

ΤΟ ΔΑΣΟΣ

Μια Ολοκληρωμένη Προσέγγιση

Επιμέλεια: Αριστοτέλης Χ. Παπαγεωργίου, Γεώργιος Καρέτσος,
Γεώργιος Κατσαδωράκης

Επιστημονική Επιμέλεια Έκδοσης: Αριστοτέλης Χ. Παπαγεωργίου,
Γεώργιος Καρέτσος, Γεώργιος Κατσαδωράκης

Συντονισμός Έκδοσης: Ευαγγελία Κορακάκη, Ηλίας Τζηρίτης

Γλωσσική Επιμέλεια: Αριάδνη Χατζηανδρέου

Φωτογραφία εξώφυλλου: © WWF Ελλάς/Andrea Bonetti

Σχεδιασμός-Παραγωγή: ΚΕΘΕΑ Σχήμα-Χρώμα

ISBN: 978-960-7506-28-3

Copyright: WWF Ελλάς

Προτεινόμενη αναφορά: Όνομα συγγραφέα-ων. 2012. Τίτλος κεφαλαίου.
Σελ. 000-000 στο Α.Χ. Παπαγεωργίου, Γ. Καρέτσος και Γ. Κατσαδωράκης
(επιμ. έκδοση). Το δάσος: Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση.
WWF Ελλάς, Αθήνα.

Το βιβλίο έχει τυπωθεί σε χαρτί Soporset Premium Offset/100 gr
πιστοποιημένο κατά FSC (Cert. no SW-COC-1783).

Διατίθεται δωρεάν και απαγορεύεται οποιαδήποτε εμπορική χρήση.

Η παρούσα έκδοση πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος
«Το Μέλλον των Δασών», με την συγχρηματοδότηση των κοινωφελών
ιδρυμάτων Ι.Σ. Λάτση, Α.Γ. Λεβέντη και Μποδοσάκη, καθώς και με την
υποστήριξη ιδιωτών.


Κοινοφελές Ίδρυμα
Ιωάννη Σ. Λάτση




ΙΔΡΥΜΑ ΜΠΟΔΟΣΑΚΗ

7. Ποιότητα και μεταβλητότητα της δομής του ξύλου σε σχέση με την αξιοποίησή του

Στέργιος Αδαμόπουλος, Ηλίας Βουλγαρίδης

Το ξύλο είναι το πρώτο υλικό που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος από την αρχή της εμφάνισής του για διάφορα προϊόντα και κατασκευές. Το βιολογικό αυτό υλικό είναι το μόνο που παράγεται σε μεγάλες ποσότητες από πληθώρα δασοπονικών ειδών. Η φυσική ανανεωσιμότητά του και οι μοναδικές ιδιότητές του το καθιστούν και σήμερα ισχυρά ανταγωνιστικό ανάμεσα σε άλλα υλικά που κατασκεύασε ο άνθρωπος (π.χ. τσιμέντο, μέταλλα, πλαστικά). Για την καλύτερη και ορθολογικότερη αξιοποίηση του ξύλου απαιτείται μια ολοκληρωμένη γνώση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων του, της μεταβλητότητας της δομής του, καθώς και των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητά του. Τα χαρακτηριστικά, οι ιδιότητες και, γενικά, η ποιότητα του ξύλου είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, όπως το συγκεκριμένο δασοπονικό είδος και οι ιδιαιτερότητες της δομής του, οι συνθήκες αύξησης, οι γενετικές επιδράσεις, οι συνθήκες συγκομιδής του ξύλου, οι χειρισμοί και κατεργασίες στις οποίες υποβάλλεται για την αξιοποίησή του σε διάφορα προϊόντα, και οι συνθήκες χρήσης των τελικών προϊόντων. Η ξυλεία ταξινομείται σε κλάσεις ποιότητας, κυρίως βάσει της παρουσίας σφαλμάτων στο ξύλο. Η λεπτομερής γνώση των ποιοτικών χαρακτηριστικών για κάθε ξύλο (πυκνότητα, υγρασκοπικότητα, διαστασιακές μεταβολές, μηχανική αντοχή, φυσική αντοχή, μηχανική κατεργασία, συγκόλληση, βαφή, ξήρανση κ.ά.) είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ερμηνεία της συμπεριφοράς του ξύλου και της κατάλληλης αξιοποίησής του σε διάφορα προϊόντα και κατασκευές.

Λέξεις κλειδιά: δομή και ιδιότητες ξύλου, συνθήκες αύξησης δένδρων, ανώριμο ξύλο, σφάλματα ξύλου, ποιοτική ταξινόμηση

Γενικά για το ξύλο

Το ξύλο ήταν από τα πρώτα υλικά που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, συντελώντας ουσιαστικά στην επιβίωσή του αλλά και στην πρόοδο των πολιτισμών. Ακόμη και στη σύγχρονη εποχή, παρά το ότι υπάρχουν και άλλα ανταγωνιστικά υλικά, το ξύλο εξακολουθεί να έχει εξέχουσα θέση στην παραγωγή χρήσιμων και απαραίτητων προϊόντων για τον άνθρωπο. Το ξύλο αποτελεί σημαντικότερη ανανεώσιμη πρώτη ύλη για την παραγωγή, μετά από μηχανική ή χημική κατεργασία, ενός μεγάλου αριθμού προϊόντων πρωτογενούς βιομηχανικής (στύλοι, πριστή ξυλεία, ξυλόφυλλα, αντικολητά, μοριοπλάκες, ινοπλάκες, ξυλοπολτός κ.ά.) και δευτερογενούς κατεργασίας (χαρτί, έπιπλα, χημικά κ.ά.). Το ξύλο, επίσης, αποτελεί τη σημαντικότερη φυσική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας

και αναμένεται να εξακολουθεί να παίζει και στο μέλλον καθοριστικό ρόλο στην παγκόσμια αγορά ενέργειας. Τέλος, το ξύλο και τα προϊόντα του αποτελούν αποθήκες του CO₂ της ατμόσφαιρας, δίνοντάς του τεράστια οικολογική σημασία στην αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου (Plomion et al. 2001).

Το ξύλο ως υλικό παρουσιάζει πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Για την καλύτερη και ορθολογικότερη αξιοποίηση του ξύλου απαιτείται μια ολοκληρωμένη γνώση των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητά του. Το ξύλο είναι ένα βιολογικό υλικό που παράγεται από τα δασικά δένδρα. Τα χαρακτηριστικά, οι ιδιότητες και, γενικά, η ποιότητα του ξύλου επηρεάζονται από οτιδήποτε επιδρά στις συνθήκες αύξησης των δένδρων (περιβαλλοντικοί, βιολογικοί και άλλοι εξωτερικοί παράγοντες).

Ποιότητα ξύλου

Γενικά για την ποιότητα ξύλου

Ο όρος «ποιότητα ξύλου» εκφράζει την ποιοτική κατάσταση του ξύλου σε οποιοδήποτε στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας, από τη συγκομιδή του και τη διαμόρφωσή του στο δάσος, μέχρι την επεξεργασία, τη διαμόρφωσή του σε τελικά προϊόντα και τη χρήση του, και αναφέρεται σε επιθυμητά χαρακτηριστικά και ιδιότητες που ικανοποιούν κατά τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις απαιτήσεις συγκεκριμένων χρήσεων (Barnett and Jeronimidis 2003, Βουλγαρίδης 2007). Υπό αυτήν την έννοια, η ποιότητα ξύλου μπορεί να αναφέρεται ακόμη και σε ένα χαρακτηριστικό ή ιδιότητα που είναι η βασικότερη απαίτηση για μια συγκεκριμένη χρήση. Ο βαθμός ικανοποίησης των απαιτήσεων του τελικού χρήστη καθορίζει και την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Είναι ευνόητο ότι η έννοια της ποιότητας ξύλου διαφοροποιείται ανάλογα με τον τρόπο αξιοποίησής του και με το τελικό προϊόν για το οποίο προορίζεται. Συνεπώς, είναι δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια η έννοια αυτή ικανοποιητικά, ώστε να ανταποκρίνεται επιτυχώς σε όλες τις περιπτώσεις.

Η ποιότητα του ξύλου είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, όπως το συγκεκριμένο δασοπονικό είδος και οι ιδιαιτερότητες της δομής του, οι συνθήκες αύξησής, οι γενετικές επιδράσεις, οι συνθήκες συγκομιδής του ξύλου, οι χειρισμοί και κατεργασίες στις οποίες υποβάλλεται για την αξιοποίησή του σε διάφορα προϊόντα, και οι συνθήκες χρήσης των τελικών προϊόντων. Η γνώση της μεταβλητότητας των χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων του ξύλου, των μεταξύ τους σχέσεων και των παραγόντων που τις επηρεάζουν είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την ερμηνεία της συμπεριφοράς του ξύλου και της κατάλληλης αξιοποίησής του (Adamopoulos κ.ά. 2001, Wimmer and Downes 2003, Passialis et al. 2008, Adamopoulos et al. 2010a).

Υποστηρίζεται ότι η ποιότητα του παραγόμενου ξύλου θα πρέπει να εξετάζεται ισορροπημένα σε σχέση με τρεις βασικούς άξονες (Savidge 2003):

- Με την ανάγκη να εκπληρωθούν οι μοναδικές φυσιολογικές ανάγκες του κάθε δένδρου (επιβίωση, ολοκλήρωση του κύκλου ζωής)
- Με τη συνεισφορά του δένδρου και του ξύλου σε ένα λειτουργικό δασικό οικοσύστημα ή φυτεία
- Με τη χρησιμοποίηση του ξύλου από τον άνθρωπο για την παραγωγή προϊόντων

Σχέση της δομής και της χημικής σύστασης του ξύλου με τις ιδιότητες και τις χρήσεις του

Ο συνδυασμός των ανατομικών χαρακτηριστικών του ξύλου δημιουργεί την ιδιαίτερη δομή του ξύλου κάθε δένδρου και καθορίζει τη συμπεριφορά του ως πρώτης ύλης και την ποιότητά του. Τα ανατομικά χαρακτηριστικά του ξύλου που επηρεάζουν την ποιότητα του ξύλου κάθε δένδρου είναι (Butterfield 2003):

- Το είδος και η αναλογία των διαφόρων τύπων κυττάρων που συγκροτούν το ξύλο
- Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των κυττάρων (σχήμα, διαστάσεις, βοθρία, πάχος κυτταρικού τοιχώματος κ.ά.)
- Η χημική σύσταση της ξυλώδους ύλης (μεσοκυττάρια στρώση, κυτταρικό τοίχωμα, τυλώσεις)
- Η υπομικροσκοπική δομή της ξυλώδους ύλης (πάχος στρώσεων δευτερογενούς τοιχώματος, γωνία μικροϊνιδίων, βαθμός κρυσταλλικότητας κ.ά.)

Οι ιδιότητες του ξύλου καθορίζονται από το συνδυασμό των μακροσκοπικών χαρακτηριστικών του (εγκάρδιο-σομφό, αυξητικοί δακτύλιοι, ρόζοι, σφάλματα κ.ά.), της ανατομίας του και της μικροσκοπικής του δομής, καθώς και της χημικής του σύστασης (Pereira et al. 2003). Ιδιαίτερη σημασία έχει η σχέση της δομής του ξύλου με την πυκνότητά, που είναι η σημαντικότερη ιδιότητά του. Η πυκνότητα, εκτός από δείκτης ποσοτικής παραγωγής, είναι και ποιοτικός δείκτης, αφού επηρεάζει όλες τις άλλες ιδιότητες: μεταβολές διαστάσεων, μηχανικές ιδιότητες, θερμικές και ακουστικές ιδιότητες, αλλοίωση κ.ά. Οποιοσδήποτε παράγοντας επηρεάζει το ρυθμό αύξησής των δένδρων (πλάτος αυξητικών δακτυλίων) διαφοροποιεί τα ποσοστά πρώιμου και όψιμου ξύλου προκαλώντας διαφοροποιήσεις δομής (αναλογία κυττάρων με διαμέτρο κυτταρικών κοιλοτήτων κ.ά.) και, κατ'επέκταση, της πυκνότητας και ποιότητας του ξύλου. Στα περισσότερα κωνοφόρα, συνήθως αύξηση του πλάτους των αυξητικών δακτυλίων συνοδεύεται από μείωση της πυκνότητας. Στα σκληρά πεύκα¹ (π.χ. *Pinus radiata*, *P. taeda*, *P. elliotii*, *P. patula*, *P. caribaea*, *P. nigra*, *P. sylvestris*, *P. ponderosa*) έχει αναφερθεί μικρή ή καθόλου σχέση ανάμεσα στο πλάτος των αυξητικών δακτυλίων και στην πυκνότητα. Στα δακτυλιόπορα πλατύφυλλα, αύξηση του πλάτους των αυξητικών δα-

¹ Αναφέρεται σε αμερικανική διάκριση των πεύκων με βάση χαρακτηριστικά κώνων, σπόρων και βελονών (Little and Critchfield 1969): υπογέννη *Strobos* (μαλακά πεύκα), *Ducamporpinus* και *Pinus* (σκληρά πεύκα). Σύμφωνα με αυτή τη διάκριση, τα ελληνικά πεύκα *P. heldreichii*, *P. nigra*, *P. sylvestris*, *P. pinea*, *P. brutia* και *P. halepensis* ανήκουν στα σκληρά πεύκα, ενώ η *P. peuce* στα μαλακά.

κτυλίων έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ποσοστού του όψιμου ξύλου (το πλάτος του πρώιμου παραμένει σταθερό) και, συνεπώς, την αύξηση της πυκνότητας. Στα διασπορόπορα πλατύφυλλα η σχέση πλάτους αυξητικών δακτυλίων και πυκνότητας δεν είναι σαφής (Zobel and van Buijtenen 1989). Υποστηρίζεται ότι στις σχέσεις πυκνότητας και πλάτους των αυξητικών δακτυλίων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η ηλικία του καμβίου (Liu and Bao 2001, Adamopoulos et al. 2010b). Επίσης, τα δομικά χαρακτηριστικά του ξύλου (π.χ. απόφραξη αλωφόρων βοθρίων κωνοφόρων, τυλώσεις σε πλατύφυλλα) σχετίζονται με τη διαπερατότητά του στα ρευστά (Wilkinson 1979) και η διάταξη των μικροϊνιδίων στο δευτερογενές κυτταρικό τοίχωμα με τις διαστασιακές μεταβολές και τις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου.

Η χημική σύσταση του ξύλου και η περιεκτικότητά του σε κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη και εκχυλίσματα, καθώς και η κατανομή τους στην ξυλώδη ύλη, ερμηνεύουν τη συμπεριφορά και επηρεάζουν αρνητικά ή θετικά πολλές ιδιότητές του (Pereira et al. 2003).

Οι ιδιότητες ενός ξύλου απορρέουν από τον τρόπο δόμησής του και καθορίζουν τις διαφορές χρήσεις του. Σχετικά με την αλληλεπίδραση δομής-ιδιοτήτων-χρήσεων του ξύλου υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία, όπως συνοψίζεται από τους Zobel and van Buijtenen (1989). Κάθε συγκεκριμένη χρήση του ξύλου απαιτεί ορισμένες προϋποθέσεις, τις οποίες σπανίως ικανοποιούν όλα τα ξύλα.

Ποιοτικά χαρακτηριστικά ξύλου

Τα χαρακτηριστικά που προσδιορίζουν την ποιότητα του ξύλου, από την παραγωγή του στο δάσος μέχρι τη χρησιμοποίησή του ως καταναλωτικού προϊόντος, μπορούν να διακριθούν ως εξής (Βουλγαρίδης 2007):

- Ποιοτικά χαρακτηριστικά ξύλου κανονικής δομής: χαρακτηριστικά που προέρχονται από την κανονική αύξηση των δένδρων (δομή αυξητικών δακτυλίων, μορφολογικά χαρακτηριστικά κυττάρων, υποδομή, χημική σύσταση, εγκάρδιο-σομφό, ανώριμο ξύλο, ρόζοι, εντεριώνη).
- Ποιοτικά χαρακτηριστικά ξύλου ακανόνιστης δομής: χαρακτηριστικά που προέρχονται από οποιαδήποτε απόκλιση από την κανονική αύξηση των δένδρων και σχετίζονται με την επίδραση εξωγενών ή άλλων παραγόντων (θλιπτιγενές-εφελκυσμογενές ξύλο, στρεψοϊνία, αποκλίσεις δένδρων από την τυπική εξωτερική μορφή, ακανόνιστη διάταξη αυξητικών δακτυλίων, ραγάδες, ρητινοθύλακες, χρωματικές ανωμαλίες).
- Δευτερογενή ποιοτικά χαρακτηριστικά: χαρακτηριστικά που εμφανίζονται στο ξύλο στις διά-

φορες φάσεις της συγκομιδής του και μέχρι την έναρξη της κατεργασίας του στις βιομηχανίες (εκφλοιώσεις, σπασίματα κλαδιών και κορυφών, θραύσεις κορμών, σχίσεις κορμών, λοξές τομές κορμοτεμαχίων, τρόπος κατανομής σφαλμάτων σε κορμοτεμάχια, ποιότητα αποκλάδωσης-αποφλοιώσης, πληγώσεις κορμοτεμαχίων και ιστάμενων κορμών κατά τη μετατόπιση και μεταφορά, προσβολές μυκήτων-εντόμων και ραγαδώσεις κατά την παραμονή σε δασόδρομους-κορμοπλατείες).

- Ποιοτικά χαρακτηριστικά λόγω κατεργασιών: χαρακτηριστικά που προέρχονται από τις διάφορες κατεργασίες στις βιομηχανίες ξύλου (ποιοτική υποβάθμιση, φθορές).
- Ποιοτικά χαρακτηριστικά λόγω χρήσεων: χαρακτηριστικά που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια χρήσεως του ξύλου κάτω από την επίδραση βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων (προσβολές από βακτήρια, μύκητες, έντομα, θαλασσινούς ξυλοφάγους οργανισμούς, εξωτερικές ραγαδώσεις, τραχύτητα επιφανειών, απομάκρυνση επιφανειακών στρωμάτων ξύλου, επιφανειακοί μεταχρωματισμοί, αλλοιώσεις από χημικά-φωτιά κ.ά.).

Επίδραση των συνθηκών αύξησης των δασικών δένδρων στην ποιότητα ξύλου

Η έννοια του «σταθμού» και η επίδρασή του στην ποιότητα ξύλου

Με τον όρο «σταθμός» (site) εννοούμε το σύνολο των βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων οι οποίοι επιδρούν στην αύξηση των δασικών δένδρων σε έναν ορισμένο τόπο. Οι παράγοντες αυτοί μπορεί να είναι (Zobel and van Buijtenen 1989):

- Κλιματικοί: ακτινοβολία, θερμοκρασία, βροχόπτωση, άνεμοι.
- Τοπογραφικοί: γεωγραφική θέση, έκθεση, κλίση.
- Εδαφικοί: μητρικό πέτρωμα, βάθος εδάφους, υφή εδάφους, στάθμη υπόγειων υδάτων.
- Βιοτικοί: φυτά, ζώα, άνθρωπος.

Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να επιδράσουν στην αύξηση, άρα και στην ποιότητα του ξύλου, μεμονωμένα είτε σε συνδυασμό μεταξύ τους, δημιουργώντας έτσι ένα πολύπλοκο πλέγμα σχέσεων και αλληλεπιδράσεων (Usta and Hale 2003). Ένα άλλο στοιχείο είναι ότι οι παράγοντες αυτοί αλλάζουν από περιοχή σε περιοχή, ακόμη και μέσα σε λίγα μέτρα. Συνεπώς, η προσπάθεια να καθοριστεί η επίδραση του κάθε παράγοντα ξεχωριστά στην

ποιότητα του ξύλου είναι σχεδόν αδύνατη. Η εξαγωγή γενικών συμπερασμάτων είναι αδύνατη, και για το λόγο αυτόν συνιστάται να μελετάται η επίδραση του «σταθμού» τοπικά και για συγκεκριμένα είδη. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετά παραδείγματα ως προς την επίδραση των «σταθμικών» παραγόντων στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ξύλου (ρυθμός αύξησης, ποσοστό πρώιμου-όψιμου ξύλου, αναλογίες κυττάρων, διαστάσεις κυττάρων, πυκνότητα, χημικά συστατικά, μηχανική αντοχή, απόδοση πολτού κ.λπ.). Υπάρχουν, όμως, και αναφορές όπου φαίνεται ότι η όποια επίδραση του «σταθμού» υπερκαλύπτεται από την επίδραση άλλων παραγόντων και έτσι δεν είναι δυνατό αυτή να διαχωριστεί και ποσοτικοποιηθεί (Adamopoulos et al. 2009). Για μια δεδομένη γεωγραφική περιοχή, ενδεχόμενες διαφορές ποιότητας που μπορούν να αποδοθούν στο «σταθμό» υπερκαλύπτονται από εκείνες που παρουσιάζονται ανάμεσα στα δένδρα σε κάθε «σταθμό». Αντίθετα, «σταθμικές» διαφορές ανάμεσα σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές (π.χ. διαφορετικές προελεύσεις) συνήθως έχουν σημαντική επίδραση στην ποιότητα του ξύλου. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι το ξύλο συγκεκριμένου είδους που προέρχεται από «σταθμούς» από υψηλά υψόμετρα ή γεωγραφικά πλάτη, συνήθως έχει μικρότερη πυκνότητα και κύτταρα σε σχέση με ξύλο του ίδιου είδους που αναπτύσσεται πιο κοντά στον ισημερινό ή σε χαμηλότερα υψόμετρα (Gindl et al. 2001).

Επίδραση αβιοτικών παραγόντων στις ιδιότητες του ξύλου

Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι από τους κυριότερους ρυθμιστικούς παράγοντες της αύξησης των δένδρων και, συνεπώς, των ιδιοτήτων του ξύλου. Παρόλα αυτά, ένας σχετικά μικρός αριθμός μελετών αναφέρεται στην άμεση επίδραση της θερμοκρασίας. Οι αυξητικοί δακτύλιοι των δένδρων είναι πολύ στενοί σε συστάδες με χαμηλές θερμοκρασίες και πλατείς σε συστάδες που βρίσκονται σε «σταθμούς» με θερμότερα κλίματα. Περισσότερο ζημιωγόνες είναι οι ακραίες θερμοκρασίες, τόσο οι χαμηλές όσο και οι υψηλές (Schweingruber 1996).

Βροχόπτωση

Η βροχόπτωση σε μια περιοχή είναι ένας παράγοντας που, μαζί με τη θερμοκρασία, έχει μεγάλη επίδραση στη βλάστηση και σχετίζεται άμεσα με τη δραστηριοποίηση του καμβίου, ιδιαίτερα σε θερινές περιόδους με μειωμένη εδαφική υγρασία (Antonova and Stasova 1993, Schweingruber 1996, Usta 2006). Οι βροχοπτώσεις και ο χρόνος εμφάνισής τους βρέθηκε να σχετίζονται με αρκετά ποιο-

τικά χαρακτηριστικά του ξύλου (π.χ. πυκνότητα, ποσοστό όψιμου ξύλου, διαστάσεις κυττάρων). Άφθονη υγρασία σχετίζεται με παραγωγή κυττάρων μεγάλης διαμέτρου, ενώ σε περιόδους ξηρασίας παράγονται μικρότερα κύτταρα από το κάμβιο. Το ποσό της διαθέσιμης υγρασίας από τα δένδρα έχει μεγάλη επίδραση στην πυκνότητα των δακτυλίοπορων πλατύφυλλων, λόγω αλλαγής στον αριθμό, μέγεθος και διάταξη των μελών αγγείων, ενώ η επίδραση στα διασπορόπορα είναι περιορισμένη (Zobel and van Buijtenen 1989).

Ηλιακή ακτινοβολία

Πολλές είναι οι έρευνες οι οποίες αποδεικνύουν ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι απαραίτητος παράγοντας στην παραγωγή ξύλου και, κατά συνέπεια, ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητές του. Το άθροισμα της συνολικής ακτινοβολίας σε ώρες είναι σημαντικό για το ρυθμό αύξησης των δένδρων, όπως επίσης και για τις ιδιότητες του ξύλου (Schweingruber 1996).

Χιόνι-Χιονολισθήσεις

Το χιόνι είναι ένας κλιματικός παράγοντας ο οποίος εμφανίζεται κυρίως σε βόρειες χώρες αλλά και σε μεγάλα υψόμετρα. Εκεί όπου εμφανίζεται τακτικά και έντονα δρα αποφασιστικά στη μορφή, δομή και σύνθεση των δασών και, ταυτόχρονα, επιδρά έμμεσα στις ιδιότητες του ξύλου των ειδών που φύονται στα δάση αυτά. Η πίεση του χιονιού που προκαλείται λόγω του βάρους του που παραμένει στην κόμη μπορεί να προκαλέσει ομπρελοειδή κόμη, κάμψη του κορμού, σπάσιμο κλαδιών και ξερίζωμα δένδρων. Η μηχανική επίδραση του χιονιού οδηγεί, συνήθως, σε ανατομικές αλλαγές στο ξύλο, όπως μικρές περιόδους παραγωγής κυττάρων (μικρή αυξητική περίοδος), απουσία αύξησης του πάχους των κυτταρικών τοιχωμάτων του όψιμου ξύλου, πρόκληση πληγώσεων στον κορμό και στα κλαδιά, και έκκεντρη αύξηση που συνοδεύεται από παρουσία ξύλου ακανόνιστης δομής (Schweingruber 1996, Cameron and Dunham 1999).

Άνεμος

Μετά τη θερμοκρασία και την υγρασία, ο κλιματικός παράγοντας που επιδρά σε μεγάλο βαθμό στη βλάστηση είναι ο άνεμος. Τα αποτελέσματα της επίδρασης του ανέμου στα δασικά δένδρα είναι εμφανή κυρίως σε ανεμόπληκτες περιοχές και περιλαμβάνουν δημιουργία ακανόνιστου ξύλου, ομπρελοειδούς κόμης, και πληγώσεων στα κλαδιά και στον κορμό. Ο άνεμος βρέθηκε να είναι, τις περισσότερες φορές, ο καθοριστικός παράγοντας για τη δημιουργία ξύλου ακανόνιστης δομής (Robertson 1990). Ξύλο ακανόνιστης δομής προ-

καλείται και εξαιτίας ασύμμετρης κόμης, η οποία τις περισσότερες φορές δημιουργείται λόγω της επίδρασης του ανέμου (Timmel 1986).

Κοινωνική θέση των δένδρων

Με τον όρο κοινωνική θέση των δένδρων εννοείται η θέση που αυτά έχουν στην ορόφωση της συστάδας: κυρίαρχα, συγκυρίαρχα, ενδιάμεσα, υπολειπόμενα ή καταπιεσμένα. Η κοινωνική θέση των δένδρων επηρεάζει τις ιδιότητες του ξύλου, αφού από αυτή εξαρτάται ο διαθέσιμος αυξητικός χώρος των δένδρων, η διαθέσιμη ποσότητα φωτός που μπορούν να εκμεταλλευτούν, και η διαθέσιμη ποσότητα νερού και θρεπτικών στοιχείων. Στη βιβλιογραφία συχνά αναφέρονται διαφορές σε αύξηση, ποσοστό όψιμου ξύλου, διαστάσεις κυττάρων και πυκνότητα ξύλου (Tsoumis and Panagiotidis 1980). Γενικά, η κοινωνική θέση των δένδρων έχει μικρή σημασία σε καλά διαχειριζόμενες συστάδες, όπου απομακρύνονται τα ενδιάμεσα και υπολειπόμενα δένδρα, ενώ μικρή μεταβλητότητα ιδιοτήτων παρουσιάζεται ανάμεσα σε κυρίαρχα και συγκυρίαρχα δένδρα (Zobel and van Buijtenen 1989).

Γεωγραφική θέση

Η γεωγραφική θέση σχετίζεται στενά με αρκετές ιδιότητες και χαρακτηριστικά του ξύλου. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ιδιαίτερα σημαντική είναι η επίδραση του υπερθαλάσσιου ύψους. Στα υψηλά όρη η μικρή βλαστική περίοδος μόλις που επαρκεί για το σχηματισμό λίγων σειρών κυττάρων που είναι απαραίτητες για την κίνηση των χυμών με μεγαλύτερο ποσοστό πρώιμου ξύλου. Σε μικρότερα υπερθαλάσσια ύψη, όπου η βλαστική περίοδος διαρκεί περισσότερο, το ποσοστό όψιμου ξύλου είναι μεγαλύτερο και το ξύλο είναι συνήθως βαρύτερο, με μεγαλύτερη μηχανική αντοχή (Shchweingruber 1996).

Έδαφος

Οι έρευνες οι οποίες αναφέρονται άμεσα στην επίδραση του εδάφους στις ιδιότητες του ξύλου είναι σχετικά περιορισμένες. Γενικά, οι μεταβολές των ιδιοτήτων του ξύλου λόγω μεταβολών του εδάφους είναι μικρές για μια δεδομένη γεωγραφική περιοχή. Έντονες μεταβολές στις ιδιότητες του ξύλου παρατηρούνται όταν υπάρχουν ακραίες διαφορές στο έδαφος, π.χ. σε αμμώδη και πηλώδη εδάφη (Powers 2002). Οι διαφορές στις ιδιότητες του εδάφους είναι στενά συνδεδεμένες με την υγρασία και τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών, αλλά η δυσκολία διαχωρισμού τους κάνει δύσκολη την εκτίμηση της άμεσης επίδρασής τους στις ιδιότητες του ξύλου. Αλλαγές στην υγρα-

σία του εδάφους δημιουργούν αλυσιδωτές επιδράσεις, μεταβάλλοντας το περιβάλλον αύξησης των δένδρων, με τελικό αποτέλεσμα μεταβολές στο είδος και στην ποιότητα του παραγόμενου ξύλου. Η υγρασία του εδάφους μπορεί να ρυθμιστεί με δασοκομικά μέτρα, π.χ. άρδευση σε φυτείες ή αναδασώσεις, έλεγχος του ανταγωνισμού των δένδρων μέσω καλλιεργητικών υλοτομιών, κατάλληλη επιλογή ειδών στις φυτείες ή αναδασώσεις, κατάλληλη επιλογή φυτικού συνδέσμου. Ωστόσο, οι μακροχρόνιες επιδράσεις των χειρισμών αυτών στην ποιότητα του ξύλου δεν είναι καλά γνωστές (Zobel and van Buijtenen 1989).

Επίδραση βιοτικών παραγόντων στις ιδιότητες του ξύλου

Βακτήρια

Η επίδραση βακτηρίων είναι σχετικά μικρή σε σύγκριση με άλλους παράγοντες αλλοίωσης του ξύλου. Σε δράση βακτηρίων αποδίδεται το υγρό εγκάρδιο που εμφανίζεται σε ζωντανά δένδρα κυρίως ελάτης και λεύκης. Η προσβολή αρχικά παρουσιάζεται στις ρίζες ή στο κάτω μέρος του κορμού και επεκτείνεται προς τα πάνω. Οι ιδιότητες του υγρού εγκάρδιου δεν δείχνουν πάντοτε διαφορές, αλλά η παρουσία του πολλές φορές σχετίζεται με ραγάδες, αποκόλληση αυξητικών δακτυλίων και άλλα προβλήματα κατά την ξήρανση του ξύλου (Tsoumis 1991, Sakamoto and Kato 2002). Άλλες μελέτες, όμως (Πασιαλής 1984), δείχνουν ότι η εμφάνιση του υγρού εγκάρδιου είναι καθολική στην ελάτη από την ηλικία των 12, περίπου, ετών και δεν αποτελεί σφάλμα ή προσβολή από βακτήρια ή μύκητες, εκτός αν συνδέεται με πληγώσεις δένδρων που εμφανίζουν συμπτώματα προσβολών σε μεγάλη ηλικία.

Μύκητες

Υπάρχουν δύο κύριοι τύποι μυκήτων, οι χρωστικοί και οι σπητικοί. Οι χρωστικοί μύκητες καταναλώνουν θρεπτικές ουσίες που βρίσκονται στα παρεγχυματικά κύτταρα, προκαλώντας γενικά λίγη ζημιά στο ξύλο, και κυρίως αλλοιώνουν το χρώμα του. Η κυάνωση του σομού ξύλου των πεύκων είναι η πιο γνωστή και σοβαρή συνέπεια προσβολής από χρωστικούς μύκητες. Παρόλο που η αξία του ξύλου μειώνεται σημαντικά, η επίδραση στις ιδιότητες του ξύλου είναι μικρή. Ένας από τους κυριότερους παράγοντες που μεταβάλλει τις ιδιότητες του ξύλου, ειδικά στα γηραιότερα δάση, είναι η σήψη του εγκάρδιου ξύλου και των ριζών που, στη συνέχεια, επηρεάζουν όλο τον κορμό του δένδρου. Οι μύκητες εισέρχονται ως σπόρια από πληγές του κορμού, κλαδιών ή ριζών, και όταν οι συνθήκες είναι οι κατάλληλες, βλαστάνουν, αυξά-

νονται και σταδιακά αποσυνθέτουν το ξύλο από άποψη δομής και χημικής σύστασης. Υπάρχουν και άλλες προσβολές στα δένδρα (π.χ. προσβολή από το μύκητα *Cronartium quercuum*) οι οποίες δεν προκαλούν νέκρωση, αλλά δημιουργούν μεγάλες ζημιές στο ξύλο (Eaton and Hale 1993).

Έντομα

Τα έντομα είναι ένας βιοτικός παράγοντας ο οποίος προσβάλλει τα δένδρα κυρίως δευτερογενώς. Διαπερνούν το φλοιό ή μπαίνουν από θέσεις όπου αυτός έχει καταστραφεί, με την προσβολή να περιορίζεται μεταξύ φλοιού και ξύλου λόγω αφθονίας θρεπτικών ουσιών ή να επεκτείνεται μέσα στο σωματό ή και στο εγκάρδιο ξύλο. Αρχικά μπορεί να προκληθεί μειωμένη αύξηση που μπορεί να συνεχίζεται για πολλά χρόνια (Kanat et al. 2005). Η αλλοίωση του ξύλου συνήθως δεν προκαλείται από την άμεση προσβολή των εντόμων, αλλά από διαδοχικές προσβολές μυκήτων ή εντόμων που προσβάλλουν μετέπειτα το ξύλο. Νεκρά δένδρα εξαιτίας προσβολής εντόμων χάνουν βάρος ραγδαία και η περιεχόμενη υγρασία τους παραμένει στο μισό σε σχέση με υγιή, πρόσφατα υλοτομημένα δένδρα (Mc Nab 1983). Οι περισσότερες έρευνες δείχνουν ότι τα προϊόντα που προκύπτουν από ξύλο το οποίο έχει προσβληθεί από έντομα έχουν μειωμένη αξία (Levi 1981). Εκτός από τις άμεσες συνέπειες στις ιδιότητες του ξύλου, τα έντομα μπορούν να δράσουν και έμμεσα, αφού, πολλές φορές, είναι ξενιστές спорίων βλαπτικών μυκήτων.

Άλλοι επιβλαβείς οργανισμοί

Πολυάριθμοι άλλοι οργανισμοί, όπως διάφοροι ιξοί (*Phoradendron* sp., *Arceuthobium* sp.), προσβάλλουν τα δασικά δένδρα και αλλοιώνουν τις ιδιότητες του ξύλου. Ένα συχνό φαινόμενο που παρατηρείται μετά από έξαρση κάποιου οργανισμού είναι η αποφύλλωση των δένδρων που οδηγεί σε αλλαγές στην παραγωγή υδατανθράκων και αυξητικών ορμονών. Η ορμονική ανισορροπία που προκαλείται επηρεάζει άμεσα την ποιότητα του παραγόμενου ξύλου. Οι συνέπειες, που μπορεί να αφορούν και απρόσβλητο ξύλο, έχει αναφερθεί να περιλαμβάνουν μείωση της παραγωγής ξύλου, μικρότερο μήκος κυττάρων, λεπτότερα κυτταρικά τοιχώματα, μεγαλύτερη γωνία μικροϊνιδίων και μικρότερα ποσοστά λιγνίνης (Gregory and Wong 1983).

Πουλιά, ζώα, άνθρωπος

Ορισμένα πουλιά, είτε λόγω των τροφικών τους συνθηκών είτε εξαιτίας της ανάγκης τους για εύρεση καταφυγίου, δημιουργούν οπές στα δένδρα, που ενδεχομένως μπορούν να αποτελέσουν πύλη εισόδου για μικροοργανισμούς. Χαρακτηριστικό

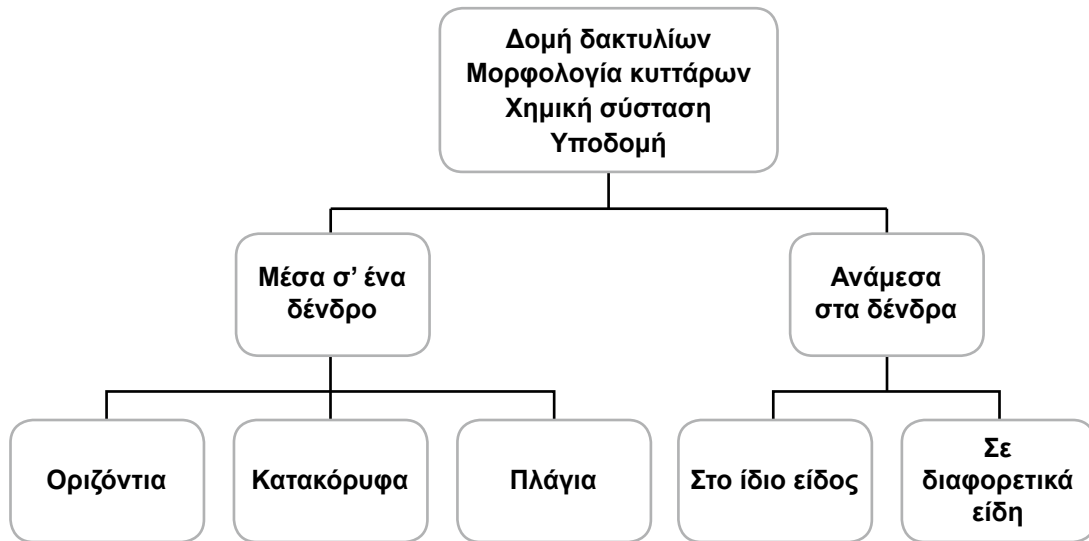
παράδειγμα αποτελούν διάφορα είδη δρυοκολάπτη που τρέφονται με έντομα τα οποία φωλιάζουν στο εσωτερικό κορμών ή απομυζούν χυμούς. Οι κύριες επιδράσεις των ζώων (σκίουροι, σκαντζόχοιροι, κάστορες, αρκούδες, αγριόχοιροι, ελάφια, κατσίκες) περιλαμβάνουν βλάβες στο φύλλωμα, στο ριζικό σύστημα ή στο φλοιό (μεταβολές στη φυσιολογική δραστηριότητα και, κατά συνέπεια, στην αύξηση), μηχανικές βλάβες στον κορμό (σχηματισμός κάλων και πληγώσεων) και διαταραχές της ορμονικής ισορροπίας του δένδρου. Η ανάπτυξη του δένδρου δεν επηρεάζεται πολύ, με εξαίρεση ακραίες καταστάσεις, αλλά μεγάλο πρόβλημα αποτελούν οι δευτερογενείς προσβολές από μύκητες και βακτήρια, ιδίως σε νεαρά δένδρα (Motta and Nola 1996). Η βόσκηση αποτελεί τη σημαντικότερη αιτία αλλαγής στο μεταβολισμό των δένδρων, καθώς επιβιώνουν μόνο τα είδη που είναι ανθεκτικά (Schweingruber 1996).

Οι επεμβάσεις του ανθρώπου στα δασικά δένδρα περιλαμβάνουν υλοτομίες, λίπανση, κλαδεύσεις, φυτεύσεις, συμπίεση του εδάφους, άρδευση (όπου είναι δυνατό) κ.λπ. Όλες αυτές οι επεμβάσεις προκαλούν έμμεσα αλλαγές στις ιδιότητες του ξύλου, αφού επηρεάζουν όλους τους άλλους βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες οι οποίοι αναλύθηκαν προηγουμένως (Raymond and Muneri 2000). Ένας άλλος παράγοντας που επιδρά σε μεγάλο βαθμό στις ιδιότητες του ξύλου είναι η μόλυνση του περιβάλλοντος της οποίας αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο άνθρωπος. Οι επιδράσεις στις ιδιότητες του ξύλου αναμένεται να γίνουν περισσότερο εμφανείς στο μέλλον (Ceulemans et al. 2002).

Μεταβλητότητα δομής του ξύλου

Το ξύλο, εξαιτίας της βιολογικής του προέλευσης, δεν παρουσιάζει απόλυτη ομοιογένεια και ομοιομορφία δομής σε όλη τη μάζα του. Η δομή του ξύλου μεταβάλλεται, εντός ορίων, μέσα σε κάθε δένδρο και μεταξύ δένδρων του ίδιου είδους και διαφορετικών ειδών. Σύμφωνα με τον Tsoumis (1991) τα χαρακτηριστικά που μεταβάλλονται αφορούν στη:

- δομή των αυξητικών δακτυλίων (ποσοστό πρώιμου-όψιμου ξύλου, αναλογία και κατανομή των κυττάρων).
- μορφολογία των κυττάρων (μήκος, διάμετρος, πάχος κυτταρικών τοιχωμάτων).
- χημική σύσταση και μικροδομή (δομή των κυτταρικών τοιχωμάτων και κυρίως η γωνία των μικροϊνιδίων στη στρώση S2 του δευτερογενούς τοιχώματος) (βλ. Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Μεταβλητότητα δομής ξύλου.

Η (κανονική) μεταβλητότητα είναι μειονέκτημα του ξύλου από υλοχρηστική άποψη, και η ακριβής γνώση της αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ορθολογική αξιοποίησή του σε διάφορα προϊόντα και κατασκευές (Adamopoulos et al. 2005).

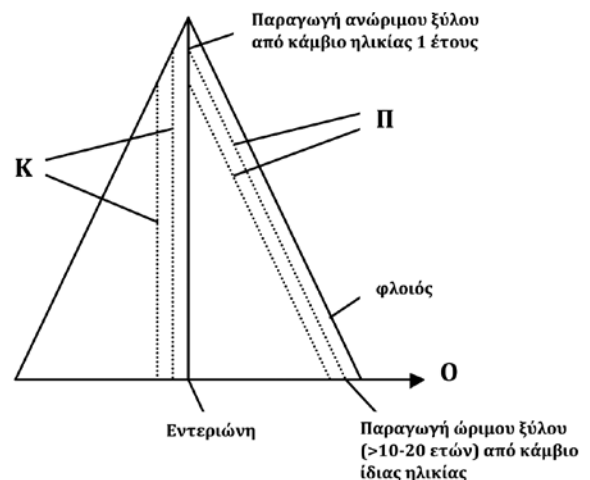
Μεταβλητότητα μέσα σε ένα δένδρο

Η μεταβλητότητα οφείλεται κυρίως στον τρόπο αύξησης των δένδρων (κανονική μεταβλητότητα), με τη δημιουργία, κάθε έτος, αλληπάληλων αυξητικών μανδύων. Έτσι, κάθε χαρακτηριστικό του ξύλου μπορεί να μελετηθεί σε τρεις κατευθύνσεις (Σχήμα 2) (Duff and Nolan 1953):

- οριζόντια, δηλαδή στην κατεύθυνση εντεριώνη-φλοιός και σε διάφορα παράλληλα προς το έδαφος επίπεδα, κάθετα προς τον άξονα του δένδρου. Το μέγεθος του χαρακτηριστικού συσχετίζεται με τον αριθμό των αυξητικών δακτυλίων που παράγονται προοδευτικά, αυξανόμενης της ηλικίας του καμβίου.
- κατακόρυφα, δηλαδή στην κατεύθυνση βάση-κορυφή και σε διάφορα παράλληλα μεταξύ τους και προς τον άξονα του δένδρου επίπεδα, κάθετα προς το έδαφος. Το μέγεθος του χαρακτηριστικού συσχετίζεται με το έτος σχηματισμού του καμβίου.
- πλάγια, δηλαδή μέσα σε κάθε αυξητικό μανδύα σε διάφορα παράλληλα μεταξύ τους επίπεδα, πλάγια προς τον άξονα του δένδρου. Με αυτόν τον τρόπο μελετάται ξύλο που σχηματίστηκε τον ίδιο χρόνο αλλά από κάμβια μικρότερης ηλικίας, όσο προχωρούμε από τη βάση του δένδρου προς την κορυφή. Το μέγεθος του χαρακτηριστικού συσχετίζεται με τον αριθμό των ετήσιων τμημάτων αύξησης καθ' ύψος.

Στο Σχήμα 2 δείχνονται σχηματικά οι τρεις παραπάνω κατευθύνσεις μελέτης των χαρακτηριστικών του ξύλου. Η μελέτη της οριζόντιας, κατακόρυφης και πλάγιας μεταβλητότητας απαιτεί λήψη δίσκων από το μέσο της καθ' ύψος αύξησης. Αυτό γίνεται εύκολα στα κωνοφόρα, όπου τα μεσογονάτια διαστήματα είναι εμφανή, αλλά για τα πλατύφυλλα συνήθως γίνεται δειγματοληψία σε επίπεδα που αντιπροσωπεύουν εκατοστιαία ποσοστά του συνολικού ύψους του δένδρου, δηλαδή σε προκαθορισμένες αποστάσεις μεταξύ τους (Βουλγαρίδης 2007).

Το τμήμα του ξύλου που σχηματίζεται στη νεαρή ηλικία του δένδρου χαρακτηρίζεται από γρήγορη μεταβολή της δομής του μεταξύ των αυξητικών δακτυλίων. Το τμήμα αυτό (5-20 δακτύλιοι από την εντεριώνη) υπάρχει σε όλα τα δένδρα,



Σχήμα 2. Σχηματική απεικόνιση της οριζόντιας (Ο), κατακόρυφης (Κ) και πλάγιας (Π) κατεύθυνσης παρατήρησης των χαρακτηριστικών του ξύλου.

έχει σχήμα κυλίνδρου που γίνεται κώνος στην κορυφή, και ονομάζεται ανώριμο ξύλο. Ακολουθεί η ώριμη περίοδος (μέχρι και 200 χρόνια ή περισσότερο) και το ξύλο που παράγεται (ώριμο ξύλο) είναι τυπικό από άποψη δομής αυξητικών δακτυλίων, μορφολογίας κυττάρων, χημικής σύστασης και δομής των κυτταρικών τοιχωμάτων. Τα χαρακτηριστικά αυτά μεταβάλλονται και πάλι σε πολύ μεγάλη ηλικία (υπερώριμο ξύλο) (Tsoumis 1991).

Οι πρώτοι αυξητικοί δακτύλιοι των κωνοφόρων έχουν μικρότερο ποσοστό όψιμου ξύλου σε σύγκριση με τους μετέπειτα τυπικούς αυξητικούς δακτυλίου. Επίσης, σε ορισμένα κωνοφόρα, που χαρακτηρίζονται σε τυπικό επίπεδο από απότομη μετάβαση και έντονη αντίθεση πυκνότητας πρώιμου και όψιμου ξύλου, παρατηρείται στους πρώτους αυξητικούς δακτυλίου βαθμιαία μετάβαση και μικρή αντίθεση πυκνότητας μεταξύ πρώιμου και όψιμου ξύλου. Σε δακτυλιόπορα πλατύφυλλα είδη ο χαρακτηρισμός δακτυλιόπορος χαρακτήρας διαμορφώνεται βαθμιαία. Επίσης, άτυποι είναι και οι εξωτερικοί δακτύλιοι δένδρων μεγάλης ηλικίας.

Μεταβλητότητα υπάρχει και μέσα σε κάθε αυξητικό δακτύλιο. Μεταξύ πρώιμου και όψιμου ξύλου υπάρχουν διαφορές στο μήκος και πάχος των κυττάρων (γενικά είναι μεγαλύτερα στο όψιμο ξύλο), στο σχήμα και εμφάνιση των αλωφόρων βοθρίων, στη γωνία μικροϊνιδίων, στην πυκνότητα, στη χημική σύσταση, στο βαθμό κρυσταλλικότητας της κυτταρίνης, στην κατανομή των κυττάρων κ.λπ. Η μεταβολή των χαρακτηριστικών από το πρώιμο στο όψιμο ξύλο γίνεται άλλοτε περισσότερο και άλλοτε λιγότερο απότομα.

Μια καλή σύνοψη των μελετών που αναφέρονται στη μεταβλητότητα των ιδιοτήτων του ξύλου δίνεται από τους Zobel and van Buijtenen (1989):

- Οριζόντια μεταβλητότητα

Πυκνότητα

– Σκληρά πεύκα (για τη διάκριση των πεύκων βλέπε υποσημείωση 1): παρουσιάζουν μια ομοιόμορφη τάση με χαμηλή πυκνότητα κοντά στην εντεριώνη, ραγδαία αύξηση στο ανώριμο ξύλο που ακολουθείται από μια σταθεροποίηση της πυκνότητας και, τέλος, μείωση κοντά στο φλοιό για υπερώριμα δένδρα. Εξαιρέσεις έχουν αναφερθεί για τα είδη *Pinus radiata* (μερικές περιπτώσεις), *Pinus resinosa*, *Pinus caribaea* (μερικές περιπτώσεις). *Cupressaceae*: υψηλή πυκνότητα κοντά στην εντεριώνη, μειώνεται για μερικούς δακτυλίου κοντά στην εντεριώνη, αυξάνεται ξανά προς το φλοιό. Μερικά είδη του γένους *Pinaceae*: παρουσιάζεται η προηγούμενη τάση ή υπάρχει πολύ μικρή μεταβολή από την εντεριώνη προς το φλοιό. Ελάτη, ερυθρελάτη,

τσούγκα: υψηλή πυκνότητα κοντά στην εντεριώνη, μειώνεται για κάποιους δακτυλίου, σταθεροποιείται ή αυξάνει λίγο προς το φλοιό. Αρκετά γένη όπως λάρικα και ψευδοτσούγκα: παρόμοια τάση με αυτή των σκληρών πεύκων, με χαμηλή πυκνότητα κοντά στην εντεριώνη, γρήγορη αύξηση στο ανώριμο ξύλο και σταθεροποίηση προς το φλοιό.

- Διασπορόπορα πλατύφυλλα με μέση και υψηλή πυκνότητα: χαμηλή πυκνότητα κοντά στην εντεριώνη που μετέπειτα αυξάνει, και ακολουθείται από μικρότερη αύξηση ή σταθεροποίηση προς το φλοιό. Διασπορόπορα πλατύφυλλα με μικρή πυκνότητα (π.χ. λεύκη): σχετικά υψηλότερη πυκνότητα κοντά στο φλοιό· ορισμένα είδη παρουσιάζουν ομοιόμορφη πυκνότητα από την εντεριώνη προς το φλοιό. Δακτυλιόπορα πλατύφυλλα: τείνουν να έχουν υψηλή πυκνότητα κοντά στην εντεριώνη, η οποία μειώνεται και κατόπιν αυξάνει ως κάποιο όριο προς το φλοιό.

Άλλες ιδιότητες

- Κωνοφόρα: Μήκος αξονικών τραχεΐδων: η συνήθης τάση για όλα τα κωνοφόρα είναι να έχουν μικρές τραχεΐδες κοντά στην εντεριώνη που ακολουθείται από μια γρήγορη αύξηση στο ανώριμο ξύλο και κατόπιν το μήκος σταθεροποιείται (σε ορισμένα είδη το μήκος συνεχίζει να αυξάνει). Γωνία μικροϊνιδίων: παρουσιάζει τις υψηλότερες τιμές κοντά στην εντεριώνη και συνήθως μειώνεται γρήγορα προς το ώριμο ξύλο. Στρεψοΐνια: συνήθως είναι μεγαλύτερη στο κέντρο του κορμού, αλλά αυτό δεν ισχύει πάντα. Ποσοστό κυτταρίνης και ημικυτταρινών: λίγες μελέτες (π.χ. στην ψευδοτσούγκα αυξάνουν και τα δυο, μεγαλύτερα ποσοστά κοντά στο κέντρο του κορμού στην *Pinus taeda*).
- Πλατύφυλλα: Μήκος ινών: οι ίνες είναι πολύ μικρές κοντά στην εντεριώνη και συνήθως το μήκος μεταβάλλεται (αυξάνει) ελαφρά. *Populus*, *Eucalyptus*, *Liriodendron*, *Carya*: πολύ γρήγορη αύξηση του μήκους στους πρώτους 20 αυξητικούς δακτυλίου, που ακολουθείται από μια σταθεροποίηση. *Quercus*, *Fagus*, *Fraxinus*: συνεχόμενη αύξηση του μήκους για 40 ή 100 χρόνια, ανάλογα με το είδος. Μήκος/πλάτος μελών αγγείων, ποσοστό ακτίνων ή αγγείων: έχουν αναφερθεί μεταβολές, αλλά συνήθως όχι σημαντικές.

- Κατακόρυφη μεταβλητότητα

Πυκνότητα

- Κωνοφόρα: οι μεταβολές σχετίζονται με την παρουσία ανώριμου ξύλου. Σε είδη στα οποία το ανώριμο ξύλο δεν διαφέρει σημαντικά από το ώριμο, παρουσιάζονται μικρές διαφορές από τη βάση προς την κορυφή των κορμών. Τα σκλη-

ρά πεύκα συνήθως παρουσιάζουν μια σημαντική αύξηση στην πυκνότητα με την αύξηση του ύψους. Μέλη της οικογένειας *Picea* παρουσιάζουν μικρές διαφορές στην πυκνότητα με το ύψος. Μερικά κωνοφόρα (π.χ. *Chamaecyparis obtusa*, *Tsuga heterophylla*) έχουν βαρύτερο ξύλο στη βάση, πιο ελαφρύ στο μέσο και βαρύτερο στην κορυφή. Η συνήθης τάση στα κωνοφόρα είναι να έχουν μακρύτερες αξονικές τραχειίδες στη βάση και μικρότερες κοντά στην κορυφή.

- Πλατύφυλλα: Η συνήθης τάση είναι να υπάρχουν μικρές αλλαγές με το ύψος, αλλά ορισμένα είδη (*Swietenia macrophylla*, *Liriodendron tulipifera*, *Populus tremuloides*, *Liquidambar styraciflua*) έδειξαν μεγάλη πυκνότητα στη βάση, μείωση της πυκνότητας για κάποια απόσταση στον κορμό, και αύξηση προς την κορυφή. Μερικές μελέτες έδειξαν αύξηση της πυκνότητας με το ύψος στους ευκάλυπτους και στις λεύκες. Τα περισσότερα διασπορόπορα πλατύφυλλα παρουσιάζουν μικρή μεταβολή της πυκνότητας με το ύψος. Η μεταβολή του μήκους των ινών ποικίλει, με την πιο συνηθισμένη τάση να αναφέρει μακρύτερες ίνες στη βάση ή καμία μεταβολή με το ύψος.

Η αύξηση της ηλικίας του δένδρου έχει ως συνέπεια το σχηματισμό του εγκάρδιου. Το εγκάρδιο έχει μορφή κώνου μέσα στον κορμό που περιβάλλεται από σομφό ξύλο. Το εγκάρδιο είναι φυσιολογικά ανενεργό (δεν συμμετέχει στη διακίνηση τροφών και αποθήκευση) και με το σχηματισμό του το δένδρο διατηρεί το μέγεθος του σομφού στο άριστο επιθυμητό επίπεδο. Το εγκάρδιο συνήθως είναι σκοτεινότερο από το σομφό, κάτι που σχετίζεται με απόθεση εκχυλισμάτων. Ο μηχανισμός μετατροπής σομφού σε εγκάρδιο και η ακριβής θέση παραγωγής εκχυλισμάτων δεν είναι ακριβώς γνωστά. Το εγκάρδιο αυξάνει με την ηλικία, όχι όμως με κανονικό ρυθμό, και τα όρια εγκάρδιου-σομφού δεν συμπίπτουν αναγκαστικά με τα όρια των αυξητικών δακτυλίων. Η μετατροπή μέρους του σομφού ξύλου σε εγκάρδιο συνεπάγεται τις παρακάτω μεταβολές (Tsoumis 1991):

- Σε πολλά είδη το χρώμα γίνεται σκοτεινότερο. Η διαφοροποίηση του χρώματος οφείλεται στη συγκέντρωση εκχυλισμάτων.
- Τα παρεγχυματικά κύτταρα πεθαίνουν (χάνουν το πρωτόπλασμα και τον πυρήνα) και το άμυλο που υπάρχει στα κύτταρα αυτά υδρολύεται.
- Γίνεται απόφραξη αλωφόρων βοθρίων.
- Σχηματίζονται τυλώσεις (σε πλατύφυλλα) και φράσσονται ρητινοφόροι αγωγοί (σε ορισμένα κωνοφόρα) με τυλωσσοειδή.
- Το εγκάρδιο παύει να συμμετέχει στη διακίνηση τροφών.

Μεταβλητότητα ανάμεσα στα δένδρα

Εκτός από το μηχανισμό αύξησης των δένδρων, στη μεταβλητότητα της δομής του ξύλου επιδρούν και διάφοροι άλλοι παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί είναι:

- Το περιβάλλον. Περιλαμβάνονται: ποιότητα τόπου, γεωγραφική περιοχή, υπερθαλάσσιο ύψος και μικροπεριβάλλον. Επίσης, τα διάφορα δασοκομικά μέτρα (αραιώσεις, λιπάνσεις, κλαδέψεις κ.ά.), οι υλοτομίες και ο ανταγωνισμός μεταξύ δένδρων τροποποιούν το μικροπεριβάλλον και έχουν αντίκτυπο στη μεταβλητότητα της δομής των δένδρων.
- Οι γενετικές διαφορές μεταξύ δένδρων.
- Παρουσία ελαττωμάτων.

Πολλές φορές είναι δύσκολο να αξιολογηθεί η συνεισφορά του κάθε παράγοντα στη μεταβλητότητα. Γενικά, οι διαφορές στις ιδιότητες ξύλου ανάμεσα στα δένδρα ενός είδους είναι μεγάλες. Η συνηθισμένη διαπίστωση είναι ότι υπάρχει μεγαλύτερη μεταβλητότητα στις ιδιότητες ανάμεσα στα δένδρα ενός είδους σε μια περιοχή σε σχέση με τις διαφορές στους μέσους όρους των ιδιοτήτων του είδους μεταξύ διαφορετικών περιοχών (Zobel and van Buijtenen 1989).

Σε μελέτες μεταβλητότητας ιδιοτήτων ανάμεσα σε δένδρα, ένα πρακτικό πρόβλημα συνδέεται με τη δειγματοληψία στον κορμό, και συγκεκριμένα το μέρος του κορμού από το οποίο πρέπει να λαμβάνονται τα δείγματα προκειμένου να δίνουν αξιόπιστα αποτελέσματα, αντιπροσωπευτικά για όλο το δένδρο. Η απλούστερη και πιο αξιόπιστη πρακτική είναι να λαμβάνονται δείγματα από το σθηθιαίο ύψος (1,30 m από το έδαφος) των δένδρων. Αυτός ο τρόπος δειγματοληψίας έχει αποδειχθεί ότι δίνει πολύ καλή συσχέτιση με τις τιμές μιας ιδιότητας για όλο το δένδρο, για κωνοφόρα και πλατύφυλλα. Για λόγους κόστους και προσπάθειας, η δειγματοληψία συνήθως είναι μη καταστρεπτική με τη λήψη αυξητικών τρυπανιδίων. Τα αποτελέσματα που δίνουν τα αυξητικά τρυπανίδια είναι παρόμοια με αυτά που λαμβάνονται από εγκάρσιους δίσκους (Zobel and van Buijtenen 1989).

Ανώριμο ξύλο

Όπως αναφέρεται από τους Zobel and van Buijtenen (1989), «το ξύλο που σχηματίζεται από το κάμβιο κοντά στο κέντρο του δένδρου έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά από αυτό που σχηματίζεται σε μεγαλύτερο αριθμό αυξητικών δακτυλίων από την εντεριόνη ή το κέντρο του δένδρου. Αυτό το πρωτοσχηματιζόμενο ξύλο ονομάζεται ανώριμο ξύλο». Το ανώριμο ξύλο σχηματίζει, χονδρικά,

έναν κύλινδρο κατά μήκος του κορμού και, σύμφωνα με την επικρατέστερη άποψη, σχετίζεται με την ηλικία του καμβίου (Pearson et al. 1980).

Υπάρχει εκτεταμένη βιβλιογραφία σχετικά με τη δομή και τις ιδιότητες του ανώριμου ξύλου, καθώς και με τις διαφορές του από το ώριμο ξύλο, ειδικά για τα κωνοφόρα. Το ανώριμο ξύλο χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη αύξηση, μικρότερα κύτταρα με λεπτότερα τοιχώματα, μεγαλύτερη γωνία μικροϊνιδίων, μικρότερο ποσοστό όψιμου ξύλου, μικρότερη πυκνότητα, μεγαλύτερη αξονική ρίκνωση, μεγαλύτερα ποσοστά λιγνίνης και ημικυτταρινών, μικρότερο ποσοστό α-κυτταρίνης, μικρότερη ακαμψία και μηχανική αντοχή σε σχέση με το ώριμο ξύλο (Zobel and van Buijtenen 1989, Zobel and Sprague 1998, Larson et al. 2001).

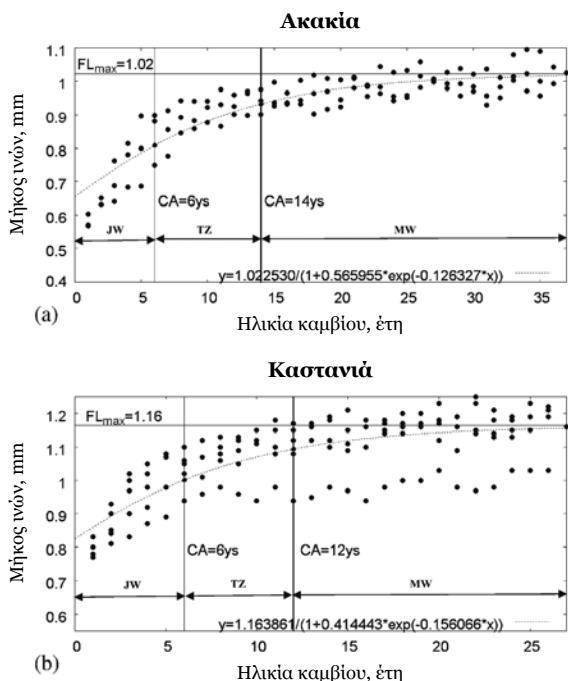
Ο καθορισμός των ορίων ανάμεσα στο ανώριμο και ώριμο ξύλο είναι πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της ποιότητας του ξύλου και της αξιοποίησής του, γεγονός που έχει οδηγήσει στη συστηματική του μελέτη από πολλούς ερευνητές. Η μετάβαση από το ανώριμο στο ώριμο ξύλο γίνεται βαθμιαία, για αρκετά χρόνια (Zobel 1980). Σχεδόν όλες οι ιδιότητες του ξύλου μεταβάλλονται έντονα στο ανώριμο ξύλο, ενώ παρουσιάζουν μια σχετική σταθερότητα στο ώριμο ξύλο (Saranpää 2003). Η ζώνη μετάβασης από το ανώριμο στο ώριμο ξύλο βρέθηκε να διαφέρει σημα-

ντικά ανάμεσα στα διάφορα δασικά είδη και ιδιότητες του ξύλου. Έχουν προταθεί αρκετές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των ορίων μεταξύ ανώριμου-ώριμου ξύλου.

Η απλούστερη μέθοδος είναι η «γραφική μέθοδος ή μέθοδος του κατώτερου ορίου», σύμφωνα με την οποία οι καμπύλες μεταβολής των ιδιοτήτων με την ηλικία του καμβίου εκτιμώνται οπτικά προκειμένου να καθοριστεί ο αυξητικός δακτύλιος ή η ηλικία στην οποία η τιμή μιας ιδιότητας φτάνει σε μια κατώτατη τιμή για το ώριμο ξύλο (Adamopoulos and Voulgaridis 2002, Passialis and Kiriazakos 2004, Clark et al. 2006). Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά αυθαίρετη, χωρίς επαρκή επιστημονική αξιοπιστία, και μπορεί να εκληφθεί ως εκτίμηση. Το πλεονέκτημά της είναι ότι το ώριμο ξύλο μπορεί να οριστεί ως αυτό που ικανοποιεί μια κατώτατη τιμή που μπορεί να είναι απαραίτητη για μια συγκεκριμένη χρήση του ξύλου. Μια άλλη μέθοδος που αναπτύχθηκε προκειμένου να προσδώσει περισσότερη αξιοπιστία είναι αυτή που βασίζεται σε ευθύγραμμο γραμμικά μοντέλα που προσδιορίζουν το ώριμο ξύλο σε σχέση με το ρυθμό μεταβολής μιας ιδιότητας (Zhu et al. 2000). Τα μειονεκτήματα της μεθόδου είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη τη μεταβολή μιας συγκεκριμένης ιδιότητας χρονικά από την εντεριώνη προς το φλοιό, τις αλληλεπιδράσεις ιδιοτήτων γειτονικών αυξητικών δακτυλίων και τη στατιστική διακύμανση σε έναν πληθυσμό. Προκειμένου να ξεπεραστούν αυτά τα μειονεκτήματα, έχουν προταθεί μη γραμμικά, πολυωνμικά ή μαθηματικά μοντέλα (Σχήμα 3) (Mutz et al. 2004, Koubaa et al. 2005, Adamopoulos et al. 2011). Στις περισσότερες μελέτες καθορισμού των ορίων ανώριμου-ώριμου ξύλου χρησιμοποιούνται οι μεταβολές του μήκους των κυττάρων (τραχεΐδες κωνοφόρων, ίνες πλατύφυλλων) με την ηλικία, και σε μικρότερο βαθμό οι τάσεις άλλων ιδιοτήτων, όπως η πυκνότητα και οι μηχανικές ιδιότητες (Evans II et al. 2000).

Υπάρχουν διάφορες στρατηγικές μείωσης του ποσοστού ανώριμου ξύλου στα δασικά δένδρα: αύξηση του περιτρόπου χρόνου, φύτευση ή διατήρηση περισσότερων δένδρων σε μια συστάδα ή φυτεία, πρόωμη κλάδευση που αυξάνει και το ποσοστό καθαρού άροζου ξύλου, και γενετική βελτίωση (Zobel and van Buijtenen 1989).

Το ανώριμο ξύλο πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά την αξιοποίησή του. Ξυλεία φυτειών αναμένεται να έχει περισσότερο ανώριμο ξύλο σε σχέση με ξυλεία από φυσικά δάση της εϋκρατης ζώνης. Η απόδοση σε ξυλοπολτό του ανώριμου ξύλου είναι μικρότερη σε σχέση με την απόδοση του ώριμου ξύλου. Χαρτί που παράγεται από πολλο-



Σχήμα 3. Καθορισμός των ορίων ανώριμου-ώριμου ξύλου στην ακακία (α, 6-14 χρόνια) και στην καστανιά (β, 6-12 χρόνια), σύμφωνα με μια μαθηματική προσέγγιση που βασίζεται στη μεταβολή του μήκους των ινών με την ηλικία του καμβίου. JW, ανώριμο ξύλο· TZ, ζώνη μετάβασης· MW, ώριμο ξύλο (πηγή: Adamopoulos et al. 2011).

ανώριμου ξύλου έχει μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό, ομαλότητα, αντοχή σε διάρρηξη, αντοχή σε δίπλωση, πυκνότητα, αλλά μικρότερη αντοχή και αδιαφάνεια σε σχέση με χαρτί από πολύ ώριμο ξύλο. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όταν ανώριμο ξύλο πρόκειται να αξιοποιηθεί σε κατασκευές λόγω χαμηλών μηχανικών ιδιοτήτων (Zobel and van Buijtenen 1989, Adamopoulos et al. 2007).

Σφάλματα και ποιότητα ξύλου

Τα δένδρα, κατά τη διάρκεια της ζωής τους, βρίσκονται συνεχώς κάτω από την επίδραση διαφόρων παραγόντων που μπορούν να προκαλέσουν ακανονιστίες στην αύξησή τους. Οι ακανονιστίες μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με τη θέση εμφάνισής τους στα δένδρα: ακανονιστίες εξωτερικά στον κορμό και ακανονιστίες εσωτερικά στο ξύλο.

Ο κορμός, γενικότερα, προσφέρεται για εντοπισμό εξωτερικών ακανονιστιών. Ακανονιστίες εσωτερικά μπορούν να αποκαλυφθούν στη διατομή του κορμού όταν αυτός κοπεί. Οι αυξητικές ακανονιστίες έχουν δυσμενή επίδραση στην εμφάνιση και στις ιδιότητες του ξύλου, ελαττώνουν περισσότερο ή λιγότερο την αξία χρήσης του για τεχνικές κατασκευές και προϊόντα, και ονομάζονται ελαττώματα ή σφάλματα. Στα σφάλματα ανήκουν και μερικά φυσικά χαρακτηριστικά των δένδρων, τα κλαδιά (παρουσιάζονται σαν ρόζοι στο ξύλο) και η εντεριώνη. Πιο αναλυτικά, τα σφάλματα ξύλου διακρίνονται ως εξής (Tsoumis 1991):

- Αποκλίσεις δένδρων από την τυπική εξωτερική μορφή: διχάλωση, γονατοειδής βάση, κωνικομορφία, διόγκωση της βάσης, άλλες αποκλίσεις (κλίση, κάμψη και απόκλιση από την κυκλική διατομή η οποία μπορεί να είναι ελλειψοειδής, κυματοειδής ή ακανόνιστη).
- Στρεψοΐνια.
- Ακανόνιστη διάταξη αυξητικών δακτυλίων: εκκεντρότητα, ψευδείς δακτύλιοι, ασυνεχείς δακτύλιοι, οδοντωτοί δακτύλιοι, διπυρήνωση ή πολυπυρήνωση.
- Ξύλο με ακανόνιστη δομή (θλιπτιγενές ή εφελκυσμογενές ξύλο).
- Διακοπή συνέχειας ιστών: ραγάδες, ρητινοθύλακες.
- Χρωματικές ανωμαλίες.
- Τραυματικές ακανονιστίες: μεταχρωματισμοί, επουλωτικός ιστός, φλοιοθύλακες, τραυματικοί ρητινοφόροι αγωγοί, παρεγχυματικές κηλίδες, φλοιοκάουση, παγοραγάδες.

Ποιοτική ταξινόμηση

Το κυρίαρχο κριτήριο ποιοτικής ταξινόμησης της ξυλείας είναι η παρουσία σφαλμάτων στο ξύλο σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, ενώ άλλα κριτήρια περιλαμβάνουν τις διαστάσεις της ξυλείας, το δασοπονικό είδος και τις χρήσεις για τις οποίες προορίζεται. Τα διάφορα σφάλματα αξιολογούνται από άποψη μεγέθους, θέσεως, είδους σφάλματος και έντασης και η ξυλεία κατατάσσεται σε ποιοτικές κατηγορίες. Η διαδικασία εφαρμόζεται τόσο σε πρωτογενή δασικά προϊόντα που παράγονται στο δάσος (στρογγύλη, ξύλο θρυμματισμού και καυσόξυλα), όσο και σε προϊόντα πρωτογενούς μηχανικής κατεργασίας στις βιομηχανίες ξύλου (π.χ. πριστή ξυλεία, ξυλόφυλλα, στρωτήρες, επικολλητά).

Στην περίπτωση ακατέργαστης στρογγύλης ξυλείας, η αξιολόγηση των σφαλμάτων γίνεται επί της εξωτερικής επιφάνειας (έμφλοια, άφλοια) των κορμών ή κορμοτεμαχίων, λαμβάνοντας υπόψη τα εξής κριτήρια: καμπυλότητα, στρεψοΐνια, κωνικομορφία, ρόζοι (σύμφυτοι, χαλαροί), έκκεντρη εντεριώνη, ακανόνιστο ξύλο (θλιπτιγενές, εφελκυσμογενές), ραγάδες και άλλα σφάλματα. Συνήθως, διακρίνονται τρεις ποιότητες ακατέργαστης στρογγύλης ξυλείας (Βουλαργιδής 2007):

- Ποιότητα Α: ξύλο υγιές, με καλά ποιοτικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες, απαλλαγμένο σφαλμάτων ή με ελάχιστα ελαττώματα που δεν περιορίζουν τη χρησιμοποίησή του για το σκοπό που προορίζεται.
- Ποιότητα Β: ξύλο συνήθους ποιότητας που περιλαμβάνει τα παρακάτω ελαττώματα σε μικρό σχετικό βαθμό: καμπυλότητα και στρεψοΐνια ασθενείς, χωρίς έντονη κωνικομορφία, χωρίς χονδρούς αλλά με λίγους, μέσου μεγέθους ρόζους, εντεριώνη ελαφρά έκκεντρη, μικρές ανωμαλίες τής περιμέτρου ή παρουσία άλλων ελαττωμάτων που αντισταθμίζονται από τη γενικά καλή ποιότητα του ξύλου.
- Ποιότητα Γ: ξύλο με περισσότερα ελαττώματα που δεν μπορεί να ταξινομηθεί στις ποιότητες Α και Β, αλλά παρόλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικές χρήσεις.

Στην περίπτωση των προϊόντων πρωτογενούς μηχανικής κατεργασίας, τα σφάλματα αποκαλύπτονται καλύτερα και η ταξινόμηση είναι περισσότερο αξιόπιστη. Για την ποιοτική ταξινόμηση ξυλείας διαφόρων ειδών ισχύουν εθνικές και Ευρωπαϊκές προδιαγραφές (EN 1316: 1-3 και ENV 1927: 1-3 για στρογγύλη, και EN 975: 1-2, EN 1611-1 για πριστή). Για την ξυλεία κατασκευών ισχύουν ειδικές προδιαγραφές, ενώ γίνεται και κατάταξη σε κλάσεις αντοχής με βάση το μέτρο ελαστικότητας

(EN 338, EN 384, EN 518, EN 519, EN 1912). Εκτός από οπτική εκτίμηση, έλεγχος της ποιότητας και αξιολόγηση των σφαλμάτων ιστάμενης ξυλείας, κορμών, κορμοτεμαχίων και πριστής ξυλείας γίνεται και με φορητά ή σταθερά μη καταστρεπτικά όργανα, που βασίζονται στις ακουστικές ιδιότητες του ξύλου, σε υπερήχους, στην αντίσταση του ξύλου στη διάτρηση κ.λπ. (Brashaw et al. 2009).

Ποιοτικά χαρακτηριστικά ξύλου ως υλικού προς αξιοποίηση

Τα δομικά χαρακτηριστικά του ξύλου, η χημική του σύσταση, η περιεκτικότητά του σε εκχυλίσματα και η παρουσία ή όχι σφαλμάτων, καθορίζουν τις φυσικές, χημικές και μηχανικές ιδιότητες του ξύλου και, γενικά, τη συμπεριφορά του κατά την αξιοποίηση σε διάφορα προϊόντα και κατασκευές. Το ξύλο κάθε δασοπονικού είδους, εκτός από ορισμένα γενικά χαρακτηριστικά που είναι κοινά για όλα τα ξύλα, παρουσιάζει διαφοροποιήσεις και ιδιαίτερες στη δομή του, που έχουν αντίκτυπο στις ιδιότητές του και στην καταλληλότητά του για διάφορες χρήσεις. Με τον όρο «ξύλο» δεν μπορούμε να εννοούμε ένα υλικό, αλλά πολλά υλικά, όσα είναι και τα δασοπονικά είδη, επειδή ακριβώς υπάρχουν μεταξύ τους διαφοροποιήσεις δομής. Η ιδιαίτερη δομή κάθε ξύλου διαφοροποιεί τις τιμές των ιδιοτήτων του που καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό και τις τελικές χρήσεις (Tsoumis 1991, Βουλγαρίδης 2007).

Κάθε ιδιότητα ξύλου αποτελεί και ένα ποιοτικό χαρακτηριστικό που έχει διαφορετική σημασία και βαρύτητα μεταξύ χρήσεων. Η λεπτομερής γνώση των ποιοτικών χαρακτηριστικών για κάθε ξύλο προσδιορίζει το βαθμό καταλληλότητάς του για μια συγκεκριμένη χρήση, αλλά και η ικανοποίηση συγκεκριμένων απαιτήσεων μιας χρήσης διευκολύνει την επιλογή του είδους ή των ειδών ξύλου για τη χρήση αυτή. Τα κύρια ποιοτικά χαρακτηριστικά κατά τις κατεργασίες και την αξιοποίησή του είναι: η πυκνότητα, το πορώδες, η υγροσκοπικότητα, οι διαστασιακές μεταβολές και σταθερότητα, η μηχανική αντοχή, η μηχανική κατεργασία, η συγκόλληση, η βαφή, η θερμομόνωση και ηχομόνωση, οι ηλεκτρικές ιδιότητες, η ανισοτροπία, η συμπεριφορά του ξύλου στην ξήρανση και η φυσική αντοχή του ξύλου.

Επίλογος

Η ποιότητα του παραγόμενου ξύλου από τα δάση εξαρτάται από πλήθος παραγόντων (π.χ. κλιματικούς, εδαφικούς, βιολογικούς, γενετικούς και εξέλιξης των ειδών) και ο άνθρωπος μπορεί να την

επηρεάσει σε περιορισμένο βαθμό με δασοκομικά και γενετικής φύσεως μέτρα. Από υλοχρηστική άποψη, το ξύλο παρουσιάζει μειονεκτήματα αλλά και σημαντικά πλεονεκτήματα που το κάνουν ακόμη και σήμερα ασυναγώνιστο ως πρώτη ύλη προϊόντων και κατασκευών. Κατά τη χρησιμοποίηση του ξύλου ως πρώτη ύλη για διάφορα προϊόντα και κατασκευές, απαιτείται η κατάλληλη αντιμετώπιση των μειονεκτημάτων και η αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων του στο έπακρο. Η ποιότητα και η μεταβλητότητα της δομής του κάθε ξύλου επηρεάζει αποφασιστικά τις ιδιότητες και τις χρήσεις του ξύλου, την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων και την επιλογή του είδους χρήσεώς του. Για το λόγο αυτόν, είναι απαραίτητη η καλή και ακριβής γνώση των ιδιαίτερων ποιοτικών χαρακτηριστικών του και, μάλιστα, για κάθε δασοπονικό είδος χωριστά, επειδή παρουσιάζονται σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ειδών, ώστε αυτό να αξιοποιείται ορθολογικά και να αποφεύγεται η σπατάλη του πολύτιμου αυτού υλικού.

Η απόληψη του ξύλου από παραγωγικά δάση για την κάλυψη πολλών απαραίτητων αναγκών του ανθρώπου μπορεί άριστα να συνδυασθεί με τον περιβαλλοντικό ρόλο που σήμερα γίνεται ολοένα και περισσότερο έντονος, εφόσον η διαχείριση και αξιοποίηση των δασών γίνεται με βάση τις αρχές της δασολογικής επιστήμης που περιλαμβάνει την αρχή της αειφορίας και τη δυνατότητα πολλαπλής χρήσης τους.

Βιβλιογραφία

A. Ελληνική

Αδαμόπουλος, Σ., Η. Βουλγαρίδης, και Κ. Πασιαλής. 2001. Ποιοτικά χαρακτηριστικά ξύλου ακακίας (*Robinia pseudoacacia* L.). Δασική Έρευνα 14:63-72.

Βουλγαρίδης, Η. 2007. Ποιότητα Ξύλου (Πανεπιστημιακές Παραδόσεις). ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

Πασιαλής, Κ.Ν. 1984. Το υγρό εγκάρδιο της υβριδογενούς ελάτης (*Abies cephalonica* × *A. alba*, *populus hybridogenus*) του δάσους Περτουλίου. Διδακτορική διατριβή. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.

B. Ξενόγλωσση

Adamopoulos, S., and E. Voulgaridis. 2002. Within-tree variation in growth rate and cell dimensions in the wood of black locust (*Robinia pseudoacacia*). International Association of Wood Anatomists (IAWA) Journal 23:191-199.

Adamopoulos, S., E. Voulgaridis, and C. Passialis. 2005. Variation of certain chemical properties

- within the stemwood of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Holz als Roh- und Werkstoff* 63:327-333.
- Adamopoulos, S., C. Passialis, and E. Voulgaridis. 2007. Strength properties of juvenile and mature wood in black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). *Wood Fiber Science* 39:241-249.
- Adamopoulos, S., E. Milios, D. Doganos, and I. Bistinas. 2009. Ring width, latewood proportion and dry density in stems of *Pinus brutia* Ten. *European Journal of Wood Production* 67:471-477.
- Adamopoulos, S., C. Passialis, and E. Voulgaridis. 2010a. Ring width, latewood proportion and density relationships in black locust wood of different origin and clones. *International Association of Wood Anatomists (IAWA) Journal* 31:169-178.
- Adamopoulos, S., M. Chavenetidou, C. Passialis, and E. Voulgaridis. 2010b. Effect of cambium age and ring width on density and fibre length of black locust and chestnut wood. *Wood Research-Slovakia* 55:25-36.
- Adamopoulos, S., A. Karageorgos, C. Passialis, and M. Chavenetidou. 2011. Mathematical approach for defining juvenile-mature wood transition zone in black locust and chestnut. *Wood and Fiber Science* 43:336-342.
- Antonova, G.F., and V.V. Stasova. 1993. Effects of environmental factors on wood formation in Scots pine stems. *Trees-Structure and Function* 7: 214-219.
- Barnett, J.R., and G. Jeronimidis. 2003. *Wood Quality and its Biological Basis*. Blackwell Publishing Ltd, CRC Press, UK.
- Brashaw, B.K., V. Bucur, F. Divos, R. Gonçalves, J. Lu, R. Meder, R.F. Pellerin, S. Potter, R.J. Ross, X. Wang, and Y. Yin. 2009. Nondestructive testing and evaluation of wood: a worldwide research update. *Forest Production Journal* 59:7-14.
- Butterfield, B.G. 2003. Wood anatomy in relation to wood quality. Pages 30-52 in J. R. Barnett, and G. Jeronimidis, editors. *Wood Quality and Its Biological Basis*. Blackwell Publishing Ltd, CRC Press, UK.
- Cameron, A.D., and R.A. Dunham. 1999. Strength properties of wind and snow damaged stems of *Picea sitchensis* and *Pinus sylvestris* in comparison with undamaged trees. *Canadian Journal of Forest Research* 29:595-599.
- Ceulemans, R., M.E. Jach, R. van De Velde, J.X. Lin, and M. Stevens. 2002. Elevated atmospheric CO₂ alters wood production, wood quality and wood strength of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) after three years of enrichment. *Global Change Biology* 8:153-162.
- Clark III, A., R.F. Daniels, and J.H. Miller. 2006. Effect of controlling herbaceous and woody competing vegetation on wood quality of planted loblolly pine. *Forest Production Journal* 56:40-46.
- Duff, G.H., and N.J. Nolan. 1953. Growth and morphogenesis in the Canadian forest species. *Canadian Journal of Botany* 31:471-513.
- Eaton, R.A., and M.C.D. Hale. 1993. *Wood: Decay, Pests and Protection*; 1st ed. Chapman & Hall, Cambridge.
- EN 338:2009. Structural timber. Strength classes.
- EN 384:2004. Structural timber. Determination of characteristic values of mechanical properties and density.
- EN 518:1995. Structural timber. Grading. Requirement for visual strength grading standards.
- EN 519:1995. Structural timber. Grading. Requirement for machine strength grading standards and grading machine.
- EN 975-1:1996. Sawn timber. Appearance grading of hardwoods. Part 1: Oak and beech.
- EN 975-2: 2004. Sawn timber. Appearance grading of hardwoods. Part 2: Poplars.
- EN 1316-1:1997. Hardwood round timber. Qualitative classification. Part 1: Oak and beech.
- EN 1316-2:1997. Hardwood round timber. Qualitative classification. Part 2: Poplar.
- EN 1316-3:1997. Hardwood round timber. Qualitative classification. Part 3: Ash and maples and sycamore.
- EN 1611-1:1999. Sawn timber. Appearance grading of softwoods. Part 1: European spruces, firs, pines and douglas firs.
- EN 1912:1998. Structural timber. Strength classes. Assignment of visual grades and species.
- EN 1927-1:1998. Qualitative classification of softwood round timber. Part 1: Spruces and firs.
- EN 1927-2:1998. Qualitative classification of softwood round timber. Part 2: Pines.
- EN 1927-3:1998. Qualitative classification of softwood round timber. Part 3: Larches and douglas fir.
- Evans II, J.W., J.F. Senft, and D. Green. 2000. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. *Forest Production Journal* 50:75-87.

- Gindl, W., M. Grabner, and R. Wimmer. 2001. Effects of altitude on tracheid differentiation and lignification of Norway spruce. *Canadian Journal of Botany* 79:815-821.
- Gregory, R.A., and B.L. Wong. 1983. The effect of defoliation on the production and differentiation of wood elements following defoliation and re-flushing in *Acer saccharum*. Pages 6-7 in A. Pizzi, editor. Proceedings of the International Union of Forestry Research Organizations (IUFRO) all-Division 5 Conference, June 27-July 5 1983. Madison, Wisconsin.
- Kanat, M., A. Hakki, and F. Sivrikaya. 2005. Effect of defoliation by *Thaumetopoea pityocampa* (Den. & Schiff.) (Lepidoptera: Thaumetopoeidae) on annual diameter increment of *Pinus brutia* Ten. in Turkey. *Annals of Forest Science* 62:91-94.
- Koubaa, A., N. Isabel, S.Y. Zhang, J. Beaulieu, and J. Bousquet. 2005. Transition from juvenile to mature wood in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.). *Wood Fiber Science* 37:445-455.
- Larson, R.P., D.E. Kretschmann, A. Clark III, and J.G. Isebrands. 2001. Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis. General Technical Reports, FPL-GTR-129. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI.
- Levi, M.P. 1981. A guide for using beetle-killed southern pine based on tree appearance. U.S. Department of Agriculture, Agric. Handb. 572, Washington D.C.
- Little, E.L., and W.B. Critchfield. 1969. Subdivisions of the genus *Pinus* (Pines). U.S. Department of Agriculture, Misc. Pub. No. 1144.
- Mc Nab, W.H. 1983. Total tree and product weight of beetle-killed loblolly pines in Northeast Georgia. Georgia Forestry Commission, Georgia Forest Research Paper 42.
- Motta, R., and P. Nola. 1996. Fraying damages in the subalpine forest of Paneveggio (Trento, Italy): a dendroecological approach. *Forest Ecology and Management* 88:81-86.
- Mutz, R., E. Guilley, U.H. Sauter, and G. Nepveu. 2004. Modelling juvenile-mature wood transition in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using nonlinear mixed-effects models. *Annals of Forest Science* 61:831-841.
- Passialis, C., and A. Kiriazakos. 2004. Juvenile and mature wood properties of naturally-grown fir trees. *Holz als Roh- und Werkstoff* 62:476-478.
- Passialis, C., E. Voulgaridis, S. Adamopoulos, and M. Matsouka. 2008. Extractives, acidity, buffering capacity, ash and inorganic elements of black locust wood and bark of different clones and origin. *Holz als Roh- und Werkstoff* 66:395-400.
- Pearson, R.G., R.J. Weir, and W.D. Smith. 1980. Utilization of pine thinnings. Page 27 in Proceedings Southern Forest Economics Workers Workshop "Thinning Southern pine plantations: integrating economics and biology", March 3-5, 1980, Long Beach, Mississippi.
- Pereira, H., J. Graca, and J.C. Rodrigues. 2003. Wood chemistry in relation to quality. Pages 53-86 in J.R. Barnett, and G. Jeronimidis, editors. *Wood Quality and Its Biological Basis*. Blackwell Publishing Ltd, CRC Press, UK.
- Powers, R.F. 2002. Effects of soil disturbance on the fundamental, sustainable productivity of managed forests. U.S. Department of Agriculture, Forest Service General Technical Reports PSW-GTR-183.
- Plomion, C., G. Leprovost, and A. Stokes. 2001. Wood formation in trees. *Plant Physiology* 127:1513-1523.
- Raymond, C. A., and A. Muneri. 2000. Effect of fertilizer on wood properties of *Eucalyptus globulus*. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 136-144.
- Robertson, A. 1990. Directionality of compression wood in balsam fir wave forest trees. *Canadian Journal of Forest Research* 20:1143-1148.
- Sakamoto, Y., and A. Kato. 2002. Some properties of the bacterial wetwood (watermark) in *Salix sachalinensis* caused by *Erwinia saliciawa*. *International Association of Wood Anatomists (IAWA) Journal* 23:179-190.
- Saranpää, P. 2003. Wood density and growth. Pages 87-117 in J.R. Barnett, and G. Jeronimidis, editors. *Wood quality and its biological basis*. Blackwell Publishing Ltd, CRC Press, UK.
- Savidge, R.A. 2003. Tree growth and wood quality. Pages 1-29 in J.R. Barnett, and G. Jeronimidis, editors. *Wood quality and its biological basis*. Blackwell Publishing Ltd, CRC Press, UK.
- Schweingruber, F.H. 1996. *Tree rings and environment*. Paul Haupt, Bern.
- Timmel, T.E. 1986. *Compression wood in gymnosperms*. Springer-Verlag, Berlin.
- Tsoumis, G. 1991. *Science and Technology of Wood: Structure, Properties, Utilization*. Chapman and Hall, New York.
- Tsoumis, G., and N. Panagiotidis. 1980. Effect of growth conditions on wood quality characteristics of black pine (*Pinus nigra* Arn.). *Wood Science Technology* 14:301-310.

- Usta, I. 2006. Comparative characterization of the effects of the climate-tree-growth relationship in Anatolian black pine [*Pinus nigra* Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe] on wood treatability. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 30: 305-315.
- Usta, I., and M.D. Hale. 2003. Radial permeability of Sitka spruce as affected by wood structure. *International Association of Wood Anatomists (IAWA) Journal*. Journal 24:197-204.
- Wilkinson, J.G. 1979. *Industrial Timber Preservation*. Associated Business Press, London.
- Wimmer, R., and G.M. Downes. 2003. Temporal variation of the ring width-wood density relationship in Norway spruce grown under two levels of anthropogenic disturbance. *International Association of Wood Anatomists (IAWA) Journal* 24: 53-61.
- Zhu, J., T. Nakano, and Y. Hirakawa. 2000. Effects of radial growth rate on selected indices for juvenile and mature wood of the Japanese larch. *Journal of Wood Science* 46:417-422.
- Zobel, B.J. 1980. Inherent differences affecting wood quality in fast-grown plantations. Pages 169-188 in J. Bauch, editor. *Proceedings of International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) Conference*, April 8-16, Division 5. Oxford.
- Zobel, B.J., and J. van Buijtenen. 1989. *Wood variation: its causes and control*. Springer Series in Wood Science. Springer, New York.
- Zobel, B.J., and J.R. Sprague. 1998. *Juvenile wood in forest trees*. Springer-Verlag, New York.