



Τ.Ε.Ι. Λάρισσας  
Παράρτημα  
Καρδίτσας



Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«Μελέτη της επίδρασης υδροθερμικών χειρισμών στη  
σκληρότητα και το χρώμα ξύλου οξιάς»*

**ΠΕΤΡΟΥ Γ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΚΟΥ (ΑΕΜ 1063)  
&  
ΤΣΑΛΙΚΗ Π. ΣΤΑΥΡΟΥ (ΑΕΜ 1401)**

Επιβλέπων:

**Δρ. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ ΛΥΚΙΔΗΣ**  
Επιστημονικός Συνεργάτης ΤΕΙ Λάρισσας



ΚΑΡΔΙΤΣΑ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διατριβής θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους:

- Δρ. Λυκίδη Χ. επιστημονικό συνεργάτη του ΤΕΙ Λάρισας και επιβλέποντα αυτής της διατριβής για τη συνεχή επίβλεψη και καθοδήγησή του σε όλη τη διάρκεια της υλοποίησής της.
- Δρ. Μαντάνη Γ. και Δρ. Ντάλο Γ. καθηγητές του τμήματος Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου για τη βοήθεια και τη συμπαράσταση τους.
- Κα. Κατερίνα Ράμμου ειδικό τεχνικό προσωπικό του τμήματος για τη βοήθεια και τις συμβουλές κατά τη διεξαγωγή του πειράματος
- κ. Μπόθο Γ. και Σοφογιάννη Χ. τεχνικό προσωπικό του τμήματος για την μεγάλη βοήθεια τους στην κοπή των δοκιμίων.
- Παλυβό Δ. συνάδελφο σπουδαστή για την βοήθεια του στις δοκιμαστικές μετρήσεις.
- Το Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων της Αθήνας για τη διεξαγωγή των υδροθερμικών χειρισμών των δοκιμίων.
- Το Τμήμα Δασοπονίας και Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος καθώς και τον επίκουρο καθηγητή Αδαμόπουλο Σ. για την παραχώρηση του θαλάμου κλιματισμού και την παραχώρηση του χώρου εργασίας.

Τέλος επιθυμούμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για την αμέριστη ηθική και υλική συμπαράσταση που προσέφεραν. Οποιοδήποτε παραβλέψαμε, τον ευχαριστούμε και αυτόν.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....	4
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	5
2.1 ΤΟ ΕΥΛΟ ΚΑΙ ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ .....	5
2.1.1 ΑΝΑΤΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΥΛΟΥ .....	6
2.1.1.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	6
2.1.1.1.1 ΧΡΩΜΑ .....	9
2.1.1.1.2 ΣΤΙΛΠΝΟΤΗΤΑ .....	9
2.1.1.1.3 ΟΣΜΗ.....	9
2.1.1.1.4 ΓΕΥΣΗ.....	10
2.1.1.1.5 ΥΦΗ.....	10
2.1.1.1.6 ΣΧΕΔΙΑΣΗ.....	10
2.1.1.1.7 ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ.....	11
2.1.1.1.8 ΒΑΡΟΣ.....	11
2.1.1.2 ΔΟΜΗ.....	12
2.1.1.2.1 ΚΥΤΤΑΡΙΝΗ.....	12
2.1.1.2.1.1 ΔΟΜΗ ΜΙΚΡΟΙΝΙΔΙΩΝ .....	12
2.1.1.2.1.2 ΒΑΘΜΟΣ ΚΡΥΣΤΑΛΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	13
2.1.1.2.1.3 ΧΗΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ .....	14
2.1.1.2.2 ΗΜΙΚΥΤΤΑΡΙΝΕΣ.....	14
2.1.1.2.2.1 ΕΜΦΑΝΙΣΗ - ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ .....	14
2.1.1.2.2.2 ΧΗΜΙΚΗ ΔΟΜΗ .....	14
2.1.1.2.2.3 ΧΗΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ .....	15
2.1.1.2.2.4 ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ-ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ.....	15
2.1.1.2.3 ΛΙΓΝΙΝΗ .....	16
2.1.1.2.3.1 ΕΜΦΑΝΙΣΗ-ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ .....	16
2.1.1.2.3.2 ΧΗΜΙΚΗ ΔΟΜΗ .....	16
2.1.1.2.3.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΟΜΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΔΕΣΜΟΙ ΑΥΤΩΝ.....	16
2.1.1.2.3.4 ΒΑΘΜΟΣ ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΥ.....	17
2.1.1.2.3.5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΛΙΓΝΙΝΗΣ .....	17
2.1.1.2.3.6 ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ .....	17
2.1.1.2.4 ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΑ .....	18
2.1.1.2.4.1 ΕΜΦΑΝΙΣΗ-ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ .....	18
2.1.1.2.4.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑΣ.....	18
2.1.1.2.4.3 Η ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ.....	18
2.1.2 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ – ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ .....	19
2.1.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ – ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ - ΧΡΩΜΑ.....	23
2.1.3.1 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ .....	23
2.1.3.1.1 ΥΓΡΑΣΙΑ.....	23
2.1.3.1.2 ΔΟΜΗ.....	23
2.1.3.1.3 ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΑ .....	24
2.1.3.1.4 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ .....	24
2.1.3.2 ΧΡΩΜΑ .....	24
2.1.3.2.1 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΠΟΧΡΩΣΕΩΝ.....	25
2.1.3.2.2 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ CIELAB .....	26
2.2 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΥΛΟΥ.....	29

2.2.1. ΧΗΜΙΚΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ.....	30
2.2.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ.....	31
2.2.2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΙΚΑ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΕΥΛΕΙΑΣ .....	32
2.2.2.1.1 ΜΕΘΟΔΟΣ THERMO WOOD.....	32
2.2.2.1.2 ΜΕΘΟΔΟΣ PLATO .....	33
2.2.2.1.3 ΜΕΘΟΔΟΣ OIL HEAT TREATMENT .....	33
2.2.2.1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ RETIFICATION .....	33
2.2.2.1.5 ΜΕΘΟΔΟΣ BOIS PERDURES .....	33
2.2.3 ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ .....	34
2.2.3.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ .....	34
2.2.3.2 ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΟΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ ΕΥΛΟΥ .....	35
2.2.3.2.1 ΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	36
2.2.3.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	36
2.2.3.2.3 ΑΛΛΑΓΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ.....	37
2.2.3.2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	37
2.2.3.2.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΘΕΥΤΗΤΑ .....	38
2.2.3.2.6 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΠΡΟΣΒΟΛΕΣ ΜΥΚΗΤΩΝ .....	38
3. ΣΚΟΠΟΣ .....	39
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	40
4.1. ΥΛΙΚΑ.....	40
4.2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ - ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ .....	41
4.3 ΜΕΘΟΔΟΙ.....	47
4.3.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ. ....	47
4.3.2 ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ .....	54
4.3.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ .....	55
4.3.4 ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΟΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ .....	55
4.3.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΩΜΑΤΟΣ.....	57
4.3.6 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ.....	58
4.3.7. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	59
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ.....	60
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	75
7. ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	77
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ: .....	79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	84

# 1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στα πλαίσια των σπουδών μας στο Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου εκπονήσαμε την παρούσα πτυχιακή διατριβή. Το θέμα της διατριβής είναι: «Η μελέτη της επίδρασης υδροθερμικών χειρισμών στη σκληρότητα και το χρώμα ξύλου οξιάς».

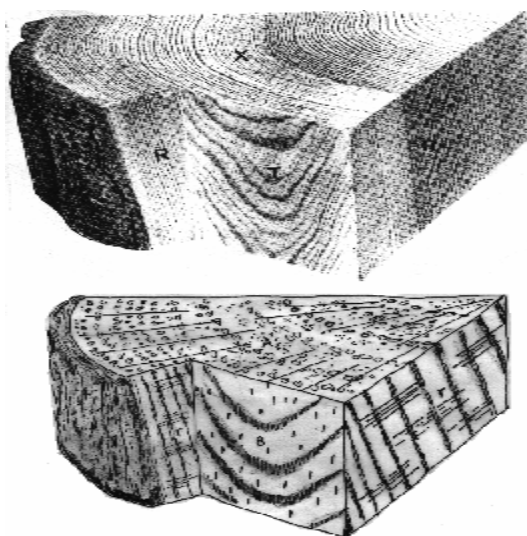
Για την πραγματοποίησή της, ερευνήθηκε ξύλο της οξιάς πριν και μετά από συγκεκριμένους χειρισμούς που καλούνται υδροθερμικοί (άτμιση). Στην έρευνα αυτή πραγματοποιήθηκαν μελέτες επάνω στο χρώμα και την σκληρότητα του ξύλου υπό τυποποιημένες εργαστηριακές μεθόδους. Το χρώμα αποτελεί σημαντικό αισθητικό κριτήριο για την επιλογή του ξύλου και η σκληρότητα μια βασική μηχανική ιδιότητα για την οποία το υλικό αυτό επιλέγεται σε διάφορες κατασκευές και χρήσεις. Στις μέρες μας το ξύλο τροποποιείται, έτσι ώστε να βελτιωθούν κάποιες από τις ιδιότητές του, διότι σαν υλικό εκτός από τα πολλά πλεονεκτήματα που διαθέτει παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα. Η διατριβή αυτή αποτελεί μία προσπάθεια σύγκρισης των παραπάνω ιδιοτήτων και ακόμη περαιτέρω της συσχέτισής τους.

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

### 2.1 ΤΟ ΞΥΛΟ ΚΑΙ ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ

Το ξύλο αποτελεί ένα πολύτιμο υλικό, το οποίο από τα αρχαία χρόνια προσφέρει τις έξοχες ιδιότητές του στην υπηρεσία του ανθρώπου. Στην αρχική του μορφή χρησιμοποιήθηκε ως καύσιμη ύλη, σαν βασικό στοιχείο κατασκευής όπλων – δοράτων, εργαλείων, ως δομικό υλικό για κατασκευή καλυβών και σπιτιών, όπως επίσης και για την εξόρυξη μαρμάρων. Σήμερα με την εξέλιξη τις τεχνολογίας το ξύλο αλλά και τα σύγχρονα προϊόντα, τα οποία παράγονται από αυτό, μελετούνται και επεξεργάζονται συνεχώς με σκοπό την πληρέστερη κατανόηση των ιδιοτήτων τους και επομένως την βέλτιστη χρησιμοποίησή τους. Έτσι έχουμε περισσότερα από 2000 προϊόντα όπως καυσόξυλα, χαρτί, πριστή ξυλεία, μοριοπλάκα, MDF, ξυλάνθρακας, ρετσίνι, πισσέλαιο, κόντρα πλακέ, ξυλόφυλλα, ταννίνες, νέφτι και πολλά άλλα. Ακόμη το ξύλο βρίσκει χρήσεις σε δομικές κατασκευές, όπως κορμόσπιτα, ξύλινες κατοικίες τύπου πάνελ, ξύλινες γέφυρες, έπιπλα κήπου και συστήματα στέγασης (υπόστεγα) καθώς και στην επιπλοποιία και σε ξυλουργικές κατασκευές (Μαντάνης 2004)

Τα είδη ξύλου χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τα κωνοφόρα και τα πλατύφυλλα. Τα κωνοφόρα είναι δένδρα τα οποία από βοτανικής άποψης ονομάζονται τα είδη που φέρουν «κώνους» και ανήκουν στην κλάση Γυμνόσπερμα. Τέτοια είδη είναι τα πεύκα, η ελάτη, η ερυθρελάτη, το κυπαρίσσι και ο κέδρος. Τα πλατύφυλλα είναι δένδρα από βοτανικής άποψης ονομάζονται τα είδη που φέρουν 'πλατιά' φύλλα και που ανήκουν στην κλάση Αγγειόσπερμα. Τέτοια είδη είναι η δρυς, η καστανιά, η οξιά, το πλατάνι, η λεύκη, το σφενδάμι, η καρυδιά και άλλα είδη.

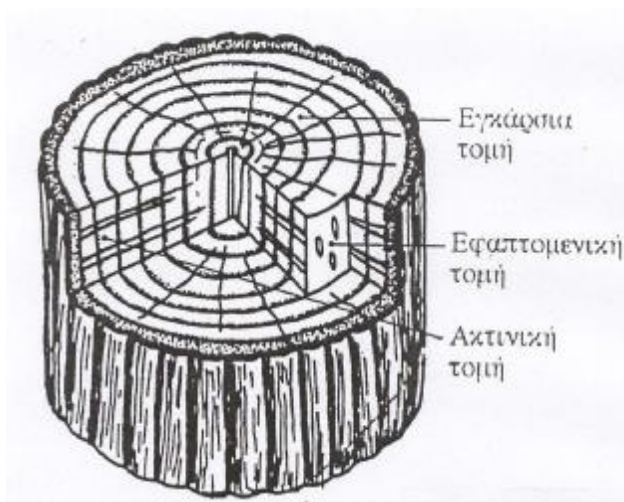


Εικόνα 1. Τομές ξύλου κωνοφόρων και πλατύφυλλων.

## 2.1.1 ΑΝΑΤΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

### 2.1.1.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

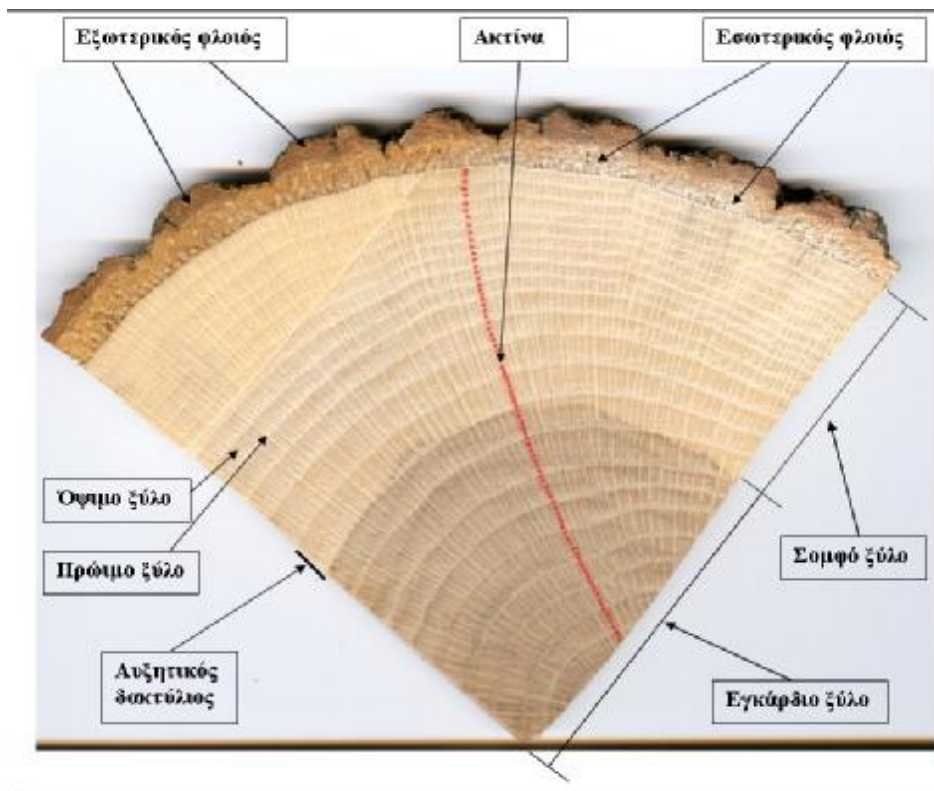
Τα χαρακτηριστικά της δομής του ξύλου χωρίζονται σε μακροσκοπικά, μικροσκοπικά και φυσικά. Μακροσκοπικά είναι τα χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν να διακριθούν με γυμνό μάτι ή με μεγεθυντικό φακό. Η εμφάνιση τους εξαρτάται από την διεύθυνση του ξύλου η οποία μπορεί να είναι εγκάρσια, ακτινική ή εφαπτομενική ως προς τον κορμό του δέντρου.



**Εικόνα 2.** Οι διευθύνσεις του ξύλου ως προς τον κορμό του δένδρου

Στην εγκάρσια επιφάνεια διακρίνονται κυρίως η εντεριώνη, το ξύλο, οι ακτίνες και ο φλοιός. Η εντεριώνη βρίσκεται στο κέντρο και τα χαρακτηριστικά της ποικίλουν σε διαφορετικά είδη δένδρων. Το ξύλο χαρακτηρίζεται από την παρουσία στρώσεων, οι οποίες είναι τοποθετημένες γύρω από την εντεριώνη και ονομάζονται αυξητικοί δακτύλιοι. Η παρουσία τους οφείλεται στο μηχανισμό αυξήσεως των δένδρων. Η διάκριση των αυξητικών δακτυλίων οφείλεται σε διαφορές δομής του ξύλου που παράγεται την ίδια αυξητική περίοδο. Έτσι το ξύλο που παράγεται την άνοιξη ονομάζεται πρώιμο ή εαρινό, ενώ το ξύλο που παράγεται αργότερα καλείται όψιμο ή θερινό. Τα μέρη αυτά είναι δυνατό να διαφέρουν στην πυκνότητα, το χρώμα και άλλα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά. Σε αυτή την επιφάνεια διακρίνεται επίσης το σομό και το εγκάρδιο ξύλο. Το εσωτερικό τμήμα με σκοτεινότερο χρώμα ονομάζεται εγκάρδιο και το περιφερειακό με ανοιχτότερο χρώμα καλείται σομό. Το ποσοστό του εγκάρδιου επηρεάζεται από το είδος του δένδρου και τις αυξητικές συνθήκες. Βαθμιαία το σομό ξύλο γίνεται εγκάρδιο. Στην εγκάρσια τομή οι ακτίνες παρουσιάζονται σαν γραμμές τοποθετημένες από την εντεριώνη προς τον φλοιό και

διαφέρουν στα διάφορα είδη ξύλου. Ο φλοιός είναι το στρώμα το οποίο περιβάλλει το ξύλο και διακρίνεται σε εσωτερικό και εξωτερικό. Ο εσωτερικός είναι στενότερος, έχει ανοιχτότερο χρώμα και είναι χυμώδης, ενώ ο εξωτερικός είναι πλατύτερος, έχει σκοτεινότερο χρώμα και είναι ξηρός και υδρόφοβος. Βαθμιαία ο εσωτερικός φλοιός μετατρέπεται σε εξωτερικό.



**Εικόνα 3.** Χαρακτηριστικά της εγκάρσιας επιφάνειας

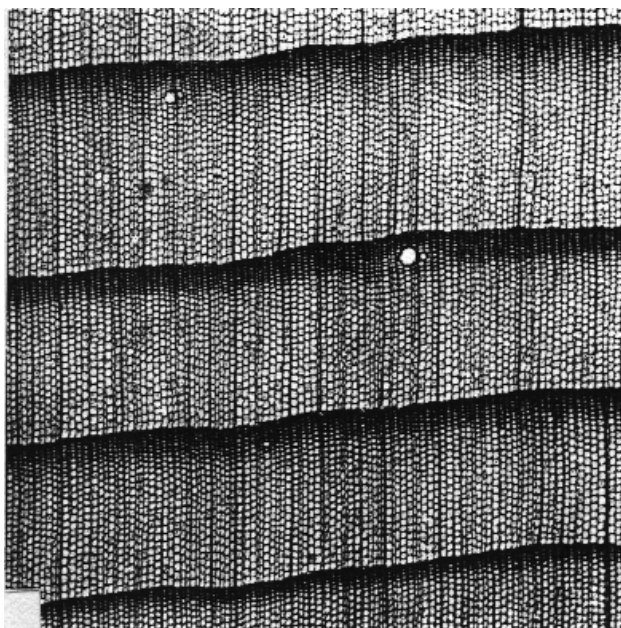
Στην ακτινική επιφάνεια παρουσιάζονται χαρακτηριστικά τα οποία περιγράφονται και στην εγκάρσια (εντεριώνη, αυξητικοί δακτύλιοι, πρώιμο, όψιμο εγκάρδιο, σομφό ξύλο και εσωτερικός, εξωτερικός φλοιός) σαν επιμήκειες ταινίες. Μεγάλοι πόροι πλατύφυλλων ειδών και οι ρητινοφόροι αγωγοί φαίνονται σαν λεπτές επιμήκειες γραμμές. Οι ακτίνες ακολουθούν κάθετη διεύθυνση και συνήθως παρουσιάζονται στην επιφάνεια τμήματα τους με τη μορφή ακανόνιστων κηλίδων. Στο ξύλο δρυός είναι χαρακτηριστική η εμφάνιση των ακτίνων σε ακτινικές επιφάνειες η οποία δημιουργεί την χαρακτηριστική εμφάνιση της χρυσαλίδας.

Η επαπτομενική επιφάνεια έχει παραβολοειδή σχεδίαση (νερά του ξύλου), η οποία είναι λιγότερο ή περισσότερο έντονη ανάλογα με τη χρωματική διαφορά πρώιμου και όψιμου ξύλου. Οι ακτίνες έχουν επιμηκυσμένο και ατρακτοειδές σχήμα.

Τα μικροσκοπικά χαρακτηριστικά του ξύλου είναι τα χαρακτηριστικά εκείνα τα οποία είναι δυνατόν να τα αντιληφθούμε μόνο με τη χρήση απλού μικροσκοπίου. Η μάζα του ξύλου αποτελείται από κύτταρα που συνδέονται μεταξύ τους με διάφορους τρόπους. Παρατηρώντας τα κύτταρα αυτά στο μικροσκόπιο με σχετικά



μικρή μεγέθυνση διαπιστώνεται ότι τα περισσότερα είναι ινόμορφα. Με μεγαλύτερη μεγέθυνση μπορούμε να διακρίνουμε διαφορετικά είδη κυττάρων που παρουσιάζουν τα παρακάτω γενικά χαρακτηριστικά. Τα κύτταρα των κωνοφόρων ειδών ξύλου παρουσιάζουν μορφολογικές διαφορές από τα κύτταρα ξύλου των πλατυφύλλων. Στα κωνοφόρα είδη τα περισσότερα κύτταρα είναι μακριά, σωληνοειδή και στενά, με κλειστά άκρα και ορισμένα από αυτά είναι περισσότερο ή λιγότερο στρογγυλεμένα. Τα τοιχώματα τους είναι άλλοτε παχιά ή λεπτά και παρουσιάζουν ασυνέχειες οι οποίες ονομάζονται βοθρία. Τα κύτταρα των κωνοφόρων ονομάζονται αξονικές τραχειίδες. Εκτός από αυτές υπάρχουν και άλλα λίγα κύτταρα με περίπου ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο σχήμα που ονομάζονται παρεγχυματικά. Σε ορισμένα είδη κωνοφόρων παρατηρούνται και ακτινικές τραχειίδες. Τα κύτταρα αυτά με σχετικά μικρή μεγέθυνση παρουσιάζουν μια γενική ομοιότητα με τα παρεγχυματικά αλλά είναι σχετικά ακανόνιστα και έχουν βοθρία που μοιάζουν με αυτά των αξονικών τραχειίδων. Στα πλατύφυλλα έχουμε μεγαλύτερη ποικιλία κυττάρων τα περισσότερα κύτταρα έχουν γενική ομοιότητα με τις τραχειίδες των κωνοφόρων αλλά είναι μικρότερα. Τα κύτταρα αυτά ονομάζονται ίνες και αναλόγως με τα είδος του ξύλου έχουν παχιά ή λεπτά τοιχώματα. Επίσης υπάρχουν παρεγχυματικά κύτταρα και ένας σχετικά μικρός αριθμός σωληνοειδών κυττάρων με ανοιχτά άκρα τα οποία καλούνται μέλη αγγείων. Στο ξύλο ορισμένων πλατυφύλλων περιλαμβάνονται και τραχειίδες που η μορφολογία τους είναι διαφορετική από αυτές των κωνοφόρων. Όλα τα κύτταρα των πλατυφύλλων έχουν βοθρία που είναι πολύ περισσότερα στα μέλη αγγείων και στις τραχειίδες.



**Εικόνα 4.** Μικροσκοπική εμφάνιση εγκάρσιας τομής ξύλου κωνοφόρου.  
(αυξητικοί δακτύλιοι, πρώιμο/όψιμο ξύλο, ρητινοφόροι αγωγοί)

Τα φυσικά χαρακτηριστικά του ξύλου είναι ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία βοηθούν στην μακροσκοπική περιγραφή του. Αυτά διακρίνονται στο χρώμα, την στιλπνότητα, την οσμή, τη γεύση, τη σχεδίαση, το βάρος και τη σκληρότητα. (Μαντάνης 2004).

#### 2.1.1.1.1 ΧΡΩΜΑ

Το χρώμα του ξύλου ποικίλει και οφείλεται σε οργανικές ουσίες που υπάρχουν μέσα στο ξύλο σε ορισμένους χώρους (κενούς χώρους, κυτταρικές κοιλότητες). Οι ουσίες αυτές ονομάζονται εκχυλίσματα, διότι είναι δυνατό να εκχυλισθούν και να απομακρυνθούν από το ξύλο με νερό ή με ουδέτερους ή οργανικούς διαλύτες.

Το φυσικό χρώμα των ειδών ξύλου ποικίλει από λευκό (λεύκη) μέχρι μαύρο (έβενος). Τα περισσότερα ελληνικά ξύλα έχουν χρώματα σε απόχρωση του καστανού. Το φυσικό χρώμα του ξύλου γίνεται σκοτεινότερο όταν εκτεθεί στον ατμοσφαιρικό αέρα, γιατί οξειδώνονται τα οργανικά συστατικά του. Σε ορισμένα είδη, όπως στη κλήθρα και την ακακία, το χρώμα σκουραίνει αμέσως μετά την υλοτομία του δένδρου. Ακόμη υπάρχουν διαφορές χρωμάτων όχι μόνο σε διαφορετικά είδη αλλά και στο ίδιο είδος, κυρίως ανάμεσα σε εγκάρδιο και σομφό ξύλο. Επίσης υπάρχουν διαφορές σε πρώιμο και όψιμο ξύλο και άλλες που προέρχονται από ακτίνες ή τους ρητινοφόρους αγωγούς.

Η ποικιλία των χρωμάτων σε συνδυασμό με την σχεδίαση αποτελεί πολύ σημαντικό πλεονέκτημα του ξύλου για διάφορες κατασκευές, ιδίως σε έπιπλα. Χρωματικές διαφορές στο ίδιο τεμάχιο μπορεί να είναι μειονέκτημα και να υποβαθμίζουν την ποιότητα του σε ορισμένες χρήσεις. (π.χ. παρκέτα)

Τεχνητή μεταβολή του χρώματος του ξύλου μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, όπως λ.χ. με άτμιση, με βαφή και με λευκαντικές ουσίες. Στη χώρα μας, η οξιά και η καρυδιά συνήθως αμιζούνται για να γίνει σκούρο το χρώμα τους.

#### 2.1.1.1.2 ΣΤΙΛΠΝΟΤΗΤΑ

Ορισμένα είδη ξύλων έχουν φυσική στιλπνότητα, που διακρίνεται από την τεχνητή γιατί η δεύτερη είναι μόνο επιφανειακή. Η φυσική στιλπνότητα είναι μεγαλύτερη σε ακτινικές επιφάνειες. Η στιλπνότητα επηρεάζεται από τη γωνία φωτισμού. Φυσική στιλπνότητα έχουν τα ξύλα ερυθρελάτης, πλατάνου, λεύκης κ.α. Αντίθετα άλλα ξύλα είναι λιπαρά στη αφή.

#### 2.1.1.1.3 ΟΣΜΗ

Η οσμή προέρχεται από τις πτητικές ουσίες που υπάρχουν στα εκχυλίσματα. Οι ουσίες αυτές βρίσκονται σε μεγαλύτερα ποσοστά στο εγκάρδιο και η οσμή του εντονότερη. Η οσμή ελαττώνεται με το πέρασμα του χρόνου. Όπως συμβαίνει και με το χρώμα είναι δύσκολο να περιγραφεί με λέξεις (π.χ. το κυπαρίσσι και ο κέδρος έχουν αρωματική οσμή και το πεύκο ρητινώδη). Η οσμή του ξύλου μπορεί να αποτελεί πλεονέκτημα ή μειονέκτημα ανάλογα με το προϊόν που θα παραχθεί από αυτό και την τελική χρήση ή εφαρμογή του στην πράξη. Η δυσάρεστη οσμή μπορεί να προέλθει από προσβολή του ξύλου από μύκητες .

#### 2.1.1.1.4 ΓΕΥΣΗ

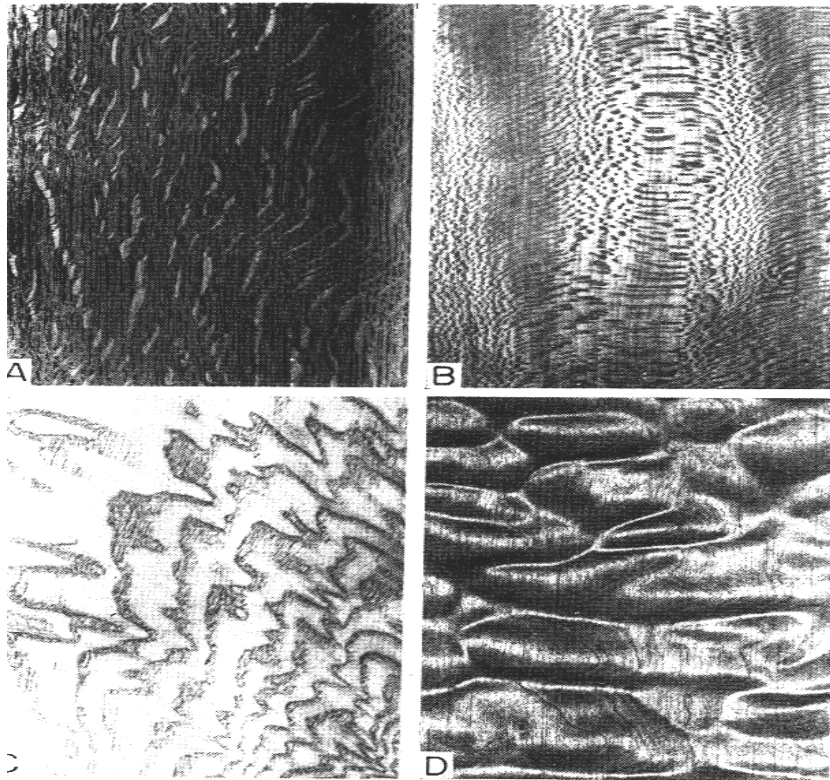
Η γεύση του ξύλου επίσης οφείλεται σε πτητικές ουσίες (εκχυλίσματα) διαφορετικής κατηγορίας, είναι εντονότερη στο εγκάρδιο ξύλο και ελαττώνεται με το πέρασμα του χρόνου ιδίως σε εκτεθειμένες επιφάνειες. Ξύλα που περιέχουν ταννίνες (λ.χ. καστανιά, δρύς) έχουν πικρή γεύση.

#### 2.1.1.1.5 ΥΦΗ

Ο όρος υφή αναφέρεται στις διαφορές δομής, όπως αυτές εμφανίζονται στην εγκάρσια τομή του ξύλου. Οι διαφορές αυτές αναφέρονται στο μέγεθος των κυττάρων και στην κατανομή των κυττάρων στο πρώιμο και όψιμο ξύλο και στις διαφορές πυκνότητας μεταξύ πρώιμου και όψιμου ξύλου. Η υφή διακρίνεται σε: (α) τραχεία, όταν έχουμε μεγάλη διάμετρο κυττάρων (πορώδες ή χονδρόπορο ξύλο), (β) λεπτή, όταν έχουμε μικρές διαμέτρους κυττάρων (λεπτόπορο ξύλο), (γ) ομοιόμορφη, όταν τα κύτταρα κατανέμονται ομοιόμορφα μέσα στον ετήσιο δακτύλιο, όπως συμβαίνει με τα διασπορόπορα ξύλα με λεπτές ακτίνες, και (δ) ανομοιόμορφη, όταν τα κύτταρα κατανέμονται ανομοιόμορφα μέσα στον ετήσιο δακτύλιο, όπως συμβαίνει στα δακτυλιόπορα πλατύφυλλα με πλατιές ακτίνες και σε κωνοφόρα με απότομη μετάβαση από το πρώιμο στο όψιμο ξύλο. (Τσουμής 2009)

#### 2.1.1.1.6 ΣΧΕΔΙΑΣΗ

Η κατανομή των μακροσκοπικών χαρακτηριστικών (εγκάρδιο/σομφό, αυξητικοί δακτύλιοι, πρώιμο/όψιμο, ακτίνες) του ξύλου στην ακτινική και στην εφαπτομενική τομή του ονομάζεται σχεδίαση. Η σχεδίαση των ακτινικών τομών συνήθως είναι πιο ελκυστική και για το λόγο αυτό επιδιώκεται η δημιουργία τέτοιων τομών κατά την παραγωγή λεπτών ξυλοφύλλων (Εικ 5. 4A,4B) που χρησιμοποιούνται ως διακοσμητικά. Σε ορισμένα είδη προτιμάται και η σχεδίαση της εφαπτομενικής τομής, όπως λ.χ. στο φράξο και το σφενδάμι (Εικ. 5. 4C,4D).



**Εικόνα 5.** Σχεδίαση ξύλου (A: Ακτινική τομή δρυός, χρυσαλίδα), (B: Ακτινική τομή πλατανιού, δαντέλα), (C: Εφαπτομενική τομή φράξου) και (D: Εφαπτομενική τομή σφένδαμου).

#### 2.1.1.1.7 ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

Σκληρότητα είναι ένα φυσικό χαρακτηριστικό που δείχνει πόσο σκληρό ή μαλακό είναι το ξύλο. Όταν χρησιμοποιείται για διαγνωστικούς λόγους, τότε η εκτίμηση της σκληρότητας μπορεί να γίνει κατά προσέγγιση με πίεση του ξύλου με το νύχι μας. Η σκληρότητα είναι και μηχανική ιδιότητα του ξύλου και προσδιορίζεται με ειδικές μεθόδους σε εργαστήρια.

#### 2.1.1.1.8 ΒΑΡΟΣ

Το βάρος αποτελεί χρήσιμο διαγνωστικό (φυσικό) χαρακτηριστικό του ξύλου. Για την αναγνώριση των διαφόρων ειδών χρησιμοποιείται το βάρος του ξύλου ως βασικό κριτήριο. Η εκτίμηση γίνεται με απλή ανύψωση με το χέρι και απαιτεί σχετική εμπειρία. Βέβαια πρέπει πάντοτε να λαμβάνουμε υπόψη εάν το ξύλο είναι εγκάρδιο ή σομφό, καθώς και την περιεκτικότητά του σε υγρασία.

Τα ελληνικά είδη ξύλου έχουν βάρος που κυμαίνεται από  $0,30 \text{ g/cm}^3$  μέχρι  $0,90 \text{ g/cm}^3$  (=ξηρή πυκνότητα) σε υγρασία 12% περίπου. Το βάρος είναι ιδιότητα σημαντική που, επιστημονικά, είναι μετρήσιμη ως πυκνότητα, αφού δείχνει την ποσότητα της ξυλώδους μάζας (ύλης) που περικλείεται στη μονάδα του όγκου. (Μαντάνης 2004).

## 2.1.1.2 ΔΟΜΗ

Δομή, καλείται η αρχιτεκτονική κατασκευή του ξύλου από τα δομικά στοιχεία που το αποτελούν. Η δομή του ξύλου εξηγεί τη συμπεριφορά του ως υλικό, γιατί υπάρχει στενή σχέση σε αυτήν, τις ιδιότητες του και στις δυνατότητες αξιοποίησης του.

Ο άνθρακας, το υδρογόνο και το οξυγόνο ενώνονται και σχηματίζουν τα κύρια συστατικά του ξύλου – κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη, και μικρές ποσότητες από πηκτινικές ουσίες. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των ανόργανων αυτών συστατικών γίνεται με ορισμένες εργαστηριακές μεθόδους και διαλυτικά μέσα. Αποτελέσματα με βάση τις καθιερωμένες μεθόδους δείχνουν ότι τα ποσοστά των οργανικών συστατικών των διαφόρων ειδών ξύλου κυμαίνονται στα ακόλουθα ποσοστά (κατά προσέγγιση και με βάση το ξηρό βάρος του ξύλου): κυτταρίνη 40-45%, χωρίς μεγάλες αποκλίσεις ανάμεσα σε κωνοφόρα και πλατύφυλλα, λιγνίνη 25-35% σε κωνοφόρα και 17-25% σε πλατύφυλλα, ημικυτταρίνες 20% σε κωνοφόρα και 15-35% σε πλατύφυλλα. πηκτινικές ουσίες υπάρχουν σε πολύ μικρές ποσότητες 1% περίπου του ξύλου (Τσουμής 2009).

Γενικότερα οι ημικυτταρίνες μαζί με τη λιγνίνη δρουν ως συγκολλητικές ουσίες και συγκρατούν τα μόρια και τα μικροϊνίδια της κυτταρίνης. Το σύμπλοκο «κυτταρίνη-ημικυτταρίνες-λιγνίνη» θα μπορούσε να συσχετισθεί με τα σύνθετα ενισχυμένα υλικά που παρασκευάζει ο σύγχρονος άνθρωπος, όπου τα μικροϊνίδια της κυτταρίνης είναι εμβυθισμένα στο άμορφο υλικό ημικυτταρίνες-λιγνίνη (Μαντάνης 2004).

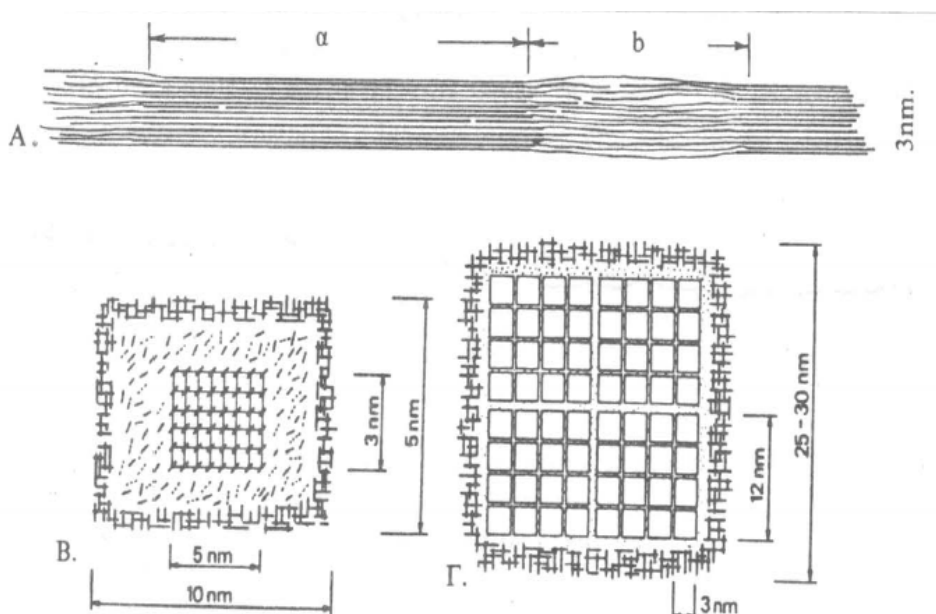
### 2.1.1.2.1 ΚΥΤΤΑΡΙΝΗ

Η κυτταρίνη αποτελείται από μόρια γλυκόζης ( $C_6H_{12}O_6$ ), που είναι μονοσάκχαρο και σχηματίζεται από ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ) με τη φωτοσύνθεση. Τα μόρια γλυκόζης συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν μακριές αλυσίδες. Κατά την ένωση καθενός ζεύγους μορίων γλυκόζης αποβάλλεται ένα μόριο νερού και κάθε μόριο γλυκόζης που προστίθεται στην αλυσίδα περιστρέφεται κατά  $180^\circ$ . Αυτή η διαδικασία επανειλημμένης προσθήκης ενός αόριστου αριθμού μορίων γλυκόζης ονομάζεται πολυμερισμός. Ο εμπειρικός τύπος της κυτταρίνης είναι ( $C_6H_{10}O_5$ ) που είναι και ο βαθμός πολυμερισμού, δηλαδή ο αριθμός μορίων άνυδρης γλυκόζης σε κάθε αλυσίδα κυτταρίνης (βασικό μόριο κυτταρίνης). Ο αριθμός αυτός σε φυσική κυτταρίνη, δηλαδή όπως βρίσκεται στο ξύλο είναι κατά μέσο όρο,  $DP = 8.000-10.000$  περίπου.

#### 2.1.1.2.1.1 ΔΟΜΗ ΜΙΚΡΟΙΝΙΔΙΩΝ

Στην ουσία λοιπόν η κυτταρίνη αποτελείται από γραμμικά μέρη με στοιχειώδη μονάδα δόμησης τη γλυκόζη και είναι γενικά αποδεκτό ότι τα μόρια της κυτταρίνης σχηματίζουν μεγαλύτερα αθροίσματα, τα μικροϊνίδια. Στη διάταξη τους σε μικροϊνίδια οι μοριακές αλυσίδες τοποθετούνται παράλληλα μεταξύ τους και σχηματίζουν κατά μήκος τους διαδοχικά περιοχές υψηλού βαθμού προσανατολισμού

και περιοχές μικρότερου βαθμού προσανατολισμού που ονομάζονται αντίστοιχα κρυσταλλικές περιοχές ή κρυσταλλίτες και άμορφες περιοχές.



**Εικόνα 6.** Δομή μικροϊνιδίων (Φιλίππου 1986)

A. κατά μήκος δομή μικροϊνιδίου ( $a$ = κρυσταλλικές περιοχές , $b$ = άμορφες περιοχές )  
B.Γ. Εγκάρσια τομή μικροϊνιδίου (B. ο κρυσταλλικός πυρήνας περιβάλλεται από άμορφη στρώση ημικυτταρινών και λιγνίνης. Γ. Ο κρυσταλλικός πυρήνας αποτελείται από στοιχειώδη ινίδια).

Οι κρυσταλλικές περιοχές θεωρούνται πρισματικές. Η μετάβαση από κρυσταλλικές σε άμορφες περιοχές είναι βαθμιαία. Κάθε μικροϊνίδιο περιβάλλεται από άμορφη ή παρακρυσταλλική στρώση που αποτελείται από ημικυτταρίνες, λιγνίνη και εκχυλίσματα.

Ανάμεσα και μέσα στα μικροϊνίδια υπάρχουν μικροδιάκενα, όπου στα διάκενα αυτά είναι τοποθετημένα τα μη κυτταρικά συστατικά (ημικυτταρίνες, λιγνίνη, εκχυλίσματα). Υποστηρίζεται ακόμα από ορισμένους ερευνητές ότι οι αλυσίδες των ημικυτταρινών (κυρίως μανάννης) διατάσσονται παράλληλα με τις αλυσίδες της κυτταρίνης και συνδέουν τη λιγνίνη με την κυτταρίνη.

#### 2.1.1.2.1.2 ΒΑΘΜΟΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΤΗΤΑΣ

Βαθμός κρυσταλλικότητας της κυτταρίνης ονομάζεται η σχετική αναλογία των κρυσταλλικών και άμορφων περιοχών των μικροϊνιδίων και εκφράζεται σε εκατοστιαία ποσοστά. Π.χ. βαθμός κρυσταλλικότητας 70% σημαίνει ότι τι εξεταζόμενο δείγμα κυτταρίνης αποτελείται κατά 70% από κρυσταλλίτες και 30% από άμορφες περιοχές. Ο βαθμός κρυσταλλικότητας ποικίλει στα διάφορα είδη κυτταρίνης και επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τη μέθοδο προσδιορισμού. Στη φυσική κυτταρίνη του ξύλου ο βαθμός αυτός κυμαίνεται από 70-90%. Διαφορές στο βαθμό κρυσταλλικότητας έχουν παρατηρηθεί μεταξύ κανονικού και ακανόνιστου ξύλου, ανώριμου και ώριμου ξύλου, φλοιού και ξύλου.

Ο προσδιορισμός του βαθμού κρυσταλλικότητας μπορεί να γίνει με διάφορες φυσικές και χημικές μεθόδους, όπως ανάλυση με ακτίνες X, υγροσκοπικότητα, διόγκωση και πυκνότητα της κυτταρίνης, εναλλαγή με δευτέριο (D<sub>2</sub>O) και υδρόλυση της κυτταρίνης με πυκνά οξέα. Ο βαθμός κρυσταλλικότητας αποτελεί μια πολύ σημαντική ιδιότητα της κυτταρίνης, διότι από αυτόν επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό οι φυσικές ιδιότητες (διόγκωση, προσρόφηση, διαλυτότητα) και οι χημικές ιδιότητες της κυτταρίνης.

#### 2.1.1.2.1.3 ΧΗΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Όπως όλοι οι πολυσακχαρίτες τα μόρια της κυτταρίνης αντιδρούν με τα υδροξύλια, με τις ακετυλικές ομάδες (γλυκοζιτικούς δεσμούς) και με τις αλδεϋδικές ή ημιακετυλικές ομάδες που βρίσκονται στο τέλος κάθε μοριακής αλυσίδας.

Αντιδράσεις της κυτταρίνης στην αλδεϋδική ή ημιακετυλική γλυκόζη που βρίσκεται στο τέλος κάθε μορίου κυτταρίνης έχουν μόνο αναλυτική σπουδαιότητα. Ο μεγαλύτερος αριθμός των χημικών αντιδράσεων της κυτταρίνης, στις οποίες βασίζεται και η παραγωγή σχεδόν όλων των παραγώγων της βασίζεται στην παρουσία υδροξυλίων κατά μήκος των μορίων της. Οι αντιδράσεις των υδροξυλίων της κυτταρίνης περιλαμβάνουν αντιδράσεις προσθήκης, αντιδράσεις αντικατάστασης και αντιδράσεις οξειδωσης.

Η κυτταρίνη ως γραμμικό πολυμερές, έχει επίσης την ιδιότητα να αντιδρά με άλλα πολυμερή ή πολυμεριζόμενες ενώσεις και να σχηματίζει συμπολυμερή.

#### 2.1.1.2.2 ΗΜΙΚΥΤΤΑΡΙΝΕΣ

##### 2.1.1.2.2.1 ΕΜΦΑΝΙΣΗ - ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Οι ημικυτταρίνες είναι μίγμα συμπολυμερών ουσιών (πολυσακχαριτών) και μαζί με την κυτταρίνη και τη λιγνίνη συγκροτούν τα κυτταρικά τοιχώματα των ξύλινων ιστών.

Το ποσοστό των ημικυτταρινών κυμαίνεται σε μεγάλα όρια (17-42%) στα διάφορα είδη, ωστόσο σε ξύλο πλατύφυλλων υπάρχουν κατά κανόνα περίπου 30% περισσότερες ημικυτταρίνες απ' ότι σε ξύλο κωνοφόρων και είναι πολυσακχαρίτες που απαντώνται σε μεγάλα ποσοστά στη μεσοκυττάρια στρώση και στο πρωτογενές τοίχωμα.

Είναι άμορφες (μη κρυσταλλικές) και παρουσιάζουν χαμηλό βαθμό πολυμερισμού DP=150-300, είναι έντονα υγροσκοπικές και παρουσιάζουν υψηλή χημική δραστηριότητα.

##### 2.1.1.2.2.2 ΧΗΜΙΚΗ ΔΟΜΗ

Οι ημικυτταρίνες είναι συλλογικός όρος και αναφέρεται σε μίγμα πολυμερών μορίων (πολυσακχαριτών) τα οποία δομούνται από δυο ή περισσότερα απλά σάκχαρα. Η πλήρης υδρόλυση των ημικυτταρινών μας δίνει τις εξόζες D-γλυκόζη, D-μαννόζη, D-γαλακτόζη, ουρονικά οξέα και τις πεντόζες D-ξυλόζη, L-αραβινόζη και σπανιότερα L-ραμνόζη, L-φουκόζη. Με εξαίρεση την L-αραβινόζη,

όλα τα παραπάνω σάκχαρα στην ένωση τους με πολυμερή μόρια σχηματίζουν εξαμελή δακτύλιο με ένα εταιροάτομο οξυγόνου (πυρανόζη-p). Η L-αραβινόζη σχηματίζει πενταμελή δακτύλιο με ένα εταιροάτομο οξυγόνου (φουρανόζη-f).

Οι ημικυτταρίνες αποτελούνται τόσο από γραμμικά όσο και από διακλαδισμένα μέρη με στοιχειώδεις μονάδες δόμησης τη γλυκόζη, τη μαννόζη και τη ξυλόζη διότι σε αντίθεση με τα πολυμερή μόρια της κυτταρίνης που είναι γραμμικά φέρουν πλευρικές διακλαδώσεις.

#### 2.1.1.2.2.3 ΧΗΜΙΚΗ ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ

Οι ημικυτταρίνες ως πολυσακχαρίτες μοιάζουν με την κυτταρίνη στη χημική τους δομή και στις ιδιότητες. Όπως στην κυτταρίνη έτσι και στις ημικυτταρίνες τα υδροξύλια σχηματίζουν υδρογονικούς δεσμούς, αποκοδομούνται με την επίδραση οξέων, αλκάλων, οξειδωτικών ουσιών ενζύμων, φωτός και θερμότητας.

Παρά τις ομοιότητες αυτές υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες. Οι διαφορές στη χημική δραστηριότητα οφείλονται περισσότερο σε φυσικές και λιγότερο σε χημικές αιτίες. Σε αντίθεση με την κυτταρίνη οι ημικυτταρίνες είναι άμορφες και είναι τοποθετημένες στα κυτταρικά τοιχώματα ανάμεσα στα μικροϊνίδια ή και τις άμορφες περιοχές. Έτσι τα χημικά αντιδραστήρια έρχονται σε επαφή και αντιδρούν με τις ημικυτταρίνες ευκολότερα απ' ό,τι με την κυτταρίνη. Το σχετικά μικρό μέγεθος των πολυμερών μορίων και η παρουσίαση πλευρικών διακλαδώσεων κατά μήκος των μοριακών αλυσίδων καθιστούν διαλυτές τις ημικυτταρίνες σε διάφορα διαλύματα.

#### 2.1.1.2.2.4 ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΟΤΗΤΑ-ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ

Οι ημικυτταρίνες, λόγω της ύπαρξης υδροξυλίων, ακετυλομάδων και καρβοξυλικών ομάδων στο σκελετό των μοριακών αλυσίδων και στις πλευρικές διακλαδώσεις, έχουν μεγάλη υγροσκοπικότητα. Μετρήσεις σε ξύλο ευκαλύπτου (*Eucalyptus regnans*) και στα δομικά συστατικά του έδειξαν ότι οι ημικυτταρίνες έχουν σχεδόν διπλάσια υγροσκοπικότητα από την κυτταρίνη και ακόμη μεγαλύτερη από την λιγνίνη. Αυτό συμβαίνει λόγω της απουσίας κρυσταλλιτών. Η ποσότητα του προσροφούμενου νερού είναι συνάρτηση της σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

Πέρα από την μεγάλη υγροσκοπικότητα τους οι ημικυτταρίνες στη μορφή που βρίσκονται στη μάζα του ξύλου είναι αδιάλυτες στο νερό. Μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό (1-10%) διαλύονται στο νερό. Πιστεύεται ακόμη ότι οι ημικυτταρίνες συνδέονται με την λιγνίνη με χημικούς δεσμούς. Η ύπαρξη των δεσμών αυτών και κυρίως η πλοκή των μακρομορίων εμποδίζουν την διάλυση των ημικυτταρινών στο νερό.

Η προσθήκη μικρών ποσοτήτων αλκάλων στο νερό μπορεί να προκαλέσει απεριόριστη διόγκωση των ημικυτταρινών καθώς και τη διάλυση τους. Όλες οι ημικυτταρίνες είναι αδιάλυτες σε ουδέτερους οργανικούς διαλύτες (πολικούς ή μη). Οι οργανικοί διαλύτες διογκώνουν τις ημικυτταρίνες με τρόπο ανάλογο της διόγκωσης της κυτταρίνης. Η διάλυση των ημικυτταρινών σε οργανικούς διαλύτες απαιτεί την μετατροπή τους σε παράγωγα (αιθέρες, εστέρες).



### 2.1.1.2.3 ΛΙΓΝΙΝΗ

#### 2.1.1.2.3.1 ΕΜΦΑΝΙΣΗ-ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Η λιγνίνη είναι το αφθονότερο και σπουδαιότερο, μετά την κυτταρίνη, συστατικό της φυτικής βιομάζας. Σε αντίθεση όμως με την κυτταρίνη δεν απαντάται σε όλα τα φυτικά είδη. Ακόμη η λιγνίνη δεν βρίσκεται ελεύθερη στη φύση, αλλά είναι πάντα στενά συνδεδεμένη με την παρουσία της κυτταρίνης και των ημικυτταρινών.

Ο βιολογικός προορισμός της λιγνίνης στα ζωντανά φυτά είναι να σχηματίζει με την κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες δυνατούς ιστούς, για να υποστηρίξουν το υπέργειο τμήμα των φυτών και ανθεκτικούς στην επίδραση των μηχανικών δυνάμεων του περιβάλλοντος. Από δομική άποψη η λιγνίνη μαζί με τις ημικυτταρίνες αποτελεί το υλικό μέσα στο οποίο είναι εμβυθισμένα τα μικροϊνίδια της κυτταρίνης με τέτοιο τρόπο, ώστε το σύμπλοκο κυτταρίνη-ημικυτταρίνες-λιγνίνη να σχηματίζει ένα ισχυρό μηχανικά υλικό.

Το ποσοστό συμμετοχής της λιγνίνης στη δόμηση των κυτταρικών τοιχωμάτων ποικίλει στα διάφορα φυτικά είδη. Στα διάφορα δέντρα κυμαίνεται από 18-40% και γενικότερα τα κωνοφόρα δένδρα περιέχουν 20-30% περισσότερη λιγνίνη από τα πλατύφυλλα.

#### 2.1.1.2.3.2 ΧΗΜΙΚΗ ΔΟΜΗ

Η λιγνίνη είναι ένα πολύπλοκο πολυμερές υλικό. Κάθε προσπάθεια απομόνωσης της από το ξύλο, ακόμη και στις πλέον ήπιες συνθήκες, προκαλεί μεταβολές στη χημική δομή της. Παρά λοιπόν τις εντατικές ερευνητικές προσπάθειες, η ακριβής χημική δομή και η χημική συμπεριφορά της λιγνίνης δεν είναι πλήρως γνωστές. Αναλυτικές έρευνες με παρασκευάσματα λιγνίνης, με προϊόντα διάσπασης, με διάφορες πρότυπες ενώσεις (model compounds) και μελέτες βιοσύνθεσης έχουν οδηγήσει έμμεσα σε συμπεράσματα, γενικώς αποδεκτά, για τη χημική δομή της λιγνίνης.

#### 2.1.1.2.3.3 ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΟΜΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΑΙ ΔΕΣΜΟΙ ΑΥΤΩΝ

Αποτελέσματα αναλύσεων κατά στοιχείο και ενεργές ομάδες καθώς και ανάλυση με UV και IR φασματοσκοπία παρασκευασμάτων λιγνίνης υποστηρίζουν ότι βασική δομική μονάδα της λιγνίνης είναι το φαινυλοπροπάνιο. Βάση λοιπόν των παραπάνω αναλύσεων έχει προταθεί ως εμπειρικός τύπος της βασικής μονάδας δόμησης της λιγνίνης Bjorkman κωνοφόρων ο παρακάτω τύπος.

Στο πολυμερές μόριο της λιγνίνης οι δομικές μονάδες του φαινυλοπροπανίου ενώνονται μεταξύ τους με αιθερικούς δεσμούς (-C-O-C-) και δεσμούς άνθρακα (-C-C-). Περισσότερο από τα δυο τρίτα των μονάδων φαινυλοπροπανίου στην λιγνίνη συνδέονται με αιθερικούς δεσμούς και οι υπόλοιποι με δεσμούς άνθρακα.

Οι αιθερικοί δεσμοί είναι ευαίσθητοι στην επίδραση χημικών αντιδραστηρίων και διασπώνται σχετικά εύκολα, ενώ οι δεσμοί άνθρακα είναι πολύ ανθεκτικοί και για

να διασπαστούν απαιτείται δραστική οξείδωση. Η λιγνίνη δεν είναι ομοιόμορφο υλικό. Η χημική της σύσταση και δομή ποικίλει στα διάφορα φυτικά είδη, στα διάφορα μέρη του κορμού και στα διάφορα κύτταρα ακόμη και στα διάφορα κυτταρικά τοιχώματα. Πιστεύεται ακόμη ότι δεν αποτελείται από επιμέρους πολυμερή μόρια (όπως η κυτταρίνη και οι ημικυτταρίνες) αλλά σχηματίζει ένα συνεχές τρισδιάστατο πλέγμα με απροσδιόριστο βαθμό πολυμερισμού.

#### 2.1.1.2.3.4 ΒΑΘΜΟΣ ΠΟΛΥΜΕΡΙΣΜΟΥ

Δεν έχει καταστεί δυνατό μέχρι σήμερα να προσδιοριστεί ο βαθμός πολυμερισμού της πρωτολιγνίνης (ακατέργαστη λιγνίνη όπως βρίσκεται στη φύση). Έτσι ο πολύ μεγάλος αυτός βαθμός πολυμερισμού της λιγνίνης που αναφέρεται στην βιβλιογραφία αφορά τα παρασκευάσματα της λιγνίνης. Από μετρήσεις που έγιναν σε κλάσματα λιγνίνης κατά τη διάρκεια πολυτοποίησης με τη μέθοδο kraft έδωσαν μοριακά βάρη τα οποία κυμαίνονται σε  $DP=230000-410000$ . Γενικά εκτιμάται ότι η λιγνίνη στα κωνοφόρα έχει 2-5 φορές μεγαλύτερο βαθμό πολυμερισμού απ' ό τι στα πλατύφυλλα.

#### 2.1.1.2.3.5 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΛΙΓΝΙΝΗΣ

Η λιγνίνη που παρασκευάζεται με εκχύλιση έχει ανοιχτό κίτρινο χρώμα και πιστεύεται ότι το χρώμα αυτό αντιπροσωπεύει και το χρώμα της πρωτολιγνίνης. Η λιγνίνη που παρασκευάζεται με εκχύλιση σε οργανικούς διαλύτες, με παρουσία ανόργανων οξέων έχει κίτρινο- καστανό χρώμα, η τεχνητή λιγνίνη ανοιχτό καφέ έως καφέ χρώμα και η λιγνίνη που παρασκευάζεται με διάλυση των πολυσακχαριτών. Υπάρχουν πολλά αντιδραστήρια που προκαλούν χρωματικές αλλαγές στη λιγνίνη. Η λιγνίνη είναι άμορφη. Το σημείο τήξεως της δεν μπορεί να προσδιοριστεί γιατί η λιγνίνη διασπάται εύκολα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Παρουσιάζει όμως θερμοπλαστικές ιδιότητες με σημείο μαλάκωσης στην περιοχή των  $150^{\circ}-175^{\circ}C$ .

#### 2.1.1.2.3.6 ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ

Η λιγνίνη σε αντίθεση με την κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες χαρακτηρίζεται ως υδρόφοβη ουσία. Ο χαρακτηρισμός αυτός είναι σχετικός γιατί και η λιγνίνη φέρει στο μόριο της πολλές πολικές ομάδες (υδροξύλια, καρβοξύλια, αιθερικούς δεσμούς κ.α.) που σχηματίζουν υδρογονικούς δεσμούς με το νερό. Έτσι η λιγνίνη έχει την ικανότητα να προσροφά νερό και να διογκώνεται.

Η υγροσκοπικότητα και η διόγκωση είναι πολύ μικρότερη σε σχέση με τους πολυσακχαρίτες. Για το λόγο αυτό, όταν η λιγνίνη βρίσκεται σε μίγμα με τους πολυσακχαρίτες, περιορίζει τη διόγκωση τους. Η λιγνίνη όπως και οι πολυσακχαρίτες είναι αδιάλυτη στο νερό.

#### 2.1.1.2.4 ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΑ

##### 2.1.1.2.4.1 ΕΜΦΑΝΙΣΗ-ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ

Όλα τα είδη ξύλου περιέχουν εκτός από την κυτταρίνη, τις ημικυτταρίνες και τη λιγνίνη, ένα μεγάλο αριθμό οργανικών κυρίως ενώσεων που είναι δυνατό να εκχυλιστούν από το ξύλο χωρίς να μεταβληθεί η δομή του. Οι ενώσεις αυτές ονομάζονται εκχυλίσματα. Τα εκχυλίσματα δε συμμετέχουν στη δόμηση των κυτταρικών τοιχωμάτων. Εναποτίθενται στις κυτταρικές κοιλότητες και σε μικροϊνίδια των κυτταρικών τοιχωμάτων κατά διαφοροποίηση των ξύλινων ιστών. Ως αποταμιευτικές και προστατευτικές ουσίες τα περισσότερα εκχυλίσματα μπορούν να εκχυλιστούν από το ξύλο με οργανικούς διαλύτες ορισμένα είναι διαλυτά στο νερό και άλλα δεν εκχυλίζονται. Ο όρος «εκχυλίσματα» περιλαμβάνει το σύνολο μη δομικών συστατικών του ξύλου.

Το ποσοστό εκχυλισμάτων του ξύλου είναι μικρό και κυμαίνεται συνήθως από 2-10%. Σε ορισμένα είδη κυρίως τροπικά το ποσοστό εκχυλισμάτων φτάνει 20-25%. Διάφορα είδη δέντρων εκκρίνουν εκχυλίσματα όταν πληγώνονται. Οι ρητίνες και διάφορα κόμμεα είναι τυπικά προϊόντα έκκρισης που παράγονται με πλήγωση των δέντρων.

Η οσμή, το χρώμα, η φυσική αντοχή σε μικροοργανισμούς (βακτήρια, μύκητες έντομα) των διαφόρων ειδών ξύλου οφείλονται στη ύπαρξη του είδους και την ποιότητα των επιμέρους εκχυλισμάτων.

##### 2.1.1.2.4.2 ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ ΒΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑΣ

Τα εκχυλίσματα διακρίνονται με βάση τη διαλυτότητά τους σε κοινούς διαλύτες, σε 4 κατηγορίες:

- Διαλυτά σε οργανικούς μη πολικούς.
- Διαλυτά σε οργανικούς πολικούς.
- Διαλυτά σε νερό.
- Αδιάλυτα σε κοινούς διαλύτες.

##### 2.1.1.2.4.3 Η ΣΠΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΩΝ

Τα εκχυλίσματα παίζουν σπουδαίο ρόλο στην αξιοποίηση του ξύλου. Μελέτες των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου έδειξαν ότι τα εκχυλίσματα αυξάνουν το μέτρο θραύσης σε κάμψη, την αντοχή σε θλίψη παράλληλα προς τις ίνες και την αντοχή σε κρούση, ενώ μειώνουν το μέτρο ελαστικότητας. Η πυκνότητα ή το ειδικό βάρος του ξύλου αυξάνεται με την ποσότητα εκχυλισμάτων ενώ η ρίκνωση μειώνεται. Η παρουσία των εκχυλισμάτων μειώνει τη διαπερατότητα και επηρεάζει την κίνηση στη μάζα του ξύλου των συντηρητικών και των χημικών καθώς και την ταχύτητα ξήρανσης. Τα υδρόφοβα εκχυλίσματα (τερπένια, λίπη, κηροί) μειώνουν την υγροσκοπικότητα και δρουν ως προστατευτικές ουσίες.

Το χρώμα και η μεταβλητότητα του στις διάφορες κατευθύνσεις του κορμού καθώς και τα αιθέρια έλαια έχουν αισθητική αξία. Η μεταβλητότητα του χρώματος στα διάφορα είδη και η οσμή χρησιμεύουν συχνά ως μέσον αναγνώρισης του είδους του ξύλου. Ορισμένα εκχυλίσματα εξασφαλίζουν μεγάλη αντοχή του ξύλου στη σήψη, ενώ το πυρίτιο προσδίδει αντοχή στους θαλάσσιους οργανισμούς.

Ορισμένα εκχυλίσματα έχουν επίσης και αρνητικές επιδράσεις στην αξιοποίηση του ξύλου. Τα αλκαλοειδή και άλλες τοξικές ουσίες έχουν αρνητικές επιδράσεις στην υγεία των ασχολουμένων και στην κατεργασία του ξύλου. Η παρουσία του αμύλου και άλλων υδατανθράκων καθιστά το ξύλο ευπρόσβλητο σε μύκητες και έντομα. Μερικά από τα σπουδαιότερα εκχυλίσματα είναι τα: τερπένια, ρητινικά οξέα, λιπαρά οξέα, λίπη, κηροί, σάκχαρα, αλκοόλες, ανόργανες ουσίες, ταννίνες, λιγνάνες, στιλβένια, άμυλο, πηκτινικές ουσίες και οι πρωτεΐνες. (Φιλίππου 1986)

## 2.1.2 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ – ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ

Μερικές από τις πιο σημαντικές μηχανικές ιδιότητές του ξύλου είναι η αντοχή του σε διάφορες φορτίσεις, όπως ο εφελκυσμός, η στατική κάμψη, η διάτμηση, η ελαστικότητα, η σκληρότητα κ.α. Με τον όρο **σκληρότητα**, εννοούμε «την ικανότητα αντίστασης την οποία παρουσιάζει το ξύλο, κατά την εισαγωγή ξένων σωμάτων στη μάζα του». Η αντίσταση αυτή είναι διπλάσια στην αξονική διεύθυνση από ό,τι στην εγκάρσια διεύθυνση (Μαντάνης 2004.) Ανάμεσα στις ακτινικές και εφαπτομενικές επιφάνειες δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Η ιδιότητα αυτή σχετίζεται περισσότερο με την αντοχή του ξύλου σε αποτριβή και χάραξη με διάφορα εργαλεία. Μπορεί να διακριθεί σε στατική και δυναμική σκληρότητα. (Τσουμής 2009).

Βάση της ιδιότητας αυτής το ξύλο και τα παράγωγά του βρίσκουν εφαρμογή στη κατασκευή παρκέτων, πατωμάτων αλλά και σε άλλους τομείς, όπως η κατασκευή επίπλων και μουσικών οργάνων. Επίσης, η μηχανική κατεργασία του ξύλου και η συγκράτηση καρφιών επηρεάζονται σημαντικά από τη σκληρότητα του. Τα σκληρά ξύλα κατεργάζονται δύσκολα, ενώ τα μαλακά ευκολότερα. Βάση σκληρότητας τα Ελληνικά είδη ξύλων κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες:

**Σκληρά:** δρυς, ίταμος, ακακία, φτελιά, φράξος, πλατάνι, οξιά, γαύρος, ελιά.

**Μέτρια:** πεύκη, ελάτη, αρκέυθος, καρυδιά.

**Μαλακά:** λεύκη, ιτιά, φιλύρα, καστανιά.

Η συγκεκριμένη μηχανική ιδιότητα, συσχετίζεται γραμμικά με την πυκνότητα και άλλες μηχανικές ιδιότητες του ξύλου (Τσουμής 2009). Η σκληρότητα προσδιορίζεται στα υλικά με διαφορετικές μεθόδους, οι οποίες διαφέρουν κατά τον υπολογισμό, τον τρόπο μέτρησης και το εργαλείο που χρησιμοποιείται στην κάθε μια από αυτές. Τέτοιες είναι οι: Stamer, Krippel, Chalais Meudon, Hoeffgen, BuÈsgen, Hoppler, Doyle Walker, Meyer Wegelin, Monnin, Brinell και Janka. Οι δύο τελευταίες είναι και οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες για τον προσδιορισμό της σκληρότητας του ξύλου.

Η μέθοδος Brinell με την οποία προσδιορίζεται σήμερα η σκληρότητα των υλικών πήρε το όνομά της από τον Σουηδό μηχανικό Johan August Brinell (1849-1925) ο οποίος και την εφάρμοσε αρχικά σε μετρήσεις σκληρότητας των μετάλλων. Ο Brinell ξεκίνησε την καριέρα του ως μηχανικός στην βιομηχανία μεταλλουργίας Lesjofors και το 1882 έγινε αρχιμηχανικός στη βιομηχανία Fagersta Ironworks. Από

το 1903-1914 υπήρξε αρχιμηχανικός στο Jernkontoret (Swedish Iron Industry's Trade Association). Το 1902 εκλέχθηκε ως επίτιμο μέλος της Σουηδικής Βασιλικής Ακαδημίας Επιστημών (Royal Swedish Academy of Sciences).

Είναι γνωστός σήμερα για το τεστ σκληρότητας Brinell, το οποίο αποτελεί μία ταχύτατη, μη καταστρεπτική μέθοδο μέσω της οποίας καθορίζεται η σκληρότητα των μετάλλων. Η μέθοδος βασίζεται στην μέτρηση της διαμέτρου του αποτυπώματος το οποίο δημιουργείται από τη διείσδυση ενός ατσάλινου σφαιριδίου, αφού ασκηθεί σε αυτό συγκεκριμένη φόρτιση. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα με μικρές διαφοροποιήσεις για τον υπολογισμό της σκληρότητας διαφόρων υλικών.

Ο J.A.Brinnell υλοποίησε εκτεταμένες μελέτες και πειραματισμούς στην μεταλλουργία. Η πλέον σημαντική του εργασία αφορά τους μετασχηματισμούς της δομής του ατσαλιού σε συνθήκες ψύξης και θέρμανσης. Χρησιμοποίησε αρκετά πεπαλαιωμένο εξοπλισμό και βασίστηκε περισσότερο στην μακροχρόνια εμπειρία του. Μέσα από τις έρευνες του, προέκυψαν σημαντικά αποτελέσματα τα οποία έχουν επηρεάσει βαθύτατα την παγκόσμια βιομηχανία. Οι ανακαλύψεις του για την περιεκτικότητα του ατσαλιού σε άνθρακα, αποτελούν σήμερα τις βάσεις των γνώσεων για τη μελέτη των ιδιοτήτων του συγκεκριμένου υλικού.(Wikipedia 2012).



**Εικόνα 7.0** Σουηδός μηχανικός J.A. Brinnell

Η σκληρότητα αποτελεί μία από τις πλέον βασικές ιδιότητες του ξύλου, η οποία συσχετίζεται γραμμικά με την πυκνότητα, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα. Πυκνότητα ονομάζεται το μέτρο μάζας που περιέχεται σε ορισμένο όγκο και εκφράζεται με το πηλίκο της μάζας δια του όγκου.

Με την προϋπόθεση ότι αναφερόμαστε σε ξύλο χωρίς σφάλματα, η πυκνότητα είναι δείκτης της ποιότητας και της μηχανικής αντοχής του ξύλου και ποικίλλει στα διάφορα είδη – υπολογισμένη με βάση το ξηρό βάρος και τον ξηρό όγκο – από 0,10 g/cm<sup>3</sup> για το ξύλο μάλσα (*Ochroma lagopus*), μέχρι 1,30 g/cm<sup>3</sup> στα τροπικά είδη ξύλου *Guaiacum officinale* και *Brosimum aubleti* που είναι τα βαρύτερα είδη ξύλου και βυθίζονται μέσα στο νερό (πυκνότητα νερού = 1.00 g/cm<sup>3</sup>). (Μαντάνης 2004).

Γενικά όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος της πυκνότητας αντίστοιχο είναι και το μέγεθος του δείκτη σκληρότητας. Ο προσδιορισμός του μέτρου σκληρότητας μας

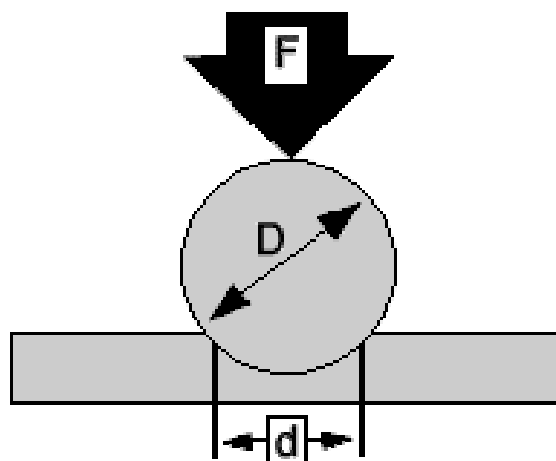
παρέχει αρκετές χρήσιμες πληροφορίες για τη χρησιμοποίησή του ξύλου σε κατασκευές. Αποτελεί μια ιδιότητα η οποία συσχετίζεται με τις υπόλοιπες μηχανικές ιδιότητες του ξύλου (Hirata 2001, Rautkari κ.α. 2011). Για αυτό το λόγο χρησιμοποιείται ευρέως για τον ποιοτικό έλεγχο ξύλου και προϊόντων ξύλου, καθώς δεν απαιτείται δαπανηρός εξοπλισμός και κόστος ελέγχου. Επίσης δεν απαιτούνται δείγματα μεγάλων διαστάσεων. Οι βασικές μέθοδοι προσδιορισμού της σκληρότητας είναι η Brinell και Janka.

Η μέθοδος Brinell περιγράφεται από το συγκεκριμένο πρότυπο EN1534:2000:

Σύμφωνα με αυτό, ένα μεταλλικό σφαιρίδιο διαμέτρου  $D=10\text{mm}$  εισχωρεί στη μάζα του υλικού, με συγκεκριμένη φόρτιση  $F=1000\text{N}$  για προκαθορισμένο χρονικό διάστημα. Αποτέλεσμα της φόρτισης αυτής είναι η δημιουργία ενός αποτυπώματος, του οποίου η διάμετρος μετράται. Η σκληρότητα Brinell του υλικού υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$HB = \frac{2F}{\pi D \left[ D - \sqrt{D^2 - d^2} \right]} \quad (1) \text{ όπου: } HB: \text{ Σκληρότητα Brinell (N/mm}^2\text{)}$$

$F$ : Δύναμη φόρτισης (1000N)  
 $D$ : Διάμετρος της μεταλλικής σφαίρας (10mm)  
 $\pi$ : 3,14  
 $d$ : διάμετρος αποτυπώματος (mm)



**Σχήμα 1.** Υπολογισμός της διαμέτρου του αποτυπώματος της μεταλλικής σφαίρας

Η συγκεκριμένη μέθοδος, αν και είναι η πιο διαδεδομένη σήμερα, κατά τον έλεγχο της σκληρότητας του ξύλου παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα τα οποία έχουν παρατηρηθεί από διάφορους ερευνητές. Το πιο σημαντικό από αυτά είναι η συγκεκριμένη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται για να βρεθεί η διάμετρος του αποτυπώματος. Η μέτρηση του αποτυπώματος του σφαιριδίου στο δοκίμιο ξύλου γίνεται με ακρίβεια 0,2mm και βασίζεται περισσότερο στην παρατηρητικότητα του

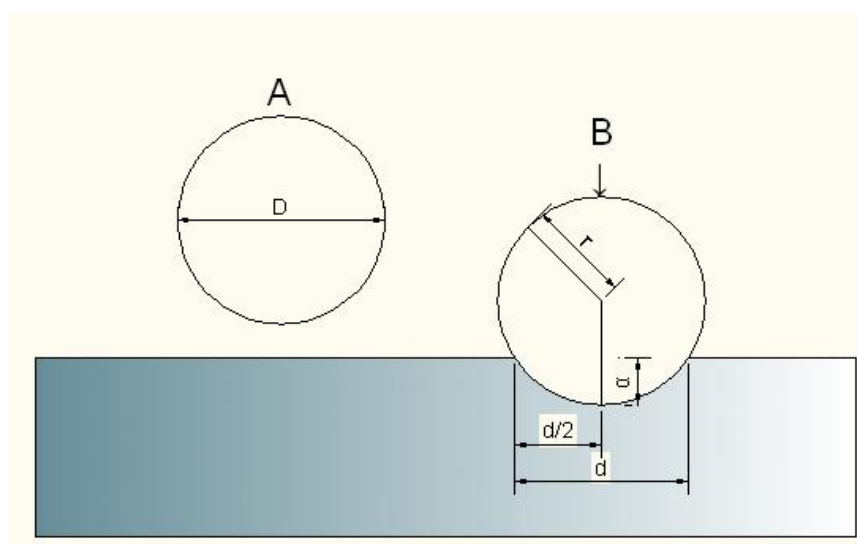
ερευνητή. Σύμφωνα με τους Niemz και Stubi (2000), για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού προτείνεται συγκεκριμένη τροποποίηση, η οποία βασίζεται στην μέτρηση της διαμέτρου του αποτυπώματος υπολογίζοντας και το βάθος ( $a$ ) του αποτυπώματος στο ξύλο. Κατά την τροποποίηση αυτή προσδιορίζεται το μέγιστο βάθος αποτυπώματος με ακρίβεια 0,001mm. Γνωρίζοντας το βάθος ( $a$ ) μπορούμε να υπολογίσουμε γεωμετρικά την διάμετρο ( $d$ ) σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$d = 2\sqrt{2ra - a^2}$$

Αντικαθιστώντας στην αρχική εξίσωση (1) προκύπτει ένας δεύτερος τύπος υπολογισμού της σκληρότητας Brinell:

$$HB = \frac{F}{gpDa} \quad (2)$$

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοσθεί με την προϋπόθεση ότι το αποτύπωμα που δημιουργείται στο δοκίμιο του ξύλου παραμένει σφαιρικό μετά τη φόρτιση και δεν μεταβάλλεται από τυχόν ελαστικές παραμορφώσεις. (Λυκίδης 2011). Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται ο γεωμετρικός υπολογισμός της μεθόδου:



**Σχήμα 2.** Τροποποίηση της μεθόδου. Γεωμετρικός υπολογισμός της διαμέτρου  $d$  του αποτυπώματος χρησιμοποιώντας το βάθος  $a$ .

## 2.1.3 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ – ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ - ΧΡΩΜΑ

Το ξύλο σαν υλικό, χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένες φυσικές ιδιότητες όπως η πυκνότητα (ειδικό βάρος), η υγροσκοπικότητα, η ρίκνωση και διόγκωση, (διαστασιακή αστάθεια όταν μεταβάλλεται η υγρασία, θερμικές ιδιότητες, ηλεκτρικές ιδιότητες και ακουστικές ιδιότητες. Επίσης εξετάζεται και η αλλοίωση του ξύλου υπό την επίδραση διαφόρων παραγόντων (μυκήτων, εντόμων).

### 2.1.3.1 ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ

Η πυκνότητα όπως αναφέρθηκε και άνω, αποτελεί το μέτρο της μάζας που περιέχεται σε ορισμένο όγκο ξύλου και εκφράζεται με το πηλίκο μάζας και όγκου.

$$R=W/V$$

όπου R: Πυκνότητα (g/cm<sup>3</sup>)

W: μάζα (g)

V:όγκος (cm<sup>3</sup>)

Η πυκνότητα είναι πρακτικά συνώνυμη με το ειδικό βάρος (πηλίκο βάρους και όγκου). Η πυκνότητα του ξύλου εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που έχουν να κάνουν με τη μάζα και τον όγκο του. Αυτοί είναι υγρασία, η δομή, τα εκχυλίσματα και η χημική σύσταση.

#### 2.1.3.1.1 ΥΓΡΑΣΙΑ

Το ξύλο έχει την ιδιότητα να προσλαμβάνει υγρασία. Η πρόσληψη υγρασίας έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της μάζας και του όγκου, αντίστροφα η απώλεια υγρασίας οδηγεί στην μείωσή τους. Ανάλογα με την κατάσταση υγρασίας του ξύλου, διακρίνονται τρεις κατηγορίες πυκνότητας. Η ξηρή πυκνότητα, η βασική πυκνότητα και η φαινομενική πυκνότητα. Η ξηρή πυκνότητα προσδιορίζεται βάση μάζας και όγκου σε ξηρή κατάσταση, δηλαδή με υγρασία πρακτικά μηδενική. Η βασική πυκνότητα προσδιορίζεται από τη σχέση ξηρής μάζας και χλωρού όγκου και αποτελεί και αυτή συγκρίσιμο μέγεθος. Η φαινομενική πυκνότητα υπολογίζεται βάσει μάζας και όγκου σε κατάσταση υγρασίας που δεν είναι απόλυτα γνωστή. Περισσότερο μας εξυπηρετεί σε πρακτικούς σκοπούς και δεν αποτελεί συγκρίσιμο μέγεθος.

#### 2.1.3.1.2 ΔΟΜΗ

Η πυκνότητα της ξυλώδους ύλης, η οποία δομεί τα κυτταρικά τοιχώματα είναι πρακτικά σταθερή (περίπου 1,50 g/cm<sup>3</sup>). Ανάλογα με το ποσοστό της ξυλώδους ύλης και των κενών χώρων σε ορισμένο όγκο, η πυκνότητα του ξύλου μεταβάλλεται διαφορετικά. Τα είδη ξύλου που προέρχονται από ελληνικά δάση, έχουν ξηρή πυκνότητα που κυμαίνεται από 0,3-0,9 g/cm<sup>3</sup>. Η πυκνότητα του ξύλου, εκτός από



μέτρο ποσότητας της ξυλώδους ύλης αποτελεί και δείκτη των κενών χώρων. Ο δείκτης αυτός κυμαίνεται από 95% σε πολύ ελαφρά ξύλα μέχρι 15% σε πολύ βαριά. Διαφορές πυκνότητας και κενών χώρων προέρχονται από διαφορές δομής, οι οποίες έχουν να κάνουν με την κυτταρική συγκρότηση, τους τύπους των κυττάρων, την ποσοτική κατανομή τους, το πάχος των κυτταρικών τοιχωμάτων και το μέγεθος των κυτταρικών κοιλοτήτων.

#### 2.1.3.1.3 ΕΚΧΥΛΙΣΜΑΤΑ

Τα εκχυλίσματα είναι ουσίες (κόμια, λίπη, ρητίνες, ταννίνες, σάκχαρα κ.α) οι οποίες δεν συμμετέχουν στη δομή των κυτταρικών τοιχωμάτων και μπορούν να εκπλυθούν (εκχύλιση) χωρίς να μεταβληθεί η δομή του ξύλου. Το ποσοστό τους ποικίλει από 1% μέχρι 20% και η παρουσία τους στο ξύλο αυξάνει την πυκνότητα του εγκεαδίου. Αντίθετα, με την απομάκρυνσή τους ελαττώνεται η πυκνότητα.

#### 2.1.3.1.4 ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ

Η πυκνότητα του ξύλου επηρεάζεται από τη χημική σύσταση των κυτταρικών τοιχωμάτων. Η πυκνότητα της κυτταρίνης είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με αυτή της λιγνίνης. Η επίδραση αυτού του παράγοντα δεν είναι μεγάλη, γιατί δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε διαφορετικά είδη ξύλου από άποψη χημικής σύστασης. Διαφορά της χημικής σύστασης υπάρχει κυρίως σε ξύλο με ακανόνιστη δομή (θλιψιγενές, εφελκυσμογενές), όπου η περιεκτικότητα κυτταρίνης και λιγνίνης μπορεί να παρουσιάζει σημαντικές διαφορές.

Η πυκνότητα του ξύλου μεταβάλλεται μέσα στο ίδιο δένδρο, ανάμεσα σε δένδρα του ίδιου είδους και ανάμεσα σε διαφορετικά είδη. Η πυκνότητα σχετίζεται στενά με τις υπόλοιπες μηχανικές ιδιότητες του ξύλου και επομένως έχει μεγάλο ρόλο ως δείκτης ποιότητας του ξύλου. Από την πυκνότητα επίσης επηρεάζονται ιδιότητες που σχετίζονται με την βιομηχανική αξιοποίηση του ξύλου (κατεργασία με μηχανές, ξήρανση κ.α). Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι η αξία της ως ποιοτικού δείκτη, αναφέρεται σε ξύλο χωρίς σφάλματα. (Τσουμής 2009).

#### 2.1.3.2 ΧΡΩΜΑ

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, το χρώμα (Color) αποτελεί βασικό φυσικό χαρακτηριστικό του ξύλου και ποικίλει ανάλογα με το είδος, τις κλιματικές συνθήκες στις οποίες εκτίθεται και τις διάφορες τροποποιήσεις που γίνονται σε αυτό. Σύμφωνα με τους Kamdem και Grelier (2002) η φωτοχημική αποικοδόμηση του ξύλου εκδηλώνεται αρχικά με αλλαγή του χρώματος και στη συνέχεια με την χαλάρωση των ινών του ξύλου. Ο μεταχρωματισμός των ξύλων έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αισθητικής εμφάνισής τους, παράγοντας που αποτελεί σημαντικό κριτήριο για τους καταναλωτές. Το χρώμα αποτελεί σημαντικό παράγοντα σε χρήσεις του ξύλου και πολλές φορές αυτό εκτιμάται ποιοτικά βάσει αυτής της ιδιότητας. Είναι δύσκολο να περιγράψουμε την εμφάνιση του ξύλου χρησιμοποιώντας φυσικά μεγέθη, διότι η επιφάνειά του δεν εκφράζεται με ένα και μόνο χρώμα αλλά δείχνει πολλές χρωματικές παραλλαγές.(Nishiko et al. 1998).

Για την πληρέστερη κατανόηση όμως των χρωματικών μεταβολών του ξύλου, θα πρέπει να εξετάσουμε το χρώμα σαν μία ξεχωριστή έννοια και να το αναλύσουμε μέσα από μία ξεχωριστή μέθοδο γνωστή ως χρωματομετρία.

Από τους προϊστορικούς ακόμη χρόνους, ο άνθρωπος, όπως έχει αποδειχθεί πρέπει να είχε εντυπωσιασθεί από τον χώρο που τον περιέβαλλε αλλά ακόμη περισσότερο από την ποικιλία των χρωματικών παραλλαγών και διαφορών του. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να προσπαθήσει να τον μιμηθεί ζωγραφίζοντας τον και χρωματίζοντας τα διάφορα σχέδια του. Στη συνέχεια προσπάθησε να κατανοήσει τι είναι το χρώμα, πώς δημιουργείται, σε τι χρησιμεύει και πώς γίνονται αντιληπτές οι χρωματικές διαφορές. Έτσι από τους ιστορικούς χρόνους ξεκίνησαν διάφορες προσπάθειες για ερμηνείες του φαινομένου των χρωμάτων, αλλά περισσότερο άρχισαν να αναπτύσσονται διάφορες ιδέες και φιλοσοφικές θεωρίες, κυρίως από τους Αρχαίους Έλληνες.

Χρώμα των αντικειμένων είναι η οπτική εντύπωση που προκαλείται από την αντανάκλαση ορισμένων ακτίνων ή του ηλιακού φωτός στην επιφάνεια των αντικειμένων. Το χρώμα αποτελεί μία φυσική ιδιότητα των σωμάτων, ή οποία γίνεται κατανοητή με απόλυτη ακρίβεια από το ανθρώπινο μάτι, είναι όμως αδύνατο να μετρηθεί. Η ακρίβεια του μεγέθους αντίληψης αυτής της ιδιότητας εξαρτάται όχι μόνο από την ακρίβεια διέγερσης των φωτοευερέθιστων κυττάρων των ματιών του παρατηρητή αλλά και από τον τρόπο φωτισμού των αντικειμένων και τις συνθήκες παρατήρησης. Ένας παρατηρητής με σωστή και ακριβή όραση είναι θεωρητικά ικανός να αντιλαμβάνεται κατά το ίδιο ποσοστό την αύξηση ή μείωση της έντασης του φωτός για τα βασικά χρώματα R (Red), G (Green) και B (Blue), πράγμα το οποίο όμως είναι σχεδόν αδύνατο. Το αποτέλεσμα εντοπίζεται στην ικανότητα του φωτός να διεγείρει τα φωτοευαίσθητα κύτταρα, έτσι ώστε να δημιουργηθούν οι σωστές διεγέρσεις R,G,B.

Με βάση την αρχή της ισοδύναμης διέγερσης των R,G και B, κατασκευάστηκαν διάφορα όργανα μέτρησης των χρωμάτων, τα οποία βελτιώνονται όλο και περισσότερο με την εξέλιξη της τεχνολογίας. Την αρχή αυτών των οργάνων αποτελούν τα τριχρωματικά χρωματομέτρα ή αλλιώς χρωματομέτρα τριών διεγέρσεων (Tristimulus Colorimeter). Με τα όργανα αυτά φωτίζουμε ένα δοκίμιο συνήθως υπό γωνία  $45^{\circ}$  και υποχρεώνουμε το ανακλώμενο φως να περάσει μέσα από έναν ανιχνευτή με τρία κατάλληλα φίλτρα (ένα για κάθε ακριβή ποσότητα R,G και B) πριν να πάρουμε το τελικό αποτέλεσμα. Τα παραπάνω αποτελούν βασική αρχή λειτουργίας των χρωματομέτρων τριών διεγέρσεων. Τα σύγχρονα όργανα μετρήσεως του χρώματος δεν χρησιμοποιούν φίλτρα, αλλά παίρνουν τις απορροφήσεις σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Επίσης δεν χρησιμοποιούν το ανακλασίμετρο, αλλά μία σφαίρα διάχυσης και δίνουν αποτελέσματα συγκεκριμένων χρωματικών παραμέτρων  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  κατά CIE με μία μέτρηση. Τα χρωματομέτρα αυτά βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στις περιπτώσεις ελέγχου ποιότητας των αποχρώσεων, δηλαδή στο πόσο και πού διαφέρει μία απόχρωση από μία άλλη, όταν αυτά μετρηθούν σε συγκεκριμένο μήκος κύματος, έχοντας σαν πλεονέκτημα το χαμηλό κόστος έναντι άλλων συσκευών (π.χ φασματοφωτόμετρα). (Ορφανάκος 2004).

#### 2.1.3.2.1 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΑΠΟΧΡΩΣΕΩΝ

Κατά την οπτική σύγκριση, εάν παρατηρήσουμε ένα αντικείμενο για χρόνο τουλάχιστον 30 sec, ο οποίος αποτελεί χρόνο προσαρμογής, είμαστε σε θέση να

αποφανθούμε για την απόχρωσή του. Η χρωματική αυτή εντύπωση επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες και δεν είναι εφικτό να αποδώσει με οποιονδήποτε χαρακτηρισμό την ακρίβεια της απόχρωσης. Η κατάσταση περιπλέκεται περισσότερο κατά τη σύγκριση δύο διαφορετικών αντικειμένων, τα οποία αρχικά μας δίνουν την εντύπωση ότι έχουν την ίδια απόχρωση.

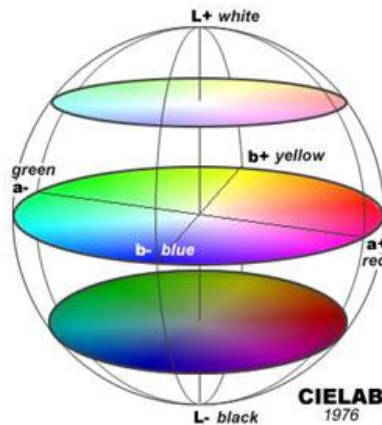
Προκειμένου λοιπόν να κάνουμε χρωματικές συγκρίσεις, πρέπει να δημιουργήσουμε τις κατάλληλες συνθήκες, ώστε αυτές να είναι απαλλαγμένες από πιθανά σφάλματα. Ένα από τα πιο σημαντικά σφάλματα της οπτικής σύγκρισης δύο αποχρώσεων είναι η θέση παρατήρησης που πρέπει να είναι παράλληλη και γειτονική, ο τρόπος παρατήρησης που πρέπει να γίνεται με την ίδια γωνία παρατήρησης, ( $135^{\circ}$  περίπου με την επιφάνεια) και κυρίως η απόσταση τους από τον παρατηρητή που πρέπει να είναι η ίδια.

Ένα ακόμη πιθανό σφάλμα που επηρεάζει την οπτική παρατήρηση είναι η συνθήκες φωτισμού των αντικείμενων. Ο φωτισμός πρέπει να είναι ο ίδιος, φυσικός, λευκός, έντονος και διάχυτος και τα αντικείμενα δεν πρέπει να φωτίζονται κατευθείαν από τη φωτεινή πηγή, που πρέπει να βρίσκεται στην πλάτη του παρατηρητή. Η έκταση των υπό σύγκριση επιφανειών πρέπει να είναι η ίδια και να είναι συνολικά τόση ώστε αυτές να περιλαμβάνονται μέσα στο οπτικό πεδίο του παρατηρητή. Ένας ακόμη σπουδαίος παράγοντας είναι ο περιβάλλον χώρος (fondo). Πρέπει να μην επηρεάζει τη χρωματική εκτίμηση του παρατηρητή. Θεωρείται δεδομένο ότι ο παρατηρητής διαθέτει τη σωστή χρωματικά όραση. Η εμπειρία του πρέπει να είναι μεγάλη και η ηλικία του πρέπει να είναι σχετικά μικρή, έτσι ώστε η όρασή του να μην έχει υποστεί αλλοιώσεις.

Παρ' όλα αυτά όμως η οπτική σύγκριση εξακολουθεί να είναι μία υποκειμενική και όχι αντικειμενική κρίση. Έτσι το αποτέλεσμα της μπορεί να αμφισβητηθεί ως προς την ορθότητά του. Η Χρωματομετρία σήμερα επιδιώκει την επίλυση αυτού του προβλήματος με τρόπο αντικειμενικό και επιπλέον μας δίνει αριθμητικά αποτελέσματα μέσω συγκεκριμένων εξισώσεων και χρωματομετρικών συστημάτων. (Ορφανάκος 2004).

#### 2.1.3.2.2 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ CIELAB

Πρόκειται για ένα σύστημα χρωματομετρίας ανάλογο με αυτό του συστήματος Munsell, το οποίο είναι ένα τριαξονικό σύστημα γεωμετρικών συντεταγμένων με ενιαία και ειδική βαθμονόμηση, έτσι ώστε δύο παρεμφερείς αποχρώσεις να έχουν διαφορετική θέση, ενώ η διαφορά δύο γειτονικών σημείων να αναπαριστά τη διαφορά αποχρώσεώς τους. Με τη χρήση των χρωματικών παραμέτρων  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  έχουμε την άμεση ικανότητα αντίληψης των βασικών χρωματομετρικών παραμέτρων, όπως η φωτεινότητα (Lightness). Το σύστημα CIELAB βασίζεται στην τριχρωματική θεωρία των τριών βασικών αποχρώσεων R,G,B στην οποία όμως γίνεται παραδοχή ύπαρξης και μίας επιπλέον βασικής απόχρωσης, αυτής του κίτρινου. Οι αποχρώσεις αυτές εμπλουτίζόμενες με τις αποχρώσεις του λευκού και του μαύρου δημιουργούν ζεύγη αποχρώσεων, καθένα από τα οποία δημιουργεί «αντίθετα ψυχολογικά συναισθήματα» (λευκό – μαύρο, κόκκινο – πράσινο, κίτρινο – μπλε). Εάν τοποθετηθούν τα ζεύγη αυτά σε καρτεσιανούς άξονες δημιουργείται ένα τριαξονικό σύστημα συντεταγμένων, στο οποίο δεν έχουμε πλέον αφηρημένες ποσότητες X,Y,Z, αλλά τις έξι βασικές αποχρώσεις.



**Εικόνα 8.** Το σύστημα χρωματικών συντεταγμένων κατά CIE.

Ο άξονας λευκού – μαύρου χαρακτηρίζεται ως άξονας «φωτεινότητας» ή «λευκότητας» ( $L^*$ ), έχει τιμές από 0 έως 100 και μας δείχνει πόσο μαύρο (0) ή πόσο λευκό (100) είναι ένα χρώμα. Ο άξονας κόκκινου – πράσινου ως άξονας «κοκκινίσματος» ( $a^*$ ) έχει τιμές από +100 έως -100 και δείχνει πόσο κόκκινο (+) ή πράσινο (-) είναι το χρώμα. Στην πραγματικότητα αποτελεί τον άξονα μεταξύ πορφυρού – πράσινου κιτρινίζοντος. Ο άξονας κίτρινου – μπλε χαρακτηρίζεται ως άξονας «κιτρινίσματος» ( $b^*$ ), έχει τιμές από +100 έως -100 και δείχνει πόσο κίτρινο (+) ή πόσο μπλε (-) είναι το χρώμα. Στην ουσία αποτελεί τον άξονα μεταξύ κίτρινου κοκκινίζοντος και μπλε ιώδους. (Ορφανάκος 2004).

Με το σύστημα CIELAB έχουμε την ικανότητα να προσδιορίσουμε τη διαφορά μεταξύ δύο σχεδόν ίδιων ή και διαφορετικών ακόμη αποχρώσεων. Η συνολική αυτή διαφορά απόχρωσης ( $\Delta E^*$ ) σχετίζεται με τη διαφορά της φωτεινότητας, της χρωματικής πληρότητας, της χροιάς και εκφράζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Όπου:  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  και  $\Delta b^*$ : Οι μεταβολές των χρωματικών παραμέτρων  $L^*$ ,  $a^*$  και  $b^*$  αντίστοιχα.

Η χρωματομετρία αποτελεί μία αρκετά αποτελεσματική μέθοδο για την απόκτηση πληροφοριών πάνω στο χρώμα του ξύλου. Το σύστημα CIELAB χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα για την εκτίμηση του χρώματος του ξύλου, για τον καθορισμό της φθοράς του, για την μέτρηση του χρώματος των ρόζων όπως επίσης και για τον υπολογισμό των χρωματικών μεταβολών έπειτα από θερμικούς χειρισμούς. (Nishiko et al.1998).

Μελέτες σε πριστή ξυλεία Ευκαλύπτου (προερχόμενη από δένδρα ηλικίας 9 ετών) έδειξαν ότι το ξύλο αυτό έχει φωτεινό κιτρινωπό χρώμα, ομοιόμορφα κατανομημένο, το οποίο διαφέρει ελάχιστα στο ίδιο δένδρο αλλά και ανάμεσα σε διαφορετικά δένδρα. Οι χρωματικές μεταβολές του συνδέονται περισσότερο με τον άξονα του κιτρινίσματος (CIE  $b^*$ ). Το χρώμα των νερών του ξύλου, όσον αφορά την φωτεινότητα και τη λευκότητα του, συσχετίζεται περισσότερο με την βασική πυκνότητα, την σκληρότητα και τη ρίκνωση. Το χρώμα του ξύλου διαφέρει σημαντικά ανάμεσα στα δένδρα. Σύμφωνα με τον Rink (1987), το χρώμα του εγκαρδίου στη μαύρη καρυδιά εξαρτάται από τη θέση του δένδρου (ύψος, ακτίνα) και

από τον ρυθμό αύξησής του. Οι Raymond και Bradley (2002), ανέφεραν ότι το κοκκίνισμα (a\*) και το κιτρίνισμα (b\*) ξύλου Ευκαλύπτου, μειώνονται καθώς το ύψος των δένδρων αυξάνεται. Ο Monomen (2002) ανέφερε ότι το ξύλο σκουραίνει κατά την ξήρανση μέσω της μείωσης της φωτεινότητας του.

Ο Beckwith (1979), ανακάλυψε ότι οι ακτινικές και εφαπτομενικές επιφάνειες ξύλου δεν παρουσιάζουν κάποια διάκριση στο χρώμα, αντίθετα με τις εγκάρσιες επιφάνειες οι οποίες διαφέρουν αρκετά από τις προηγούμενες. (Vancley, Henson, Palmer 2008). Οι Buchlet και Wagenfuhr (2010) διεξήγαγαν μετρήσεις χρώματος στις επιφάνειες έξι διαφορετικών ειδών ξύλου και απέδειξαν ότι υπάρχει μία ομοιόμορφη χρωματική διαφορά που επηρεάζεται σημαντικά από τη δομή του ξύλου. Σκοπός των μετρήσεων των χρωματικών μεταβολών του ξύλου είναι να καθοριστεί μία συγκεκριμένη ποσότητα για διαφορές χρώματος, η οποία να είναι ακριβής και ενιαία.

**Πίνακας 1.** Διαβάθμιση χρωματικών μεταβολών βάση διακριτότητας. Bieske (2007)

$\Delta E^*_{ab}$	Γενικές παρατηρήσεις
0,0 ...0,5	Σχεδόν καμία χρωματική διαφορά
0,5 ...1,0	Η διαφορά μπορεί να είναι ορατή για ένα εκπαιδευμένο μάτι
1,0 ...2,0	Διακριτή διαφορά χρώματος ελάχιστα εμφανής
2,0 ...4,0	Διακριτή διαφορά χρώματος
4,0 ...5,0	Σημαντική διαφορά χρώματος η οποία είναι σπάνια αποδεκτή
>5,0	Η διαφορά εκτιμάται ως άλλο χρώμα

## 2.2 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΞΥΛΟΥ

Περίπου 400 είδη ξύλου κυκλοφορούν στο εμπόριο σήμερα και χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές. Η προσφορά ποιοτικής ξυλείας, ειδικά τροπικών και πλατυφύλλων ειδών, στην ελληνική αγορά χρόνο με το χρόνο μειώνεται. Στις μέρες μας τα δεδομένα έχουν αλλάξει δραματικά κυρίως με την αύξηση του πληθυσμού, τις εκτεταμένες έως ληστρικές υλοτομίες, τον αφανισμό των τροπικών δασών και με τα ποικίλα περιβαλλοντικά προβλήματα. (Μαντάνης και Παπαδόπουλος 2009). Επιπρόσθετα, το ξύλο εκτός των πλείστων πλεονεκτημάτων του ως υλικό έχει και μειονεκτήματα, που κυρίως οφείλονται στη χημική του σύνθεση. Είναι γνωστό ότι τα σημαντικότερα εκ των μειονεκτημάτων είναι η υψηλή υγρασκοπικότητά του αλλά και η «ευαισθησία» του σε παράγοντες αλλοίωσης, όπως: καιρικές συνθήκες, υπεριώδης ακτινοβολία, βιολογικοί παράγοντες (μύκητες, έντομα), φωτιά κ.α. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να προκαλέσουν ποικίλες μεταβολές στο ξύλο, από αλλοιώσεις της εμφάνισης (π.χ. μεταχρωματισμοί) έως και την πλήρη κατάρρευσή του (π.χ. σήψεις). Για τους παραπάνω λόγους, είναι απαραίτητη η προστασία του ξύλου, ανάλογα πάντα με τη χρήση, για την οποία προορίζεται. Ειδικά σε περιπτώσεις όπου η χρήση του ξύλου προϋποθέτει την έκθεση και εφαρμογή του σε εξωτερικούς χώρους είναι επιτακτική -όχι απλώς αναγκαία- η λήψη κατάλληλων προληπτικών μέτρων για την προστασία του. Οι επιλογές μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Χρήση τροπικών ειδών με υψηλή φυσική ανθεκτικότητα, τα οποία όμως χαρακτηρίζονται από χαμηλή διαθεσιμότητα και έντονα προβλήματα νόμιμης και αειφορικής διαχείρισης, επομένως, σε υψηλές τιμές και με μεγάλη περιβαλλοντική επιβάρυνση.

- Η εφαρμογή προστατευτικού εμποτισμού, ο οποίος συνοδεύεται από τη χρήση αμφίβολα ασφαλών χημικών ενώσεων, με περιορισμένες δυνατότητες επανάχρησης του ξύλου και -δυστυχώς- πιθανή περιβαλλοντική μόλυνση, όταν οι κατασκευές αυτές φτάσουν στο πέρας της χρήσης τους.

- Χημική και θερμική τροποποίηση του ξύλου, που τα τελευταία χρόνια φαίνεται να αποκτά τεράστιο ενδιαφέρον και δίνει «πράσινα» και αξιόπιστα προϊόντα.

Η τροποποιημένη ξυλεία είναι ξυλεία συμπαγής, δηλαδή μασίφ, που φέρει βελτιωμένες ιδιότητες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με χρήση της θερμότητας ή με χρήση ακίνδυνων χημικών ουσιών.

Οι βελτιωμένες ιδιότητες, αυτές που επιτυγχάνονται κατά την τροποποίηση είναι:

- α. Πολύ μικρότερη ρίκνωση και διόγκωση.
- β. Μεγαλύτερη διαστασιακή σταθερότητα στις συνθήκες περιβάλλοντος και μεγαλύτερη αντοχή στην ηλιακή ακτινοβολία.
- γ. Μεγάλη ανθεκτικότητα στο χρόνο (πολλά χρόνια ζωής).
- δ. Υψηλή αντοχή στους μύκητες και τα ξυλοφάγα έντομα. (Μαντάνης 2009).

Η τροποποίηση του ξύλου -ειδικά η χημική- περιλαμβάνει την αντίδραση των βασικών χημικών συστατικών του ξύλου (βλ.κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη) με αντιδραστήρια ή και με χρήση θερμότητας, προκαλώντας τη δημιουργία νέων ενώσεων και τη μεταβολή βασικών ιδιοτήτων του. Οι νέες ενώσεις, αν και δεν εμφανίζουν βασικές διαφορές από τις αρχικές, παρουσιάζουν αρκετά βελτιωμένες υγρασκοπικές ιδιότητες (π.χ. μειωμένη υγρασκοπικότητα και ρίκνωση/διόγκωση, αρκετά μεγαλύτερη αντοχή στους παράγοντες αλλοίωσης κ.α.). Ακόμη χημική

τροποποίηση του ξύλου μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες ενώσεις (π.χ. ανυδρίτες, αλδεΐδες, ακρυλονιτρίλια, νανομόρια) και με διάφορες μεθοδολογίες όπως: εφαρμογή στην επιφάνεια ή σε όλη τη μάζα, στα κυτταρικά τοιχώματα ή τις κοιλότητες των κυττάρων του ξύλου, επιφανειακή τροποποίηση με νανοσκευάσματα).

Μπροστά σε αυτά τα μείζονος σημασίας ζητήματα που εμφανίζονται τα τελευταία χρόνια, οι επιστήμονες αλλά και οι ίδιες οι βιομηχανίες ξύλου αναζητούν από τις αρχές της δεκαετίας του '90 πιο περιβαλλοντικά φιλικές τεχνολογίες. Στόχος πλέον είναι η παραγωγή πράσινων προϊόντων ξύλου με βελτιωμένες ιδιότητες, εφάμιλλες με αυτές του εμποτισμένου ξύλου. (Λυκίδης και Μαντάνης 2011).

## 2.2.1. ΧΗΜΙΚΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ

**Χημική τροποποίηση του ξύλου** (chemical modification of wood) προκύπτει με την αντίδραση ενός χημικού συστατικού του ξύλου (συνήθως τα υδροξύλια OH της κυτταρίνης, των ημικυτταρινών και της λιγνίνης) και επιλεγμένων χημικών ουσιών, με ή χωρίς τη βοήθεια καταλύτη και δημιουργία ιονικών δεσμών μεταξύ τους. Οι χημικές ουσίες τροποποιούν τα κύρια χημικά χαρακτηριστικά συστατικά του ξύλου χωρίς να αφήνουν τοξικά υπολείμματα μέσα στο ξύλο.

Η χημική τροποποίηση μπορεί να μεταβάλει τον υδρόφιλο χαρακτήρα του ξύλου. Η εισαγωγή χημικών μέσα στα κυτταρικά τοιχώματα και η 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 ή αντικαθίστανται από άλλες υδρόφοβες ομάδες. (Φιλίππου 1986).

Η χημική τροποποίηση του ξύλου αποτελεί έναν αρκετά αποτελεσματικό τρόπο για τη βελτίωση των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου και την προστασία του από το φως του ήλιου, το νερό, τη θερμότητα και τις αλλοιώσεις που προέρχονται από διάφορους οργανισμούς (έντομα, μύκητες). Η τροποποίηση με ακετυλικό ανυδρίτη αποτελεί την πιο κοινή μορφή χειρισμού των ξύλων και των προϊόντων του. Πολλοί μελετητές έχουν αναφέρει ότι το ακετυλιωμένο ξύλο παρουσιάζει σημαντική μείωση κατά τη διόγκωση σε σχέση με το κοινό ξύλο. Παρ' όλα αυτά, μερικές αναφορές στη βιβλιογραφία δείχνουν ότι η ακετυλίωση έχει δυσμενείς επιπτώσεις σε κάποιες από τις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου. Οι Reiterer και Sinn (2002) μελέτησαν τις μηχανικές ιδιότητες τροποποιημένης ξυλείας ερυθρελάτης με οξικό ανυδρίτη. Η σκληρότητα του τροποποιημένου ξύλου μειώθηκε κατά 20% σε σχέση με το κοινό ξύλο. Επίσης η χημική τροποποίηση ξυλείας πεύκης με οξικό ανυδρίτη μέχρι της αύξησης του βάρους της σε ποσοστό 16,4%, είχε σαν αποτέλεσμα την βελτίωση της αντοχής του ξύλου σε θλίψη. Ωστόσο, υψηλότερα επίπεδα τροποποίησης οδήγησαν στη μείωση της αντοχής σε θλίψη, σε σχέση με το κανονικό ξύλο.

Η ακετυλίωση του ξύλου με ανυδρίτες, μπορεί να παράγει ξύλο με βελτιωμένη διαστασιακή σταθερότητα, αυξημένη φυσική σταθερότητα και αντοχή. Μελέτες έχουν δείξει ότι η εστεροποίηση με οξικούς και καρβοξυλικούς ανυδρίτες επηρεάζει και το χρώμα, μειώνοντας το κιτρίνισμα του ξύλου. (Khalil, et al. 2011)

## 2.2.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ

Με τον όρο **θερμική τροποποίηση του ξύλου** (thermal modification of wood) εννοούμε την τροποποίηση των κυτταρικών τοιχωμάτων σε μοριακό επίπεδο με συγκεκριμένους χειρισμούς σε υψηλές θερμοκρασίες ( $170^{\circ}\text{C}$ - $240^{\circ}\text{C}$ ) για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το οποίο ποικίλει ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται (μέχρι 36 ώρες), χωρίς προσθήκη ουσιών. (Ohlmeyer και Lukowsky 2004). Στο θερμικά τροποποιημένο ξύλο παρατηρείται αύξηση της ανθεκτικότητας στη σήψη, μείωση της περιεχόμενης υγρασίας, μείωση της θερμικής αγωγιμότητας, απομάκρυνση της ρητίνης, ομοιόμορφος χρωματισμός της μάζας του, αύξηση της διαστασιακής σταθερότητας, μείωση της αντοχής σε εφελκυσμό και μικρή μείωση της αντοχής σε κάμψη (Jamsa και Viitaniemi 1998).

Η θερμοκρασία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις χημικές, φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του ξύλου και προκαλεί αποικοδόμηση των δομικών συστατικών του σε απλές μονομερείς ενώσεις. Το μέγεθος της επίδρασης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το ύψος της θερμοκρασίας, ο χρόνος επίδρασης, η περιεχόμενη υγρασία του ξύλου, η παρουσία καταλύτη, και τέλος το είδος και οι διαστάσεις του ξύλου. Σε θερμοκρασίες μέχρι  $100^{\circ}\text{C}$ , μειώνεται η ικανότητα προσρόφησης υγρασίας από το περιβάλλον, αλλά η επίδραση δεν είναι μόνιμη και με μείωση της θερμοκρασίας το ξύλο αποκτά της αρχικές του ιδιότητες. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των  $100^{\circ}\text{C}$  η επίδραση στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες είναι περισσότερο ή λιγότερο μόνιμη ανάλογα με το ύψος και τη διάρκεια της θερμοκρασίας. Οι μόνιμες μεταβολές που παρουσιάζονται στις ιδιότητες του ξύλου είναι αποτέλεσμα των χημικών αλλοιώσεων των πολυμερών συστατικών του (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη). Η απώλεια βάρους είναι επίσης αποτέλεσμα της αποικοδόμησης των πολυμερών συστατικών αυτών, τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα μέχρι τους  $100^{\circ}\text{C}$ . Σε θερμοκρασίες μεταξύ  $120^{\circ}\text{C}$ - $140^{\circ}\text{C}$ , η κυτταρίνη και οι ημικυτταρίνες αρχίζουν να αποικοδομούνται, ενώ η λιγνίνη παραμένει περισσότερο ανθεκτική. Η ιδέα της θερμικής τροποποίησης βασίζεται στην σταδιακή αποικοδόμηση της κυτταρίνης και της ημικυτταρίνης. Είναι γνωστό ότι τα συστατικά αυτά περιέχουν μεγάλες ποσότητες ελεύθερων υδροξυλίων (OH) τα οποία είναι υπεύθυνα για την περιορισμένη διαστασιακή σταθερότητα του ξύλου και τη χαμηλή ανθεκτικότητα σε μικροοργανισμούς. Ο σταδιακός κατακερματισμός των πολυμερών συστατικών του ξύλου, με τη σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας, έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων συστατικών. Αυτά παρουσιάζουν αυξημένη ενεργητικότητα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται νέα πολυμερή συστατικά μέσα στη μάζα του ξύλου με βελτιωμένες ιδιότητες. (Φιλίππου 1986).

Το κοινό χαρακτηριστικό όλων των μεθόδων παραγωγής της θερμικά τροποποιημένης ξυλείας, είναι ότι ο χειρισμός του ξύλου πραγματοποιείται σε υψηλές θερμοκρασίες που κυμαίνονται από  $160^{\circ}\text{C}$  μέχρι  $260^{\circ}\text{C}$ . Οι διαφορές τους έχουν να κάνουν με τους συντελεστές παραγωγής, όπως η κατάσταση του ξύλου από άποψη υγρασίας (χλωρό ή ξηρό), το είδος της πίεσης (ατμοσφαιρική ή υδροθερμική), το μέσο θέρμανσης (θερμός και υγρός αέρας, θερμός ατμός ή λάδι) και η παρουσία ή απουσία οξυγόνου.

Το θερμικά τροποποιημένο ξύλο αποτελεί ένα φυσικό προϊόν που παράγεται με την χρήση θερμότητας και ατμού, χωρίς την προσθήκη χημικών. Οι κυριότεροι μέθοδοι παραγωγής αυτής της ξυλείας έχουν αναπτυχθεί σε διάφορες χώρες της Ευρώπης και έχουν κατοχυρωθεί διεθνώς ως διπλώματα ευρεσιτεχνίας. Αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια.



## 2.2.2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΙΚΑ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΞΥΛΕΙΑΣ

### 2.2.2.1.1 ΜΕΘΟΔΟΣ THERMO WOOD

Έπειτα από ερευνητικές προσπάθειες πολλών ετών πάνω στη θερμική τροποποίηση του ξύλου από το Τεχνολογικό Ερευνητικό Κέντρο της Φιλανδίας (VTT Technical Research Centre of Finland) και τη βιομηχανία ξύλου της Φιλανδίας, αναπτύχθηκε η συγκεκριμένη μέθοδος, που σήμερα μας δίνει θερμικά τροποποιημένο ξύλο σε βιομηχανική κλίμακα, με το εμπορικό όνομα Thermo Wood<sup>®</sup>, το οποίο έχει κατοχυρωθεί διεθνώς ως δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Η άδεια της χρήσης του ανήκει στον Φιλανδικό Συνεταιρισμό Θερμικά Τροποποιημένου Ξύλου (Finnish Thermo Wood Association). Η διαδικασία παραγωγής του διαχωρίζεται στις εξής φάσεις:

- 1. Στάδιο θέρμανσης:** Το ξύλο θερμαίνεται ραγδαία σε θερμοκρασία που δεν ξεπερνά τους 100<sup>0</sup>C. Ο χρόνος που απαιτείται κυμαίνεται από 2 έως 4 ώρες.
- 2. Στάδιο ξήρανσης:** Επιδιώκεται η μείωση της υγρασίας του ξύλου στο 3-4%, η οποία μπορεί να φτάσει και το 0%. Η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή στους 130<sup>0</sup>C. Η χρονική διάρκεια που απαιτείται είναι από 6 έως 16 ώρες.
- 3. Στάδιο θερμικής τροποποίησης:** Η θερμοκρασία ανεβαίνει στους 180-220<sup>0</sup>C και ο αέρας στον θάλαμο χειρισμού αντικαθίσταται σταδιακά με ατμό, έτσι ώστε να αποφευχθεί το πιθανό κάψιμο του ξύλου. Έπειτα η θερμοκρασία παραμένει σταθερή για 2 με 3 ώρες. Η διάρκεια του σταδίου αυτού και του επόμενου κυμαίνεται από 6 έως 10 ώρες.
- 4. Στάδιο μερικού κλιματισμού:** Η θερμοκρασία ελαττώνεται σταδιακά.
- 5. Στάδιο σταθεροποίησης:** Η απολεσθείσα υγρασία επιστρέφει στο ξύλο με ψεκασμό νερού σε ποσοστό 4-8%. Η διάρκεια κυμαίνεται από 6 έως 10 ώρες.
- 6. Στάδιο τελικού κλιματισμού:** Η ξυλεία κλιματίζεται με χρονική διάρκεια από 4 έως 6 ώρες.



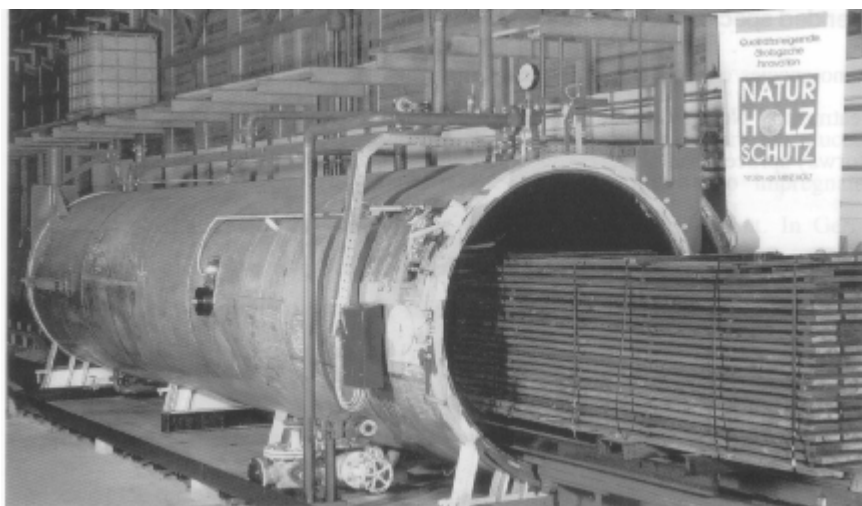
**Εικόνα 9.** Ο πρώτος θάλαμος χειρισμού θερμικά τροποποιημένης ξυλείας στις αρχές του 90.

#### 2.2.2.1.2 ΜΕΘΟΔΟΣ PLATO

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε στην Ολλανδία και κατοχυρώθηκε με το εμπορικό όνομα Plato<sup>®</sup> Wood. Είναι κάπως διαφορετική από την προηγούμενη και επιτυγχάνει ελάχιστη μείωση στις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου.

#### 2.2.2.1.3 ΜΕΘΟΔΟΣ OIL HEAT TREATMENT

Σύμφωνα με τη μέθοδο, που αναπτύχθηκε στη Γερμανία, θερμική τροποποίηση πραγματοποιείται με εμβάπτιση του ξύλου μέσα σε θερμαινόμενο λάδι (180-200<sup>0</sup>C), σε κλειστό κύλινδρο. Η παρουσία λαδιού παρέχει γρήγορη και ομοιόμορφη θέρμανση του ξύλου, ενώ ταυτόχρονα περιορίζει στο ελάχιστο την παρουσία οξυγόνου στον κύλινδρο. Η συνολική διάρκεια της μεθόδου είναι 18 ώρες.



**Εικόνα 10.** Κύλινδρος με τον οποίο εκτελείται η μέθοδος OHT στην Γερμανία.

#### 2.2.2.1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ RETIFICATION

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε στη Γαλλία και κατοχυρώθηκε ως δίπλωμα ευρεσιτεχνίας με το εμπορικό όνομα New Option Wood. Σύμφωνα με αυτή ξύλο με υγρασία 12% θερμαίνεται στους 200<sup>0</sup>C – 240<sup>0</sup>C, παρουσία αζώτου.

#### 2.2.2.1.5 ΜΕΘΟΔΟΣ BOIS PERDURES

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή που αναπτύχθηκε στη Γαλλία, χλωρό ξύλο θερμαίνεται πολύ γρήγορα στους 200<sup>0</sup>C – 240<sup>0</sup>C, παρουσία ατμοσφαιρικής πίεσης. (Παπαδόπουλος 2005)

## 2.2.3 ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ

### 2.2.3.1 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ

**Ατμός** (steam) στη Φυσική ονομάζεται κάθε σώμα που βρίσκεται σε αέρια κατάσταση (Microsoft Encarta Encyclopedia, 2002). Θεωρητικά θα μπορούσε να ονομαστεί και ως αέριο, αλλά στην πράξη ο όρος «ατμός» χρησιμοποιείται για σώματα που στη φυσική τους κατάσταση είναι υγρά ή στερεά όπως το νερό, η βενζίνη κ.α. Έχει προταθεί η χρήση του όρου «ατμός» να περιορίζεται σε αέρια σώματα που βρίσκονται σε κατάσταση κάτω από το κρίσιμο σημείο δηλ. τη θερμοκρασία στην οποία μπορούν, με την επίδραση επαρκούς πίεσης, να συμπυκνωθούν και να υγροποιηθούν, ενώ αντίθετα ο όρος αέριο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σώματα που έχουν υπερβεί το κρίσιμο σημείο και έτσι δεν είναι δυνατή η παρουσία της ουσίας σε υγρή ή στερεά κατάσταση.

Η θερμική κίνηση στα υγρά συνεπάγεται την αποβολή μερικών σωματιδίων από αυτά. Όταν ο χώρος πάνω από το υγρό είναι κλειστός δημιουργείται σε αυτόν μια φάση αερίων από τα σωματίδια του υγρού. Τα σωματίδια αυτά κρούουν πάνω στα τοιχώματα του δοχείου και δημιουργούν κάποια πίεση επονομαζόμενη ως πίεση ή τάση ατμών (Ignatowitz και Haering 1990). Η πίεση ατμών αντιπροσωπεύει το βαθμό στον οποίο μόρια υγρού μεταφέρονται (δεσμεύοντας ενέργεια) στην αέρια φάση (www.iaps.org, 2000). Όσο η θερμοκρασία του υγρού αυξάνεται, τόσο αυξάνεται και η πίεση των παραγόμενων ατμών. Όταν η τάση ατμών υπερβεί την πίεση του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται, τότε παρατηρείται το φαινόμενο του βρασμού της ουσίας και ο παραγόμενος ατμός σε αυτή την περίπτωση ονομάζεται **κορεσμένος ατμός** (saturated steam) ενώ αναφέρεται και ως υγρός ατμός (wet steam). Περαιτέρω θέρμανση του κορεσμένου ατμού οδηγεί στο σχηματισμό του λεγόμενου **υπέρθερμου ατμού** (superheated steam).

Το νερό μεταβάλλει τη φάση του από υγρό σε ατμό κάτω από σταθερές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Για τις συνήθεις συνθήκες του περιβάλλοντος οι αντίστοιχες τιμές πίεσης και θερμοκρασίας βρασμού του νερού είναι 1,0133 bar και 100°C. Όταν η ατμοσφαιρική πίεση είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από αυτή (κάτι το οποίο συμβαίνει κάθε στιγμή) τότε αντίστοιχα αυξάνεται ή μειώνεται και η θερμοκρασία βρασμού του νερού. Για παράδειγμα, αν η ατμοσφαιρική πίεση είναι 1 bar τότε η θερμοκρασία βρασμού (και συνεπώς παραγωγής κορεσμένου ατμού) είναι 99,632°C. Η πίεση και η θερμοκρασία του νερού-ατμού σε κατάσταση κορεσμού είναι κοινά αποδεκτή στην επιστήμη της Θερμοδυναμικής (Πάττας, 1978). Για την ανάπτυξη πιέσεων υψηλότερων (ή και χαμηλότερων) της ατμοσφαιρικής, είναι αναγκαίο το νερό να βρίσκεται σε κλειστά δοχεία ανθεκτικά στις πιέσεις αλλά και τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες. Τα δοχεία αυτά βιομηχανικά ονομάζονται λέβητες και πιο συγκεκριμένα, όταν πρόκειται για ατμό, **ατμολέβητες**.

Το ξύλο χαρακτηρίζεται ως ελαστικό υλικό, δηλ. υλικό που φέρει την ιδιότητα να μην παραμορφώνεται μόνιμα μετά από φορτίσεις σε επίπεδα κατώτερα του ορίου θραύσης του. Η άτμιση αποτελεί έναν προπαρασκευαστικό χειρισμό του ξύλου, ή κάποιων συγκολλημένων προϊόντων ξύλου, όπως το αντικολλητό, που έχει ως σκοπό την πλαστικοποίηση του και συνεπώς την μόνιμη παραμόρφωσή του για παραγωγή καμπύλων στοιχείων. Επίσης η πλαστικοποίηση του ξύλου με άτμιση αποτελεί

σημαντικό τεχνολογικό στάδιο κατά την παραγωγή ξυλοφύλλων γιατί επιφέρει τη δημιουργία βελτιωμένων επιφανειών λόγω της ευκολότερης τομής του συμπαγούς ξύλου από τα κοπτικά μέσα. Άτμιση εφαρμόζεται στην πριστή ξυλεία οξιάς και άλλων ειδών αμέσως μετά την πρίση τους (Εικόνα 7) με σκοπό την αποστείρωση και τη βελτίωση του χρώματος της (Wang et al 1994 ). Συγκεκριμένα με την άτμιση η οξιά αποκτά ένα ελκυστικό ερυθρό χρωματισμό (Τσουμής, 1999). Γενικότερα με την άτμιση μειώνεται η χρωματική αντίθεση μεταξύ σομού και εγκάρδιου ξύλου (Voulgaridis, Passialis και Grigoriou 1997, Λυκίδης 2004).

### 2.2.3.2 ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΟΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ ΞΥΛΟΥ

Ο υδροθερμικός χειρισμός του ξύλου (hydro-thermal treatment of wood), επιτυγχάνεται με τις μεθόδους που αναφέρθηκαν πιο πάνω και προκαλεί πολλές χημικές μετατροπές στη δομή του ξύλου. Η παρουσία άφθονης ποσότητας υγρασίας μέσα στο κυτταρικό τοίχωμα του ξύλου κατά την διάρκεια του υδροθερμικού σταδίου, προκαλεί αυξημένη αντιδραστικότητα στα συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος, κάτω από σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες.

Σύμφωνα με τον Tjeerdsma (1998), η διαδικασία Plato χρησιμοποιεί διαφορετικά βήματα χειρισμού και συνδυάζει επιτυχώς το στάδιο υδροθερμόλυσης με το στάδιο της ωρίμανσης. Η υδροθερμόλυση έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία διαφορετικών χημικών μετασχηματισμών. Για να επιτευχθεί ο επιλεκτικός αποπολυμερισμός της ημικυτταρίνης κατά τη διάρκεια της υδροθερμόλυσης μπορούν να εφαρμοσθούν σχετικά ήπιες συνθήκες, με σκοπό τον περιορισμό ανεπιθύμητων αντιδράσεων, που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου.

Κατά τους Ruyter (1989) και Boonstra et al. (1998), η διαδικασία αυτή αποτελείται κυρίως από δύο φάσεις, με ένα ενδιάμεσο στάδιο ξήρανσης. Αρχικά, στο στάδιο της υδροθερμόλυσης, το ξύλο τροποποιείται θερμικά σε θερμοκρασίες από 160<sup>0</sup>C μέχρι 190<sup>0</sup>C, υπό αυξανόμενη πίεση. Στη συνέχεια γίνεται συμβατική ξήρανση του ξύλου μέχρι την επίτευξη χαμηλού ποσοστού υγρασίας (10%). Στο δεύτερο στάδιο (ωρίμανση), το προϊόν θερμαίνεται ξανά σε θερμοκρασίες από 170<sup>0</sup>C μέχρι 190<sup>0</sup>C. Ο χρόνος που απαιτείται είναι ανάλογος με το είδος, το πάχος και τη μορφή του ξύλου και διαχωρίζεται ως εξής:

- |                  |              |
|------------------|--------------|
| 1) Υδροθερμόλυση | à 4-5 ώρες   |
| 2) Ξήρανση       | à 3-5 μέρες  |
| 3) Ωρίμανση      | à 14-16 ώρες |
| 4) Κλιματισμός   | à 2-3 μέρες  |

#### 2.2.3.2.1 ΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Η σχετικά ήπια θερμική κατεργασία του ξύλου μέσω των δύο σταδίων υδροθερμικού χειρισμού, οδηγεί σε βελτιωμένη διαστασιακή σταθερότητα και απόδοση της ξυλείας. Σε μοριακό επίπεδο καταγράφονται όλα τα περιστατικά που είναι γνωστά στη χημεία του ξύλου. Πρόκειται για τον σχηματισμό οξικού οξέος από τις ημικυτταρίνες, που καταλύουν την περαιτέρω διάσπαση των υδατανθράκων, προκαλώντας μείωση του βαθμού πολυμερισμού τους. Στο πρώτο στάδιο, η καταλυτική επίδραση του οξέος έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό φορμαλδεΐδης, φουρφουράλης και άλλων αλδεϋδών και την μερική διάσπαση της λιγνίνης στις μονάδες Ca και O4. Πιστεύεται ότι η επίδραση αυτή προκαλεί και την παραγωγή αλδεϋδης από τις μονάδες Cγ της λιγνίνης. Η συμπύκνωση της λιγνίνης, μέσα από τη διάσπαση που δημιουργείται, φορτίζει θετικά τις βενζυλικές μονάδες Ca, έτσι ώστε να σχηματίσουν γέφυρες μεθυλενίου. Η αύξηση του αριθμού των ελεύθερων περιοχών στον αρωματικό δακτύλιο μερικών μονάδων λιγνίνης, παίρνει μέρος σε αυτό το βήμα και συνεχίζεται και στο επόμενο.

Κατά το δεύτερο στάδιο χειρισμού, η ολοκλήρωση της συμπύκνωσης της λιγνίνης, συμβαίνει μέσω της δημιουργίας γεφυρών, που συνδέουν τους αρωματικούς δακτυλίους. Δημιουργούνται αντιδράσεις που προέρχονται από ομάδες αλδεϋδών, οι οποίες σχηματίστηκαν στο πρώτο στάδιο μεταξύ των αρωματικών περιοχών της λιγνίνης, έτσι ώστε να συνδεθούν οι αρωματικοί δακτύλιοι με γέφυρες μεθυλενίου. Η έκταση των αντιδράσεων αυτών είναι ήπια, παρ' όλα αυτά όμως μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση των δεσμών, με επακόλουθο την βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας και τη μείωση της υγροσκοπικότητας του ξύλου. (Militz and Tjeerdsma 1998).

#### 2.2.3.2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Στην Ολλανδία τα είδη ξύλου που υφίστανται τροποποίηση τηρούν το απαιτούμενο κατώτατο όριο για την εφαρμογή τους σε ξυλουργικές κατασκευές. Η χαμηλή απώλεια αντοχής της οξιάς εξηγείται εν μέρει από την αύξηση της πυκνότητας του είδους μετά την επίδραση των χειρισμών. Κατά τη διαδικασία Plato μπορούν να δημιουργηθούν υψηλές τάσεις στο ξύλο, καθώς αυτό εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες και την ταχεία εξάτμιση του νερού.

Η παρουσία νερού και η εξάτμιση του, επηρεάζουν τη θερμική τροποποίηση και τη διάδοση της θερμότητας μέσα στο ξύλο (Burmester 1981). Κάτω από ξηρές συνθήκες χειρισμού, το ξύλο ξηραίνεται πριν από τη θερμική κατεργασία ή απομακρύνεται το νερό με τη χρήση ανοιχτού συστήματος. Στα συστήματα κλειστού τύπου, το νερό εξατμίζεται από το ξύλο και παραμένει ως ατμός υψηλής πίεσης κατά τη διάρκεια των χειρισμών. Ο ατμός μπορεί να διαθοδεί στον αντιδραστήρα έτσι ώστε να λειτουργήσει ως αγωγός θερμότητας και ως “εσωτερική ασπίδα” κατά τις αντιδράσεις οξειδωσης. Τέτοιες διαδικασίες χειρισμού ονομάζονται υδροθερμικοί χειρισμοί ξύλου. Όταν το ξύλο θερμαίνεται μέσα σε νερό, η διαδικασία καλείται επίσης υδροθερμικός χειρισμός.

Η έμφυτη ανομοιογένεια του ξύλου οδηγεί σε διαφορετικές αντιδράσεις κατά τη θερμική τροποποίηση. Ο βαθμός μετάδοσης της θερμότητας στο εσωτερικό του ξύλου είναι αρκετά σημαντικός, έτσι ώστε να εξασφαλισθεί σταθερή και διαρκής

θερμοκρασία μέσα στο δείγμα. Η θερμική αγωγιμότητα του ξηρού ξύλου είναι χαμηλή και η μέθοδος θέρμανσης που εφαρμόζεται, πρέπει να εξασφαλίσει την επιτυχία του χειρισμού. Η διάδοση θερμότητας στο εσωτερικό μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση θερμού ατμού. Η διάδοση αυτή αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα στον χειρισμό ξυλείας μεγάλων διαστάσεων. Ο χειρισμός σε υψηλές θερμοκρασίες έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της αντοχής, της σκληρότητας και της αντοχής σε ζύσιμο. Η μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων μέσω των θερμικών χειρισμών οδήγησε στην εξέλιξη της μεθόδου των δύο σταδίων Plato, κατά την οποία η μείωση της αντοχής του ξύλου ελαχιστοποιείται, εκτελώντας τους χειρισμούς σε θερμοκρασίες κάτω των 200<sup>0</sup>C. Οι Chang και Keith το 1978 ανακάλυψαν ότι η φτελιά και η οξιά αποτελούν πιο ευαίσθητα είδη στην θερμική αποικοδόμηση σε σύγκριση με τα είδη Σφένδαμος και Aspen. Υδροθερμικοί χειρισμοί στα είδη Πεύκο, Έλατο και Douglas Fir, είχαν σαν αποτέλεσμα σημαντικές μειώσεις αντοχής (Mc Lean 1953). Αυτές ήταν της τάξεως του 50% για χειρισμό τεσσάρων ωρών στους 177<sup>0</sup>C και 75% έπειτα από χειρισμό 8 ωρών.

#### 2.2.3.2.3 ΑΛΛΑΓΗ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Οι φυσικές αλλαγές που συμβαίνουν στο ξύλο, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις ακριβείς συνθήκες των χειρισμών. Το ξύλο αποκτά σκούρο χρώμα, με την αλλαγή του χρώματος να σχετίζεται με τη θερμοκρασία και τη χρονική διάρκεια των χειρισμών. Ο χειρισμός σε αέρα έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερες χρωματικές αλλαγές σε σύγκριση με τη θέρμανση σε συνθήκες αζώτου. Ο Chow (1972) ανέφερε ότι υπάρχει σχέση ανάμεσα στην αλλαγή του χρώματος μέσω θερμικών χειρισμών, με την κρυσταλλικότητα και τον βαθμό πολυμερισμού. Ο Mitshui (2003) και άλλοι ερευνητές μελέτησαν τη χρωματική μεταβολή ξύλου, που είχε προηγουμένως εκτεθεί σε ακτινοβολία φωτός και έπειτα τέθηκε σε σχετικά ήπιο υδροθερμικό χειρισμό (θερμοκρασία μέχρι 90<sup>0</sup>C). Η έκταση της μεταβολής του χρώματος εξαρτήθηκε από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και βρέθηκε να είναι μεγαλύτερη κατά τη θέρμανση κάτω από συνθήκες υψηλής υγρασίας. (Hill 2006)

#### 2.2.3.2.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΙΣ ΥΓΡΟΣΚΟΠΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Από τα χημικά συστατικά του ξύλου τα περισσότερο υγροσκοπικά είναι οι ημικυτταρίνες και έπειτα η κυτταρίνη. Η λιγνίνη είναι το λιγότερο υγροσκοπικό συστατικό (Nikitin 1966, Φιλίππου 1986). Η παρουσία υδροξυλίων (-OH) στα μόρια των ημικυτταρινών και της κυτταρίνης είναι υπεύθυνη για την υγροσκοπικότητά τους. Ο θερμικός χειρισμός του ξύλου σε θερμοκρασίες 100-200<sup>0</sup>C προκαλεί τη δημιουργία δεσμών υδρογόνου που δεσμεύουν τα ελεύθερα υδροξύλια, ώστε δεν είναι διαθέσιμα για προσρόφηση μορίων νερού.

Σε ό,τι αφορά την επίδραση της θέρμανσης στην υγροσκοπικότητά του ξύλου, οι Kolin και Danon (1997) αναφέρουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει την μείωση της υγροσκοπικότητας και της ρίκνωσης και διόγκωσης του. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε και ο Burmester (1973) σε σχετική έρευνα, κατά την οποία εξετάστηκε η επίδραση υδροθερμικών χειρισμών στη διαστασιακή σταθερότητα ξύλου δρυός, οξιάς, πεύκης και ελάτης. Οι Rowel, Lange και Davis (2000) αναλύουν τους μηχανισμούς αύξησης της διαστασιακής σταθερότητας μοριοπλακών

που παράγονται από ξυλοτεμαχίδια μετά από υδροθερμικούς χειρισμούς. Συγκεκριμένα αναφέρουν ότι η διαστασιακή σταθερότητα αυξάνεται με:

- 1) αποικοδόμηση των υγροσκοπικών ημικυτταρινών και μετατροπή τους σε σάκχαρα, που μπορούν να μετατραπούν σε λιγότερο υγροσκοπικούς πολυσακχαρίτες,
- 2) αποικοδόμηση των ημικυτταρινών σε ελεύθερα σάκχαρα, από τα οποία προκύπτουν φουράνες οι οποίες με τη σειρά τους μπορούν να πολυμεριστούν κατά τη διάρκεια θερμής πίεσης και να σχηματίσουν δεσμούς συγκόλλησης,
- 3) θερμικό μαλάκωμα της λιγνίνης και τη δημιουργία ενός νέου πλέγματος με μικρότερες εσωτερικές τάσεις στα κυτταρικά τοιχώματα,
- 4) διάσπαση των ημικυτταρινών και τη μετατροπή τους σε αέριες ενώσεις, οι οποίες διαφεύγουν κατά τη θερμή συμπίεση.

Επιπροσθέτως, η βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας φάνηκε να είναι ανάλογη του χρόνου άτμισης. (Taylor 1987 και Λυκίδης 2004).

#### 2.2.3.2.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΤΗΝ ΟΞΥΤΗΤΑ

Είναι κοινή αποδοχή ότι η άτμιση του ξύλου επιφέρει αύξηση της οξύτητας του, δηλαδή μείωση του pH (Kolin και Danon 1997). Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξαν και οι Hsu et al (1988) μετά από άτμιση ξυλοτεμαχιδίων πεύκης και λεύκης στους 200°C συμπληρώνοντας ότι με αύξηση του χρόνου υδροθερμικού χειρισμού αυξάνεται και η οξύτητα του ξύλου. Οι Sekino, Inoue και Irlle (1998) με υδροθερμικούς χειρισμούς διάρκειας 10 λεπτών που διεξήγαγαν σε ξυλοτεμαχίδια βρήκαν ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας του υδροθερμικού χειρισμού αυξάνεται η οξύτητα του ξύλου. (Λυκίδης 2004).

#### 2.2.3.2.6 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΠΡΟΣΒΟΛΕΣ ΜΥΚΗΤΩΝ

Η αντίσταση σε προσβολές μυκήτων βελτιώνεται σημαντικά μέσω των υδροθερμικών χειρισμών. Η αντίσταση κατά των μυκήτων καφέ, λευκής και μαλακής σήψης αυξάνεται. Η αύξηση της αντίστασης αποσύνθεσης του ξύλου εξαρτάται από τις συνθήκες τροποποίησης. Η αποτελεσματικότητα των χειρισμών βελτιώνεται με την προσθήκη ενός υδροθερμικού σταδίου πριν από την θερμική τροποποίηση. Οι συνθήκες της διαδικασίας στο συγκεκριμένο στάδιο, έχουν τη μεγαλύτερη μεγαλύτερη επίδραση στην αντίσταση κατά της μαλακής και καφέ σήψης. Η αποσύνθεση εξαρτάται λιγότερο από τις συνθήκες αυτές και επηρεάζεται περισσότερο από την υδροθερμόλυση, γεγονός που υποδεικνύει την αποσύνθεση της ημικυτταρίνης. (Hill 2006)

### **3. ΣΚΟΠΟΣ**

Σκοπός της έρευνας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης των υδροθερμικών χειρισμών εύρους από 110<sup>0</sup>C έως 200<sup>0</sup>C στο χρώμα και τη σκληρότητα του ξύλου οξιάς. Επιπρόσθετος στόχος ήταν η μελέτη της συσχέτισης του χρώματος και της σκληρότητας για τους ανωτέρω χειρισμούς.



## 4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 4.1. ΥΛΙΚΑ

#### Ξύλο

Για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής χρησιμοποιήθηκε ξυλεία οξιάς (*Fagus Sylvatica*) φυσικά ξηραμένη, η οποία πάρθηκε από την αποθήκη υλικών του τμήματος Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου.



**Εικόνα 11.** Φυσική ξυλεία οξιάς

## 4.2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ - ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΣ

Για τη δημιουργία των δοκιμίων ξύλου οξιάς χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω εξοπλισμός του τμήματος: ταινιοπρίονο (πριονοκορδέλα), πλάνη, ξεχονδριστήρας, δισκοπρίονο, λειαντικά μέσα (τριβείο).



**Εικόνα 12.** Πριονοκορδέλα τύπου ACM BS STAR 800



**Εικόνα 13.** Πλάνη τύπου CASADEI MACCHINE DS 510



**Εικόνα 14.** Ξεχονδριστήρας τύπου CASADEI MACCHINE R51h3



**Εικόνα 15.** Δισκοπρίονο τύπου DEWALT DE7023



**Εικόνα 16.** Τριβείο χειρός περιστροφικού τύπου BOSCH

Για τις απαιτούμενες εργαστηριακές μετρήσεις και δοκιμές χρησιμοποιήθηκαν τα εξής όργανα μετρήσεων: ηλεκτρονικό παχύμετρο, ζυγός ακριβείας, χρωματόμετρο, θάλαμος κλιματισμού και μηχανή δοκιμών Zwick Roell.



**Εικόνα 17.** Ηλεκτρονικό παχύμετρο ακριβείας τύπου Mitutoyo 500-181U



**Εικόνα 18.** Ζυγός ακριβείας Kern EG 220-3NM



**Εικόνα 19.** Χρωματόμετρο τύπου BYK-Gardner



**Εικόνα 20.** Θάλαμος κλιματισμού τύπου Votsch VC0100



**Εικόνα 21.** Συσκευή μηχανικών αντοχών τύπου Zwick/Roell Z020



**Εικόνα 22.** Αντιδραστήρας διεξαγωγής των υδροθερμικών χειρισμών.

## 4.3 ΜΕΘΟΔΟΙ

### 4.3.1 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.

Για την πραγματοποίηση της παρούσας μελέτης διαμορφώθηκαν 600 δοκίμια σομού ξύλου οξιάς διαστάσεων 40mm x 40mm x 22mm. Για την παραγωγή των ανωτέρω δοκιμίων επιλέχθηκαν από την αποθήκη υλικών του τμήματος πέντε μαδέρια οξιάς, φυσικά ξηραμένα, και οδηγήθηκαν στην πριονοκορδέλα, όπου και ξεμακρύντηκαν σε μικρότερες διαστάσεις μήκους 1,00m περίπου.



**Εικόνα 23.** Ξεμάκρυσμα μαδεριών

Έπειτα έγινε δημιουργία πλανιάς – γωνιάς στην πλάνη



**Εικόνα 24.** Πλάνισμα



**Εικόνα 25.** Γώνιασμα



Στη συνέχεια έγινε η τομή των γωνιασμένων πριστών σε δοκούς τετραγωνικής διατομής, με την απαιτούμενη υπερδιάσταση πλάτους με τη χρήση της πριονοκορδέλας.



**Εικόνα 26.** Δημιουργία δοκών τετραγωνικής διατομής.

Έπειτα η μια πλευρά των δοκών αυτών επεξεργάστηκε στην πλάνη και στη συνέχεια οδηγήθηκε στον ξεχόνδριστήρα για την επεξεργασία και της απέναντι πλευράς δίνοντας τελικές διαστάσεις πλάτους.

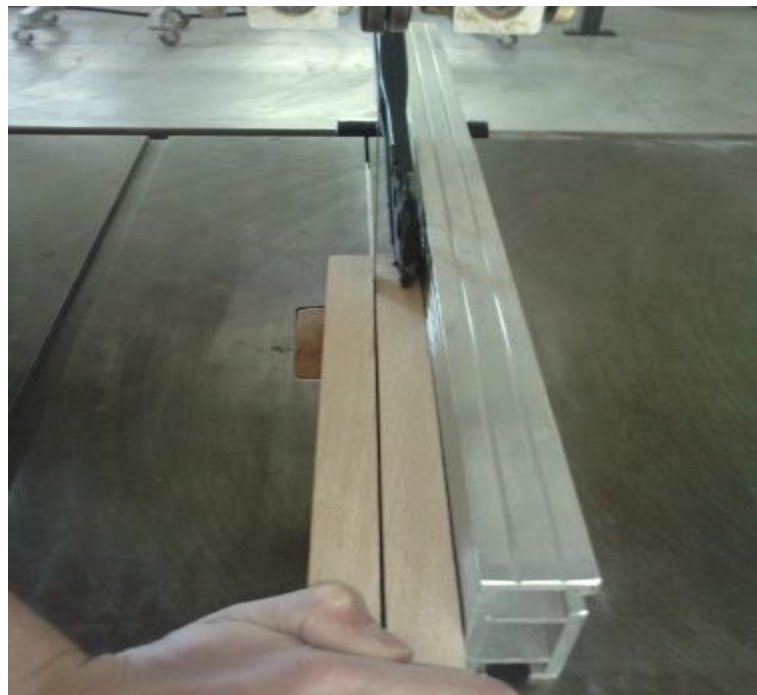


**Εικόνα 27.** Πλάνισμα των δοκών.

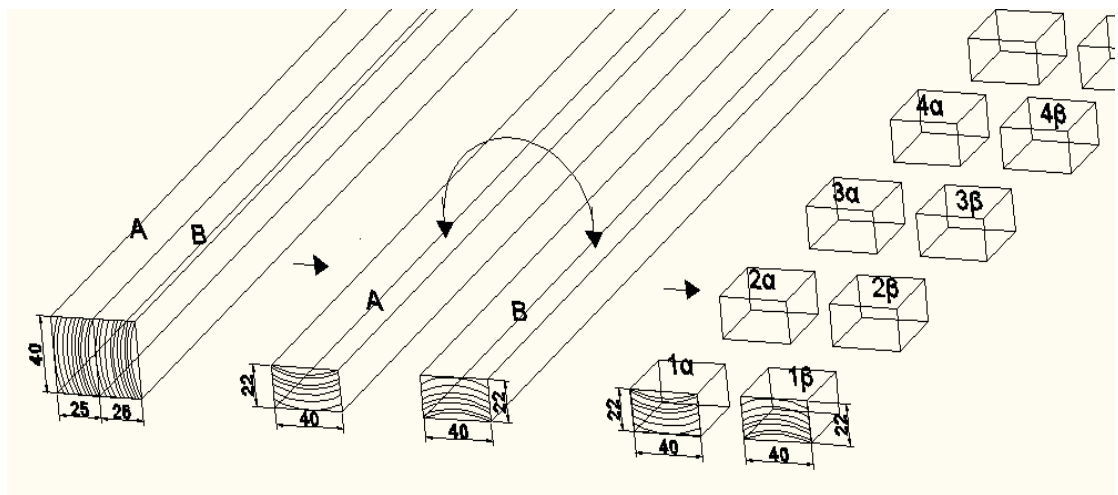


**Εικόνα 28.** Ξεχόνδρισμα σε τελική διάσταση πλάτους.

Επιπρόσθετα οι δοκίδες διαχωρίστηκαν σε δυο ισοπαχείς ράβδους με την απαιτούμενη υπερδιάσταση πάχους στην πριονοκορδέλα.



Εικόνα 29. Διαχωρισμός σε ράβδους.



Σχήμα 3. Σχέδιο κοπής των δοκιμίων

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα οι δοκίδες διχοτομήθηκαν με σκοπό τη σύγκριση μεταξύ των «εσωτερικών» επιφανειών τους σε ότι αφορά τις υπό μελέτη ιδιότητες. Αυτό αποφασίστηκε, διότι ο προσδιορισμός της σκληρότητας είναι καταστρεπτικός και επομένως, λαμβανομένης υπ όψη της ανομοιογένειας του ξύλου, καθιστά δύσκολη τη συγκρισιμότητα μετρήσεων από διαφορετικά σημεία ακόμα και αν αυτά προέρχονται από το ίδιο δείγμα. Λόγω των παραπάνω όλα τα δοκίμια της έρευνας διαμορφώθηκαν σε ζεύγη (300 ζεύγη) με κοινή εσωτερική επιφάνεια.



**Εικόνα 30.**Αριθμηση και κατανομή σε ζεύγη.

Τα ζεύγη ράβδων οδηγήθηκαν στον ξεχονδριστήρα για την διαμόρφωση ονομαστικού πάχους 22mm.



**Εικόνα 31.** Ξεχόνδρισμα σε τελικές διαστάσεις πάχους

Ακολούθησε η λείανση των γειτονικών επιφανειών στα ζεύγη των ράβδων με τη χρήση τριβείου χειρός και γυαλόχαρτο p120 για την επίτευξη λείας επιφάνειας.



**Εικόνα 32.** Λείανση των γειτονικών πλευρών.

Οι ράβδοι ελέγχθηκαν οπτικά και σηματοδεύτηκαν στα μέρη που περιείχαν άτυπο ξύλο (π.χ. ρόζους, εγκάρδιο ξύλο) ή οποιαδήποτε απόκλιση από την πρισματικότητα.



**Εικόνα 33.** Οπτικός έλεγχος των τεμαχίων.

Στην συνέχεια οι ράβδοι οδηγήθηκαν στο δισκοπρίονο με σκοπό τον τεμαχισμό τους σε ζεύγη δοκιμίων διαμορφώνοντας το τελικό μήκος τους. Τα μέρη και τα δείγματα που περιείχαν σφάλματα απορρίφθηκαν.



**Εικόνα 34.** Παραγωγή των δοκιμίων σε ζεύγη

Τέλος πραγματοποιήθηκε η αρίθμηση των δοκιμίων με αριθμούς από 1 έως 300 και δείκτη Α και Β για κάθε ζεύγος αυτών(π.χ. 1 Α, 1 Β).



**Εικόνα 35.** Αρίθμηση και ομαδοποίηση των δοκιμίων

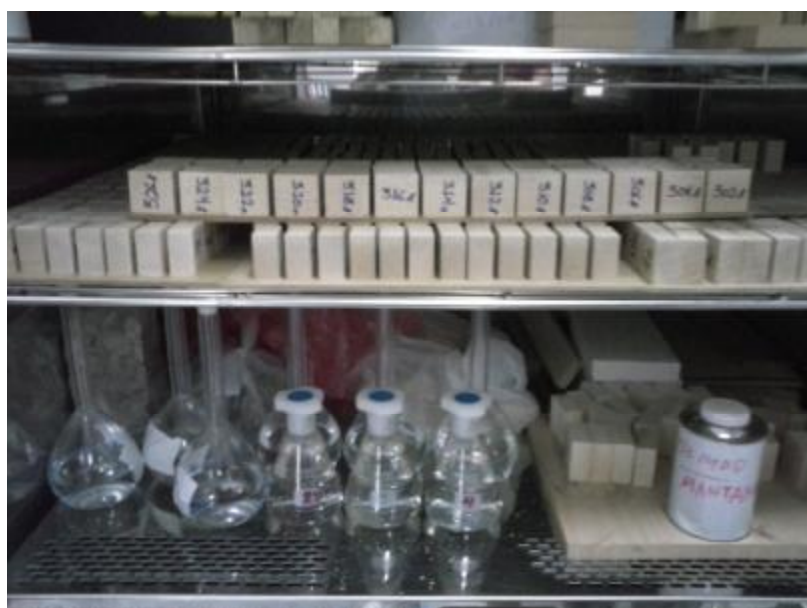
### 4.3.2 ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Τα δοκίμια κλιματίστηκαν στο θάλαμο κλιματισμού του τμήματος σε συνθήκες σχετικής υγρασίας αέρα  $65(\pm 3)\%$  και θερμοκρασίας  $20(\pm 1)^{\circ}\text{C}$  μέχρι τη σταθεροποίηση του βάρους τους. Για την επαλήθευση του κλιματισμού των δοκιμίων μετρούνταν η μάζα τριών τυχαίων δοκιμίων (μάρτυρες) με διαφορά μιας ημέρας, έτσι ώστε η διαφορά της ( $\Delta m$ ) να μην υπερβαίνει το 0,1% μεταξύ δύο διαδοχικών μετρήσεων.

Τα δοκίμια ταξινομήθηκαν και τοποθετήθηκαν με τέτοιο τρόπο στο θάλαμο έτσι ώστε να υπάρχει ομαλή κίνηση του αέρα ανάμεσα στα δοκίμια και να επιτευχθεί με τον καλύτερο δυνατό τρόπο ο κλιματισμός τους.



**Εικόνα 36.** Τοποθέτηση δοκιμίων στο θάλαμο.



**Εικόνα 37.** Τοποθέτηση δοκιμίων στο θάλαμο.

### 4.3.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΑΖΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

Ο προσδιορισμός της μάζας πραγματοποιήθηκε με ηλεκτρονικό ζυγό ακριβείας τύπου Kern EG 220-3NM. Οι μετρήσεις έγιναν με ακρίβεια τριών δεκαδικών ψηφίων. Έπειτα προσδιορίστηκαν οι διαστάσεις των δοκιμίων με ηλεκτρονικό παχύμετρο ακριβείας τύπου Mitutoyo 500-181U με ακρίβεια δύο δεκαδικών ψηφίων. (βλ. κεφάλαιο 4, εικ. 17,18).

### 4.3.4 ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΟΙ ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ

Οι υδροθερμικοί χειρισμοί ξύλου (άτμιση) πραγματοποιήθηκαν σε ανοξείδωτο αντιδραστήρα χωρητικότητας 1L, στον πυθμένα του οποίου για κάθε επανάληψη τοποθετούνταν 200ml αποσταγμένου νερού (βλ. εικόνα 22) . Ακολούθως ο πυθμένας θερμαινόταν μέχρι την επίτευξη των κάθε φορά επιθυμητών συνθηκών. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας είχε ανοχή  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  ενώ για κάθε επανάληψη γινόταν έλεγχος κορεσμού του ατμού χρησιμοποιώντας τα καταστατικά μεγέθη για ατμό (βλ. Πίνακα 2). Η μεταβολή της θερμοκρασίας στον αντιδραστήρα παρουσίασε τις μεταβολές που ενδεικτικά για τους χειρισμούς διάρκειας 10min φαίνονται στο Γράφημα 1. Ανάλογες ήταν οι μεταβολές και για τις υπόλοιπες διάρκειες χειρισμών.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα καταστατικά μεγέθη για τον κορεσμένο ατμό και τις συνθήκες χειρισμού των δοκιμίων.

**Πίνακας 2.** Καταστατικά μεγέθη για τον κορεσμένο ατμό

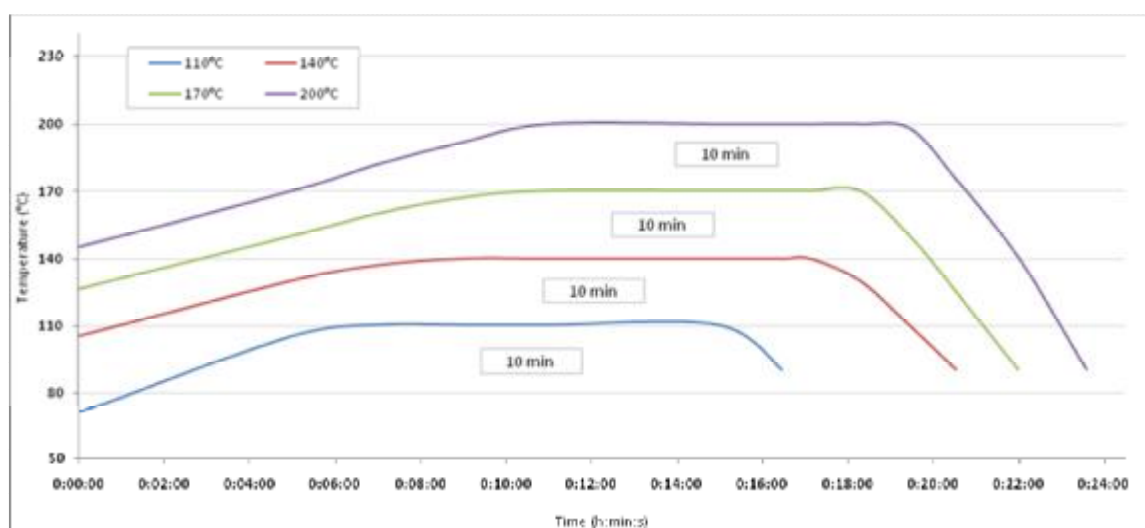
<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ</b>	<b>ΠΙΕΣΗ</b>	<b>ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ</b>	<b>ΠΙΕΣΗ</b>
( $^{\circ}\text{C}$ )	(bar gauge)	( $^{\circ}\text{C}$ )	(bar gauge)
105,0	0,19	175,0	7,90
<b>110,0</b>	<b>0,42</b>	180,0	9,01
115,0	0,68	185,0	10,21
120,0	0,97	190,0	11,53
125,0	1,31	195,0	12,96
130,0	1,69	<b>200,0</b>	<b>14,52</b>
135,0	2,12		
<b>140,0</b>	<b>2,60</b>		
145,0	3,14		
150,0	3,74		
155,0	4,42		
160,0	5,16		
165,0	5,99		
<b>170,0</b>	<b>6,90</b>		



Το δοκίμια της ομάδας Β ταξινομήθηκαν σε ομάδες των 15 και χειρίσθηκαν στις παρακάτω συνθήκες θερμοκρασίας πίεσης και χρόνου, όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα .

**Πίνακας 3.** Στοιχεία των χειρισμών.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ( <sup>0</sup> c)	ΧΡΟΝΟΣ (min)	ΟΜΑΔΕΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ B
110°C	10min	1 - 15
110°C	30min	16 - 30
110°C	60min	31 - 45
110°C	120min	46 - 60
110°C	240min	61-75
140°C	10min	76 - 90
140°C	30min	91 - 105
140°C	60min	106 - 120
140°C	120min	121 - 135
140°C	240min	136 - 150
170°C	10min	151 - 165
170°C	30min	166 - 180
170°C	60min	181 - 195
170°C	120min	196 -210
170°C	240min	211 - 235
200°C	10min	236 - 250
200°C	30min	251 - 265
200°C	60min	266 - 280
200°C	120min	281 - 295
200°C	240min	295 - 300



**Γράφημα 1.** Μεταβολή θερμοκρασίας ατμού στον αντιδραστήρα για τις εφαρμοσθείσες θερμοκρασίες χειρισμών και για διάρκειες 10min.



**Εικόνα 38.** Δείγμα των δοκιμίων έπειτα από τους υδροθερμικούς χειρισμούς. Παρατηρείται η έντονη διαφορά χρώματος καθώς μεταβάλλονται οι συνθήκες χειρισμού.

#### 4.3.5 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Ο προσδιορισμός του χρώματος και των δύο ομάδων δοκιμίων πραγματοποιήθηκε με χρωματόμετρο τύπου BYK-Gardner. Η ομάδα Β ελέγχθηκε πριν και μετά το πέρας των υδροθερμικών χειρισμών διότι τα δοκίμια μεταχρωματίστηκαν ανάλογα με το πρόγραμμα του χειρισμού που υπέστησαν. Το χρώμα προσδιορίστηκε βάσει του συστήματος CIELAB και η διάφορα χρώματος των δοκιμίων υπολογίστηκε με τον αντίστοιχο τύπο ΔΕ (βλ. κεφ. 2.1.3.2.1 σελ.27)



**Εικόνα 39.** Προσδιορισμός χρώματος των δοκιμίων

#### 4.3.6 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑΣ

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας πραγματοποιήθηκε με τη μηχανή δοκιμών (testing machine) τύπου Zwick/Roell Z020 του τμήματος. Ο έλεγχος της σκληρότητας με τη μέθοδο Brinell έγινε όπως καθορίζεται από το πρότυπο EN1534:2000. Οι μετρήσεις έγιναν στο κέντρο των δοκιμίων και τα δοκίμια που έφεραν αποτύπωμα, του οποίου η θέση απέκλινε από το κέντρο αυτών, απορρίφθηκαν. Ο προσδιορισμός αυτός που πραγματοποιήθηκε στην παραπάνω συσκευή έγινε χωρίς κάποια κεφαλή παρά μόνο με το σταθερό στέλεχος αυτής. Το στέλεχος αυτό πιέζει μια μεταλλική σφαίρα διαμέτρου 13,48mm στην επιφάνεια του ξύλου με σταθερή δύναμη (1000N), ενώ το μηχάνημα υπολογίζει το βάθος του αποτυπώματος της σφαίρας στην επιφάνεια του ξύλου.



**Εικόνα 40.** Δοκιμή σκληρότητας δοκιμίων ομάδας A



**Εικόνα 41.** Δοκιμή σκληρότητας των δοκιμίων της ομάδας B

Για τον προσδιορισμό της σκληρότητας Brinell, σύμφωνα με το ως άνω πρότυπο η διάμετρος του αποτυπώματος (d) μετρήθηκε με ηλεκτρονικό παχύμετρο ακριβείας και μικρόμετρο ως ο μέσος όρος δύο κάθετων διαμέτρων, η μια εκ των οποίων ήταν παράλληλη, ενώ η άλλη κάθετη προς τις ίνες του ξύλου. Εφαρμόζοντας τη μέθοδο αυτή υπολογίστηκαν οι τιμές σκληρότητας Brinell 1 για τον 1<sup>ο</sup> συγγραφέα και Brinell 2 για τον 2<sup>ο</sup> συγγραφέα.



**Εικόνα 42.** Προσδιορισμός διαμέτρων.

#### 4.3.7. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για όλα τα προσδιορισθέντα μεγέθη υπολογίστηκαν οι μέσοι όροι, μέγιστες τιμές, ελάχιστες τιμές και τυπικές αποκλίσεις με χρήση του λογισμικού Microsoft Excel. Με χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS 19 προσδιορίστηκε επίσης ο συντελεστής συσχέτισης ( $R^2$ ) και οι αντίστοιχες εξισώσεις παλινδρόμησης μεταξύ χρωματικών μεταβλητών, πυκνότητας και σκληρότητας για τα χρησιμοποιηθέντα δοκίμια. Οι μέθοδοι επαγωγικής στατιστικής εφαρμόστηκαν με επίπεδο στατιστικής ασφάλειας 95%.

## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όλων των προσδιορισμών σε Πίνακες και Γραφήματα. Για τους χειρισμούς σε θερμοκρασία 200°C και διάρκειες 2 και 4h δεν υπάρχουν αποτελέσματα χρωματικών μεταβλητών, καθώς η πολύ έντονη αποικοδόμηση που παρατηρήθηκε και συνοδεύτηκε με εκπομπές προϊόντων αποικοδόμησης του ξύλου αλλά και σημαντική μακροσκοπική μεταβολή χρώματος (επιφανειακή απανθράκωση) οδήγησε στην απόρριψη των εν λόγω χειρισμών.

**Πίνακας 4:** Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων χρωματικών μεταβλητών και μεταβολών τους για τους χειρισμούς των 110°C

Παράμετρος		1	2	3	4	5
Θερμοκρασία-χρόνος χειρισμού		110°C–10min	110°C–30min	110°C–60min	110°C–120min	110°C–240min
<b>L*</b> (A)	mean	75,33	73,82	74,03	75,40	74,23
	max	76,46	76,73	75,17	77,20	75,59
	min	74,40	71,34	72,35	73,43	73,60
	stdev	0,61	1,88	0,88	1,03	0,51
<b>a*</b> (A)	mean	6,98	7,65	8,18	7,32	7,35
	max	7,77	8,48	8,84	8,32	8,33
	min	6,26	6,37	7,40	6,09	5,89
	stdev	0,55	0,68	0,44	0,65	0,76
<b>b*</b> (A)	mean	20,41	20,09	20,31	20,80	21,01
	max	21,75	22,24	21,18	22,29	22,45
	min	19,21	18,84	19,69	19,37	20,01
	stdev	0,79	1,02	0,38	0,89	0,68
(Πριν το χειρισμό) <b>L*</b> (B)	mean	75,33	74,18	74,38	75,30	74,40
	max	76,99	76,91	75,49	77,10	75,97
	min	74,41	71,48	73,37	73,36	73,07
	stdev	0,59	2,19	0,63	1,17	0,68
(Πριν το χειρισμό) <b>a*</b> (B)	mean	7,02	7,40	7,58	7,70	7,53
	max	7,63	8,42	8,19	8,66	8,39
	min	6,01	6,11	6,28	6,77	5,99
	stdev	0,46	0,68	0,51	0,58	0,61
(Πριν το χειρισμό) <b>b*</b> (B)	mean	20,32	20,29	21,10	20,58	21,06
	max	21,79	21,73	22,44	21,36	23,04
	min	18,85	18,94	19,98	19,60	20,13
	stdev	0,99	0,80	0,75	0,58	0,75
(Μετά το χειρισμό) <b>L*</b> (B)	mean	72,59	69,34	68,84	68,82	67,70
	max	73,87	71,80	69,98	70,17	68,88
	min	71,82	66,90	67,24	66,00	66,22
	stdev	0,61	1,74	0,74	1,08	0,78
(Μετά το χειρισμό) <b>a*</b> (B)	mean	7,18	8,27	8,41	8,38	7,39
	max	8,13	9,51	10,21	9,13	8,89
	min	5,89	6,92	7,00	6,91	6,09
	stdev	0,65	0,79	0,86	0,57	0,85
(Μετά το χειρισμό) <b>b*</b> (B)	mean	19,28	19,43	19,47	19,00	18,86
	max	20,69	21,40	21,25	21,67	20,55
	min	18,31	16,45	18,02	17,48	17,17
	stdev	0,84	1,17	0,83	1,01	0,87
<b>ΔΕ</b> (B)	mean	3,43	5,23	5,95	6,81	7,06
	max	4,70	6,54	7,85	8,59	8,49
	min	1,91	2,83	4,94	5,77	6,29
	stdev	0,72	0,94	0,77	0,79	0,78

**Πίνακας 5:** Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων χρωματικών μεταβλητών και μεταβολών τους για τους χειρισμούς των 140°C

Παράμετρος		<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Θερμοκρασία-χρόνος χειρισμού		140°C–10min	140°C–30min	140°C–60min	140°C–120min	140°C–240min
<b>L*</b> (A)	mean	74,64	74,46	78,53	75,62	73,54
	max	75,57	79,62	79,01	78,89	75,29
	min	73,82	70,13	78,02	73,12	72,49
	stdev	0,53	3,31	0,30	2,17	0,91
<b>a*</b> (A)	mean	6,68	7,01	6,25	7,01	7,74
	max	7,72	8,11	7,07	7,89	9,07
	min	5,87	4,52	4,77	5,08	5,73
	stdev	0,53	0,97	0,88	0,83	0,79
<b>b*</b> (A)	mean	20,98	20,55	20,46	19,89	19,50
	max	21,64	21,91	21,85	21,91	21,36
	min	19,80	19,37	19,18	19,04	16,27
	stdev	0,59	0,69	0,87	0,71	1,81
(Πριν το χειρισμό) <b>L*</b> (B)	mean	74,29	74,56	78,52	74,74	73,70
	max	75,66	78,87	79,43	78,87	75,96
	min	73,58	70,05	77,94	72,26	72,19
	stdev	0,58	2,98	0,44	2,48	1,18
(Πριν το χειρισμό) <b>a*</b> (B)	mean	7,32	7,30	6,40	7,06	7,59
	max	7,85	8,66	7,01	8,12	8,87
	min	6,79	6,31	5,54	6,06	5,46
	stdev	0,34	0,68	0,54	0,81	0,83
(Πριν το χειρισμό) <b>b*</b> (B)	mean	20,58	20,36	20,56	20,32	19,58
	max	21,51	22,15	22,77	21,75	21,92
	min	19,34	19,01	19,51	19,60	16,86
	stdev	0,67	0,73	0,83	0,56	1,50
(Μετά το χειρισμό) <b>L*</b> (B)	mean	67,62	63,78	61,07	56,05	53,48
	max	68,57	64,78	63,72	58,90	60,67
	min	66,76	62,32	59,76	54,79	48,32
	stdev	0,45	0,93	1,12	1,10	3,88
(Μετά το χειρισμό) <b>a*</b> (B)	mean	7,06	8,06	8,97	8,84	8,91
	max	8,49	8,99	11,63	10,20	10,99
	min	6,10	7,50	7,93	7,32	5,27
	stdev	0,57	0,44	0,86	0,95	1,73
(Μετά το χειρισμό) <b>b*</b> (B)	mean	18,09	18,50	20,52	20,40	21,14
	max	19,94	20,55	21,89	22,78	24,72
	min	16,82	16,63	18,49	18,04	18,51
	stdev	0,77	1,27	1,15	1,55	1,77
<b>ΔΕ</b> (B)	mean	7,15	10,97	17,72	18,85	20,42
	max	7,88	14,68	19,04	22,80	25,03
	min	6,34	8,10	16,06	16,29	15,68
	stdev	0,44	2,22	0,84	2,14	3,07

**Πίνακας 6:** Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων χρωματικών μεταβλητών και μεταβολών τους για τους χειρισμούς των 170°C.

Παράμετρος		11	12	13	14	15
Θερμοκρασία-χρόνος χειρισμού		170°C-10min	170°C-30min	170°C-60min	170°C-120min	170°C-240min
<b>L*</b> (A)	mean	78,01	73,60	74,50	79,32	78,68
	max	79,77	75,09	76,25	79,71	79,69
	min	73,73	73,03	73,00	78,57	76,84
	stdev	1,64	0,52	0,81	0,32	0,88
<b>a*</b> (A)	mean	6,36	7,79	7,65	5,88	6,03
	max	7,84	8,37	8,44	6,41	7,07
	min	4,52	6,74	6,41	4,65	4,80
	stdev	1,12	0,47	0,57	0,52	0,80
<b>b*</b> (A)	mean	19,92	20,95	20,60	20,43	20,23
	max	21,56	22,06	22,14	21,61	22,16
	min	18,73	20,14	19,57	19,71	18,28
	stdev	0,94	0,57	0,83	0,61	1,08
(Πριν το χειρισμό) <b>L*</b> (B)	mean	77,30	73,78	74,20	79,74	78,76
	max	79,41	74,87	75,90	80,25	79,99
	min	74,75	72,92	72,14	79,23	77,35
	stdev	1,57	0,53	0,89	0,31	0,75
(Πριν το χειρισμό) <b>a*</b> (B)	mean	7,30	8,13	8,15	5,71	6,22
	max	8,11	8,44	8,66	6,49	7,17
	min	6,45	7,51	7,55	4,65	5,62
	stdev	0,59	0,25	0,32	0,58	0,40
(Πριν το χειρισμό) <b>b*</b> (B)	mean	19,57	20,70	20,37	20,43	20,21
	max	20,36	21,33	21,74	22,12	21,65
	min	18,98	19,68	19,06	19,49	19,50
	stdev	0,40	0,47	0,74	0,83	0,58
(Μετά το χειρισμό) <b>L*</b> (B)	mean	57,21	47,38	42,32	36,10	31,63
	max	59,91	48,84	46,13	38,39	35,00
	min	53,39	45,81	39,10	33,77	19,45
	stdev	1,60	0,91	1,72	1,45	3,66
(Μετά το χειρισμό) <b>a*</b> (B)	mean	9,35	10,18	10,09	8,45	6,95
	max	11,75	11,12	11,37	10,96	10,87
	min	7,34	7,21	7,14	6,24	4,39
	stdev	1,20	0,97	1,23	1,55	2,23
(Μετά το χειρισμό) <b>b*</b> (B)	mean	18,96	19,47	19,85	17,92	14,01
	max	20,88	22,83	23,77	20,81	19,13
	min	17,86	18,37	16,82	15,14	8,15
	stdev	0,97	1,21	1,86	1,89	3,14
<b>ΔΕ</b> (B)	mean	20,33	26,54	32,03	43,89	47,75
	max	26,43	29,23	33,95	46,55	60,53
	min	15,77	25,09	29,02	40,95	42,83
	stdev	2,73	1,01	1,57	1,63	4,03



**Πίνακας 7:** Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων χρωματικών μεταβλητών και μεταβολών τους για τους χειρισμούς των 200°C.

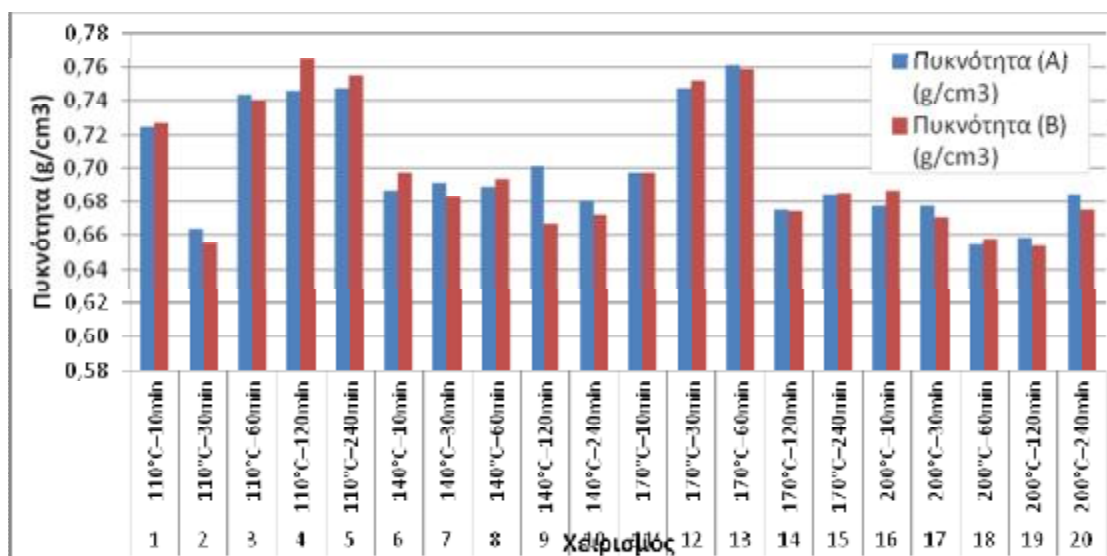
Παράμετρος		<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>
Θερμοκρασία-χρόνος χειρισμού		200°C–10min	200°C–30min	200°C–60min	200°C–120min	200°C–240min
<b>L*</b> (A)	mean	77,90	78,99	78,60	77,13	73,87
	max	79,31	79,67	80,00	79,93	75,08
	min	76,51	78,53	76,01	73,43	73,06
	stdev	0,83	0,28	0,96	2,87	0,51
<b>a*</b> (A)	mean	6,91	6,64	6,18	6,63	7,59
	max	7,70	7,07	7,30	7,63	8,23
	min	5,57	5,86	4,85	5,84	6,59
	stdev	0,61	0,36	0,65	0,70	0,47
<b>b*</b> (A)	mean	19,92	20,37	21,08	20,29	20,24
	max	22,00	21,46	23,16	20,93	22,39
	min	18,37	19,59	20,14	19,67	19,55
	stdev	1,01	0,51	0,83	0,38	0,70
(Πριν το χειρισμό) <b>L*</b> (B)	mean	78,36	78,56	79,17	77,22	75,06
	max	79,61	79,66	81,64	80,02	78,45
	min	76,92	70,32	78,04	74,17	74,00
	stdev	0,79	2,30	0,85	2,38	1,24
(Πριν το χειρισμό) <b>a*</b> (B)	mean	6,52	6,07	6,00	6,43	7,03
	max	7,88	7,10	7,00	7,32	7,85
	min	5,33	4,36	4,59	5,16	6,27
	stdev	0,77	1,01	0,83	0,53	0,49
(Πριν το χειρισμό) <b>b*</b> (B)	mean	20,12	20,84	21,04	20,64	20,67
	max	22,20	22,67	22,34	21,63	22,21
	min	18,50	19,44	18,49	19,97	19,92
	stdev	1,06	1,08	0,99	0,49	0,58
(Μετά το χειρισμό) <b>L*</b> (B)	mean	38,63	31,01	26,52		
	max	41,67	35,20	28,97		
	min	36,31	26,71	24,88		
	stdev	1,62	2,58	1,54		
(Μετά το χειρισμό) <b>a*</b> (B)	mean	9,94	4,97	3,73		
	max	11,52	9,15	6,78		
	min	7,06	0,23	1,29		
	stdev	1,37	2,66	1,75		
(Μετά το χειρισμό) <b>b*</b> (B)	mean	19,10	12,81	4,58		
	max	21,89	18,58	11,64		
	min	14,92	6,88	0,50		
	stdev	2,13	3,69	3,82		
<b>ΔΕ</b> (B)	mean	40,00	48,36	67,19		
	max	42,79	53,96	82,92		
	min	36,75	38,35	52,28		
	stdev	1,73	3,96	14,07		

**Πίνακας 8:** Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων πυκνότητας και σκληρότητας για τους χειρισμούς των 110 και 140°C

Παράμετρος		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Θερμοκρασία-χρόνος χειρισμού		110°C– 10min	110°C– 30min	110°C– 60min	110°C– 120min	110°C– 240min	140°C– 10min	140°C– 30min	140°C– 60min	140°C– 120min	140°C– 240min
<b>Πυκνότητα (A)</b> (g/cm <sup>3</sup> )	mean	0,72	0,66	0,74	0,75	0,75	0,69	0,69	0,69	0,70	0,68
	max	0,75	0,73	0,76	0,77	0,76	0,69	0,73	0,70	0,72	0,70
	min	0,70	0,61	0,64	0,73	0,70	0,68	0,65	0,66	0,65	0,63
	stdev	0,01	0,05	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02
<b>Σκληρότητα Brinell 1+2 (A)</b> (N/mm <sup>2</sup> )	mean	20,52	17,46	23,44	25,03	25,19	22,25	20,77	19,56	21,64	18,84
	max	25,01	24,08	28,93	26,58	29,65	24,26	24,29	23,66	25,61	23,95
	min	18,20	12,64	16,71	22,94	21,90	18,32	16,94	16,07	17,01	16,66
	stdev	1,91	3,11	3,43	0,90	1,86	1,76	1,81	1,94	2,63	1,97
<b>Πυκνότητα (B)</b> (g/cm <sup>3</sup> )	mean	0,73	0,66	0,74	0,76	0,76	0,70	0,68	0,69	0,67	0,67
	max	0,80	0,73	0,78	0,80	0,77	0,72	0,72	0,70	0,71	0,70
	min	0,71	0,61	0,62	0,75	0,69	0,68	0,62	0,68	0,64	0,62
	stdev	0,02	0,04	0,04	0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,02	0,03
<b>Σκληρότητα Brinell 1+2 (B)</b> (N/mm <sup>2</sup> )	mean	20,51	18,24	22,95	23,85	24,22	19,45	20,44	19,50	18,02	15,13
	max	25,06	23,82	26,79	26,76	27,23	22,92	25,86	23,52	26,04	16,46
	min	16,84	13,22	15,30	19,20	20,26	15,22	15,10	15,61	14,35	14,15
	stdev	2,46	3,46	2,70	2,12	2,12	1,94	3,06	2,57	3,51	0,66
<b>Μεταβολή σκληρότητας (1+2)</b> (%)	mean	0,6%	5,0%	-1,2%	-4,5%	-3,3%	-12,2%	-1,5%	0,2%	-18,9%	-19,0%
	max	28,0%	22,3%	23,8%	13,4%	20,4%	11,7%	18,6%	27,5%	0,6%	-8,5%
	min	-26,1%	-18,3%	-15,9%	-24,8%	-20,9%	-33,4%	-24,0%	-20,0%	-41,8%	-37,2%
	stdev	14,2%	13,8%	11,7%	10,5%	11,5%	9,9%	12,4%	13,5%	11,3%	7,5%

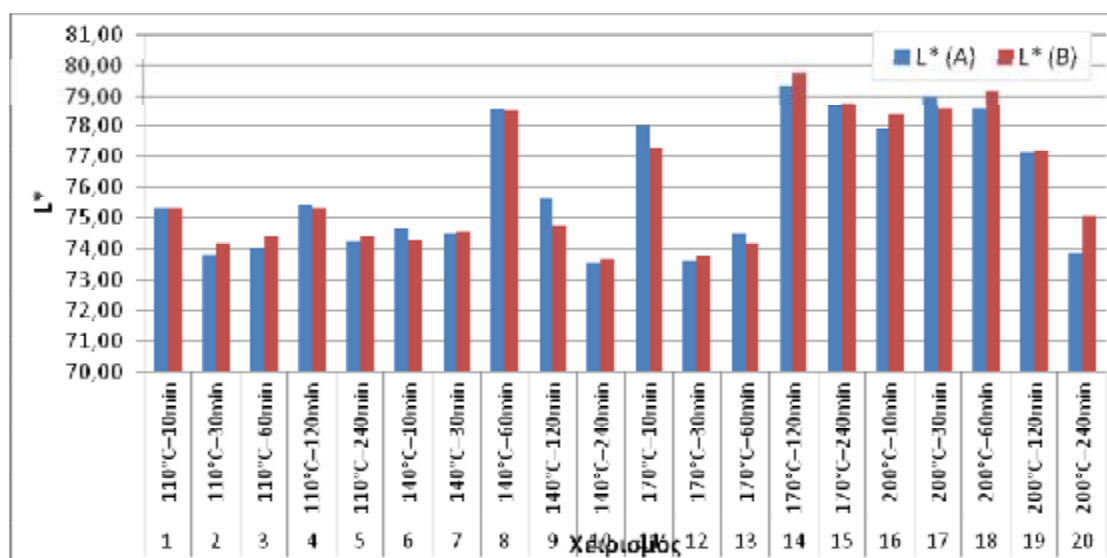
**Πίνακας 9:** Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων πυκνότητας και σκληρότητας για τους χειρισμούς των 170 και 200°C

Παράμετρος		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Θερμοκρασία-χρόνος χειρισμού		170°C– 10min	170°C– 30min	170°C– 60min	170°C– 120min	170°C– 240min	200°C– 10min	200°C– 30min	200°C– 60min	200°C– 120min	200°C– 240min
<b>Πυκνότητα (A)</b> (g/cm <sup>3</sup> )	mean	0,70	0,75	0,76	0,68	0,68	0,68	0,68	0,65	0,66	0,68
	max	0,74	0,76	0,77	0,69	0,71	0,71	0,69	0,68	0,67	0,74
	min	0,68	0,72	0,73	0,66	0,67	0,66	0,67	0,64	0,63	0,64
	stdev	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,04
<b>Σκληρότητα Brinell 1+2 (A)</b> (N/mm <sup>2</sup> )	mean	19,85	24,42	24,29	22,77	21,93	18,42	20,41	21,12	22,40	18,98
	max	25,54	27,36	28,07	27,42	27,51	22,66	25,71	24,97	31,46	22,19
	min	16,96	19,82	20,13	18,50	17,45	15,65	15,98	14,41	14,04	16,55
	stdev	2,08	1,92	2,02	2,58	3,02	2,20	3,22	2,79	4,63	1,87
<b>Πυκνότητα (B)</b> (g/cm <sup>3</sup> )	mean	0,70	0,75	0,76	0,67	0,69	0,69	0,67	0,66	0,65	0,68
	max	0,76	0,76	0,77	0,68	0,71	0,71	0,68	0,67	0,67	0,71
	min	0,66	0,74	0,74	0,67	0,67	0,66	0,66	0,64	0,64	0,63
	stdev	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,03
<b>Σκληρότητα Brinell 1+2 (B)</b> (N/mm <sup>2</sup> )	mean	17,01	20,09	13,69	11,68	9,58	8,74	10,45	17,01	20,09	13,69
	max	25,50	22,75	15,34	15,27	12,18	11,09	12,73	25,50	22,75	15,34
	min	13,88	17,21	12,33	9,94	7,48	7,18	8,59	13,88	17,21	12,33
	stdev	2,87	1,61	0,88	1,52	1,33	1,25	1,17	2,87	1,61	0,88
<b>Μεταβολή σκληρότητας (1+2)</b> (%)	mean	-14,4%	-17,7%	-43,3%	-48,1%	-56,1%	-52,4%	-47,8%			
	max	5,3%	-13,2%	-31,8%	-27,8%	-44,8%	-42,8%	-25,9%			
	min	-28,0%	-23,9%	-53,1%	-60,7%	-65,4%	-59,1%	-58,0%			
	stdev	10,5%	3,3%	6,0%	8,8%	4,8%	5,4%	9,3%			



**Γράφημα 2:** Οι πυκνότητες των δοκιμών A και B για όλες τις ομάδες χειρισμών

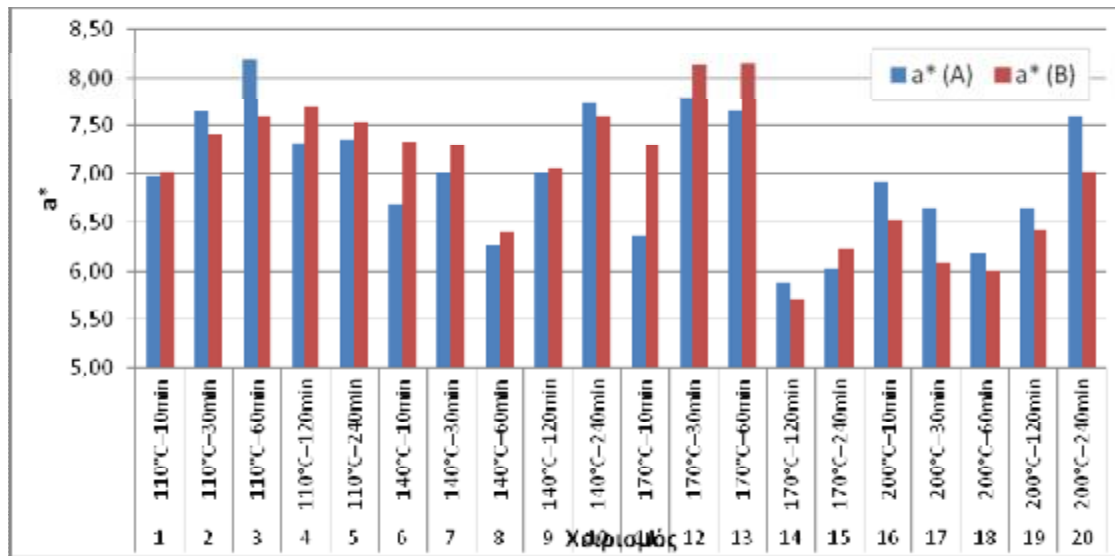
Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ότι οι διαφορές πυκνοτήτων μεταξύ των δοκιμών A και B για όλες τις ομάδες χειρισμών ήταν πολύ μικρές και σύμφωνα με το στατιστικό έλεγχο μη σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%. Το γεγονός αυτό επικυρώνει την παραδοχή που έγινε κατά το σχεδιασμό του πειράματος κατά την οποία κάθε ζεύγος δοκιμών A και B δεν παρουσιάζει σημαντική διαφορά μεταξύ του.



**Γράφημα 3:** Οι τιμές της χρωματικής παραμέτρου L\* των δοκιμών A και B για όλες τις ομάδες χειρισμών

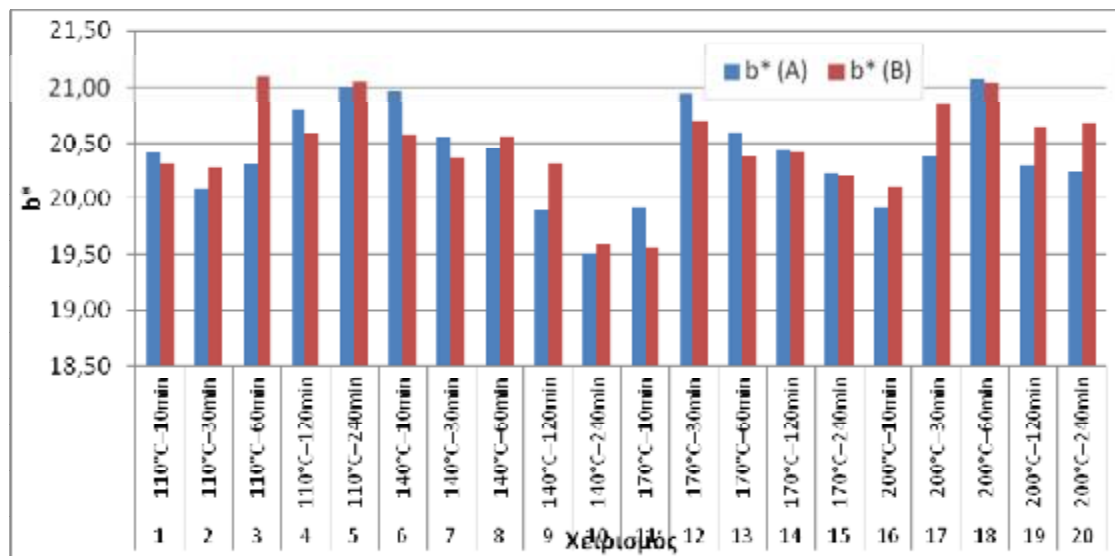
Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ότι για ζεύγη δοκιμών (A και B) δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους σε ότι αφορά στην χρωματική παράμετρο L\*. Στο παραπάνω συμπέρασμα οδηγεί και η σχετική στατιστική ανάλυση κατά την οποία οι διαφορές μεταξύ των μέσων όρων τιμών L\* για τα δοκίμια A και B και για όλες τις ομάδες χειρισμών ήταν μη σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%. Επιπρόσθετος παράγοντας που οδηγεί στο ίδιο συμπέρασμα είναι και οι μικρές απόλυτες διαφορές μεταξύ των τιμών L\* των δοκιμών A και B για όλες τις ομάδες

χειρισμών ήταν μικρότερες από 3-4 και επομένως μη αναγνωρίσιμες από τον ανθρώπινο οφθαλμό.



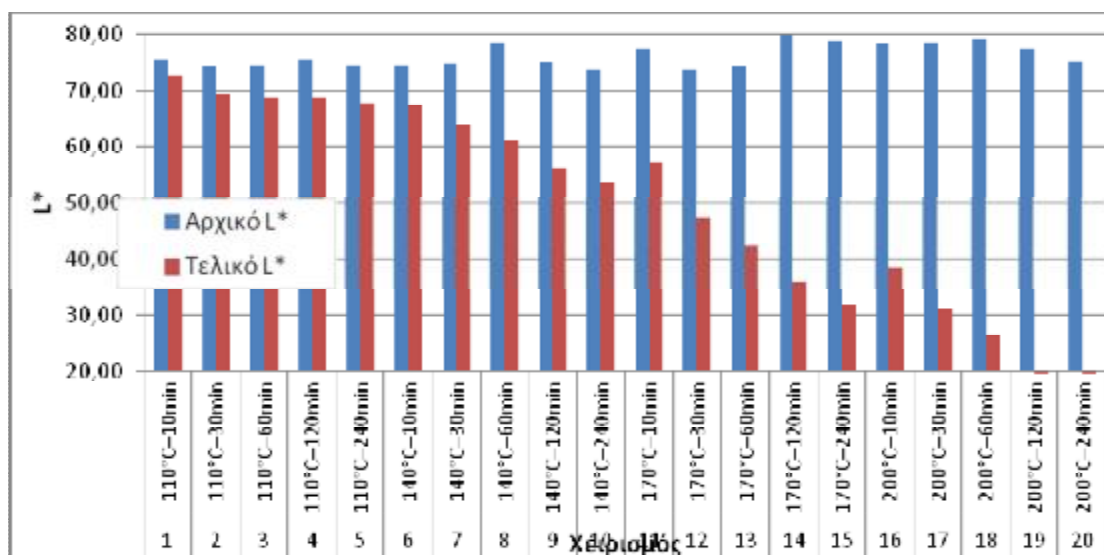
**Γράφημα 4:** Οι τιμές της χρωματικής παραμέτρου  $a^*$  των δοκιμίων A και B για όλες τις ομάδες χειρισμών

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ότι για ζεύγη δοκιμίων (A και B) δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους σε ότι αφορά στην χρωματική παράμετρο  $a^*$ . Στο παραπάνω συμπέρασμα οδηγεί και η σχετική στατιστική ανάλυση κατά την οποία οι διαφορές μεταξύ των μέσων όρων τιμών  $a^*$  για τα δοκίμια A και B και για όλες τις ομάδες χειρισμών ήταν μη σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%. Επιπρόσθετος παράγοντας που οδηγεί στο ίδιο συμπέρασμα είναι και οι μικρές απόλυτες διαφορές μεταξύ των τιμών  $a^*$  των δοκιμίων A και B για όλες τις ομάδες χειρισμών που ήταν πολύ μικρότερες από 3-4 και επομένως μη αναγνωρίσιμες από τον ανθρώπινο οφθαλμό.



**Γράφημα 5:** Οι τιμές της χρωματικής παραμέτρου  $b^*$  των δοκιμίων A και B για όλες τις ομάδες χειρισμών

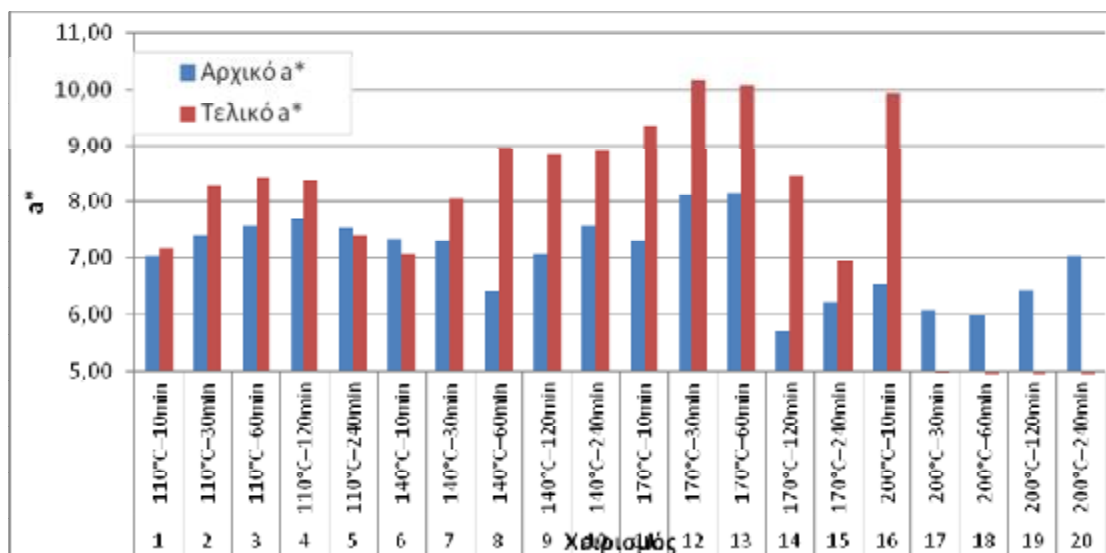
Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ότι για ζεύγη δοκιμίων (A και B) δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους σε ότι αφορά στην χρωματική παράμετρο  $b^*$ . Στο παραπάνω συμπέρασμα οδηγεί και η σχετική στατιστική ανάλυση, κατά την οποία οι διαφορές μεταξύ των μέσων όρων τιμών  $b^*$  για τα δοκίμια A και B και για όλες τις ομάδες χειρισμών ήταν μη σημαντικές με στατιστική ασφάλεια 95%. Επιπρόσθετος παράγοντας που οδηγεί στο ίδιο συμπέρασμα είναι και οι μικρές απόλυτες διαφορές μεταξύ των τιμών  $b^*$  των δοκιμίων A και B για όλες τις ομάδες χειρισμών που ήταν πολύ μικρότερες από 3-4 και επομένως μη αναγνωρίσιμες από τον ανθρώπινο οφθαλμό.



**Γράφημα 6:** Οι τιμές της χρωματικής παραμέτρου  $L^*$  των δοκιμίων B προ και μετά του εκάστοτε χειρισμού

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ότι υδροθερμικοί χειρισμοί σε θερμοκρασίες 110°C δεν προκάλεσαν σημαντικές μεταβολές στην φωτεινότητα (παράμετρος  $L^*$ ) των δοκιμασθέντων δειγμάτων. Παρόλα αυτά, αυξανόμενης της διάρκειας χειρισμού οι μεταβολές γίνονται εντονότερες αλλά και πάλι οριακά αντιληπτές από τον ανθρώπινο οφθαλμό. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες οι μεταβολές της εν λόγω χρωματικής μεταβλητής γίνονται εντονότερες και σε κάθε περίπτωση αντιληπτές μακροσκοπικά.

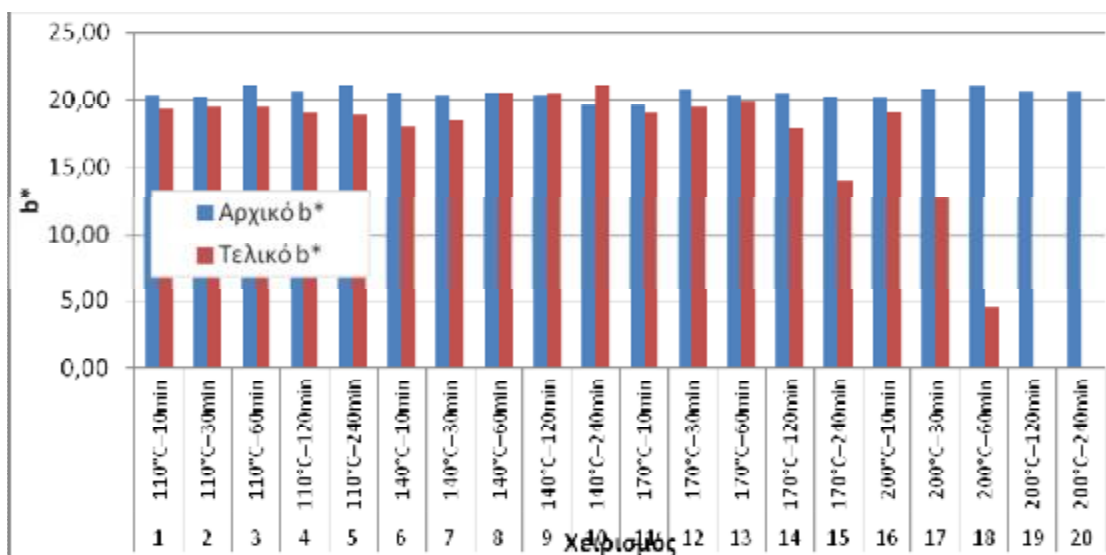
Στις περιπτώσεις χειρισμών σε θερμοκρασίες 200°C οι μεταβολές φωτεινότητας είναι τόσο έντονες που το χρώμα των δοκιμίων πλησιάζει το μαύρο ( $L^* < 30$ ). Γενικότερα είναι εμφανές ότι οι μεταβολές χρώματος εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και τη διάρκεια χειρισμού ενώ η συνδυαστική επίδραση των δυο αυτών παραγόντων προκαλεί ανάλογα υψηλότερες μεταβολές του χρώματος.



**Γράφημα 7:** Οι τιμές της χρωματικής παραμέτρου a\* των δοκιμίων B προ και μετά του εκάστοτε χειρισμού

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ότι γενικά οι υδροθερμικοί χειρισμοί προκαλούν αύξηση της χρωματικής μεταβλητής a\* (βαθμός κοκκινίσματος) η οποία είναι μεγαλύτερη σε εντονότερες συνθήκες χειρισμούς (υψηλότερες θερμοκρασίες και διάρκειες χειρισμού).

Είναι σημαντικό όμως ότι οι μεταβολές της χρωματικής μεταβλητής a\* (βαθμός κοκκινίσματος) είναι μικρές για υδροθερμικούς χειρισμούς εύρους θερμοκρασιών 110-200°C και διάρκειας 10-240min σε βαθμό που δεν γίνονται αντιληπτές μακροσκοπικά.

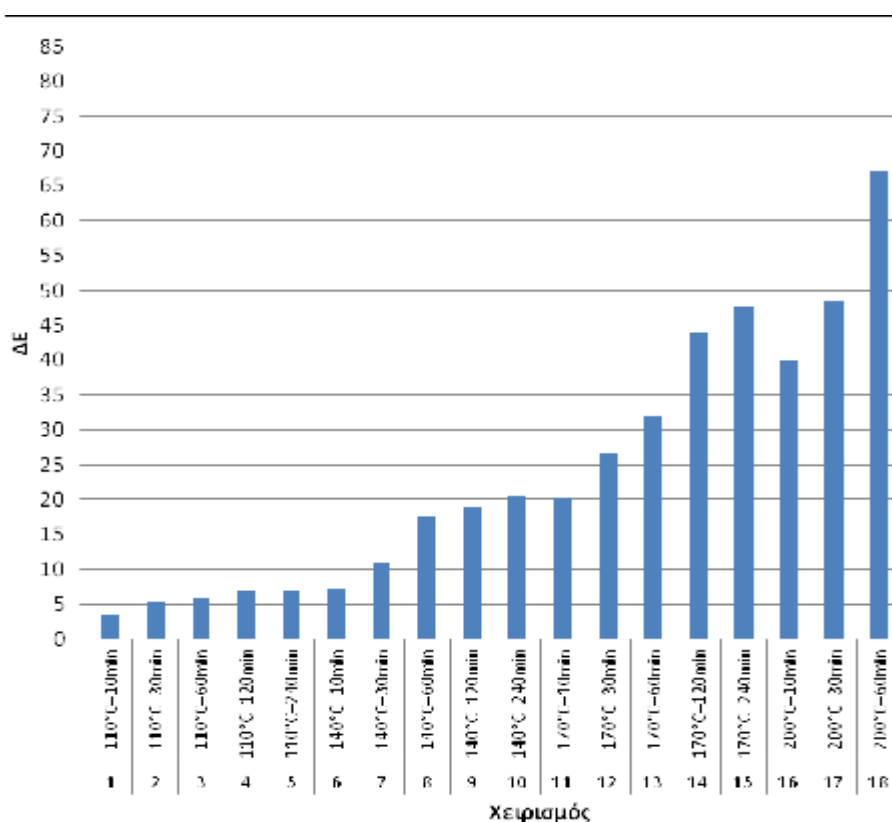


**Γράφημα 8:** Οι τιμές της χρωματικής παραμέτρου b\* των δοκιμίων B προ και μετά του εκάστοτε χειρισμού

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ότι γενικά οι υδροθερμικοί χειρισμοί προκαλούν αριθμητική μείωση της χρωματικής μεταβλητής b\* (βαθμός κιτρινίσματος) η οποία είναι μεγαλύτερη σε εντονότερες συνθήκες χειρισμούς (υψηλότερες θερμοκρασίες και διάρκειες χειρισμού).

Οι μεταβολές της χρωματικής μεταβλητής b\* είναι μικρές για υδροθερμικούς χειρισμούς εύρους θερμοκρασιών 110-170°C και διάρκειας 10-240min σε βαθμό που

δεν γίνονται αντιληπτές μακροσκοπικά. Εξαίρεση αποτελεί ο χειρισμός στους 170°C για 240min. Σε θερμοκρασίες χειρισμού 200°C οι μεταβολές της εν λόγω χρωματικής μεταβλητής είναι έντονες και εξαιρουμένης της περίπτωσης χειρισμού διάρκειας 10min είναι αντιληπτές μακροσκοπικά.



**Γράφημα 9:** Οι τιμές συνολικών μεταβολών χρώματος ΔΕ\* των δοκιμίων Β για τους πραγματοποιηθέντες χειρισμούς

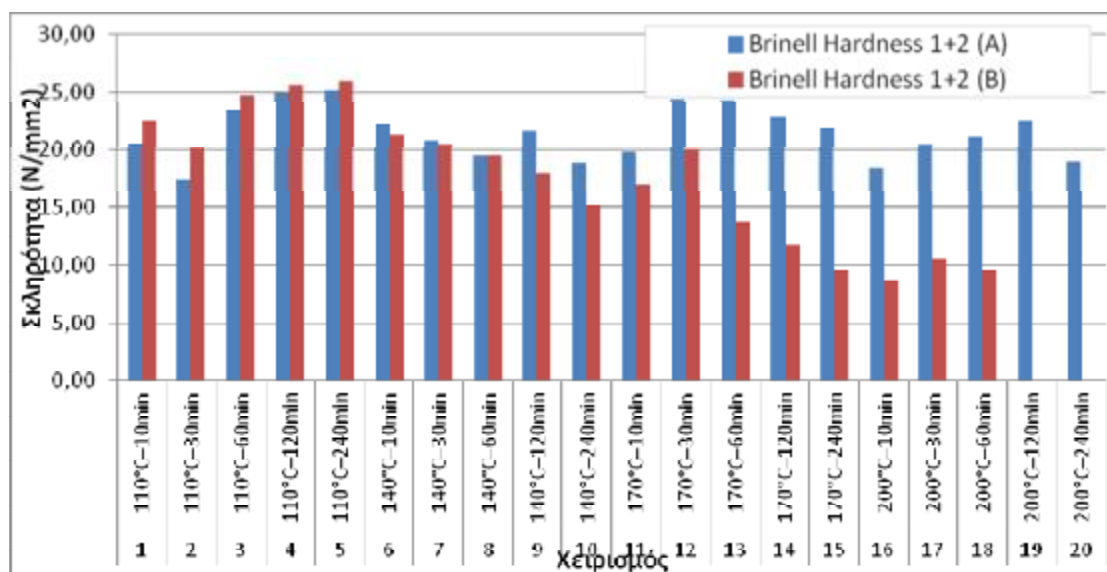
Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ότι ο υδροθερμικός χειρισμός ξύλου οξιάς σε θερμοκρασία 110°C για 10min δεν προκαλεί σημαντική μεταβολή χρώματος καθώς η μεταβολή του ΔΕ\* στην εν λόγω περίπτωση είναι στην περιοχή του 4 και επομένως οριακά αντιληπτή από τον ανθρώπινο οφθαλμό. Περαιτέρω αύξηση της διάρκειας χειρισμού έως τις 4h για την ίδια θερμοκρασία προκαλεί αύξηση της τιμής του ΔΕ\* η οποία όμως και πάλι βρίσκεται σε περιοχές τιμών που ισοδυναμούν με μόλις αντιληπτές από τον ανθρώπινο οφθαλμό μεταβολές.

Από το ίδιο γράφημα είναι εμφανές ότι αυξάνοντας τη θερμοκρασία χειρισμού σε 140°C είναι δυνατό μέσα σε 10min να προκληθεί η ίδια συνολική μεταβολή χρώματος που συμβαίνει σε χειρισμό 110°C για 4 ώρες. Το γεγονός αυτό πρακτικά σημαίνει σημαντική εξοικονόμηση χρόνου καθώς ισοδυναμεί με μείωση διάρκειας χειρισμού κατά 230 λεπτά (3 ώρες και 50 λεπτά). Ανάλογη είναι και η εξοικονόμηση χρόνου κατά τη μετάβαση από τους 140°C στους 170°C.

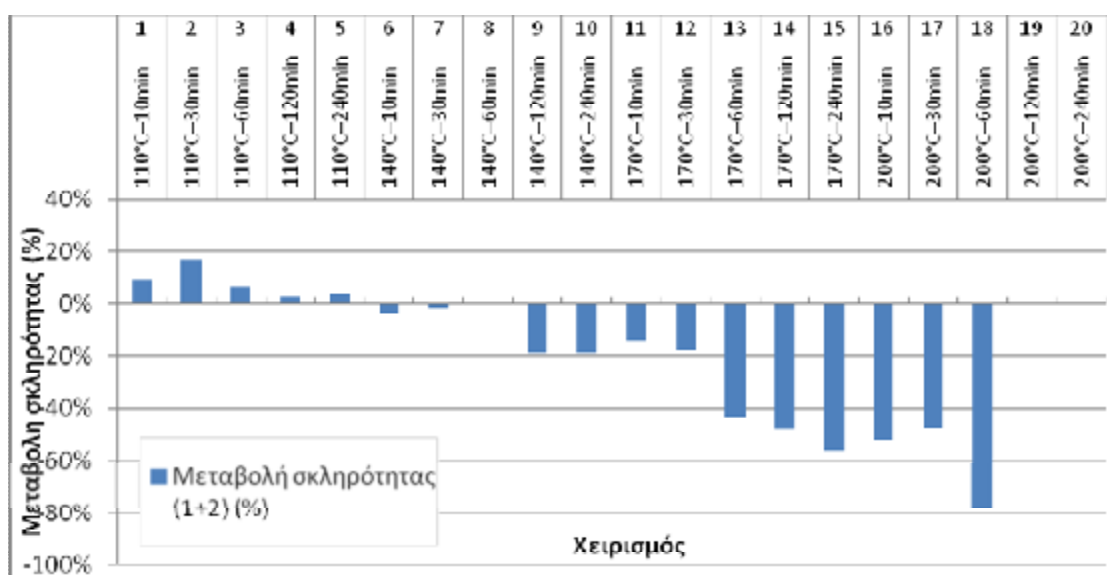
Επιπρόσθετο συμπέρασμα που προκύπτει από το Γράφημα είναι ότι οι μεταβολές χρώματος που συμβαίνουν σε χειρισμούς υπό θερμοκρασίες από 170°C και άνω είναι πολύ έντονες και για τις οποίες η αύξηση της διάρκειας χειρισμού προκαλεί πολύ έντονες μεταβολές σε σύγκριση με τις χαμηλότερες θερμοκρασίες (110 και 140°C).



Υδροθερμικοί χειρισμοί σε θερμοκρασίες 200°C προκαλούν πολύ έντονες μεταβολές στο δοκιμασθέν ξύλο κάτι που φαίνεται στο Γράφημα αλλά είναι αντιληπτό από τις εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων από το ξύλο, αποτέλεσμα της θερμικής του αποικοδόμησης.



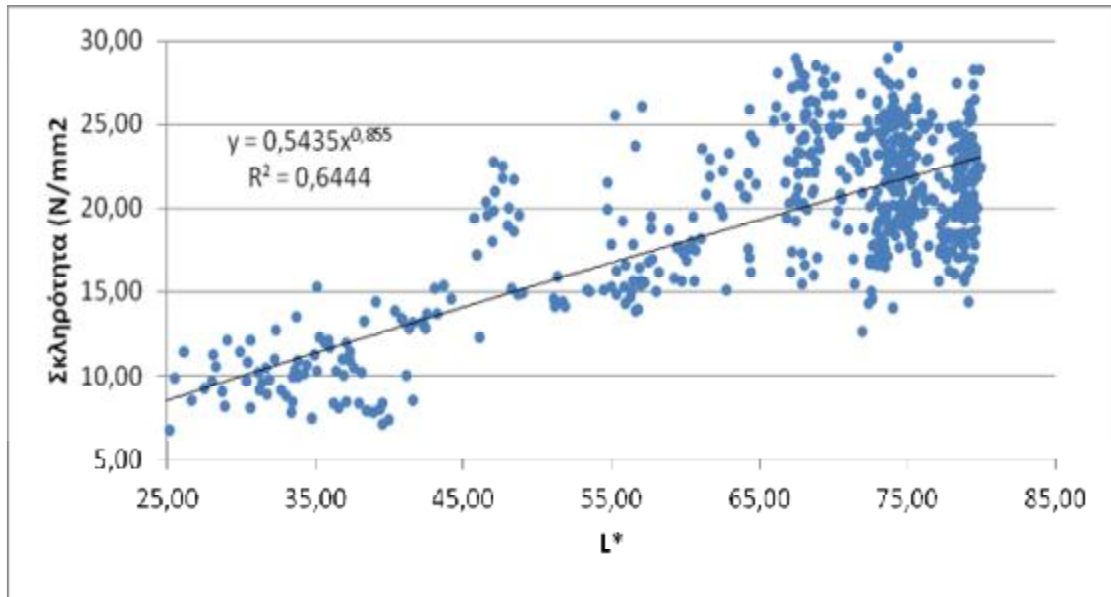
**Γράφημα 10:** Οι τιμές σκληρότητας πριν (A) και μετά (B) τους χειρισμούς



**Γράφημα 11:** Οι ποσοστιαίες (%) μεταβολές σκληρότητας για τις ομάδες χειρισμών

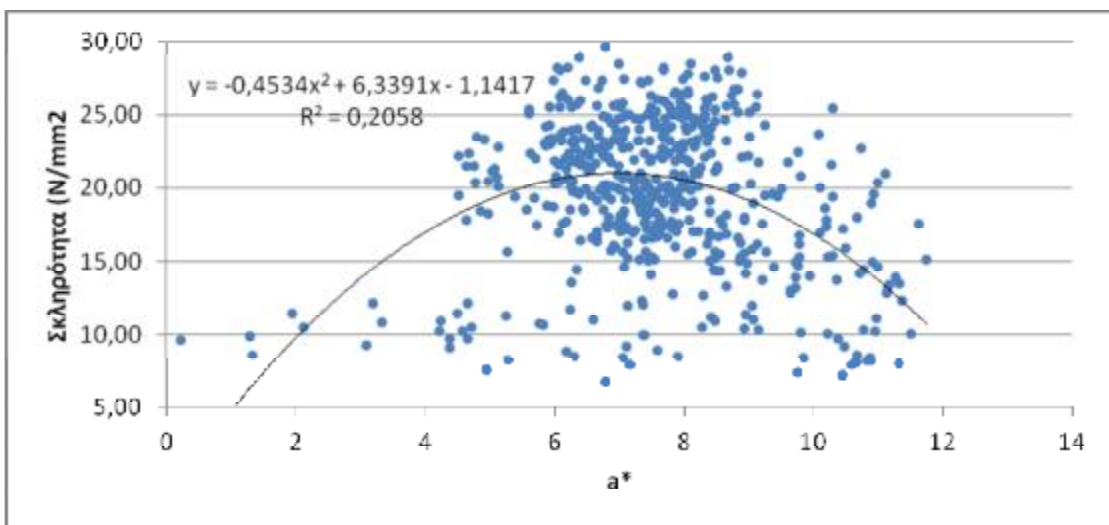
Από τα παραπάνω δυο γραφήματα προκύπτει ότι χειρισμοί ξύλου οξιάς με κορεσμένο ατμό σε θερμοκρασίες 110°C προκαλούν μικρή αύξηση της σκληρότητας η οποία όμως μεγιστοποιείται σε διάρκεια 30min αλλά σε μεγαλύτερες διάρκειες είναι στατιστικά μη σημαντική. Σε θερμοκρασίες χειρισμού 140°C και για διάρκειες έως 60min η σκληρότητα του ξύλου μειώθηκε χωρίς όμως η μείωση αυτή να είναι σημαντική. Αντίθετα, αυξανόμενης της διάρκειας άνω των 60min για την ίδια θερμοκρασία παρατηρήθηκε σημαντική υποβάθμιση της σκληρότητας σε ποσοστό άνω του 20%. Μέχρι 20% υποβάθμισης σκληρότητας οδήγησαν και χειρισμοί στους 170°C

για διάρκειες έως 30min, ενώ για όλους τους πιο έντονους χειρισμούς η σκληρότητα υποβαθμίζεται σημαντικότερα, καθώς ξεπερνά το 50% ποσοστιαίας μείωσης.



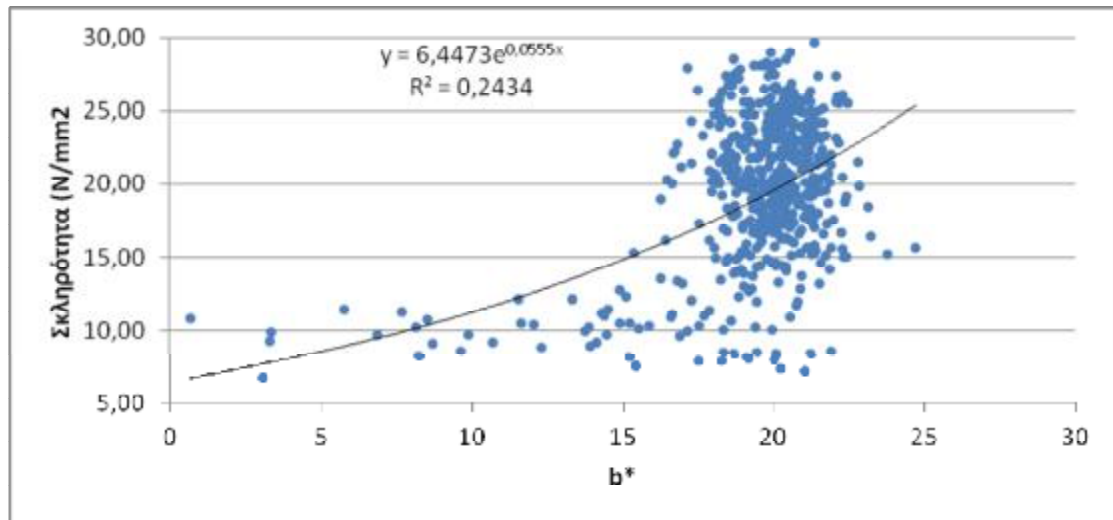
**Γράφημα 12:** Διάγραμμα διασποράς μεταξύ τιμών σκληρότητας (άξονας y) και χρωματικής μεταβλητής L\* (άξονας x) για όλα τα δοκίμια της έρευνας

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει μέτρια συσχέτιση ( $R^2=0,6488$ ) της φωτεινότητας ξύλου οξιάς με τη σκληρότητά του, κάτι που σημαίνει ότι η μέτρηση της εν λόγω χρωματικής μεταβλητής (η οποία γίνεται μη καταστρεπτικά) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της σκληρότητάς του (βλ. σχετική εξίσωση παλινδρόμησης στο γράφημα).



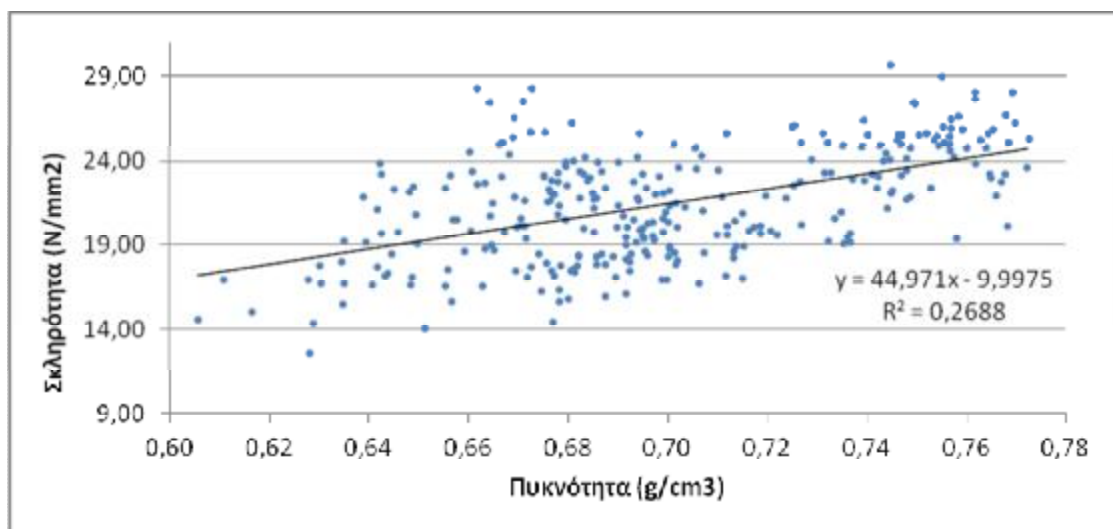
**Γράφημα 13:** Διάγραμμα διασποράς μεταξύ τιμών σκληρότητας (άξονας y) και χρωματικής μεταβλητής a\* (άξονας x) για όλα τα δοκίμια της έρευνας

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ασθενής συσχέτιση της χρωματικής μεταβλητής  $a^*$  ξύλου οξιάς με τη σκληρότητά του ( $R^2=0,2043$ ), κάτι που σημαίνει ότι η μέτρηση της εν λόγω χρωματικής μεταβλητής (η οποία γίνεται μη καταστρεπτικά) δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της σκληρότητάς του.



**Γράφημα 14:** Διάγραμμα διασποράς μεταξύ τιμών σκληρότητας (άξονας y) και χρωματικής μεταβλητής  $b^*$  (άξονας x) για όλα τα δοκίμια της έρευνας

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ασθενής συσχέτιση της χρωματικής μεταβλητής  $b^*$  ξύλου οξιάς με τη σκληρότητά του ( $R^2=0,2605$ ), κάτι που σημαίνει ότι η μέτρηση της εν λόγω χρωματικής μεταβλητής (η οποία γίνεται μη καταστρεπτικά) δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της σκληρότητάς του.



**Γράφημα 15:** Διάγραμμα διασποράς μεταξύ τιμών σκληρότητας (άξονας y) και πυκνότητας (άξονας x) για όλα τα δοκίμια της έρευνας

Από το παραπάνω γράφημα προκύπτει ασθενής συσχέτιση της πυκνότητας ξύλου οξιάς με τη σκληρότητά του, κάτι που προφανώς σημαίνει ότι η μεθοδολογία προσδιορισμού σκληρότητας σύμφωνα με τη μέθοδο Brinell παρουσιάζει μειονεκτήματα που έχουν σχέση με την υποκειμενικότητα στην οποία υπόκεινται προσδιορισμοί μεγεθών όπως οι δυο διάμετροι του αποτυπώματος, γεγονός που ήδη έχει επισημανθεί και από άλλους ερευνητές (Λυκίδης κ.α. 2011).

## 6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα βασικότερα συμπεράσματα της παρούσας έρευνας συνοψίζονται παρακάτω:

- Οι υδροθερμικοί χειρισμοί του ξύλου παρουσιάζουν στις μέρες μας ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς οδηγούν σε βελτίωση κάποιων τεχνικών και αισθητικών ιδιοτήτων του ξύλου και το καθιστούν βελτιωμένο για αρκετές χρήσεις. Παρόλα αυτά σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσουν και σε ανεπιθύμητες μεταβολές.
- Υδροθερμικοί χειρισμοί σομού ξύλου οξιάς με κορεσμένο ατμό σε θερμοκρασίες 110-200°C και για διάρκειες 10-240min οδηγούν σε μεταβολές χρώματος και σκληρότητας, οι οποίες μπορεί να είναι από μη αντιληπτές (μη σημαντικές) έως και πολύ έντονες. Η αύξηση της θερμοκρασίας και τη διάρκεια χειρισμού οδηγεί σε πιο έντονες μεταβολές των ανωτέρω ιδιοτήτων, ενώ σε θερμοκρασίες 200°C οι μεταβολές μπορεί να καταστήσουν το ξύλο μη αξιοποιήσιμο δομικά.
- Ήπιοι υδροθερμικοί χειρισμοί σε θερμοκρασίες 110°C δεν προκάλεσαν σημαντικές μεταβολές στην φωτεινότητα (παράμετρος L\*) του ξύλου οξιάς. Παρόλα αυτά, αυξανόμενης της διάρκειας χειρισμού οι μεταβολές γίνονται εντονότερες αλλά και πάλι οριακά αντιληπτές από τον ανθρώπινο οφθαλμό. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες οι μεταβολές της εν λόγω χρωματικής μεταβλητής γίνονται εντονότερες και σε κάθε περίπτωση αντιληπτές μακροσκοπικά.
- Οι υδροθερμικοί χειρισμοί προκαλούν αύξηση της χρωματικής μεταβλητής a\* και μείωση της b\* με τις εν λόγω μεταβολές να είναι γενικά μικρές για τη μεταβλητή a\*, ενώ για τη μεταβλητή b\* παρουσιάζονται σημαντικές για θερμοκρασίες άνω των 170 και για χρονικά διαστήματα άνω των 10min.
- Χειρισμοί ξύλου οξιάς με κορεσμένο ατμό σε θερμοκρασίες 110°C προκαλούν μικρή αύξηση της σκληρότητας, η οποία όμως μεγιστοποιείται σε διάρκεια 30min αλλά σε μεγαλύτερες διάρκειες είναι στατιστικά μη σημαντική. Σε θερμοκρασίες χειρισμού 140°C και για διάρκειες έως 60min η σκληρότητα του ξύλου μειώθηκε χωρίς όμως η μείωση αυτή να είναι σημαντική. Αντίθετα, αυξανόμενης της διάρκειας άνω των 60min για την ίδια θερμοκρασία παρατηρήθηκε σημαντική υποβάθμιση της σκληρότητας σε ποσοστό άνω του 20%. Μέχρι 20% υποβάθμισης σκληρότητας οδήγησαν και χειρισμοί στους 170°C για διάρκειες έως 30min, ενώ για όλους τους πιο έντονους χειρισμούς η σκληρότητα υποβαθμίζεται σημαντικότερα καθώς ξεπερνά το 50% ποσοστιαίας μείωσης.
- Από την παρούσα έρευνα προκύπτει μέτρια συσχέτιση της φωτεινότητας ξύλου οξιάς με τη σκληρότητά του, κάτι που σημαίνει ότι η μέτρηση της εν λόγω χρωματικής μεταβλητής (η οποία γίνεται μη καταστρεπτικά) θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της σκληρότητάς του (βλ. σχετική εξίσωση παλινδρόμησης στο γράφημα) χωρίς όμως να οδηγεί σε ιδιαίτερα ασφαλή

αποτελέσματα. Αντίθετα, κάτι τέτοιο δε μπορεί να γίνει για τις μεταβλητές  $a^*$  και  $b^*$  καθώς οι αντίστοιχες συσχετίσεις ήταν ασθενείς

- Από την παρούσα έρευνα προέκυψε επίσης ασθενής συσχέτιση της πυκνότητας ξύλου οξιάς με τη σκληρότητά του, κάτι που προφανώς συνδέεται μεταξύ άλλων και με τη μεθοδολογία προσδιορισμού σκληρότητας σύμφωνα με τη μέθοδο Brinell, καθώς αυτή παρουσιάζει μειονεκτήματα που έχουν σχέση με την υποκειμενικότητα στην οποία υπόκεινται προσδιορισμοί μεγεθών, όπως οι δυο διάμετροι του αποτυπώματος. Για το λόγο αυτό θα ήταν χρήσιμη περαιτέρω έρευνα για την κατάλληλη τροποποίηση του εν λόγω προτύπου. Σε ότι αφορά την περαιτέρω έρευνα σχετικά με το αντικείμενο της παρούσας έρευνας, χρήσιμο θα ήταν να προσδιοριστούν και άλλες τεχνικές ιδιότητες του ξύλου και αποτίμηση των μεταβολών που υφίστανται λόγω των υδροθερμικών χειρισμών.

## 7. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι υδροθερμικοί χειρισμοί του ξύλου παρουσιάζουν στις μέρες μας ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς οδηγούν σε βελτίωση κάποιων τεχνικών και αισθητικών ιδιοτήτων του ξύλου και το καθιστούν βελτιωμένο για αρκετές χρήσεις. Παρόλα αυτά σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να οδηγήσουν και σε ανεπιθύμητες μεταβολές.

Σκοπός της έρευνας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης των υδροθερμικών χειρισμών εύρους από 110°C έως 200°C στο χρώμα και τη σκληρότητα του ξύλου οξιάς. Επιπρόσθετος στόχος ήταν η μελέτη της συσχέτισης του χρώματος και της σκληρότητας για τους ανωτέρω χειρισμούς.

Χρησιμοποιήθηκε σομό ξύλο οξιάς (*Fagus sp.*), από το οποίο κατασκευάστηκαν 300 ζεύγη (Α και Β) γειτονικών δοκιμίων και τα οποία διαχωρίστηκαν σε 20 ομάδες των 15 ζευγών. Σε όλα τα δοκίμια πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός των χρωματικών μεταβλητών  $L^*$ ,  $a^*$  και  $b^*$ . Από κάθε ομάδα δοκιμίων η σειρά Β εκτέθηκε σε υδροθερμικό χειρισμό σε θερμοκρασίες 110, 140, 170 και 200°C και διάρκειες 10, 30, 60, 120 και 240min και ακολούθησε προσδιορισμός των ως άνω χρωματικών μεταβλητών. Ακολούθως έγινε προσδιορισμός της σκληρότητας Brinell για όλα τα δοκίμια. Η σειρά Α χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό σκληρότητας χωρίς χειρισμό, ενώ η σειρά Β για τον προσδιορισμό της σκληρότητας μετά το χειρισμό. Υπολογίστηκαν οι συνολικές χρωματικές μεταβολές και μεταβολές στη σκληρότητας για κάθε χειρισθέν δοκίμιο και υπολογίστηκαν τα σχετικά στατιστικά μεγέθη, ενώ μελετήθηκε η συσχέτιση των χρωματικών μεταβλητών και της πυκνότητας με την σκληρότητα του ξύλου.

Από την έρευνα προέκυψε ότι υδροθερμικοί χειρισμοί σομού ξύλου οξιάς με κορεσμένο ατμό σε θερμοκρασίες 110-200°C και για διάρκειες 10-240min οδηγούν σε μεταβολές χρώματος και σκληρότητας, οι οποίες μπορεί να είναι από μη αντιληπτές (μη σημαντικές) έως και πολύ έντονες. Η αύξηση της θερμοκρασίας και της διάρκειας χειρισμού προκάλεσε πιο έντονες μεταβολές των ανωτέρω ιδιοτήτων, ενώ σε θερμοκρασίες 200°C οι μεταβολές μπορεί να καταστήσουν το ξύλο μη αξιοποιήσιμο δομικά. Ήπιοι υδροθερμικοί χειρισμοί σε θερμοκρασίες 110°C δεν προκάλεσαν σημαντικές μεταβολές στην φωτεινότητα (παράμετρος  $L^*$ ) του ξύλου οξιάς. Παρόλα αυτά, αυξανόμενης της διάρκειας χειρισμού οι μεταβολές γίνονται εντονότερες αλλά και πάλι οριακά αντιληπτές από τον ανθρώπινο οφθαλμό. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες οι μεταβολές της εν λόγω χρωματικής μεταβλητής γίνονται εντονότερες και σε κάθε περίπτωση αντιληπτές μακροσκοπικά. Οι υδροθερμικοί χειρισμοί προκαλούν αύξηση της χρωματικής μεταβλητής  $a^*$  και μείωση της  $b^*$  με τις εν λόγω μεταβολές να είναι γενικά μικρές για τη μεταβλητή  $a^*$  ενώ για τη μεταβλητή  $b^*$  παρουσιάζονται σημαντικές για θερμοκρασίες άνω των 170 και για χρονικά διαστήματα άνω των 10min. Χειρισμοί ξύλου οξιάς με κορεσμένο ατμό σε θερμοκρασίες 110°C προκαλούν μικρή αύξηση της σκληρότητας, η οποία όμως μεγιστοποιείται σε διάρκεια 30min αλλά σε μεγαλύτερες διάρκειες είναι στατιστικά μη σημαντική. Σε θερμοκρασίες χειρισμού 140°C και για διάρκειες έως 60min η σκληρότητα του ξύλου μειώθηκε, χωρίς όμως η μείωση αυτή να είναι σημαντική. Αντίθετα, αυξανόμενης της διάρκειας άνω των 60min για την ίδια θερμοκρασία παρατηρήθηκε σημαντική υποβάθμιση της σκληρότητας σε ποσοστό άνω του 20%. Μέχρι 20% υποβάθμισης σκληρότητας οδήγησαν και χειρισμοί στους 170°C για διάρκειες έως 30min, ενώ για όλους τους πιο έντονους χειρισμούς η σκληρότητα υποβαθμίζεται σημαντικότερα καθώς ξεπερνά το 50% ποσοστιαίας μείωσης. Τέλος, από την παρούσα έρευνα προκύπτει μέτρια συσχέτιση της φωτεινότητας ξύλου οξιάς με τη

σκληρότητά του και ασθενής συσχέτιση της πυκνότητας ξύλου οξιάς με τη σκληρότητά του.

## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

### Ελληνική:

- Λυκίδης Θ.Χ.2004.Μελέτη της επίδρασης των υδροθερμικών χειρισμών ανάκτησης ξυλοτεμαχιδίων στις ιδιότητες ανακυκλωμένων μοριοπλακών .Θεσσαλονίκη 2004.Α.Π.Θ. Τμήμα Δασοπονίας και φυσικού περιβάλλοντος. Μεταπτυχιακή διατριβή σελίδες 21-24
- Λυκίδης Χ., Μπιρμπίλης Δ., Νικολακάκος Μ. και Ε. Σακελλαρίου, 2011. Αξιολόγηση τροποποίησης στη μέθοδο προσδιορισμού σκληρότητας ξύλου κατά το πρότυπο Brinell - EN1534:2000. 15ο Πανελλήνιο Δασολογικό Συνέδριο: «Δασοπονία πολλαπλών σκοπών και κλιματική αλλαγή - Προστασία και αξιοποίηση φυσικών πόρων», Καρδίτσα, 16-19 Οκτωβρίου 2011
- Λυκίδης Χ. 2011. Αξιολόγηση προτεινόμενης τροποποίησης της μεθόδου προσδιορισμού σκληρότητας ξύλου EN1534:2000 (μέθοδος Brinell).Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου. Καρδίτσα
- Μαντάνης Γ.2004.Εισαγωγή στις ιδιότητες ξύλου. Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου. Καρδίτσα.
- Μαντάνης Γ. και Αντ. Παπαδόπουλος (2009). PlatoWood: καινοτόμος τεχνολογία για βελτιωμένη ξυλεία. Επιπλέο, τεύχος 41, 8/2009.
- Νικόπουλος Φ. και Μπαρμπούτης Θ. 2007. Η θερμική τροποποίηση ξύλου. ΑΠΘ Σχολή δασολογίας και Φυσικού περιβάλλοντος. Σελ. 191.
- Πάττας Κ., 1978. Θερμοδυναμική. Εισαγωγή στα θεμελιώδη και στις τεχνικές εφαρμογές. Μεταφρασμένο στην ελληνική γλώσσα. Πρωτότυπο από τον Baehr H., Springer-Verlag
- Τσουμής, Γ. 1999. Επιστήμη και τεχνολογία του ξύλου. Τόμος Β: βιομηχανική αξιοποίηση. Υπηρεσία δημοσιευμάτων Α.Π.Θ.
- Τσουμής Γ.Θ.2009.Επιστημή και τεχνολογία του ξύλου. Τόμος Α' Δομή και Ιδιότητες. Εκδόσεις Γαρταγάνη. Θεσσαλονίκη. Ελλάς.Ε.Ε.
- Φιλίππου Ι. (1986). Χημεία και Χημική Τεχνολογία του Ξύλου. Εκδόσεις Γιαχούδη & Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη. Ορφανάκος Κ.Β.2004. Χρωματομετρία – Βασικές Αρχές. Αθήνα.



## Βιβλιογραφία:

- Beckwith JR (1979) Theory and practice of hardwood colour measurement. *Wood Sci* 11:169–175.
- Boonstra, M.J., B.F. Tjeerdsma and H.A.C. Groeneveld. (1998). Thermalmodification of non-durable wood species. 1. The PLATO technology: thermal modification of wood. International Research Group on Wood Preservation, Document no. IRG/WP 98-40123.
- Bieske K (2007) Wahrnehmung von Farbunterschieden von Licht und Körperfarben. Tagungsband Licht und Lebensqualität 2007, eine Tagung der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e.V., 19–20.04.2007, Lüneburg (in German)
- Buchlet B., Wagenfuhr A.2010. Evaluation of colour differences on wood surfaces.
- Burmester A. 1971. On the improvement of wood with formaldehyde – Part III. The treatment of reactivated heart wood. p 184-188.
- Burmester A., 1973. Einfluss einer Warme-Druck-Behandlung halbtrockenen Holzes auf seine Formbeständigkeit. *Holz als Roh- undWerkstoff* 31, pp. 237-243
- Burmester A., 1981. Dimensional stabilisation of wood. International Research Group on Wood Protection, Document No. IRG/WP/3171
- Callum A.S Hill. 2006. Wood Modification Chemical, Thermal and Other Processes. School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales, Bangor. pp 101-102, 110, 114-115.
- Chang C.I and Keith C.T (1998). Properties of heart darkened wood II. Mechanical properties and gluability. Report Eastern Forest Products Laboratory, Canada No.OXP214E.
- Chow, S. – Z (1972) Effect of thermal degradation of cellulose on wood polymer bonding. *Wood Science* 4(4), 202 – 208
- EN 1534 (2000) Wood and parquet flooring—determination of resistance to indentation (Brinell)—test method. CEN, European Committee for Standardization, Brussels.
- Hirata S., Ohta M., Homna Y. 2001. Hardness distribution on wood surface.
- Hsu W., Schwald W., Schwald J., Shields J., 1988. Chemical and physical changes required for producing dimensionally stable wood-based composites, Part 1: Steam pre-treatment. *Wood Science and Technology* 2, pp. 281-289

- Ignatowitz E., Haering, 1990: Τεχνική και Επαγγελματική Χημεία, Μετάφρασμένο στην Ελληνική από Γερολυμάτου Τ., Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις
- Jamsa S, Viitaniemi P,1998. Heat treatment of wood in Finland – State of the art. Heat treatment of wood – Better durability without chemicals. Technical research Centre of Finland Building Technology.
- Kandem P, Grelier S.2002. Surface Roughness and Color Change Of Copper Amine and UV Adsorber-Treated Red Maple (Acer rubrum) Exposed to Artificial Ultraviolet Light.
- Khalil A., Bakare I., Khairul A., Issam A., Bhad I. 2011. Effect of Anhydride Modification on the Thermal Stability of Cultivated Acacia mangium. School of Industrial Technology, Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia. pp 154-155.
- Kolin B., Danon G., 1997. Temperature as a factor of reduction of hygroexpansion and increase of dimensional stability of wood. Proceedings of the 3rd International Conference on the Development of Forestry and Wood Science/ Technology, Volume I. Serbia, Yugoslavia
- Mac Lean ,J.D (1953). Effect of steaming on the strength properties of wood. Proceedings of the American Wood Preservers Association, p. 49,88 – 122
- Microsoft Corporation, 2002: Encarta Encyclopedia Standard Edition
- Militz H. and Tjeerdsma B.1998. Heat treatment of wood by the PLATO-Process. SHR Timber Research, Wageningen, The Netherlands
- Mitsuhi, K, Murata A, Kohara M. and Tsuchikawa S. (2003). Color modification of wood by light irradiation and heat treatment. In: Proceedings of the first European Conference on Wood Modification. Ghent, Belgium, Van Acker J and Hill, C.A.S, p. 43-52
- Mononen K, Alvila L, Pakkanen TT (2002) CIE  $L^*a^*b^*$  measurements to determine the role of felling season, log storage and kiln drying on coloration of silver birch wood. Scand J Forest Res17:179–191
- Niemz P., Stubi T., 2000. Investigations of hardness measurements on wood based materials using a new universal measurement system. In: Proceedings of the symposium on wood machining, properties of wood and wood composites related to wood machining, Vienna, Austria. pp. 51-61.
- Nikitin N., 1966. The Chemistry of Cellulose and Wood. Academy of Sciences of the USSR, Institute of High Molecular Compounds. Translated by J. Schmorak, Israel Program for Scientific Translations

- Nishiko Y., Jannin G., Bernard C., Detienne P., Gril J., Bernard T.1998. Colorimetry of wood specimens from French Guiana.
- Ohlmeyer M, Lukowsky D, 2004.Wood Based Panels produced from Thermal Treatment Material. Properties and Prespectives. In: Proc, Wood Frame Housing durability and Disaster issues conference, Las Vegas, 04.06.10.2004 Madison: Forest products Society 2005,p 127 – 131
- Rautkari L., Kamke A.F., Mark Hughes.2011. Density profile relation to hardness of viscoelastic thermal compressed (VTC) wood composite
- Rink G (1987) Heartwood color and quantity variation in young black walnut progeny test. Wood Fiber Sci 19:93–100
- Raymond CA, Bradley AD (2002) Assessment of wood colour in *Eucalyptus nitens*. Appita J 55:118–122.
- Reiterer, A., Sinn, G.,. (2002): Fracture Behaviour of Modified Spruce Wood: A Study Using Linear and Non Linear Fracture Mechanics. Holzforschung, 56, 191-198
- Rowel R., Lange S., Davis M., 2000. Steam Stabilization of Aspen Fiberboards. Proceedings of 5th Pacific Bio-Based CompositesSymposium, Canberra Australia
- Ruyter, H.P. 1989. European patent Appl. No. 89-203170.9.
- Sekino N., Inoue M., Irle M., 1998. The Bond Quality of Steam Pre- Treated Particles. Proceedings of the 2nd Panel Products Symposium. Llandudno,Wales, UK
- Taylor J., 1987. Commercial Aspects of Producing Dimensionally stable Wood Composites. Proceedings of the 21st International Particleboard/ Composite Materials Symposium. Pullman, Washington
- Vanclay J., Henson M., Palmer G. 2008. Color variation and correlations in *Eucalyptus dunnii* sawnwood. Lismore, Australia p.432.
- Voulgaridis E., Passialis C., Grigoriou A., 1997: Effect of Steaming on Properties and Air-Drying of Oak Wood (*Quercus conferta* Kit). Proceedings of the 3rd International Conference on the Development of Forestry and Wood Science/ Technology, Volume 1, pp 363-369
- Wang Z., Choong E., Gopu V., 1994. Effect of prestaming on drying stresses of red oak using a coating and bending method. Wood and Fiber Science, 26(4), pp. 527-535

## **Διαδίκτυο:**

- <http://www.wikipedia.org/>
- <http://users.teilar.gr/~mantanis/articles.htm>
- [www.iaps.org](http://www.iaps.org) 2000

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΔΟΚΙΜΙΑ Α

Πίνακας 10: Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 1-15 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (A) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (A) (N/mm <sup>2</sup> )
1	25,92	22,05	40,20	40,23	0,73	76,32	6,56	19,75	8,37	7,89	6,60	6,40	17,31	28,27	22,79
2	25,78	22,19	40,11	40,58	0,71	74,65	7,48	20,20	8,02	8,26	7,18	7,85	17,27	20,63	18,95
3	25,54	22,17	40,18	40,19	0,71	75,25	7,44	19,54	7,93	8,28	8,17	7,44	17,43	18,97	18,20
4	25,55	22,20	40,18	40,14	0,71	75,11	6,45	20,82	8,62	7,79	7,07	8,10	16,96	20,21	18,59
5	26,16	22,11	40,15	40,24	0,73	74,87	7,66	19,51	7,85	7,61	7,39	8,18	19,38	19,08	19,23
6	26,34	22,17	40,15	40,16	0,74	74,64	7,77	19,21	7,64	7,87	7,17	8,06	19,24	20,04	19,64
7	25,62	22,19	40,08	40,15	0,72	75,43	6,26	21,49	8,11	7,41	7,20	7,73	19,22	20,94	20,08
8	25,98	22,11	40,18	40,23	0,73	75,19	6,82	20,54	8,06	7,40	7,87	7,04	19,38	21,00	20,19
9	26,23	22,07	40,17	40,32	0,73	75,49	7,05	19,63	7,46	7,77	7,56	7,28	20,04	21,22	20,63
10	26,20	22,15	40,23	40,12	0,73	75,28	6,30	21,30	7,44	8,57	6,04	6,86	17,93	28,74	23,33
11	25,86	22,20	40,24	40,08	0,72	75,22	6,38	21,75	8,89	6,98	7,41	7,54	18,28	20,87	19,58
12	26,74	22,09	40,15	40,30	0,75	75,33	6,42	21,15	7,39	7,91	6,34	7,80	19,83	23,58	21,71
13	26,22	22,11	40,21	40,06	0,74	74,40	7,56	20,71	7,81	8,28	7,22	7,64	17,73	21,15	19,44
14	25,37	22,22	40,23	40,47	0,70	76,46	7,16	20,50	6,66	6,95	6,94	6,98	25,61	24,40	25,01
15	25,95	22,37	40,28	40,35	0,71	76,25	7,40	20,01	7,50	7,98	7,15	7,59	19,33	21,53	20,43

**Πίνακας 11:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 16-30 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
16	26,03	22,17	40,15	40,11	0,73	76,73	6,37	21,23	6,62	7,62	6,14	7,64	23,22	24,94	24,08
17	25,62	22,03	40,12	40,27	0,72	74,98	7,23	20,36	6,86	7,55	6,93	7,91	22,63	21,22	21,92
18	25,41	22,07	40,12	40,31	0,71	75,64	7,43	20,42	8,78	7,93	8,17	7,76	16,28	18,13	17,20
19	25,02	22,06	40,26	40,30	0,70	75,65	7,54	20,74	7,05	8,17	6,96	8,47	20,07	19,47	19,77
20	25,27	22,08	40,15	40,30	0,71	75,65	7,34	20,93	6,99	8,37	7,80	6,68	19,66	22,39	21,03
21	24,93	22,14	40,11	40,33	0,70	75,46	7,33	21,21	8,85	8,64	6,72	7,84	14,66	22,12	18,39
22	25,40	22,10	40,30	40,37	0,71	75,71	6,67	22,24	9,48	7,70	7,75	8,15	15,28	18,21	16,74
23	21,44	21,86	40,36	40,12	0,61	72,68	7,07	20,10	9,46	8,63	8,18	8,81	13,55	15,67	14,61
24	22,43	21,82	40,23	40,24	0,63	71,45	8,06	19,07	8,54	9,00	7,79	8,85	14,56	16,43	15,50
25	21,54	21,92	40,15	40,06	0,61	72,50	7,64	18,98	8,40	8,34	7,47	8,63	16,21	17,70	16,96
26	22,21	21,89	40,09	40,30	0,63	71,34	8,41	19,35	8,30	8,45	8,07	8,04	16,19	17,68	16,93
27	21,82	21,93	40,31	40,04	0,62	72,60	8,41	18,84	8,77	8,30	8,65	8,91	15,50	14,52	15,01
28	22,13	21,85	40,11	40,20	0,63	71,96	8,31	19,20	10,46	8,92	8,70	9,26	11,49	13,78	12,64
29	22,47	21,89	40,12	40,57	0,63	72,52	8,40	19,32	8,40	8,45	7,65	8,54	15,97	17,48	16,73
30	22,18	21,84	40,08	40,29	0,63	72,41	8,48	19,43	9,75	8,50	8,44	8,66	13,27	15,44	14,36

**Πίνακας 12:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 31-45 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
31	22,31	21,81	40,00	40,27	0,64	72,87	8,55	19,69	9,1	8,77	7,24	8,19	13,95	19,47	16,71
32	26,10	21,95	40,05	40,01	0,74	75,09	7,40	20,45	9,28	7,52	5,85	7,06	16,08	28,69	22,39
33	26,36	22,07	40,18	40,04	0,74	74,65	7,99	20,29	8,53	7,23	5,76	7,38	18,57	27,63	23,10
34	26,03	21,94	40,18	40,08	0,74	75,16	7,70	21,18	7,87	7,63	7,26	8,32	19,27	19,05	19,16
35	26,49	22,01	40,17	40,05	0,75	75,17	7,70	20,59	7,1	7,56	6,37	7,35	21,79	25,17	23,48
36	26,38	21,94	40,15	40,18	0,75	74,64	7,95	20,56	6,93	8,05	6,38	7,72	20,78	23,73	22,25
37	26,44	21,85	40,12	40,05	0,75	74,66	7,77	20,56	7,58	7,61	6,57	7,28	20,15	24,66	22,41
38	26,65	21,91	40,07	40,04	0,76	74,47	7,87	20,53	7,35	8,12	7,75	7,72	19,35	19,35	19,35
39	26,59	21,89	40,09	40,12	0,76	73,67	8,69	19,92	5,99	6,6	5,5	7,65	30,27	27,58	28,93
40	26,69	21,89	40,12	40,36	0,75	73,61	8,42	20,47	6,96	7,53	7,37	7,1	22,36	22,42	22,39
41	26,52	21,92	40,11	40,04	0,75	72,35	8,84	20,35	7,11	7,16	6,5	6,72	23,12	27,27	25,19
42	26,95	21,93	40,12	40,22	0,76	73,09	8,70	19,76	5,73	7,64	6,27	6,47	26,62	29,52	28,07
43	26,82	21,98	40,12	40,18	0,76	73,54	8,48	20,11	6,19	7,14	7,07	7,4	26,79	22,42	24,61
44	26,67	21,97	40,09	40,00	0,76	73,94	8,37	20,32	6,29	7,15	6,57	7,06	26,32	25,53	25,93
45	26,84	21,82	40,05	40,31	0,76	73,51	8,32	19,94	5,77	6,74	6,85	7	30,69	24,66	27,67

**Πίνακας 13:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 46-60 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
46	26,67	21,84	40,10	40,31	0,76	74,56	7,45	20,76	7,55	6,95	6,8	6,3	22,32	27,81	25,07
47	26,84	21,95	40,07	40,05	0,76	73,43	8,32	19,76	6,93	7,16	7,04	7,01	23,76	23,91	23,84
48	26,64	21,96	40,07	39,96	0,76	74,30	8,02	19,77	5,89	7,83	6,73	7,5	25,17	23,26	24,21
49	26,84	21,96	40,11	40,09	0,76	77,20	7,72	19,37	6,63	7,65	6,4	7	23,08	26,49	24,78
50	26,80	22,00	40,10	40,25	0,75	75,12	6,76	21,41	6,47	7,55	6,65	6,9	24,02	25,86	24,94
51	26,46	21,88	40,06	40,22	0,75	74,90	6,09	22,16	6,79	7,41	6,43	6,69	23,36	27,72	25,54
52	26,67	21,83	40,09	40,19	0,76	75,65	7,87	19,99	6,56	7,62	6,2	6,5	23,44	29,71	26,58
53	26,88	21,92	40,01	40,05	0,77	75,66	7,71	19,91	6,17	7,59	6,25	7,1	25,02	26,70	25,86
54	25,57	21,85	40,32	40,00	0,73	75,74	6,20	22,29	6,8	7,1	6,35	6,79	24,47	27,63	26,05
55	25,79	21,86	40,36	40,23	0,73	75,96	7,12	21,25	6,69	7,34	6,49	7	23,98	26,11	25,05
56	25,92	21,91	40,43	40,03	0,73	76,62	7,04	21,25	6,23	7,07	6,45	7,5	26,92	24,28	25,60
57	25,97	21,93	40,42	40,01	0,73	76,14	7,15	21,50	6,32	7,47	6,23	7,48	24,90	25,21	25,06
58	26,03	21,87	40,35	40,00	0,74	76,50	6,84	20,67	6,67	7,6	6,42	7,95	23,12	22,77	22,94
59	26,08	21,89	40,34	40,17	0,74	74,95	7,54	20,95	6,54	7,53	6,15	7,36	23,84	26,03	24,93
60	26,18	21,83	40,33	40,03	0,74	74,23	7,93	21,00	6,43	7,6	6,53	7	23,98	25,94	24,96



**Πίνακας 14:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 61-75 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
61	26,35	21,91	40,25	40,00	0,75	73,90	7,95	20,95	6,23	7,55	6,49	7	24,94	26,11	25,52
62	26,45	21,89	40,32	40,13	0,75	74,01	7,82	20,84	6,2	7,36	6,62	7,34	25,82	24,25	25,03
63	26,60	21,99	40,37	40,01	0,75	73,60	8,33	20,01	5,83	7,6	7,45	6,81	26,36	23,15	24,76
64	27,23	22,05	40,32	40,07	0,76	73,92	7,00	22,09	6,49	7,15	6,57	7	25,49	25,78	25,64
65	27,20	21,96	40,29	40,19	0,76	73,77	8,19	20,72	6,13	7,26	7,67	7,74	26,53	19,52	23,03
66	26,15	21,90	40,27	40,11	0,74	73,96	7,96	20,35	6,13	7,56	6,9	7,01	25,29	24,43	24,86
67	26,86	21,79	40,27	40,13	0,76	74,11	7,80	20,77	6,15	7,57	6,71	7	25,17	25,21	25,19
68	26,24	21,92	40,23	40,02	0,74	74,42	6,96	21,08	6,09	7,45	7,6	6,96	25,90	22,12	24,01
69	26,28	21,89	40,24	40,05	0,74	74,39	6,78	21,34	5,58	6,55	6,09	7,3	32,76	26,53	29,65
70	26,51	21,95	40,31	40,00	0,75	73,85	7,86	20,26	6,32	8,19	7,15	7,6	22,29	21,50	21,90
71	26,84	21,99	40,25	39,95	0,76	74,41	7,06	20,87	6,24	6,53	6,91	7,61	29,37	22,26	25,81
72	26,03	21,93	40,23	39,90	0,74	74,13	7,85	20,41	6,12	6,98	6,77	7	27,81	24,98	26,39
73	26,64	21,89	40,21	40,24	0,75	74,96	6,26	22,45	6,05	6,97	7,13	7,18	28,18	22,97	25,57
74	26,36	21,93	40,22	39,88	0,75	74,45	6,48	21,48	5,92	6,88	6,02	7,6	29,22	25,57	27,40
75	24,62	21,97	40,06	40,05	0,70	75,59	5,89	21,55	6,89	7,09	6,93	7,64	24,17	22,09	23,13

**Πίνακας 15:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 76-90 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
76	24,16	21,99	39,91	40,12	0,69	75,31	7,10	20,05	6,22	7,16	7,23	7,56	26,57	21,37	23,97
77	24,12	21,98	39,98	40,12	0,68	74,22	6,73	21,29	7,44	6,73	6,94	7,59	23,47	22,22	22,85
78	24,17	21,98	39,94	40,08	0,69	74,01	7,05	21,11	6,3	6,69	7,85	7,94	28,32	18,49	23,40
79	24,47	21,92	40,08	40,16	0,69	73,98	6,68	21,03	6,16	7,07	7,5	8,36	27,22	18,31	22,77
80	24,36	21,95	40,02	39,97	0,69	73,82	6,67	21,21	7,59	7,84	7,64	8	19,47	18,89	19,18
81	23,93	22,00	39,94	39,91	0,68	74,26	7,57	20,00	8,39	7,47	7,85	8	18,31	18,34	18,32
82	23,97	21,96	39,98	40,00	0,68	74,73	6,44	21,41	6,79	7,02	7,19	7,39	24,82	22,06	23,44
83	23,97	22,02	39,84	39,99	0,68	74,85	6,27	21,27	6,4	7,23	6,53	8,41	25,53	20,91	23,22
84	24,23	22,03	39,79	40,05	0,69	74,57	6,19	21,07	6,74	7,79	7,05	8,05	22,22	20,42	21,32
85	24,04	22,00	39,88	40,08	0,68	74,79	5,87	21,64	6,77	7,47	6,24	7,45	23,22	25,29	24,26
86	23,76	21,94	39,78	40,06	0,68	74,61	6,68	20,65	6,51	6,87	6,86	7,95	26,57	21,31	23,94
87	23,91	22,03	39,82	40,08	0,68	74,46	7,72	19,80	6,18	7,68	7,15	7,92	24,63	20,51	22,57
88	24,03	22,03	39,84	39,96	0,69	75,00	6,83	20,99	6,58	7,07	7,75	7,93	25,45	18,78	22,12
89	24,29	21,93	39,90	40,00	0,69	75,57	6,25	21,47	6,85	7,38	7,5	7,6	23,26	20,42	21,84
90	24,31	21,92	39,84	40,15	0,69	75,37	6,09	21,64	7,25	7,32	7,63	8	22,09	18,92	20,50

**Πίνακας 16:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 91-105 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
91	24,44	21,95	39,89	40,00	0,70	74,47	7,50	21,91	6,66	7,24	7,89	7,51	24,47	19,55	22,01
92	24,21	21,95	39,92	39,80	0,69	74,62	6,65	21,66	7,55	7,07	7,24	7,54	21,92	21,41	21,66
93	25,12	21,92	39,95	39,91	0,72	74,70	7,76	20,46	6,76	8,18	7,59	7,85	20,91	19,44	20,17
94	24,97	21,92	39,91	40,08	0,71	75,71	6,80	20,30	7,59	7,76	8	7,42	19,69	19,49	19,59
95	24,75	21,96	39,91	39,94	0,71	75,72	6,58	20,60	6,5	7,14	7,35	6,93	25,49	23,08	24,29
96	25,43	21,88	40,00	40,06	0,73	75,23	6,77	21,18	6,69	7,23	7,48	7,5	24,40	20,78	22,59
97	24,63	21,90	39,91	40,05	0,70	76,03	6,56	20,30	6,67	7,73	7,76	7,53	22,66	19,86	21,26
98	22,61	21,75	39,90	40,09	0,65	70,13	7,99	20,14	7,64	8,16	7,78	7,6	18,47	19,61	19,04
99	22,59	21,74	40,00	40,00	0,65	70,53	7,90	20,12	7	7,45	7,6	7,95	22,49	19,13	20,81
100	23,24	21,83	40,00	40,00	0,67	70,99	7,44	20,87	7,56	8,01	8,02	7,82	19,08	18,36	18,72
101	22,90	21,76	39,97	40,03	0,66	70,64	8,10	20,22	7,41	8,39	6,85	7,58	18,47	22,56	20,51
102	23,05	21,77	40,09	39,98	0,66	70,38	8,11	20,07	7,12	7,63	7,84	8,06	21,50	18,21	19,85
103	24,48	21,86	39,94	40,02	0,70	79,62	4,52	21,17	6,52	7,44	7,19	7,96	24,25	20,27	22,26
104	24,47	21,85	40,00	40,00	0,70	79,48	6,06	19,37	8,42	8,37	7,89	8,18	16,10	17,78	16,94
105	25,33	21,87	40,00	40,00	0,72	78,72	6,34	19,92	6,67	7,84	7,04	7,77	22,29	21,31	21,80

**Πίνακας 17:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 106-120 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (A) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (A) (N/mm <sup>2</sup> )
106	24,36	21,91	40,02	40,00	0,69	78,55	6,70	19,84	7,03	8,42	7,47	7,65	19,41	20,36	19,89
107	24,34	21,85	40,00	39,95	0,70	78,65	6,57	19,82	7,4	8,03	7,6	7,79	19,47	19,58	19,52
108	24,17	21,84	40,00	40,00	0,69	78,22	6,92	19,61	8,25	8,51	8,58	8,27	16,17	15,97	16,07
109	23,72	21,84	40,00	39,62	0,69	78,34	6,87	19,46	6,88	8,27	6,7	7,53	20,27	23,26	21,76
110	23,42	21,80	40,00	40,00	0,67	78,42	5,14	21,85	6,76	8,19	7,6	7,85	20,87	19,41	20,14
111	23,25	21,82	40,00	40,09	0,66	78,92	5,11	21,81	6,89	8,11	7,27	7,7	20,72	20,81	20,77
112	23,43	21,80	40,00	40,00	0,67	78,43	7,01	20,01	8,11	8,71	7,94	8	16,04	18,11	17,07
113	23,97	21,81	40,00	40,05	0,69	78,02	7,07	20,39	7,06	8,35	7,92	8,4	19,52	17,17	18,35
114	24,01	21,84	40,00	40,00	0,69	78,12	7,07	20,21	7,5	8,6	8	7,52	17,70	19,22	18,46
115	24,16	21,81	40,04	39,95	0,69	78,40	6,83	20,37	7,49	8,7	7,81	7,95	17,48	18,57	18,03
116	24,18	21,80	40,02	40,00	0,69	78,91	6,46	20,24	7,58	8,07	7,94	8,03	18,86	18,03	18,45
117	24,36	21,82	40,02	40,00	0,70	78,89	5,70	21,09	7,15	8,2	7,43	8,2	19,69	18,92	19,30
118	24,54	21,81	40,04	40,05	0,70	78,66	4,77	21,53	6,78	7,79	7,45	7,47	22,09	20,97	21,53
119	24,37	21,83	40,00	39,73	0,70	78,41	6,69	19,18	6,64	7,61	6,54	7,45	23,19	24,13	23,66
120	24,46	21,85	40,08	40,06	0,70	79,01	4,78	21,43	7,37	7,68	7,23	7,95	20,57	20,18	20,38

**Πίνακας 18:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 120-135 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
121	24,35	21,84	40,01	40,08	0,70	78,89	6,33	19,13	7,14	7,6	6,75	7,02	21,53	24,98	23,25
122	24,54	21,82	40,04	40,04	0,70	78,73	6,48	19,22							
123	24,72	21,84	40,05	40,04	0,71	78,04	6,81	19,04	5,8	7,44	6,89	7,58	27,18	22,42	24,80
124	24,81	21,83	40,00	40,00	0,71	78,05	5,96	19,94	6,53	7,49	6,42	7,9	24,02	22,94	23,48
125	24,25	21,75	40,01	39,78	0,70	77,56	5,08	21,91	7,6	8,34	6,9	6,95	18,11	24,66	21,38
126	24,35	21,91	40,35	40,15	0,69	74,19	7,48	19,55	7,19	7,19	7,18	7,75	22,73	20,94	21,83
127	25,17	21,87	40,37	40,09	0,71	74,51	7,49	19,34	7,07	7,71	7,04	7,45	21,41	22,36	21,88
128	24,47	21,87	40,26	40,15	0,69	73,67	7,66	20,15	7,39	8,27	7,34	7,5	18,84	21,22	20,03
129	24,77	21,86	40,32	40,47	0,69	76,77	7,02	19,53	6,32	7,21	6,3	7,41	25,94	25,21	25,58
130	22,73	21,84	40,20	40,08	0,65	76,10	6,28	20,45	7,3	7,46	7,49	8,48	21,47	18,03	19,75
131	25,33	21,86	40,35	40,15	0,72	73,12	7,88	20,11	7,72	8,48	8,7	7,88	17,46	16,57	17,01
132	25,40	21,92	40,36	40,13	0,72	74,03	7,42	20,44	7,93	8,2	7,49	7,7	17,63	20,15	18,89
133	25,46	21,85	40,82	40,10	0,71	73,45	7,77	19,82	6,78	6,21	6,83	7,5	28,32	22,90	25,61
134	25,36	21,87	40,34	40,13	0,72	73,63	7,89	19,85	6,96	7,84	7,9	7,98	21,34	18,26	19,80
135	25,04	21,85	40,29	40,06	0,71	73,61	7,57	19,94	7,49	7,71	7,71	7,85	20,12	19,11	19,62

**Πίνακας 19:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 136-150 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
136	24,61	21,82	40,35	40,19	0,70	72,90	7,84	19,84	7,37	8,5	7,79	7,85	18,28	18,89	18,59
137	22,62	21,86	40,19	40,18	0,64	72,49	7,60	20,01	8,82	8,17	8,22	7,9	15,67	17,65	16,66
138	24,22	21,88	40,33	40,28	0,68	73,22	7,67	20,69	7,94	8,44	7,78	8,3	17,03	17,75	17,39
139	24,33	21,82	40,29	40,13	0,69	73,05	6,66	21,36	8,69	8,02	8,12	7,9	16,28	17,90	17,09
140	22,18	21,93	40,19	39,92	0,63	72,70	7,80	20,07	7,58	7,65	8,71	8,36	20,04	15,50	17,77
141	22,48	21,90	40,22	40,18	0,64	73,15	7,09	21,30	7,54	7,47	8,21	7,85	20,69	17,80	19,25
142	24,54	21,86	40,35	40,22	0,69	73,00	8,15	20,91	7,71	7,86	7,77	7,84	19,08	18,97	19,03
143	24,39	21,90	40,30	40,29	0,69	72,82	8,08	21,24	8,14	7,68	8,2	8,1	18,41	17,22	17,82
144	24,72	21,86	40,25	40,18	0,70	75,18	8,33	16,69	6,44	7,16	7,8	7,95	25,66	18,60	22,13
145	24,51	21,86	40,17	40,10	0,70	74,66	7,98	16,48	7,15	7,43	7,4	8,37	22,06	18,54	20,30
146	24,65	21,84	40,16	40,12	0,70	73,78	9,07	16,27	6,62	8	8,2	8,66	21,92	15,95	18,94
147	24,41	21,95	40,25	40,50	0,68	73,22	8,41	18,49	7,74	8,08	7,8	8,06	18,41	18,31	18,36
148	24,36	21,84	40,10	40,17	0,69	73,30	5,73	21,23	7,16	7,58	8,9	9,3	21,53	13,36	17,45
149	24,22	21,88	40,28	39,82	0,69	74,41	8,04	19,25	6,21	7,35	7,11	7,46	25,82	22,09	23,95
150	24,73	21,77	40,06	40,40	0,70	75,29	7,65	18,68	6,82	8,63	8,2	8,48	19,41	16,34	17,88

**Πίνακας 20:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 151-165 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
151	24,96	21,92	40,19	40,52	0,70	76,67	7,20	19,15	6,25	7,99	7,92	8,1	23,22	17,90	20,56
152	24,91	21,94	40,12	40,34	0,70	77,75	6,76	18,73	8	7,51	8,02	8,02	19,24	17,85	18,55
153	24,97	21,95	40,14	40,37	0,70	77,36	7,39	18,96	7,79	7,38	7,37	7,9	20,21	19,92	20,07
154	24,85	21,83	40,18	40,50	0,70	76,04	7,84	19,19	7,2	7,46	6,8	8,38	21,79	20,18	20,99
155	24,38	21,88	39,98	40,79	0,68	79,77	6,27	19,38	6,92	8,19	7,45	7,94	20,39	19,58	19,98
156	24,78	21,94	40,10	40,46	0,70	78,26	6,75	19,07	6,11	8,29	7,01	7,55	22,66	22,12	22,39
157	24,76	21,84	40,14	40,40	0,70	77,72	7,22	19,36	7,87	8,02	8,54	8,44	18,23	15,69	16,96
158	24,69	21,94	40,11	40,55	0,69	78,18	6,80	19,68	7,29	7,97	7,46	8,14	19,95	19,00	19,47
159	24,65	21,97	40,12	40,42	0,69	77,87	7,05	19,64	7,19	8,41	8	8,25	19,00	17,34	18,17
160	24,57	21,97	40,14	40,37	0,69	78,80	5,13	21,06	7,72	7,9	6,99	7,85	18,94	21,22	20,08
161	24,45	21,89	40,12	40,40	0,69	79,43	4,97	21,23	7,16	8,09	8,27	8,3	19,98	16,59	18,28
162	24,65	21,95	40,33	40,49	0,69	79,61	4,64	21,06	8,78	7,11	8,08	8,13	18,23	17,43	17,83
163	24,69	21,84	40,09	40,56	0,70	79,56	5,40	20,20	6,56	7,94	8,03	8,58	22,32	16,50	19,41
164	24,75	21,87	40,16	40,54	0,70	79,44	4,52	21,56	6,51	8,02	7,88	8,59	22,22	16,82	19,52
165	26,51	21,97	40,45	40,30	0,74	73,73	7,50	20,48	6,22	7,32	6,41	7,31	25,90	25,17	25,54

**Πίνακας 21:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 166-180 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm3)	L*	a*	b*	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm2)	Brinell Hardness 2 (N/mm2)	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm2)
166	26,58	21,97	40,21	39,76	0,76	73,85	7,99	20,44	6,38	6,8	7,07	7,08	27,45	23,54	25,50
167	26,47	21,92	40,30	40,43	0,74	73,62	7,30	21,18	6,86	7,43	7,08	7,08	23,04	23,51	23,28
168	26,63	21,89	40,22	40,54	0,75	73,11	7,57	20,23	6,24	7,73	6,37	7,08	24,21	26,28	25,24
169	26,96	21,96	40,14	40,41	0,76	73,03	8,07	20,14	6,18	7,31	6,38	6,95	26,11	26,79	26,45
170	26,83	21,91	40,14	40,46	0,75	73,50	8,05	20,28	6,54	7,83	6,78	6,24	22,77	28,18	25,47
171	26,87	21,90	40,17	40,37	0,76	73,58	8,09	20,36	7,1	7,85	6	6,83	20,87	29,08	24,98
172	26,58	21,93	40,18	40,43	0,75	73,53	8,01	20,95	6,31	7,75	6,92	6,3	23,87	27,27	25,57
173	26,67	21,90	40,20	40,40	0,75	73,89	6,74	22,06	5,62	7,61	6,16	7,01	27,22	27,49	27,36
174	26,46	21,95	40,31	40,42	0,74	73,73	8,16	20,73	6,62	8,06	6,74	7,3	21,73	23,95	22,84
175	26,53	21,54	40,26	40,49	0,76	73,96	7,68	21,16	6,47	7,18	6,02	7,38	25,45	26,49	25,97
176	25,66	21,91	40,21	40,40	0,72	75,09	7,01	21,25	7,03	7,54	8,11	8,05	22,09	17,56	19,82
177	26,68	21,91	40,26	40,43	0,75	73,32	7,81	21,55	6,52	6,99	6,34	8,15	26,03	22,36	24,19
178	26,63	21,92	40,22	40,44	0,75	73,07	8,37	21,01	6,48	7,89	6,7	7,44	22,77	23,58	23,17
179	26,50	21,91	40,21	40,43	0,74	73,09	8,27	21,31	7,22	7,53	6,79	6,4	21,50	27,40	24,45
180	26,56	21,89	40,24	40,47	0,74	73,67	7,68	21,61	6,32	7,87	7,3	7,69	23,40	20,75	22,08



**Πίνακας 22:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 181-195 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
181	26,57	21,96	40,17	40,44	0,74	74,06	7,71	21,34	6,72	7,48	6,59	7,23	23,36	24,78	24,07
182	26,18	21,94	40,32	40,45	0,73	74,76	7,31	21,59	6,31	7,24	7,6	7,4	25,86	20,72	23,29
183	25,84	21,90	40,23	40,45	0,73	75,23	6,41	22,14	6,13	7,49	6,08	7,35	25,57	26,36	25,97
184	27,17	21,97	40,10	40,36	0,76	76,25	7,34	19,85	6,92	7,46	6,66	6,67	22,73	26,79	24,76
185	27,40	21,97	40,12	40,40	0,77	75,35	7,69	19,57	6,49	6,42	7,12	6,06	28,69	27,45	28,07
186	27,45	21,96	40,11	40,36	0,77	75,07	7,68	19,95	7,89	6,44	7,37	6,55	22,90	24,40	23,65
187	27,10	21,96	40,16	40,18	0,76	74,81	6,54	22,10	6,55	7,76	6,51	7,66	22,97	23,47	23,22
188	27,21	21,95	40,14	40,25	0,77	74,64	7,68	20,54	7	7,6	6,63	7,52	21,99	23,54	22,77
189	26,91	21,86	40,01	40,16	0,77	73,79	8,05	20,15	6,64	8,57	6,76	7,33	20,10	23,76	21,93
190	27,34	21,90	40,17	40,38	0,77	73,00	8,44	20,69	6,53	6,89	6,19	7,32	26,40	26,03	26,21
191	27,40	21,98	40,19	40,37	0,77	74,33	7,96	19,93	8,19	6,95	7,49	7,77	20,30	19,95	20,13
192	27,48	22,02	40,17	40,43	0,77	73,50	8,32	20,37	6,17	7,46	6,87	7,01	25,53	24,55	25,04
193	27,43	21,92	40,16	40,57	0,77	74,05	7,79	20,65	6,72	6,78	7,17	7,92	26,07	20,45	23,26
194	27,46	22,03	40,19	40,38	0,77	74,10	8,07	20,09	5,87	7,87	6,27	6,73	25,09	28,27	26,68
195	27,49	21,93	40,15	40,42	0,77	74,51	7,81	19,97	6,17	6,52	7,23	7,75	29,76	20,78	25,27

**Πίνακας 23:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 196-210 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παρ.) (mm)	d2 (κάθ.) (mm)	d1 (παρ.) (mm)	d2 (κάθ.) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
196	23,49	21,85	40,05	40,46	0,66	79,71	5,99	20,06	7,83	7,96	7,6	8	18,49	19,00	18,75
197	23,70	21,87	40,05	40,44	0,67	79,61	6,12	19,71	6,27	6,78	6,89	6,87	28,04	25,02	26,53
198	23,91	21,91	40,12	40,51	0,67	79,48	6,06	19,91	6,28	7,67	7,85	7,75	24,28	19,00	21,64
199	24,40	21,87	40,11	40,46	0,69	78,57	4,69	21,61	6,59	7,46	6,78	8,17	23,91	20,87	22,39
200	24,16	21,87	40,07	40,47	0,68	78,80	6,26	20,93	6,3	7,6	7,06	7,1	24,47	23,51	23,99
201	23,83	22,10	40,14	40,44	0,66	79,51	5,99	19,83	6,41	6,35	6,56	7,1	29,42	25,41	27,42
202	23,70	22,08	40,15	40,45	0,66	79,31	5,91	19,78	5,78	7,12	8,86	7,11	28,74	18,03	23,38
203	24,10	21,92	40,09	40,45	0,68	79,51	6,02	20,47	7,28	7,81	7,07	7,8	20,45	21,12	20,79
204	24,14	21,89	40,10	40,46	0,68	79,52	6,11	20,25	6,37	7,61	7,05	7,2	24,17	23,19	23,68
205	24,33	21,87	40,11	40,51	0,68	79,22	5,93	20,86	6,52	7,59	7,1	7,4	23,69	22,32	23,01
206	23,98	21,85	40,10	40,46	0,68	79,00	6,41	20,72	6,53	7,38	7,76	7,9	24,43	18,84	21,64
207	23,94	21,89	40,10	40,46	0,67	79,32	6,25	20,04	6,76	8,27	8,57	8,1	20,63	16,37	18,50
208	24,08	21,89	40,11	40,48	0,68	79,61	5,71	20,27	6,22	7,78	7,39	7,87	24,10	19,95	22,02
209	24,18	21,91	40,10	40,43	0,68	79,25	6,08	20,43	6,13	7,23	6,48	7,09	26,66	25,78	26,22
210	24,08	21,94	40,11	40,47	0,68	79,44	4,65	21,61	6,93	7,32	7,34	7,93	23,19	19,92	21,55

**Πίνακας 24:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 211-225 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
211	24,05	21,86	40,09	40,46	0,68	79,67	4,91	21,74	6,84	7,9	6,3	7,44	21,53	25,09	23,31
212	24,04	21,92	40,04	40,39	0,68	78,48	5,14	22,16	6,48	7,36	7,33	7,62	24,70	20,87	22,79
213	23,82	21,93	40,09	40,39	0,67	78,37	7,07	20,03	5,92	6,55	6,94	7,05	30,89	24,13	27,51
214	23,66	21,88	40,08	40,47	0,67	79,16	5,62	20,72	6,86	7,03	6,7	6,9	24,51	25,66	25,08
215	23,78	21,91	40,09	40,48	0,67	79,44	5,62	20,21	6,22	6,76	7,03	7,43	28,36	22,46	25,41
216	24,06	21,91	40,10	40,44	0,68	79,39	6,17	20,47	7,02	7,39	7,37	7,4	22,63	21,44	22,03
217	24,78	21,70	40,01	40,43	0,71	79,69	4,80	20,33	6,52	6,88	7,32	7,73	26,49	20,57	23,53
218	24,47	21,76	40,01	40,50	0,69	79,45	6,57	18,28	6,12	7,21	7,14	7,54	26,79	21,73	24,26
219	24,59	21,68	40,07	40,43	0,70	79,33	6,00	18,85	7,41	7,94	7,45	7,47	19,69	20,97	20,33
220	24,49	21,73	40,07	40,46	0,70	78,44	6,49	19,34	7,23	7,72	7,73	7,85	20,87	19,05	19,96
221	24,29	21,83	40,07	40,51	0,69	78,77	5,04	21,25	7,23	8	7	7,5	20,04	22,32	21,18
222	24,15	21,82	40,09	40,55	0,68	78,03	6,80	19,57	7,22	8,63	8,28	8,3	18,34	16,57	17,45
223	24,02	21,84	40,10	40,52	0,68	77,57	6,94	19,56	6,99	8,3	9,31	7,95	19,86	15,11	17,49
224	24,69	21,67	40,10	40,48	0,70	77,51	7,02	19,66	8,5	8,45	6,52	8,58	15,76	20,42	18,09
225	24,11	21,81	40,09	40,56	0,68	76,84	6,29	21,32	6,42	7,57	7,78	8,67	24,13	16,87	20,50

**Πίνακας 25:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 226-240 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
226	24,13	21,82	40,14	40,60	0,68	76,51	7,41	20,46	7,08	8,62	8,26	8,24	18,73	16,75	17,74
227	24,05	21,78	40,12	40,42	0,68	77,22	6,12	22,00	6,91	8,33	8,66	8,6	20,01	15,11	17,56
228	24,96	21,66	40,17	40,54	0,71	78,78	5,57	20,96	6,73	8,33	8,11	8,5	20,54	16,50	18,52
229	23,89	21,81	40,11	40,47	0,67	77,87	7,14	20,24	7,24	8,05	9,74	8,9	19,86	12,62	16,24
230	23,76	21,88	40,11	40,43	0,67	77,97	7,12	20,38	7,41	8,53	8,04	8,45	18,11	16,77	17,44
231	23,70	21,78	40,12	40,38	0,67	77,51	7,36	20,38	6,78	7,96	7,68	8,63	21,53	17,19	19,36
232	23,44	21,77	40,06	40,43	0,66	77,27	7,70	19,54	7,29	8,14	8,21	7,56	19,47	18,54	19,01
233	23,60	21,83	40,07	40,43	0,67	77,89	7,25	18,97	6,92	8,04	7,35	8,35	20,84	18,73	19,79
234	23,45	21,84	40,09	40,47	0,66	78,80	6,59	18,37	6,97	7,42	6,35	8,06	22,70	22,63	22,66
235	24,40	21,68	40,10	40,59	0,69	79,31	6,21	18,74	6,7	8,34	7,38	7,56	20,60	20,91	20,75
236	23,68	21,56	40,08	40,14	0,68	77,18	6,41	18,79	6,55	7,02	8,02	8	25,78	17,90	21,84
237	23,20	21,89	40,07	40,27	0,66	77,13	7,42	21,10	7,55	8,34	9,27	9,1	18,23	13,07	15,65
238	24,82	21,91	40,05	40,39	0,70	77,37	7,49	19,31	7,74	7,96	7,5	8,5	18,73	17,95	18,34
239	24,50	21,92	40,12	40,95	0,68	78,80	6,87	20,06	6,28	8,83	10,03	9,58	20,39	11,17	15,78
240	24,06	21,87	40,05	40,50	0,68	78,86	7,05	19,44	7,42	9,04	8,8	8,8	16,84	14,45	15,65

**Πίνακας 26:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 241-255 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
241	24,55	21,95	40,15	40,51	0,69	78,99	6,93	19,59	6,85	8,52	10,06	8,77	19,64	12,32	15,98
242	24,25	22,06	40,07	40,50	0,68	78,89	7,07	19,93	7,22	8,37	8,86	8,34	19,03	15,24	17,13
243	24,03	22,00	40,08	40,33	0,68	78,85	7,01	20,04	7,05	8,24	8,43	8,43	19,86	15,95	17,91
244	24,02	21,94	40,12	40,41	0,68	79,10	6,98	19,80	5,75	6,47	7,8	7,76	32,25	19,11	25,68
245	24,18	21,99	40,13	40,38	0,68	79,21	6,67	20,43	7,24	7,5	10,49	9,1	21,53	11,19	16,36
246	23,94	21,94	40,14	40,41	0,67	78,90	7,04	19,76	6,12	8,4	9,97	8,31	22,26	13,22	17,74
247	23,83	21,92	40,14	40,42	0,67	79,18	6,80	20,06	6,63	7,39	8,73	8,03	24,02	16,17	20,09
248	23,94	21,98	40,11	40,38	0,67	79,30	6,35	20,65	6,12	6,95	7,48	6,69	27,95	23,47	25,71
249	24,12	21,94	40,15	40,55	0,68	78,92	6,78	20,65	6,03	7,19	7,76	7,8	27,27	19,11	23,19
250	24,03	21,90	40,07	40,47	0,68	78,65	6,54	20,75	5,99	7,71	7,77	7,78	25,25	19,13	22,19
251	24,37	21,96	40,13	40,55	0,68	78,81	6,19	21,01	6,68	7,75	10,29	8,15	22,56	12,95	17,76
252	24,25	22,00	40,12	40,49	0,68	78,53	6,56	21,46	6,59	7,73	7,33	8	22,94	19,75	21,34
253	24,17	21,95	40,26	40,44	0,68	78,83	6,40	20,55	6,06	7,47	8,6	7,07	25,94	18,81	22,38
254	24,25	21,95	40,29	40,00	0,69	79,05	6,35	20,48	6,68	7,9	9	7,22	22,06	17,41	19,73
255	24,07	21,95	40,08	40,42	0,68	79,67	5,86	20,43	6,22	7,76	7,1	7,62	24,17	21,60	22,88

**Πίνακας 27:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 256-270 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
256	23,85	21,94	40,06	40,47	0,67	79,49	6,22	20,63	6,28	7,74	8,15	8,18	24,02	17,15	20,58
257	23,94	21,91	40,05	40,41	0,68	79,59	5,95	20,14	6,34	6,85	8	7,7	27,40	18,73	23,07
258	23,55	21,89	40,03	40,34	0,67	78,51	6,76	20,55	5,97	6,83	7,7	7,3	29,22	20,72	24,97
259	24,09	21,96	40,12	40,38	0,68	79,16	6,35	20,31	8,71	8,27	9,3	9,04	15,69	13,12	14,41
260	22,82	21,91	40,09	40,34	0,64	77,25	6,82	21,78	7,01	8,78	8,38	8,42	18,49	16,08	17,29
261	22,83	21,90	40,10	40,45	0,64	76,01	7,30	21,34	7,12	7,98	7,75	7,90	20,42	18,86	19,64
262	22,76	21,91	40,14	40,51	0,64	78,69	6,24	20,56	7,22	7,55	6,60	7,92	21,44	22,26	21,85
263	22,79	21,88	40,11	40,46	0,64	78,25	6,53	21,17	6,65	8,02	7,00	8,06	21,76	20,54	21,15
264	22,82	21,91	40,06	40,45	0,64	78,77	6,29	21,29	6,31	7,52	7,15	7,50	24,74	21,83	23,28
265	22,97	21,95	40,09	40,49	0,64	78,44	4,85	23,16	9,44	7,48	7,14	7,74	15,82	21,09	18,46
266	23,08	21,93	40,13	40,40	0,65	78,46	6,55	20,48	6,82	7,86	7,01	7,21	21,73	23,29	22,51
267	23,84	21,90	40,17	40,55	0,67	78,92	5,92	21,14	6,47	7,38	7,00	7,01	24,66	24,06	24,36
268	23,24	21,90	40,11	40,36	0,66	80,00	5,64	20,26	6,30	7,35	8,81	6,66	25,45	19,35	22,40
269	22,94	21,89	40,08	40,53	0,65	78,69	6,23	21,14	6,39	7,52	7,37	7,78	24,43	20,27	22,35
270	23,32	21,92	40,06	40,42	0,66	78,83	4,98	22,30	6,86	8,07	7,62	7,60	20,94	20,07	20,50

**Πίνακας 28:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 271-285 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
271	23,70	21,87	40,07	40,44	0,67	79,75	5,84	20,25	5,72	6,56	5,95	6,50	31,92	31,00	31,46
272	23,20	21,87	40,01	40,38	0,66	79,32	5,94	20,57	6,58	7,75	6,76	7,43	22,90	23,40	23,15
273	22,74	21,85	40,05	40,47	0,64	79,00	6,15	20,93	7,12	7,72	6,68	6,72	21,22	26,49	23,85
274	23,45	21,88	40,08	40,42	0,66	79,52	6,04	20,12	6,11	6,46	6,13	7,36	30,37	26,11	28,24
275	23,78	21,93	40,09	40,40	0,67	79,78	6,00	20,01	6,99	7,60	7,76	6,90	22,02	21,79	21,91
276	23,06	21,77	40,29	40,37	0,65	74,07	7,50	20,42	8,28	9,21	9,08	9,08	14,66	13,43	14,04
277	23,63	21,87	40,08	40,43	0,67	79,66	5,85	19,98	6,81	7,88	6,72	7,17	21,70	24,51	23,10
278	23,49	21,85	40,03	40,49	0,66	78,99	6,54	20,54	6,81	7,78	7,48	6,70	22,02	23,44	22,73
279	23,67	21,89	40,02	40,17	0,67	79,93	6,20	19,76	6,52	7,26	6,17	6,17	24,94	31,59	28,26
280	23,29	21,81	40,00	40,43	0,66	78,28	6,87	20,46	6,32	8,07	6,67	6,77	22,70	26,32	24,51
281	22,48	21,81	40,24	40,36	0,63	73,43	7,63	20,65	7,22	8,64	8,20	7,93	18,31	17,63	17,97
282	22,64	21,79	40,25	40,23	0,64	74,53	7,40	20,31	8,01	8,35	8,64	7,22	17,08	18,31	17,69
283	23,34	21,84	40,32	40,41	0,66	73,54	7,57	19,67	7,71	8,66	8,49	7,46	17,05	18,08	17,57
284	23,74	21,84	40,32	40,21	0,67	73,57	7,45	19,91	7,01	7,88	8,15	7,40	21,06	19,13	20,10
285	23,55	21,82	40,30	40,28	0,66	73,57	6,50	20,84	6,47	8,24	7,30	7,50	21,63	21,34	21,49

**Πίνακας 29:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 286-300 (Ομάδα Α)

A/A	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Α					ΧΡΩΜΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
	Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (Α) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (Α) (N/mm <sup>2</sup> )
286	23,49	21,78	40,29	40,38	0,66	73,51	7,40	19,60	8,47	8,90	8,00	7,90	14,89	18,21	16,55
287	23,10	21,91	40,22	39,99	0,66	73,49	6,59	20,83	7,79	8,86	8,70	7,81	16,41	16,73	16,57
288	22,62	21,75	40,19	40,47	0,64	73,72	7,26	20,18	7,24	7,86	8,18	7,87	20,42	17,83	19,12
289	22,94	21,78	40,26	40,32	0,65	73,47	7,50	20,08	7,74	8,16	8,74	8,10	18,21	15,99	17,10
290	22,69	21,78	40,19	40,29	0,64	73,75	7,25	19,84	7,00	8,33	9,15	8,38	19,75	14,58	17,17
291	22,86	21,79	40,22	40,21	0,65	73,06	7,75	20,19	7,42	8,89	8,48	8,34	17,19	16,04	16,62
292	23,00	21,81	40,31	40,37	0,65	73,50	7,63	19,56	7,37	6,68	7,53	7,55	23,91	20,48	22,19
293	23,44	21,86	40,27	40,38	0,66	73,77	7,43	19,95	7,86	8,58	7,98	7,15	16,89	20,33	18,61
294	26,20	21,88	40,05	40,17	0,74	73,93	8,17	19,82	6,65	7,85	7,37	7,84	22,32	20,10	21,21
295	26,08	21,88	40,08	40,45	0,74	74,13	8,23	19,55	6,94	7,82	7,46	7,63	21,47	20,45	20,96
296	26,00	21,89	40,06	40,31	0,74	74,27	7,85	20,57	7,21	8,16	8,12	7,68	19,64	18,47	19,05
297	25,70	22,08	40,09	40,39	0,72	75,08	7,29	20,50	6,78	7,42	8,71	8,12	23,36	16,01	19,69
298	25,35	22,04	40,17	40,21	0,71	74,08	8,22	20,25	6,79	8,53	7,71	7,35	19,78	20,54	20,16
299	25,45	21,96	40,00	40,51	0,72	74,66	7,12	20,30	7,46	8,27	6,80	7,48	18,65	23,08	20,86
300	24,79	21,86	40,07	40,40	0,70	73,70	8,09	22,39	7,49	8,53	7,75	7,61	17,90	19,66	18,78



## ΔΟΚΙΜΙΑ Β

Πίνακας 30: Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 1-15 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β				ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ							
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
25,63	22,12	40,25	40,13	0,72	74,83	7,39	19,00	72,10	5,89	20,48	6,97	8,25	8,32	7,82	20,07	17,61	18,84
25,31	22,19	40,22	40,13	0,71	75,14	6,89	20,46	73,24	6,96	19,54	7,04	7,87	7,59	7,98	21,00	19,08	20,04
25,87	22,10	40,17	40,24	0,72	75,22	6,53	20,69	72,88	7,41	18,61	7,14	7,34	7,87	7,92	22,39	18,49	20,44
26,11	22,13	40,15	40,47	0,73	75,29	6,96	20,78	71,98	7,99	18,60	7,19	7,46	7,05	8,19	21,83	20,01	20,92
25,70	22,29	40,44	40,16	0,71	75,69	7,22	19,12	72,98	7,02	18,84	6,18	7,16	7,20	8,15	26,74	19,69	23,22
25,84	22,17	40,18	40,31	0,72	75,03	7,48	19,45	72,52	7,55	18,31	6,02	7,11	6,91	7,87	27,67	21,41	24,54
26,52	22,08	40,26	40,26	0,74	74,41	7,53	19,96	72,32	7,05	19,50	7,40	7,03	7,28	7,05	22,56	22,90	22,73
25,47	22,17	40,10	40,06	0,72	75,33	7,09	20,56	72,52	7,67	18,74	7,25	7,95	7,61	7,58	20,12	20,15	20,14
25,82	22,15	40,30	40,07	0,72	75,31	7,63	19,14	72,99	7,33	18,80	7,08	7,25	7,74	7,82	22,90	19,11	21,01
26,50	22,05	40,16	40,29	0,74	75,36	7,59	18,85	72,17	7,55	18,60	6,40	7,08	6,98	7,50	26,15	22,39	24,27
28,47	22,08	40,16	40,01	0,80	74,70	6,91	21,02	71,87	6,68	20,58	5,67	7,08	6,70	7,27	29,47	24,21	26,84
25,57	22,20	40,24	40,26	0,71	75,65	6,62	21,20	73,40	7,06	18,89	7,06	8,07	7,56	7,92	20,33	19,33	19,83
25,36	22,23	40,10	39,97	0,71	75,21	6,84	21,50	72,18	7,47	18,65	6,47	7,46	7,10	7,45	24,36	22,16	23,26
26,34	22,07	40,15	40,35	0,74	75,76	6,68	21,79	71,82	8,13	20,69	6,35	7,16	7,01	7,45	26,03	22,46	24,24
25,50	22,17	40,21	40,06	0,71	76,99	6,01	21,25	73,87	5,92	20,36	6,12	6,71	7,07	7,51	29,08	22,06	25,57

**Πίνακας 31:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 16-30 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β					ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
26,01	22,10	40,20	40,28	0,73	75,47	7,46	20,83	70,57	6,92	20,61	6,32	6,65	6,90	7,45	28,41	22,84	25,62
25,30	22,19	40,34	40,13	0,70	75,72	7,33	20,83	71,54	7,99	18,89	6,48	6,90	7,66	8,00	26,57	18,84	22,70
24,58	22,16	40,21	40,10	0,69	76,35	7,28	20,36	71,80	7,71	18,50	6,93	7,12	7,24	7,80	23,91	20,60	22,26
24,54	22,15	40,14	40,11	0,69	76,43	6,80	20,70	70,53	7,65	19,72	6,40	7,02	7,94	8,00	26,40	18,11	22,25
24,60	22,18	40,15	40,15	0,69	76,46	6,30	21,56	70,39	7,25	20,29	6,13	6,90	7,50	7,30	28,13	21,34	24,74
24,37	22,16	40,11	40,07	0,68	76,86	6,11	21,73	71,17	7,95	19,24	6,46	7,34	6,84	8,05	24,86	21,06	22,96
24,51	22,20	40,15	40,25	0,68	76,91	7,06	20,53	70,96	8,09	18,34	6,80	7,52	7,19	7,82	22,94	20,69	21,82
22,43	21,86	40,12	40,11	0,64	71,51	8,28	19,35	66,90	9,46	19,95	7,06	7,65	7,97	8,33	21,63	17,22	19,42
21,75	21,86	40,18	40,47	0,61	72,34	8,36	18,94	68,10	8,83	19,44	7,97	8,40	8,21	8,52	17,05	16,23	16,64
22,34	21,95	40,16	40,12	0,63	71,48	7,36	20,33	67,15	9,14	16,45	8,50	8,13	8,31	8,60	16,46	15,84	16,15
21,57	21,92	40,25	40,06	0,61	71,48	7,36	20,33	68,70	7,87	20,66	8,04	8,50	9,05	8,09	16,66	15,36	16,01
22,20	21,87	40,30	40,41	0,62	71,62	7,53	20,03	67,02	9,04	19,32	7,40	7,99	7,40	7,50	19,58	21,03	20,30
21,84	21,93	40,23	40,32	0,61	73,37	7,39	20,09	68,98	8,14	19,61	7,74	8,43	8,08	8,48	17,53	16,61	17,07
22,21	21,95	40,20	40,27	0,62	73,41	8,03	19,36	68,29	9,51	19,09	7,02	8,14	7,49	7,90	20,24	19,58	19,91
21,87	21,88	40,17	40,10	0,62	73,31	8,42	19,36	67,94	8,57	21,40	8,26	8,59	8,53	8,83	15,97	14,91	15,44

**Πίνακας 32:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 31-45 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β					ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
22,05	21,92	40,18	40,11	0,62	74,61	7,51	19,98	67,24	10,21	19,68	8,24	8,16	8,23	7,85	16,98	17,75	17,37
25,97	21,98	40,49	40,37	0,72	75,36	8,01	20,38	68,64	8,21	18,77	6,94	7,56	6,54	7,37	22,32	24,43	23,38
25,91	21,91	40,19	40,28	0,73	75,49	7,26	21,24	69,09	9,01	19,85	6,30	7,19	7,70	7,25	26,11	20,87	23,49
26,47	22,06	40,15	40,10	0,75	74,67	6,28	22,44	69,98	9,12	18,02	6,27	7,46	6,66	6,88	25,13	25,90	25,52
26,22	21,96	40,32	40,16	0,74	74,59	7,53	21,74	68,89	7,49	21,25	6,65	5,87	7,05	7,53	30,63	22,06	26,34
26,56	22,14	40,18	40,11	0,74	75,11	7,97	20,51	69,96	7,05	20,01	6,27	7,06	7,04	7,30	26,79	22,87	24,83
26,58	21,92	40,21	40,13	0,75	74,73	7,47	20,82	68,98	8,65	19,86	6,44	7,22	7,03	7,03	25,41	23,87	24,64
26,54	21,86	40,19	40,43	0,75	73,89	7,57	20,75	68,48	8,11	19,91	6,45	8,09	6,93	7,06	22,19	24,13	23,16
26,81	22,02	40,14	40,20	0,75	74,37	8,10	20,58	69,49	7,70	19,80	7,05	6,21	6,36	6,39	27,09	29,47	28,28
27,10	21,98	40,18	40,12	0,76	74,14	8,19	20,62	68,86	7,00	20,41	6,15	6,96	6,35	6,43	27,76	29,32	28,54
27,72	21,99	40,21	40,08	0,78	73,37	7,13	21,75	68,23	8,67	19,04	6,99	7,12	6,53	6,64	23,69	27,49	25,59
27,02	22,05	40,15	40,31	0,76	73,88	7,39	21,88	68,13	8,48	19,24	6,40	6,86	7,11	7,00	27,09	23,69	25,39
26,70	21,96	40,16	40,33	0,75	73,52	7,20	22,34	68,06	9,26	18,55	6,27	7,67	6,45	7,50	24,32	24,28	24,30
26,72	21,93	40,31	40,22	0,75	73,90	8,10	20,81	69,06	8,39	19,16	7,16	7,26	6,75	6,93	22,59	25,33	23,96
26,68	21,99	40,20	40,23	0,75	74,13	8,05	20,68	69,50	8,78	18,51	6,57	7,46	5,85	6,88	23,98	29,57	26,77

**Πίνακας 33:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 46-60 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β					ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
26,74	22,00	40,11	40,12	0,76	74,49	8,03	19,99	68,54	7,96	19,01	6,81	7,07	6,46	6,53	24,55	28,32	26,43
27,02	21,86	40,18	40,28	0,76	73,36	8,01	20,80	68,24	8,73	18,30	6,51	8,29	6,60	5,78	21,34	31,37	26,36
26,95	21,94	40,14	39,97	0,77	73,71	8,01	21,36	67,68	8,10	18,70	7,20	5,68	6,07	6,95	28,83	28,18	28,51
26,71	21,90	40,20	40,28	0,75	74,28	8,28	21,26	68,52	9,13	17,48	6,53	7,73	5,65	7,04	23,15	29,76	26,46
26,66	21,94	40,19	40,23	0,75	75,31	7,57	20,20	68,11	8,42	20,32	7,17	7,93	6,27	6,81	20,42	27,90	24,16
26,80	21,92	40,07	40,02	0,76	74,77	8,66	19,60	68,68	8,16	18,52	7,11	7,58	7,30	7,77	21,70	20,51	21,10
26,91	21,94	40,13	40,11	0,76	74,15	8,56	19,73	66,00	9,02	21,67	5,61	7,23	7,39	7,42	29,03	21,31	25,17
26,68	21,80	40,02	40,28	0,76	76,11	7,70	20,06	68,80	8,89	18,58	6,83	7,26	7,25	7,80	23,76	20,57	22,17
27,79	21,82	40,23	39,76	0,80	75,87	7,22	21,35	69,28	8,53	18,78	5,86	6,90	6,50	7,10	29,42	25,66	27,54
27,69	21,91	40,31	40,19	0,78	75,91	7,33	21,19	70,01	6,91	20,07	6,93	7,57	6,54	6,86	22,32	26,49	24,41
27,26	21,92	40,31	40,13	0,77	76,76	7,19	20,30	70,01	8,84	18,63	6,49	6,55	6,76	6,91	28,08	25,37	26,73
26,96	21,84	40,31	40,06	0,76	77,10	6,77	20,75	69,76	8,16	19,17	6,43	6,93	7,38	6,98	26,66	22,80	24,73
26,87	21,80	40,24	40,02	0,77	76,85	6,97	20,83	70,17	8,07	18,91	5,88	6,58	6,66	7,20	30,95	24,63	27,79
26,88	21,84	40,28	40,10	0,76	75,90	7,21	20,73	69,02	8,77	18,20	6,51	7,36	6,30	7,00	24,59	26,92	25,75
26,91	21,82	40,21	40,07	0,77	75,00	7,92	20,62	69,44	7,99	18,73	5,79	6,74	6,74	7,17	30,58	24,43	27,51

**Πίνακας 34:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 61-75 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β					ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
27,02	21,88	40,21	40,05	0,77	75,01	5,99	23,04	68,11	8,89	17,17	6,02	6,33	6,75	7,20	31,54	24,28	27,91
27,43	21,89	40,31	40,15	0,77	73,84	7,49	21,48	67,45	6,38	20,55	6,04	7,17	5,90	6,62	27,31	30,63	28,97
27,46	21,91	40,32	40,16	0,77	73,62	7,00	22,19	67,24	7,36	18,84	6,57	6,92	6,45	6,56	26,11	28,22	27,17
26,46	21,88	40,27	40,00	0,75	74,35	8,20	20,93	67,81	7,31	19,13	6,33	7,38	7,14	7,17	25,21	22,97	24,09
26,41	21,83	40,21	40,03	0,75	73,98	7,96	20,96	67,66	7,46	18,45	6,24	6,90	6,20	7,03	27,63	27,22	27,43
26,96	21,84	40,24	40,05	0,77	74,46	7,10	21,56	66,82	8,33	19,25	6,15	7,43	6,61	7,13	25,74	25,09	25,42
26,25	21,83	43,22	40,07	0,69	74,69	7,46	20,80	66,29	8,49	19,93	6,19	7,25	5,86	6,80	26,32	29,92	28,12
26,98	21,76	40,19	40,10	0,77	74,04	8,04	20,79	67,98	7,65	17,90	6,71	7,24	6,54	7,47	24,28	24,06	24,17
27,03	21,81	40,22	40,08	0,77	74,41	7,89	20,53	68,11	7,34	18,61	5,67	7,12	6,37	7,30	29,27	25,37	27,32
26,87	21,83	40,22	40,02	0,76	74,36	7,29	20,58	67,87	6,09	19,37	6,14	6,30	6,74	6,98	31,05	25,17	28,11
26,40	21,87	40,21	40,02	0,75	74,34	7,89	20,13	68,11	6,67	19,21	6,68	7,07	6,57	6,91	25,05	26,15	25,60
26,38	21,85	40,21	39,40	0,76	74,98	7,82	20,86	68,88	6,32	19,71	7,02	7,48	6,74	7,52	22,32	23,15	22,74
26,50	21,94	40,18	40,02	0,75	73,07	8,39	20,96	66,22	8,35	18,60	6,70	7,53	6,23	6,65	23,26	28,83	26,05
26,40	21,83	40,18	39,52	0,76	74,88	7,55	20,84	68,66	7,46	18,24	6,31	7,57	6,23	7,43	24,55	25,41	24,98
25,34	21,82	40,10	39,88	0,73	75,97	6,93	20,23	68,27	6,78	17,97	6,93	7,42	7,04	7,73	22,84	21,44	22,14

**Πίνακας 35:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 76-90 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β				ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ							
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
25,13	21,88	40,06	40,09	0,72	75,66	6,97	20,69	68,57	6,98	17,88	7,15	7,81	7,43	7,47	20,84	21,03	20,94
25,01	21,93	40,07	40,21	0,71	74,61	7,33	20,67	67,90	7,08	17,54	8,26	7,92	8,55	7,81	17,51	17,08	17,29
24,66	21,90	40,00	40,12	0,70	73,90	7,45	20,08	67,41	7,89	16,82	6,40	7,84	6,78	7,73	23,22	22,29	22,76
23,70	21,90	39,83	40,00	0,68	74,07	7,03	21,11	67,68	6,31	19,94	7,36	8,01	6,28	7,65	19,64	24,36	22,00
24,08	21,93	39,90	40,02	0,69	74,22	7,40	19,87	67,84	6,10	19,09	7,15	7,81	6,62	6,97	20,84	25,70	23,27
24,40	21,87	40,08	39,78	0,70	73,81	7,73	19,97	67,53	6,87	18,31	7,74	8,19	7,44	7,67	18,13	20,39	19,26
24,20	21,88	40,12	39,44	0,70	73,94	7,53	20,66	66,97	7,15	18,52	6,82	7,85	6,64	7,40	21,76	23,95	22,85
24,11	21,85	40,00	39,92	0,69	74,00	7,77	19,34	67,51	7,29	18,10	7,26	7,80	7,37	7,65	20,54	20,66	20,60
24,41	21,88	39,78	40,24	0,70	73,58	7,68	19,98	67,73	6,76	17,95	7,23	7,48	7,89	7,80	21,63	18,76	20,19
24,14	21,89	39,79	40,07	0,69	73,76	7,85	19,97	67,11	6,99	18,03	6,57	7,55	6,26	7,30	23,65	25,82	24,74
24,12	21,91	39,83	40,02	0,69	73,85	7,08	21,51	66,76	6,99	18,24	6,52	8,67	6,62	7,70	20,15	22,94	21,55
24,21	21,91	39,84	40,14	0,69	74,45	7,17	21,26	67,63	8,49	16,93	7,32	7,44	7,11	7,86	21,47	20,81	21,14
24,32	21,88	39,86	40,16	0,69	74,50	7,14	21,20	67,61	6,91	17,65	6,53	7,83	6,62	7,43	22,80	23,91	23,36
24,51	21,84	39,92	40,03	0,70	74,80	6,94	21,51	68,01	7,23	18,19	7,11	7,65	7,65	7,88	21,47	19,19	20,33
24,77	21,85	39,92	40,00	0,71	75,17	6,79	20,86	67,98	6,90	18,09	6,58	8,15	7,68	8,02	21,57	18,73	20,15

**Πίνακας 36:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 91-105 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β				ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ							
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
25,14	21,89	39,99	39,96	0,72	74,21	7,05	22,15	64,71	7,73	18,20	6,44	7,68	6,54	7,41	23,65	24,28	23,97
24,93	21,93	40,00	39,61	0,72	74,81	7,32	21,11	64,32	7,98	17,98	6,64	7,49	7,38	7,70	23,62	20,48	22,05
24,51	21,88	39,95	40,01	0,70	75,57	7,13	20,12	64,18	7,57	19,12	6,73	7,55	7,81	8,10	23,08	18,18	20,63
25,48	21,95	40,00	40,06	0,72	75,24	7,36	20,09	64,78	8,26	17,29	7,49	7,05	7,34	7,69	22,19	20,63	21,41
25,34	21,93	40,00	40,05	0,72	75,56	7,24	20,44	64,36	7,95	18,24	6,87	6,65	6,47	7,11	25,98	25,74	25,86
24,65	21,94	39,90	40,07	0,70	76,04	6,52	20,59	64,48	8,29	17,27	6,32	6,79	6,95	8,00	27,76	20,87	24,32
24,92	21,91	40,03	39,37	0,72	75,56	7,01	20,86	64,03	7,95	18,04	7,45	6,90	7,74	8,03	22,84	18,54	20,69
22,54	21,95	40,16	40,19	0,64	70,05	8,66	20,18	62,32	8,80	16,63	7,16	7,81	7,25	8,25	20,81	19,27	20,04
22,25	21,86	40,15	40,08	0,63	70,94	7,79	20,98	62,43	8,00	18,24	6,65	7,82	7,55	8,60	22,42	17,58	20,00
22,01	21,86	40,07	40,00	0,63	70,79	8,30	19,99	62,57	8,99	16,75	6,99	7,40	6,91	7,78	22,70	21,70	22,20
22,14	21,88	40,28	40,16	0,63	71,38	7,85	19,88	62,53	7,50	19,34	6,85	7,99	7,90	8,13	21,22	17,88	19,55
22,14	21,97	40,19	40,21	0,62	71,85	7,79	19,01	62,80	7,55	19,25	8,62	8,81	8,31	8,80	14,78	15,42	15,10
24,58	21,81	40,07	40,24	0,70	78,76	6,53	19,60	64,32	7,80	20,03	7,24	8,48	8,05	8,55	18,68	16,52	17,60
24,60	21,88	40,10	40,30	0,70	78,72	6,59	20,34	64,43	8,37	20,54	7,97	8,94	7,57	9,01	15,84	16,57	16,20
24,56	21,93	40,07	40,04	0,70	78,87	6,31	20,12	64,37	8,22	20,55	8,02	8,65	7,75	8,36	16,37	17,68	17,02

**Πίνακας 37:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 106-120 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β				ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ							
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
24,76	21,89	40,42	40,23	0,70	78,56	6,49	20,32	60,73	8,61	21,32	8,17	8,28	7,54	8,42	16,87	18,05	17,46
24,67	21,90	40,04	40,29	0,70	78,58	6,73	19,99	59,78	8,49	21,89	8,10	8,54	9,08	8,34	16,43	14,80	15,61
24,60	21,94	40,18	40,23	0,69	78,12	6,56	20,08	60,17	8,66	20,92	7,52	8,55	8,38	8,45	17,78	16,01	16,90
24,28	21,88	40,13	39,96	0,69	77,94	6,87	20,74	60,40	8,57	21,04	7,54	8,36	8,04	8,16	18,21	17,46	17,83
24,10	21,88	40,06	40,34	0,68	78,14	6,90	20,47	61,68	9,16	19,23	6,44	7,17	7,44	8,53	25,61	18,03	21,82
23,89	21,86	40,05	40,34	0,68	78,22	7,00	20,55	59,76	11,63	19,25	7,32	8,10	8,21	8,77	19,49	15,69	17,59
23,97	21,74	40,05	39,87	0,69	78,20	7,01	20,82	60,35	9,21	21,29	7,39	8,10	8,02	8,85	19,30	15,93	17,61
24,65	21,79	40,13	40,39	0,70	78,23	6,98	20,78	60,53	9,25	21,22	7,10	7,65	7,80	8,37	21,50	17,53	19,52
24,55	21,81	40,09	40,10	0,70	78,12	5,86	22,77	60,47	8,94	21,48	7,28	8,45	8,08	8,13	18,65	17,43	18,04
24,57	21,81	40,11	40,04	0,70	78,56	6,65	20,72	61,06	8,67	21,25	7,77	8,45	7,45	8,14	17,41	19,03	18,22
24,55	21,85	40,14	40,18	0,70	78,52	5,54	21,70	61,21	8,41	21,31	7,04	7,80	6,67	6,89	21,22	25,82	23,52
24,58	21,81	40,29	40,09	0,70	78,94	5,70	20,56	61,72	7,93	21,10	6,19	7,34	7,85	7,42	25,94	19,92	22,93
24,61	21,88	40,10	40,10	0,70	79,14	6,15	19,92	62,99	8,67	18,75	6,96	6,53	7,77	7,31	26,11	20,48	23,29
24,40	21,82	40,29	40,15	0,69	79,43	5,73	19,53	63,72	8,53	18,49	7,27	6,64	8,04	7,83	24,43	18,28	21,36
24,45	21,93	40,23	40,10	0,69	79,05	5,82	19,51	61,41	9,81	19,24	7,44	7,66	7,16	7,70	20,42	21,15	20,79



**Πίνακας 38:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 121-135 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β				ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ							
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
24,27	21,88	40,15	40,26	0,69	78,87	6,06	19,60	58,90	7,32	21,83	7,91	7,84	7,91	7,73	18,60	18,89	18,74
24,08	21,87	40,29	39,93	0,68	78,07	6,08	20,01	57,15	7,60	22,27	6,28	6,51	7,38	6,98	29,27	22,80	26,04
24,12	21,84	40,10	40,09	0,69	77,92	6,40	20,43	56,64	10,08	19,31	7,16	7,03	7,22	6,82	23,40	23,95	23,67
23,91	21,91	40,31	39,73	0,68	77,72	6,24	20,28	55,82	8,41	22,41	6,82	8,87	7,96	7,41	18,76	19,64	19,20
23,73	21,84	40,18	39,81	0,68	77,40	6,28	19,99	54,79	8,53	22,78	6,81	7,63	7,48	7,59	22,53	20,51	21,52
23,06	21,91	40,50	40,07	0,65	72,26	8,12	19,97	54,81	8,73	19,72	7,01	8,08	7,51	7,94	20,45	19,41	19,93
22,65	21,85	40,48	40,13	0,64	73,94	7,49	20,00	57,00	8,13	21,14	8,63	9,06	8,28	8,12	14,28	16,98	15,63
23,29	21,85	40,25	40,07	0,66	72,90	7,79	20,04	55,04	10,20	19,78	7,87	8,10	8,20	7,91	18,03	17,68	17,85
23,01	21,85	40,42	40,07	0,65	73,13	6,44	21,75	55,96	7,52	21,64	8,19	8,64	7,98	8,30	16,01	17,27	16,64
25,04	21,88	40,41	40,16	0,71	74,51	7,36	20,23	55,40	8,88	20,39	8,76	8,40	8,10	8,22	15,32	17,17	16,24
22,67	21,86	40,25	40,10	0,64	74,02	6,23	21,25	56,02	8,57	20,43	8,75	9,33	8,65	8,60	13,57	15,13	14,35
22,66	21,87	40,27	40,06	0,64	72,50	7,87	20,90	56,31	9,77	18,43	8,89	9,24	8,25	8,67	13,48	15,82	14,65
22,96	21,04	40,29	40,12	0,68	72,66	7,92	20,08	55,40	9,75	18,75	8,49	8,95	8,82	8,48	14,76	15,03	14,90
23,00	21,90	40,16	39,42	0,66	72,47	7,95	20,21	55,01	9,79	19,01	8,29	8,79	8,49	8,76	15,48	15,13	15,31
23,16	21,89	40,20	40,04	0,66	72,71	7,67	20,13	56,53	9,27	18,04	8,22	8,71	8,27	8,77	15,80	15,57	15,68

**Πίνακας 39:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 136-150 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β					ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
22,94	21,91	40,29	40,22	0,65	72,19	7,97	19,95	51,40	10,50	19,12	8,65	8,85	8,10	8,20	14,64	17,22	15,93
24,60	21,94	40,43	40,12	0,69	73,33	7,40	20,51	48,32	8,49	21,28	8,88	8,74	8,61	8,19	14,41	16,08	15,24
22,48	21,92	40,35	40,03	0,63	73,13	6,72	20,84	51,78	10,77	19,58	8,39	9,25	8,79	8,79	14,37	14,49	14,43
22,36	22,22	40,28	40,11	0,62	73,43	7,65	20,22	51,91	10,71	18,96	9,06	8,83	8,78	8,85	13,91	14,39	14,15
24,39	21,83	40,40	40,22	0,69	72,92	7,83	21,32	48,70	8,97	19,78	8,54	8,98	8,35	8,92	14,60	15,09	14,85
24,68	21,88	40,44	40,09	0,70	73,15	6,93	21,92	49,06	10,91	18,51	8,64	8,53	8,69	8,80	15,30	14,66	14,98
22,40	21,94	40,45	39,94	0,63	72,44	8,04	20,44	51,22	8,95	21,87	8,83	8,53	9,21	8,92	14,91	13,48	14,20
22,40	22,01	40,20	39,89	0,63	73,47	7,87	20,78	51,12	10,99	19,97	8,83	9,05	8,61	8,61	13,93	15,20	14,56
24,54	21,90	40,09	40,20	0,70	75,93	5,46	18,46	60,67	5,27	24,72	7,01	8,53	10,27	8,73	19,16	12,06	15,61
24,51	21,94	40,31	40,20	0,69	75,44	7,39	16,86	59,29	9,06	21,35	7,42	8,97	8,47	9,00	17,01	14,70	15,85
24,55	21,94	40,31	40,21	0,69	73,45	8,74	17,53	56,45	8,86	22,40	7,35	9,93	8,56	8,75	15,07	15,01	15,04
24,63	21,85	40,07	40,39	0,70	72,89	8,87	17,54	56,92	6,41	23,23	6,85	8,77	8,95	8,90	18,94	13,98	16,46
24,49	21,98	40,26	40,25	0,69	74,11	7,88	19,05	54,52	7,31	21,74	7,72	8,61	9,09	9,31	17,15	13,02	15,08
24,72	21,83	40,34	40,44	0,69	73,72	7,93	19,20	53,58	7,45	22,32	8,58	9,25	8,25	8,56	14,02	16,06	15,04
24,60	21,98	40,32	40,35	0,69	75,96	7,14	19,13	57,28	8,94	22,29	7,24	8,46	9,37	9,46	18,73	12,32	15,53

**Πίνακας 40:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 151-165 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β				ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ							
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παρ.) (mm)	d2 (κάθ.) (mm)	d1 (παρ.) (mm)	d2 (κάθ.) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
25,17	21,76	40,09	40,43	0,71	74,75	7,93	19,60	57,73	7,34	19,90	7,90	7,14	8,65	7,73	20,60	17,03	18,82
24,68	21,78	40,06	40,38	0,70	76,12	8,07	19,34	57,74	7,91	17,97	7,88	7,25	7,55	8,15	20,33	18,73	19,53
24,41	21,83	40,10	42,32	0,66	77,44	7,47	18,98	59,91	7,81	19,06	7,25	7,98	8,99	8,54	20,04	14,58	17,31
25,02	21,99	40,15	40,37	0,70	75,21	8,11	19,04	59,44	7,93	20,14	9,01	7,73	7,77	7,82	16,21	19,03	17,62
25,07	21,90	40,10	40,74	0,70	79,32	6,65	19,23	53,39	11,75	20,60	8,62	8,78	9,00	8,10	14,84	15,44	15,14
24,17	21,81	40,04	40,41	0,68	76,60	7,77	19,13	58,24	9,78	17,86	7,54	8,78	8,57	8,70	17,17	15,09	16,13
24,23	21,76	40,02	40,43	0,69	76,91	7,69	19,53	56,47	8,94	18,63	7,04	8,64	8,29	8,18	18,78	16,82	17,80
24,39	21,75	40,00	40,37	0,69	77,31	6,62	20,23	57,56	9,78	18,48	6,93	8,44	9,07	8,83	19,64	13,89	16,76
24,40	21,76	40,05	40,30	0,69	77,32	7,35	19,76	58,04	9,72	18,08	8,07	8,51	9,35	8,82	16,57	13,41	14,99
24,35	21,75	40,02	40,19	0,70	78,12	7,03	19,64	57,81	10,10	18,33	8,56	8,13	7,97	8,20	16,32	17,53	16,93
24,45	21,85	40,00	40,45	0,69	78,50	6,95	19,67	56,71	9,72	18,69	8,84	9,17	9,00	8,80	13,69	14,07	13,88
24,56	21,75	40,07	40,57	0,69	78,76	6,76	19,92	56,84	9,94	18,77	9,29	8,59	9,10	8,70	13,93	14,07	14,00
24,54	21,73	40,00	40,66	0,69	78,89	6,72	19,58	57,01	10,31	18,92	8,23	8,42	8,81	8,82	16,41	14,39	15,40
24,23	21,67	40,00	40,72	0,69	79,41	6,45	19,52	55,88	8,88	20,88	9,00	8,21	8,41	8,70	15,22	15,42	15,32
26,94	21,97	40,13	40,27	0,76	74,79	7,87	20,36	55,34	10,31	18,16	6,05	6,95	7,17	7,21	28,27	22,73	25,50

**Πίνακας 41:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 166-180 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β					ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
26,12	21,90	40,22	39,78	0,75	73,74	7,77	20,52	47,72	9,61	18,68	6,97	7,89	6,94	7,53	21,15	22,42	21,79
27,04	22,00	40,16	40,34	0,76	74,28	8,36	19,68	48,15	10,11	19,72	7,15	8,22	7,59	7,50	19,64	20,45	20,04
27,10	21,98	40,14	40,39	0,76	73,08	8,18	20,21	46,63	10,93	20,11	7,55	8,42	7,42	7,45	18,03	21,12	19,58
26,71	21,86	40,22	40,41	0,75	72,92	8,44	20,26	47,67	9,76	19,56	6,89	7,43	6,98	7,60	22,94	22,06	22,50
26,63	21,92	40,22	40,38	0,75	73,45	8,11	20,82	47,18	11,12	18,41	7,17	7,76	7,29	7,58	20,94	21,12	21,03
26,58	21,97	40,25	40,38	0,74	73,50	8,29	20,58	45,81	10,31	18,77	7,81	8,05	7,35	7,73	18,31	20,48	19,40
26,93	21,95	40,18	40,36	0,76	73,35	8,37	20,38	46,59	11,00	18,77	8,01	7,59	7,02	7,64	19,00	21,79	20,40
27,00	21,95	40,20	40,36	0,76	73,93	8,24	20,28	47,05	10,73	18,37	6,97	7,51	7,17	7,10	22,39	23,12	22,75
26,80	21,87	40,26	40,37	0,75	74,17	8,02	20,98	48,06	10,89	19,30	7,87	8,43	7,22	7,79	17,22	20,69	18,96
26,69	21,97	40,32	40,28	0,75	74,50	7,92	20,85	48,44	10,29	18,73	6,98	7,72	7,02	7,69	21,66	21,63	21,65
26,37	21,96	40,16	40,35	0,74	74,87	7,51	21,23	45,97	10,47	19,00	8,41	7,92	8,10	8,18	17,15	17,27	17,21
26,86	21,93	40,23	40,40	0,75	73,45	8,41	21,33	47,13	7,21	22,83	8,00	8,02	7,04	7,60	17,90	21,86	19,88
26,95	21,94	40,22	40,39	0,76	73,90	8,14	21,00	48,84	9,37	21,40	7,82	7,55	7,40	8,00	19,64	19,55	19,59
26,85	21,98	40,24	40,41	0,75	73,87	8,01	21,21	48,47	10,18	19,59	7,93	7,62	7,99	7,95	19,13	18,11	18,62
26,74	22,00	40,22	40,40	0,75	73,63	8,14	21,13	47,03	10,68	18,83	7,99	8,22	7,66	8,10	17,43	18,57	18,00

**Πίνακας 42:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 181-195 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β					ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
26,51	21,91	40,27	40,47	0,74	74,42	8,06	20,48	41,67	9,72	17,01	9,00	9,90	8,62	9,10	12,21	14,22	13,22
26,68	22,09	40,23	40,42	0,74	74,08	7,94	21,74	40,42	11,28	19,01	9,16	9,29	8,55	8,80	12,94	14,93	13,93
26,53	21,94	40,24	40,39	0,74	74,92	7,76	21,23	46,13	11,37	18,85	9,43	9,58	9,41	9,23	12,04	12,62	12,33
27,01	22,09	40,10	40,44	0,75	74,83	8,27	20,03	41,38	11,14	19,30	9,16	9,64	9,16	9,10	12,37	13,26	12,81
27,04	22,02	39,98	40,51	0,76	75,90	8,27	19,06	42,27	11,16	21,52	9,03	9,54	8,95	9,11	12,74	13,60	13,17
27,09	21,95	40,06	40,48	0,76	74,95	7,92	19,58	43,15	7,14	23,77	8,80	8,92	8,55	8,21	14,22	16,17	15,19
26,83	21,86	39,94	40,49	0,76	74,61	7,89	21,04	40,88	11,33	18,27	9,06	8,74	9,50	8,96	14,07	12,92	13,50
27,11	21,95	40,17	40,47	0,76	74,35	8,47	20,30	42,40	9,66	19,01	9,45	9,24	9,07	9,01	12,54	13,57	13,06
27,33	22,05	40,22	40,41	0,76	74,09	8,42	20,08	42,62	10,37	20,95	8,35	9,80	8,55	9,26	13,45	14,06	13,75
27,19	21,91	40,05	40,19	0,77	73,16	8,62	19,53	40,95	11,17	16,82	9,41	8,95	9,05	8,95	13,09	13,71	13,40
27,32	21,88	40,04	40,48	0,77	73,57	8,27	20,37	43,30	9,22	19,33	9,15	8,92	9,00	8,91	13,59	13,87	13,73
27,19	21,90	40,00	40,47	0,77	74,09	8,15	20,16	44,26	9,39	21,59	8,47	9,14	8,40	9,00	14,43	14,84	14,63
27,14	21,88	40,00	40,49	0,77	73,38	7,55	21,06	42,54	9,65	20,90	9,54	8,75	9,50	9,20	13,20	12,53	12,87
27,21	21,94	40,04	40,48	0,77	72,14	8,66	21,12	39,10	8,46	20,08	8,38	9,33	8,50	9,00	14,24	14,64	14,44
27,17	21,88	40,05	40,51	0,77	74,50	7,95	19,81	43,75	10,23	21,37	8,68	8,32	8,60	8,70	15,65	15,03	15,34

**Πίνακας 43:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 196-210 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β				ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ							
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
23,93	21,92	40,12	40,52	0,67	79,67	6,10	20,14	33,77	6,26	16,25	8,31	9,54	8,60	9,75	13,98	13,10	13,54
23,83	21,90	40,10	40,52	0,67	79,42	4,65	21,60	36,01	6,24	20,75	9,42	9,85	9,65	9,60	11,65	11,68	11,67
23,85	21,98	40,15	40,43	0,67	80,10	5,95	19,60	37,15	9,05	19,45	9,14	9,99	9,40	9,60	11,86	12,06	11,96
24,22	21,93	40,13	40,43	0,68	79,26	4,67	22,12	35,67	7,13	20,81	10,07	9,20	9,20	9,70	11,65	12,21	11,93
24,26	21,90	40,14	40,43	0,68	79,89	6,22	19,80	35,34	7,36	15,14	9,55	9,41	9,20	9,50	12,12	12,53	12,32
24,01	21,90	40,12	40,50	0,67	79,50	6,49	19,49	35,17	7,52	15,37	8,61	8,98	8,30	8,50	14,47	16,08	15,27
24,04	21,99	40,17	40,48	0,67	79,23	5,72	20,35	38,39	8,67	20,19	8,82	9,57	8,88	9,20	13,04	13,57	13,30
23,77	21,92	40,12	40,42	0,67	79,73	6,13	19,57	37,42	8,96	17,87	9,41	9,61	10,00	9,90	12,03	10,77	11,40
23,78	21,92	40,09	40,43	0,67	80,25	5,40	20,31	33,85	7,39	17,14	9,80	10,94	9,35	11,00	9,70	10,18	9,94
23,80	21,91	40,09	40,44	0,67	79,82	5,84	20,06	36,91	9,08	17,73	8,60	10,21	10,25	10,50	12,35	9,69	11,02
23,94	21,86	40,06	40,38	0,68	80,01	4,85	21,41	34,28	9,81	15,55	9,53	10,61	10,40	10,20	10,45	9,87	10,16
23,94	21,93	40,08	40,43	0,67	80,04	5,82	19,92	35,95	7,38	17,27	8,69	9,84	9,30	10,15	12,80	11,39	12,10
24,03	21,91	40,13	40,44	0,68	79,84	5,48	21,52	36,98	10,22	18,34	9,89	11,25	9,60	10,20	9,23	10,90	10,07
24,05	21,91	40,08	40,42	0,68	79,84	6,08	20,06	36,43	10,78	17,52	9,90	10,73	9,60	10,30	9,84	10,77	10,30
24,17	21,87	40,07	40,42	0,68	79,49	6,19	20,49	38,18	10,96	19,41	9,86	10,17	10,10	10,50	10,60	9,87	10,23

**Πίνακας 44:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 211-225 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β					ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ						
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
24,08	21,89	40,10	40,51	0,68	78,75	6,28	20,18	32,30	6,61	14,41	9,13	10,39	9,56	10,35	11,29	10,76	11,02
23,77	21,92	40,06	40,47	0,67	78,64	6,46	20,50	19,45	4,59	8,15	9,83	10,13	10,35	10,30	10,69	9,81	10,25
23,61	21,91	40,04	40,45	0,67	78,48	6,50	20,40	30,69	4,67	11,55	8,94	9,75	8,86	10,30	12,54	11,82	12,18
23,83	22,00	40,10	40,41	0,67	78,79	5,99	20,74	31,72	4,72	15,23	10,28	9,71	10,20	10,00	10,65	10,37	10,51
23,84	21,96	40,10	40,42	0,67	78,94	5,98	20,87	33,06	6,18	12,33	10,44	10,85	10,90	10,90	9,06	8,51	8,79
24,02	21,92	40,09	40,50	0,67	79,99	6,03	20,25	30,40	10,39	9,91	10,46	10,35	10,40	10,30	9,62	9,75	9,68
24,37	21,81	40,01	40,49	0,69	79,13	6,26	19,50	31,92	4,39	14,47	9,95	10,68	10,60	10,20	9,84	9,63	9,73
24,72	21,67	40,04	40,41	0,70	79,84	5,62	19,53	33,48	7,38	13,76	10,19	9,97	18,50	10,40	10,43	9,51	9,97
24,52	21,82	40,08	40,57	0,69	79,53	5,92	19,50	35,00	8,42	14,33	9,89	10,54	9,60	9,20	10,08	12,37	11,23
24,38	21,96	40,06	40,56	0,68	79,13	5,84	19,97	32,75	7,12	14,14	10,09	10,36	11,29	10,73	10,06	8,28	9,17
24,52	21,73	40,06	40,49	0,70	78,57	6,21	20,23	31,27	10,49	10,71	11,09	11,26	10,05	10,10	7,95	10,44	9,19
24,46	21,68	40,07	40,42	0,70	78,77	6,41	20,09	33,53	6,31	18,33	11,11	10,87	11,25	10,50	8,32	8,56	8,44
24,59	21,67	40,05	40,44	0,70	78,07	7,17	19,66	33,47	7,15	18,27	11,21	11,06	11,10	11,55	8,03	7,66	7,84
24,16	21,79	40,09	40,57	0,68	77,43	6,78	20,03	30,68	10,87	19,13	10,83	10,71	11,40	11,40	8,79	7,51	8,15
24,89	21,65	40,07	40,47	0,71	77,35	5,91	21,65	34,80	4,94	15,41	11,43	11,60	11,60	11,05	7,30	7,66	7,48

**Πίνακας 45:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 226-240 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β				ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ							
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παράλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
24,93	21,75	40,11	40,57	0,70	77,11	6,16	22,20	40,03	9,75	20,21	11,63	11,39	11,63	11,25	7,31	7,44	7,37
25,04	21,74	40,19	40,60	0,71	78,38	5,75	21,36	39,54	9,85	21,21	11,21	10,58	11,05	11,05	8,52	8,20	8,36
23,95	21,91	40,18	40,59	0,67	77,63	6,21	21,58	39,00	10,58	17,50	11,23	10,79	11,11	11,80	8,28	7,41	7,85
24,91	21,74	40,40	40,55	0,70	79,12	5,50	20,87	39,43	10,66	19,14	11,16	10,64	11,00	11,70	8,51	7,61	8,06
24,50	21,87	40,15	40,50	0,69	79,50	5,33	20,62	39,56	10,44	21,03	11,62	11,45	11,75	11,50	7,26	7,10	7,18
24,18	21,66	40,08	40,67	0,68	78,33	6,33	19,95	38,50	11,32	19,99	11,12	11,17	11,20	11,25	8,01	7,85	7,93
24,23	21,77	40,16	40,60	0,68	78,67	7,01	19,27	38,03	10,87	20,10	11,23	11,02	11,18	10,45	8,05	8,69	8,37
24,91	21,71	40,15	40,58	0,70	78,23	7,06	19,39	41,67	10,67	21,89	11,02	10,53	11,00	11,00	8,78	8,30	8,54
24,68	21,71	40,13	40,58	0,70	79,09	6,38	18,79	41,20	11,52	19,95	10,32	10,70	10,00	10,00	9,37	10,64	10,00
23,28	21,87	40,10	40,39	0,66	78,70	6,23	19,22	37,40	8,48	20,55	9,73	10,15	9,82	9,90	10,80	11,01	10,90
23,30	21,82	40,07	40,52	0,66	79,61	5,94	18,50	37,28	10,97	16,64	9,58	9,81	9,69	10,26	11,48	10,70	11,09
24,38	21,78	40,14	40,55	0,69	77,77	7,28	20,01	37,17	7,90	19,44	11,01	11,26	10,70	10,80	8,03	8,83	8,43
24,60	21,91	40,08	40,52	0,69	76,92	7,88	20,15	37,67	8,29	14,92	9,16	10,76	9,00	11,30	10,74	10,25	10,49
24,26	22,00	40,13	40,49	0,68	78,21	7,29	19,60	36,59	10,81	15,19	11,47	11,47	10,50	10,92	7,38	8,92	8,15
24,48	21,94	40,15	40,51	0,69	78,06	7,49	20,25	36,31	7,06	18,68	10,89	11,35	11,00	10,70	8,06	8,62	8,34



**Πίνακας 46:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 241-255 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β				ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ							
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
24,17	21,97	40,21	40,44	0,68	78,57	7,10	19,44	28,04	4,66	6,88	10,56	10,61	10,00	10,30	9,20	10,25	9,72
24,33	21,98	40,16	40,40	0,68	79,12	5,20	22,00	31,80	7,59	13,93	10,36	11,12	10,73	10,68	8,85	8,93	8,89
24,35	21,97	40,20	40,43	0,68	79,66	5,22	21,35	28,79	4,38	8,71	10,37	10,87	10,79	10,60	9,12	8,95	9,04
23,78	22,08	40,08	40,51	0,66	79,60	4,36	22,57	33,90	4,24	16,62	9,88	10,24	9,92	9,60	10,48	11,29	10,89
24,03	22,03	40,08	40,42	0,67	78,97	4,51	22,67	29,08	3,20	13,36	9,33	9,51	9,65	9,42	12,31	11,95	12,13
23,80	21,97	40,12	40,44	0,67	79,19	6,98	20,12	26,71	1,34	9,66	10,71	11,36	10,60	10,80	8,23	8,94	8,59
23,72	21,91	40,07	40,38	0,67	79,14	6,98	19,98	29,95	1,95	14,53	8,86	10,49	9,11	10,35	11,54	11,38	11,46
23,67	21,90	40,04	40,47	0,67	79,13	6,86	20,27	30,49	5,77	8,54	10,17	10,54	9,77	9,38	9,74	11,83	10,78
24,19	21,91	40,14	40,34	0,68	79,14	6,60	20,56	31,22	4,23	13,89	10,05	10,64	9,80	10,16	9,76	10,69	10,23
23,73	22,00	40,05	40,45	0,67	79,24	6,48	20,62	31,41	0,23	16,89	10,07	10,71	10,15	10,72	9,65	9,55	9,60
23,88	21,95	40,03	40,58	0,67	79,36	4,54	22,43	28,14	5,25	7,72	9,33	10,40	9,36	9,99	11,00	11,54	11,27
23,76	21,89	40,03	40,42	0,67	70,32	6,36	20,33	32,40	7,82	14,93	9,46	9,51	9,00	9,20	12,10	13,36	12,73
23,56	21,91	40,06	40,42	0,66	79,34	6,29	20,39	35,20	9,15	15,90	10,59	9,58	10,05	10,25	10,41	10,25	10,33
23,54	21,90	40,03	40,48	0,66	78,98	6,61	20,27	34,43	5,82	18,58	10,04	10,08	9,83	10,07	10,48	10,77	10,62
23,29	21,88	40,04	40,43	0,66	78,70	7,02	19,66	33,65	8,94	12,05	9,85	10,06	10,25	10,17	10,76	10,09	10,42

**Πίνακας 47:** Αποτελέσματα προσδιορισμών για τα δοκίμια 256-270 (Ομάδα Β)

ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ Β				ΧΡΩΜΑ ΠΡΙΝ			ΧΡΩΜΑ ΜΕΤΑ			ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ							
Μάζα (g)	Πάχος (mm)	Πλάτος (mm)	Μήκος (mm)	Πυκνότητα (B) (g/cm <sup>3</sup> )	L*	a*	b*	L*	a*	b*	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	d1 (παραλ) (mm)	d2 (κάθετη) (mm)	Brinell Hardness 1 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 2 (N/mm <sup>2</sup> )	Brinell Hardness 1+2 (B) (N/mm <sup>2</sup> )
23,22	21,95	40,02	40,42	0,65	79,12	6,81	19,96	28,32	2,13	11,64	9,34	10,01	10,70	10,20	11,54	9,51	10,52
23,68	21,99	40,05	40,32	0,67	78,92	6,69	20,70	24,88	3,34	0,68	9,48	10,16	9,60	10,45	11,12	10,57	10,85
23,69	21,91	40,20	40,26	0,67	79,46	4,59	22,07	28,97	5,27	8,25	10,61	11,29	11,12	11,24	8,41	7,94	8,17
23,18	21,90	40,03	39,30	0,67	78,89	5,18	22,34	25,21	6,78	3,06	11,71	12,01	11,75	11,80	6,68	6,83	6,75
23,14	21,88	40,06	40,29	0,66	78,04	7,00	21,03	25,47	3,39	0,50							
23,17	21,97	40,08	40,50	0,65	78,22	6,79	21,35	27,51	3,10	3,34	10,43	11,19	10,40	10,25	8,70	9,81	9,26
23,32	21,96	40,10	40,43	0,66	79,78	5,87	20,68	25,60	1,29	3,37	10,33	10,60	10,00	10,26	9,48	10,30	9,89
23,09	22,00	40,07	40,52	0,65	79,30	6,12	20,91	26,17	4,50	5,78	9,70	9,89	9,64	9,66	11,19	11,61	11,40
23,19	21,92	40,10	40,55	0,65	78,54	6,42	20,98										
23,50	21,95	40,34	40,49	0,66	79,39	4,70	22,33										
23,64	21,93	40,16	40,53	0,66	79,68	4,82	21,90										
23,75	21,90	40,07	40,50	0,67	78,71	6,71	20,66										
22,79	21,90	40,04	40,52	0,64	81,64	5,57	18,49										
23,52	21,96	40,10	40,52	0,66	79,18	6,30	20,73										
23,37	21,92	40,09	40,37	0,66	78,74	6,42	21,54										

