permeability and pit aspiration in coniferous sapwood. Wood Sci. Techn. 2:279-291.
22. Côté, W.A.,Jr. 1963. Structural factors affecting the permeability of wood. J. Pol. Sci.,Part C, No. 2:231-242.
23. Coupe,C. and R.W. Watson. 1967. Fundamental aspects of weathering. Rec. Ann. Conv. B.W.P.A. :37-49.
24. DeGroot,R.C. and G.P. Esenther. 1982. Microbiological and entomological stresses on the structural use of wood. In "Structural Use of Wood in Adverse Environments" Symposium, Vancouver, B.C., May 15-18 (1978).
25. Dinwoodie, J.M. 1975. Timber-a review of the structure-mechanical property relationship. Journal of Microscopy, Vol. 104,Pt 1:3-32.
26. Duncan, C.G. and F.F.Lombard. 1965. Fungi Associated with Principal Decays in Wood Products in the United States. USDA For. Serv. Res. Paper WO-4. Washington, D.C.
27. Feist,W.C. and E.A. Mraz. 1978. Protecting millwork with water repellants. F.P.J. 28(5):31-35.
28. Findlay, W.P.K. 1975. Timber, Properties and Uses. Granada Publ. Ltd., London/New York.
29. F.P.L., Dept. of Scientific and Industrial Research, Princes Risborough, U.K.
  - a. The Common Furniture Beetle, Leaflet No 3 (1955)
  - b. The Death-Watch Beetle, Leaflet No.4 (1943)
  - c. Lyctus Powder-Post Beetles, Leaflet No.3 (1938)

- d. The House Longhorn Beetle, Leaflet No.14 (1952)
  - e. Defects Caused by Ambrosia (Pinhole Borer) Beetles-Origin and Recognition, Leaflet No.50 (1956).
  - f. Dry Rot in Buildings-Recognition, Prevention and Cure, Leaflet No.6 (1954).
  - g. Spray treatment for Prevention of Lyctus Attack in Sawn Logs, Leaflet No.43 (1956).
  - h. Marine borers and Methods of Preserving Timber Against their Attack. Leaflet No. 46 (1950).
  - i. Timber Decay and its Control. Leaflet No. 39 (1957).
30. Greaves, H. 1985. CCA-Treated Timber, Facts, Figures and Comments on Health and Safety in Use. For. Prod. Newsletter, New Series No. 1, CSIRO, Australia.
  31. Hart, C.A. and R.J.Thomas. 1967. Mechanism of bordered pit aspiration as caused by capillarity. F. P. J. 17(11):143-149.
  32. Hickin, N.E.1971. Wood Preservation. (A Guide to the Meaning of Terms). The Rentokil Library .
  33. Hunt, G.M. and G.A.Garratt. 1968. Wood Preservation (3rd ed.). McGraw-Hill Co, New York.
  34. Jutte, S.M. 1971. Wood Structure in Relation to Excessive Absorption. For.Prod.Res. Inst. TNO., Netherlands.
  35. Καϊλίδης, Δ. 1975. Δασική Παθολογία. Θεσσαλονίκη.
  36. Καϊλίδης, Δ. 1977. Δασική Εντομολογία. Θεσσαλονίκη.
  37. Κακαράς, Ι. 1980. Ο εμποτισμός του ξύλου και οι εφαρμογές του. Πρακτικά 2ου συνεδρίου FURNIDEC. Θεσσαλονίκη.
  38. Kalnins, M.A. 1966. Photochemical degradation of Wood. U.S. For. Serv., For. Prod. Lab. Res. Pap. FPL 57:23-60.
  39. Καλπαξίδης, Ι. 1982. Λύκτος (*Lyctus brunneus*) ένα επικίνδυνο ξυλοσηπτικό έντομο. Πρακτικά 4ου συνεδρίου FURNIDEC, Θεσσαλονίκη.
  40. Κανάς, Α. 1982. Η προστασία της ξυλείας επίπλου από τους βιολογικούς της εχθρούς. Πρακτικά 4ου συνεδρίου FURNIDEC, Θεσσαλονίκη.
  - 40α. Καρτάσης, Ι. 1978. Ξύλινα Δάπεδα (Παρκέτα). Υπουργείο Γεωργίας, Γεν. Δ/ση Δασών και Δασ. Περιβάλλοντος, αριθμ. 41 (σελ. 79).

41. Kirk, T.K. 1983. Degradation and conversion of lignocelluloses. In: Smith, J.E., Berry, D.R. and Kristiansen, B. The Filamentous Fungi, Vol. 4. Fungal Technology. Edward Arnold, London:266-295.
42. Kröll, K. 1951. Die Bewegung der Feuchtigkeit in Nadelholz während der Trocknung bei Temperaturen um 100°C. Holz Roh-u. Werkstoff 9:176-181.
43. Krzyrewski, J. (undated). Preservation of Wood Fence Posts . East.For. Prod. Lab., Env. Can., For.Serv., Bull. LD9E.
44. Lew, J.D. and W.W. Wilcox. 1981. The role of selected deuteromycetes in the soft-rot of wood treated with pentachlorophenol. Wood and Fiber 13(4):252-264.
45. MacGregor, W.D. 1952. The Protection of Buildings and Timber Against Termites. F.P.L., Dept. Scient. Ind.Res., Bull. No.24, HMSO, London.
46. Miniutti, V.P. 1967. Microscopic Observations of Ultraviolet Irradiated and Weathered Softwood Surfaces and Clear Coatings. U.S. For. Serv., For. Prod. Lab. Res. Pap. FPL 74, Madison, Wisconsin.
47. Morgan, J.W.W. and R.J.Orsler. 1969. The interaction of wood with organic solvents. I. The swelling behaviour of beech and podo with some common solvents. Holzforsehung 23(1):1-5.
48. Nicholas, D.D. 1973. Wood Deterioration and Its prevention by Preservative Systems. Syracuse Univ.Press., Syracuse, New York.
49. Orsler, R.J. 1983. A method for the consolidation of degraded wooden carvings from the ceiling of the House of Lords, Palace of Westminster. J.Inst. Wood Sci. 9(6):246-253.
50. Panshin, A.J. and C. de Zeeuw. 1980. Textbook of Wood Technology (4th edition). McGraw-Hill Book Company, N.Y.
51. Petric, B. and V.Scukanec. 1973. Volume percentage of tissues in wood in conifers grown in Yugoslavia. IAWA Bull. 2:3-7.
52. Petty, J.A. 1970. The relation of wood structure to preservative treatment. Forestry Supplement 1970:29-35.
53. Phillips, E.W. 1933. Movement of the pit membrane in coniferous woods, with special reference to preservative treatment. Forestry J. Soc. Foresters 7:109-120.

54. Preston, R.D. 1974. The Physical Biology of Plant Cell Walls. Chapman and Hall Ltd., London.
55. Purslow, D.F. 1974. Methods of Applying Wood Preservatives. Dept. Env., BRE, HMSO, London.
56. Purslow, D.F. and N.A. Williams. 1978. Field Trials on Preserved Timber out of Ground Contact. BRE CP 78/78.
57. Resch, H. and B.A. Ecklund. 1964. Permeability of wood.... exemplified by measurements on redwood. F.P.J., May 1964:199-207.
58. Richardson, B. 1978. Wood Preservation. The Construction Press, London/NW.
59. Rowell, R.M. 1984. The Chemistry of Solid Wood. American Chemical Society, Washington, D.C.
60. Rowell, R.M. and W.B. Banks. 1985. Water Repellency and Dimensional stability of Wood. USDA For. Serv. FPL, Gen. Techn. Rep. FPL-50.
61. Ruddick, J.N.R. 1986. A comparison of needle and North American incising techniques for improving preservative treatment of spruce and pine lumber. Holz Roh - Wersktstoff 44:109-113.
- 61a. Sawabe, O., K. Mori and T. Takeuchi. 1973. Micro-pore structure in cell wall of wood. Mokuzai Gakkaishi 19(2):55-62.
62. Skaar, C. 1972. Water in Wood. Syracuse University Press, N.Y.
63. Siau, J.F. 1971. Flow in wood. Syracuse University Press.
64. Siau, J.F. 1984. Transport Processes in Wood. Springer Series in Wood Science (Ed. T.E. Timell), Springer Verlag, Berlin/NW/Tokyo.
65. Smith, D.N. 1958. The permeability of wood and its importance in timber preservation. Record of 8th Ann. Convention, B.W.P.A.
66. Smith, D.N. and E. Lee. 1958. The longitudinal permeability of some hardwoods and softwoods. Forest Prod. Res. Sp. Rep. No13, HMSO/London.
67. Spalt, H.A. 1957. The sorption of water vapor by domestic and tropical woods. F.P.J. 7(10):331-335.
68. Stamm, A.J. 1964. Wood and Cellulose Science. The Ronald Press Co., New York.
69. Stayton, C.L. and C.A. Hart. 1965. Determining pore-size distribution in softwoods with a mercury porosimeter. F.P.J. 15(10):435-440.

70. Stone, J.E. 1964. The porous structure of wood and fibers. *Pulp Pap. Mag. Can.* 65: T3-T12.
71. Sutcliffe, J. 1979. *Plants and Water* (2nd edition). Studies in Biology, No. 14. Edward Arnold, London.
72. Thode, E.E., J.W. Swanson and J.J. Becher. 1958. Nitrogen adsorption of solvent-exchanged wood cellulose fibers: Indications of "total" surface area and pore size distribution. *J. Phys. Chem.*, Vol. 62: 1036-1037.
73. Thomas, R.J. 1977. Wood; Structure and chemical composition. In *Wood Technology: Chemical Aspects* (I.S. Goldstein, ed.). Washington, D.C.
74. Thomas, R.J. and K.P. Kringstad. 1971. The role of hydrogen bonding in pit aspiration. *Holzforschung* 25(5): 143-149.
75. Thomas, R.J. and D.D. Nickolas. 1966. Pit membrane structure in loblolly pine as influenced by solvent exchange drying. *F. P. J.* 16(3): 53-56.
76. Τσουμής, Γ. 1978. Συγκομιδή Δασικών Προϊόντων, Θεσσαλονίκη.
77. Τσουμής, Γ. 1983. Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου. Θεσσαλονίκη.
78. Τσουμής, Γ. και Η. Βουλγαρίδης. 1978. Μελέτη της κυανώσεως στη μαύρη πεύκη. I. Πρόληψη της προσβολής στο δάσος. *Γεωτεχνικά Β(1)*: 3-11.
79. Τσουμής, Γ. και Η. Βουλγαρίδης. 1979. Μελέτη της κυανώσεως στη μαύρη πεύκη. II. Επίδραση σε τεχνικές ιδιότητες του ξύλου. *Το Δάσος* 86: 9-14.
80. Van Zyl, J.D. and W.J. van Wyk. 1978. Protecting wood with a water repellent/paint combination. *South Afr. For. J.*, No. 107: 43-46.
81. Vasishth, R.C., F.R. Giltrow and Z. Koran. 1974. SEM studies of weathered varnish on wood. *Wood Science* 6(3): 278-284.
82. Voulgaridis, E. 1980. Physical Factors Affecting the Performance of Water Repellents Applied to Wood. Ph.D. Thesis, U.C.N.W., U.K.
83. Voulgaridis, E. 1985. Resistance of water repellent treated wood against the action of external factors. In 5th Symposium "Wood Modification 1985", Poznan, Poland: 447-463.
84. Φιλίππου, Ι., Η. Βουλγαρίδης, Ι. Κακαράς, Π. Κούκος και Ιωσ. Πετειναράκης. 1985. Πριστήρια και λοιπές βιομηχανίες κορμοξύλου - Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης. (Στη Στρατηγική Μελέτη για την Ανάπτυξη της Ελληνικής Δασοπονίας και Ξυλοπονίας, Δασικές Βιομηχανίες (Πρόδρομη Ανακοίνωση ΜΣ-13-14-15 : 1-11, Θεσσαλονίκη).

85. Wenzl, H.F.J. 1970. The Chemical Technology of Wood. Academic Press, NW/London.
86. Wilkinson, J.G. 1979. Industrial Timber Preservation. Associated Business Press, London.
87. Winandy, J.E., Boone, R.S. and B.A. Bendtsen. 1985. Interaction of CCA preservative treatment and redrying: effect on the mechanical properties of southern pine. F. P. J. 35(10):62-68.
88. Weatherwax, R.C. and H. Tarkow. 1968. Density of wood substance; importance of penetration and adsorption compression of the displacement fluid. F.P.J. 18(7):44-46.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (Ι ΜΕΡΟΣ)

(Κεφάλαια: 60-90)

1. Baker, A.J. 1980. Corrosion of metal in wood products. In "Durability of Building Materials and Components." ASTM STP 691 (P.J.Sereda and G.G.Litvan, Eds), ASTM 1980:981-993.
2. Banks, W.B. 1970. Prevention of creosote bleeding from Scots pine poles. B.W.P.A. News Sheet No. 114, Oct. 1970.
3. Barnes, H.M. 1985. Effect of steaming temperature and CCA retention on mechanical properties of southern pine. F.P.J. 35(6):31-32.
4. Boggio, K. and R.Gertje Jensen. 1982. Influence of ACA and CCA waterborne preservatives on the properties of aspen waferboard. F.P.J.32(3):22-26.
5. Βουλγαρίδης, Η. και Γ.Τσουμής. 1982. Επίδραση της ατμίσεως στις ιδιότητες ξύλου οξιάς. Επιστ. Επετ. Σχολής ΔΦΠ, Τόμος 25, αριθμ. 5: 165-181.
6. Burmester, A. 1983. Beitrag zur Prüfung der Leimbindefestigkeit von schutzmittelgetränktem Holz. Holz als Roh- u. Werkstoff 41:261-264.
7. Cox, R.N. and R.A. Laidlaw. 1984. The effect of preservatives on the corrosion of galvanised metal plate fasteners in timber. Part 2. The relative corrosivity of "salt" and "oxide" formulations of copper-chrome-arsenic (CCA). J.Inst. Wood Sci. 10(2):87-90.
8. Henningsson, B. 1983. Environmental protection and health risks in connection with the use of creosote. Holz als Roh- u. Werkstoff. 41:471-475.



9. Ingram, Jr., L.L., G.D. McGinnis, L.R. Gjovik and L.R. Roberson. 1982. Migration of creosote and its components from treated piling section in a marine environment. Proc. A.W.P.A. Ann. Meeting 1982, Vol 78:120-128.
10. Kalnins, M.A. and B.F. Detroy. 1984. Effect of wood preservative treatment of beehives on honey bees and hive products. J. Agric. Food Chem. 32:1176-1180.
11. Kubinsky, E. 1971. Influence of steaming on the properties of *Quercus rubra* L. wood. Holzforschung 25(3):78-83.
12. Lee, A.W.C. 1985. Effect of CCA-treating and air-drying on the properties of southern pine lumber and plywood. Wood and Fiber Science 17(2):209-213.
13. MacLean, J.D. 1953. Effect of steaming on the strength of wood. AWPA, Vol. 49:88-112.
14. Mitchell, P.H. and H.M. Barnes. 1986. Effect of drying temperature on the clear wood strength of southern pine treated with CCA-Type A. F.P.J. 36(3): 8-12.
15. Peyresaubès, R. 1985. Report on some research by the WEI on incising of refractory timbers as an aid to effective preservation. J. Inst. Wood Sci. 10(4):170-177.
16. Rak, J. 1976. Leaching of toxic elements from spruce treated with ammoniacal solutions of copper-zinc-arsenic preservatives. Wood Sci. Techn. 10:47-56.
17. Resch, H. and Parker. 1982. Strength and stiffness of preservative-treated marine piles. Wood and Fiber 14(4):310-319.
18. Stranks, D.W. 1976. Wood preservatives: Their depletion as fungicides and fate in the environment. Dept. Env., Can. For. Serv., For. Techn. Rep. 10, Ottawa.
19. Stranks, D.W. and M.A. Hulme. 1975. The mechanisms of biodegradation of wood preservatives. Material u. Organismen 3:345-353.
20. Winandy, J.E. and B.H. River. 1986. Evaluation of a method for testing adhesive-preservative compatibility. F.P.J. 36(1):27-32.
22. Winandy, J.E., R.S. Boone and B.A. Bendtsen. 1985. Interaction of CCA preservative treatment and redrying: effect on the mechanical properties of southern pine. F.P.J. 35(10):62-68.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ΙΙ ΜΕΡΟΣ)

(Κεφάλαιο 10ο)

1. Hunt, G.M., G.A. Garratt. 1967. Wood Preservation. McGraw-Hill Book Co., NY.
2. Lee, Ph.W. and E.L. Schaffer. 1982. Redrying fire-retardant-treated structural plywood. Wood and Fiber 14(3):178-199.
3. LeVan S.L. 1987. Fire problems associated with the use of hardwoods in furnishings, paneling, and flooring. In "Applying the latest research to hardwood problems!" Proceedings of the 15th annual hardwood symposium, Hardwood Research Council, Memphis, TN. 1987 (May 10-12):109-119.
4. LeVan, S.L. and C.A. Holmes. 1986. Effectiveness of fire retardant treatments for shingles after 10 years of outdoor weathering. Res. Pap. FPL 474. Madison, WI:USDA, For. Serv., For. Prod. Lab., 15 p.
5. Mari, E.L., L.S. Cañadido, N.C. Generala and A.A. Pablo. 1983. Study on the application of fire-retardants in particleboard. FPRDI Journal Vol. XII (3,4):49-60.
6. Nickolas, D.D. 1973. Wood Deterioration and its Prevention by Preservative Treatments. Vol. I. Degradation and Protection of Wood. Syracuse Univ. Press, NY.
7. Östman, B.A.-L. 1985. Wood tensile strength at temperatures and moisture contents simulating fire conditions. Wood Sci. Technol. 19:103-116.
8. Panayotov, P.A. 1988. Organic fire retardants for wood treatment. Horenje Dreva 11-13:174-183.
9. Rowell, R.M., R.A. Susott, W.F. De Groot and F. Shafizadeh. 1984. Bonding fire retardants to wood. Part I. Thermal behavior of chemical bonding agents. Wood and Fiber Science 16(2):214-223.
10. Τσουμής, Γ. 1983. Επιστήμη και Τεχνολογία του Ξύλου. Θεσσαλονίκη.
11. USDA 1974. Wood Handbook: Wood as an Engineering Material- (USDA Agr. Handb. 72, rev.).
12. White, R.H. 1979. Oxygen index evaluation of fire-retardant-treated wood. Wood Science 12(2):113-121.

13. White,R.H. 1984. Use of coatings to improve fire resistance of wood. Fire Resistive Coatings: The Need for Standards, ASTM STP 826, Morris Lieff and F.M.Stumpf, Eds., ASTM 1983:24-39.
14. White,R.H. 1985. Design of fire-resistive coated wood members. In "Spinna, Robert J.,Jr., ed. Retrofitting, Maintainance and Management for Fire Safety- The Role of Engineering, Education and Enforcement", Proceedings of the 3rd Ann. Fire Eng. Conference, Riverdale, NY, 1985:107-125.
15. White,R.H. 1986. An empirical model for predicting performance of fire-resistive coatings in wood construction. Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, Vol. 14(2):97-108.
16. Wilkinson,J.G. 1979. Industrial Timber Preservation. Associated Business Press, London.
17. Winandy,J.E., S.L.Levan, E.L.Schaffer, P.W. Lee. 1988. Effect of fire-retardant treatment and redrying on the mechanical properties of Douglas-fir and aspen plywood. Res.Pap. FPL-RP-485. Madison, WI: USDA, For.Serv., For.Prod.Lab., 20p.
19. Rietz, G. 1989. Zur Brandgefährlichkeit von Holz. Holztechnologie 30(5):236-239.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ (ΙΙ ΜΕΡΟΣ)

(Κεφάλαιο 110)

1. Adam,N.K. 1941. The Physics and Chemistry of Surfaces. Oxford Univ. Press, London.
2. Banks,W.B. 1970. A Standard Test to Measure the Effectiveness of Water repellent Solutions. Timberlab Paper No.40.
3. Banks,W.B. 1971. The role of water repellents in the protection of timber. Rec.Ann.Conv., B.W.P.A.: 129-147.
4. Banks,W.B. 1973. Water uptake by Scots pine sapwood, and its restriction by the use of water repellents. Wood Sci.Tech. 7(4):271-284.

5. Banks, W.B. and E. Voulgaridis. 1980. The performance of water repellents in the control of moisture absorption by wood exposed to the weather. Rec. Ann. Conv. B.W.P.A.:43-53.
6. Borgin, K. 1961. The effect of water repellents on the dimensional stability of wood. Norsk Skogind. 15(11):507-521.
7. Borgin, K. 1965. The testing and evaluation of water repellents. Rec. Ann. Conv., B.W.P.A.:67-84.
8. Gray, V.R. and M.E. Wheeler 1959. Timber Waterproofing Agents. Res. Rep. No. C/RR/6, The Timber Development Association, London.
9. Miniutti, U.P., E.A. Mraz and J.M. Black 1961. Measuring the effectiveness of water-repellent preservatives. For. Prod. J. II(10):453-462.
10. Rak, J. 1975. New evaluation of water repellency of wood by contact angle. Wood and Fiber 7(1):16-24.
11. Voulgaridis, E. 1980. Physical Factors Affecting the Performance of Water Repellents Applied to Wood. Ph.D. Thesis, U.C.N.W., Bangor, U.K.
12. Voulgaridis, E. 1985. Resistance of water repellent treated wood against the action of external factors. In 5th Symposium "Wood Modification 1985", Poznan, Poland:447-463.
13. Voulgaridis, E. and W.B. Banks 1981. Degradation of wood during weathering in relation to water repellent long-term effectiveness. J. Inst. Wood Science 9 (2):72-83.
14. Voulgaridis, E. and W.B. Banks 1983. Laboratory evaluation of performance of water repellents applied to long wood specimens. Holzforschung 37(5):261-266.

Βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 110)

1. Rowell, R.M. and P. Konkol. 1987. Treatments that enhance physical properties of wood. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-55, USDA, For. Serv., Madison, WI.
2. Mitchell, H.L. 1972. How PEG helps the hobbyist who works with wood. USDA, For. Serv., For. Prod. Lab., Madison, WI.
3. Spielman, P. 1980. Working green wood with PEG. Sterling Press, New York.
4. Stamm, A.J. and R.M. Seborg. 1962. Resin-treated wood-Impreg. Rep. No. 1380, USDA, For. Serv., For. Prod. Lab., Madison, WI.
5. Rowell, R.M. 1984. Penetration and reactivity of cell wall components. In Rowell, R.M., ed. Chemistry of solid wood. Advances in Chemistry Series 207, Chap., 4., Amer. Chem. Soc., Washington, DC.
6. Meyer, J.A. 1984. Wood-polymer materials. In Rowell, R.M., ed. Chemistry of solid wood. Advances in Chemistry Series 207, Chap 6., Amer. Chem. Soc., Washington, DC.
7. Gougeon, M. 1979. The Gougen Brothers on boat construction. Wood and West System Materials. Pendel Printin Inc., Midland, MI.
8. Seborg, R.M., M.A. Millet and A.J. Stam. 1945. Heat-stabilized compressed wood-Staypak. Mechanical Engineering 67(1):25-31.
9. Stamm, A.J. and R.M. Seborg 1951. Resin-treated laminated, compressed wood-Compreg. Rep. No. 1381, USDA, For. Serv., For. Prod. Lab., Madison, WI.
10. Stamm, A.J., H.K. Burr and A.A. Kline. 1960. Heat stabilized wood-Staybwood. Rep. No. 1621, USDA, For. Serv., For. Prod. Lab. Madison, WI.