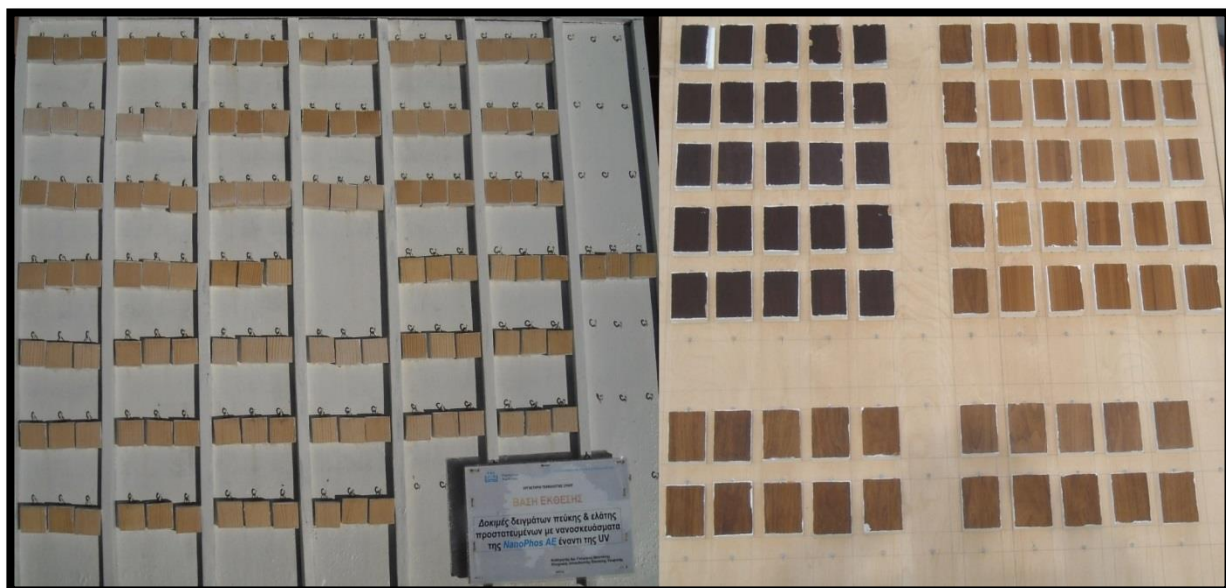




ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Μελέτη προστασίας φυσικού και τροποποιημένου
ξύλου έναντι υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) με νέες
τεχνολογίες νανοσκευασμάτων»**



ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΤΣΙΦΤΣΗΣ

ΑΜ: ΞΕ 1403

Επιβλέποντες:

Δρ. ΜΑΝΤΑΝΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Δρ. ΛΥΚΙΔΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

ΚΑΡΔΙΤΣΑ - ΜΑΙΟΣ 2014

Πρόλογος

Για την ολοκλήρωση των σπουδών μου, στο Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας, Παράρτημα Καρδίτσας στο Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου & Επίπλου συντάξα την παρούσα πτυχιακή εργασία. Το θέμα της πτυχιακής μου εργασίας είναι: **Πειραματική μελέτη προστασίας φυσικού και τροποποιημένου ξύλου έναντι υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) με νέες τεχνολογίες νανοσκευασμάτων**. Παρόλα τα αδιαμφισβήτητα πλεονεκτήματά του ξύλου ως πρώτη ύλη για κάθε είδους κατασκευή υπάρχουν και κάποια ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά που οφείλονται στο γεγονός ότι πρόκειται για προϊόν βιολογικών διεργασιών και όχι για τεχνητό - βιομηχανικό δημιούργημα. Ένα από τα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά που εμφανίζονται σε αυτό είναι ο μεταχρωματισμός του από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία.

Η νανοτεχνολογία είναι μια νέα προσέγγιση για την κατανόηση και την άρτια γνώση των ιδιοτήτων της ύλης σε νανοκλίμακα: ένα νανόμετρο (ένα δισεκατομμυριοστό του μέτρου) είναι το μήκος ενός μικρού μορίου. Στο επίπεδο αυτό αποκαλύπτονται διαφορετικές και συχνά καταπληκτικές ιδιότητες της ύλης και είναι δυσδιάκριτα τα όρια μεταξύ των καθιερωμένων επιστημών και τεχνικών κλάδων.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν να εξετάσει την επίδραση χρήσης τεσσάρων νέων τεχνολογιών σκευασμάτων νανοτεχνολογίας για την μείωση ή την εξάλειψη των χρωματικών αλλαγών φυσικού και τροποποιημένου ξύλου.

Τα δυο είδη φυσικού ξύλου που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα ήταν πεύκη, ελάτη και τροποποιημένο ξύλο ThermoWood, PlatoWood και KebonyWood. Η εφαρμογή των νέων τεχνολογιών σκευασμάτων είχε σαν αποτέλεσμα τη βελτίωση των δειγμάτων στις χρωματικές αλλαγές μετά από 9 και 10 μήνες έκθεσης στις ελληνικές κλιματικές συνθήκες και κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία.

Με την προώθηση των νανοτεχνολογιών, καινοτόμοι ανόργανοι νάνο παράγοντες μπλοκαρίσματος της υπεριώδους ακτινοβολίας συνθέτουν μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία. Τα προϊόντα νανοτεχνολογίας δημιουργούν προστατευτικά φιλμ στο υπόστρωμα του ξύλου. Η απλή επικάλυψη του υποστρώματος με μερικές εκατοντάδες νανόμετρα φιλμ προσφέρει προστασία έναντι της υπεριώδους ακτινοβολίας στα δομικά συστατικά του ξύλου (κυτταρίνη, λιγνίνη, ημικυτταρίνες).

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές του τμήματος Δρ. Γεώργιο Μαντάνη, Δρ. Χαράλαμπο Λυκίδη και Γεράσιμο Μπόθο για την πολύτιμη βοήθειά τους στη δημιουργία και την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας καθώς επίσης και όλο το εκπαιδευτικό προσωπικό του τμήματος για τις γνώσεις που μου προσέφεραν όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου. Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω και την οικογένειά μου που μου συμπαραστάθηκε όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου στο Τ.Ε.Ι.

Σελίδα 3

3.3.1.2. Plato Wood Process (μέθοδος παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου) .	44
3.3.2. Χημική τροποποίηση του ξύλου (Chemical modification of wood)	46
3.3.2.1. Kebony Wood Process (μέθοδος παραγωγής χημικά τροποποιημένου ξύλου)	46
4. Σκοπός	48
5. Υλικά και μέθοδοι.....	49
5.1. Υλικά	49
5.1.1. Ξύλο	49
5.1.2. Γυαλόχαρτα	50
5.1.3. Πινέλα.....	50
5.1.4. Βερνίκι πολυουρεθάνης (αστάρι)	51
5.1.5. Σκευάσματα νανοτεχνολογίας	51
5.1.6. Χημικά τροποποιημένο ξύλο AccoyaWood	52
5.1.7. Αντικολλητό θαλάσσης (κόντρα πλακέ).....	53
5.1.8. Ανοξείδωτες ξυλόβιδες	53
5.1.9. Τριγωνικά στηρίγματα	54
5.1.10. Υδατοπωθητικό και προστατευτικό ξύλου νανοτεχνολογίας (Surfapore W).....	54
5.2. Εξοπλισμός και όργανα μετρήσεως.....	55
5.3. Μέθοδοι	59
5.3.1. Διαδικασία παραγωγής δοκιμίων.....	59
5.3.2. Κλιματισμός των δοκιμίων	62
5.3.3. Τοποθέτηση στηριγμάτων	62
5.3.4. Τοποθέτηση ίχνους σε δοκίμια	63
5.3.5. Εφαρμογή βερνικιού πολυουρεθάνης λευκού χρώματος (αστάρι) στα δοκίμια ..	63
5.3.6. Διαχωρισμός-Αρίθμηση δοκιμίων	64
5.3.7. Εφαρμογή υδατοπωθητικού και προστατευτικού ξύλου νανοτεχνολογίας (Surfapore W)	66

5.3.8. Ζύγιση δοκιμίων	66
5.3.9. Εφαρμογή των ναυοσκευασμάτων στα δοκίμια	67
5.3.9.1. Μέθοδος επάλειψης δοκιμίων με πινέλο	67
5.3.9.2. Μέθοδος εμφάνισης	67
5.3.10. Μέτρηση χρώματος.....	69
5.3.11. Συντήρηση και κατασκευή βάσεων έκθεσης δοκιμίων	70
5.3.12. Χωροθέτηση δοκιμίων στις βάσεις έκθεσης	71
5.3.13. Χρόνος διεξαγωγής πειράματος έκθεσης.....	72
6. Πειραματικό μέρος.....	73
6.1. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων πεύκου.....	73
6.2. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων έλατου	75
6.3. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων ThermoWood.....	79
6.4. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων PlatoWood	82
6.5. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων KebonyWood.....	84
7. Συμπεράσματα	87
ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ.....	88
Παράρτημα Α.....	91
Παράρτημα Β.....	128

1. Εισαγωγή

Το ξύλο συγκεντρώνει πολλά αξιόλογα χαρακτηριστικά τα οποία το καθιστούν ένα μοναδικό και υπερπολύτιμο υλικό. Έχει παίξει ρόλο στην ανάπτυξη των πολιτισμών για χιλιάδες χρόνια. Θα ήταν δύσκολο να φανταστούμε την ζωή μας μια μέρα χωρίς το ξύλο. Ο άνθρωπος αναγνώρισε την αξία του από τα πρώτα χρόνια της δημιουργίας του και άρχισε να το αξιοποιεί για την βελτίωση των συνθηκών επιβίωσής του. Στην αρχή το αξιοποιούσε, χωρίς κάποια ιδιαίτερη κατεργασία, σε χρήσεις που σήμερα θα χαρακτηρίζαμε απλές ή πρωτόγονες. Με την πάροδο των χρόνων, όμως, οι εξελίξεις και βελτιώσεις που επιτεύχθηκαν στις τεχνικές και τα μέσα κατεργασίας, έδωσαν τα απαραίτητα μέσα για την αύξηση και βελτίωση των δυνατοτήτων αξιοποίησης του. Ακόμα και ξύλο μικρών διαστάσεων ή κακής ποιότητας που παλαιότερα δεν αξιοποιούνταν ή χρησίμευε μόνο για καύση τώρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν πρώτη ύλη για την παραγωγή προϊόντων υψηλής αξίας. Υπάρχουν μάλιστα πολλά προϊόντα τα οποία αν και παράγονται από ξύλο, η εμφάνισή τους δεν υποδηλώνει καθόλου την προέλευσή τους. Σήμερα, παρόλο που η τεχνολογία έχει πετύχει την ανάπτυξη και πολλών άλλων ανταγωνιστικών υλικών, το ξύλο εξακολουθεί να διατηρεί την αξία του στις παραδοσιακές εφαρμογές του, αλλά και επιπλέον, με την συνεχή εμφάνιση νέων προϊόντων ξύλου, πολλαπλασιάζονται οι δυνατότητες χρησιμοποίησής του (Μπαρμπούτης 2002).

Αυτό οφείλεται στα μοναδικά πλεονεκτήματα που έχει σε σύγκριση με τα άλλα δομικά υλικά:

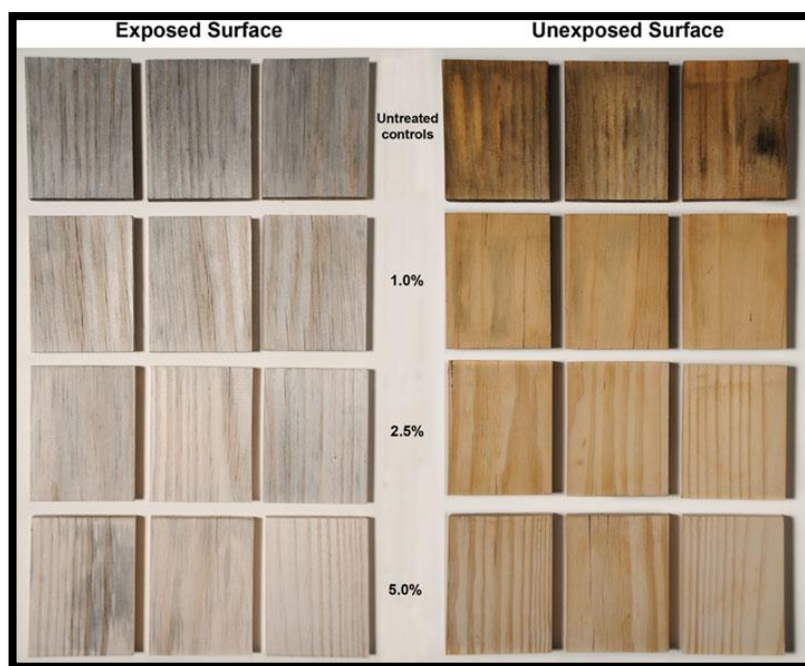
- Είναι ανανεώσιμο, φυσικό οργανικό υλικό.
- Είναι αισθητικά ασυναγώνιστο, με μεγάλη ποικιλία χρωμάτων, υφής, σχεδίασης.
- Δίνει αίσθημα ζεστασιάς στην αφή και στην όραση.
- Έχει μεγάλη μηχανική αντοχή σε σχέση με το βάρος του.
- Είναι μονωτικό στην θερμότητα και τον ηλεκτρισμό.
- Έχει καλές ακουστικές ιδιότητες.
- Η κατεργασία του γίνεται με μικρή κατανάλωση ενέργειας.
- Είναι εύκολη η σύνδεση του.
- Δεν ρυπαίνει το περιβάλλον.
- Είναι το πιο φιλικό στο περιβάλλον δομικό υλικό.

Έχουμε μάθει όμως ότι παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα.

Ως βιολογικό προϊόν, έχει μεταβλητή δομή και η ποιότητα του επηρεάζεται από κληρονομικούς παράγοντες, αλλά και από το περιβάλλον που το περιβάλλει. Είναι ακόμα γνωστό ότι το ξύλο μεταβάλλει τις διαστάσεις του με την μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας του και ότι το ξύλο αποσυντίθεται, καίγεται και υποβαθμίζεται από τον ήλιο. Οι άνθρωποι εκμεταλλεύτηκαν τις θετικές ιδιότητες του και έμαθαν επίσης να αξιοποιούν τις αδυναμίες του. Στην αρχαία Αφρική σκλήρηναν τις ξύλινες λόγχες τους καίγοντας και σφυροκοπώντας τις άκρες τους. Οι αρχαίοι Αιγύπτιοι χώριζαν τους τεράστιους οβελίσκους βρέχοντας ξύλινες σφήνες. Οι Βίκινγκς έκαigan το εξωτερικό των σκαφών τους για να τα κάνουν ανθεκτικά στο νερό και την φωτιά. Με την βοήθεια της επιστήμης του ξύλου έγιναν κατανοητοί οι παράγοντες που επηρεάζουν τις ιδιότητες του και ανακαλύφθηκαν τρόποι βελτίωσης (Μπαρμπούτης 2002).

1.1. Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Clausen et al (2010) σε δείγματα νοτίου πεύκου υπό κενού κατεργασίας με διασπορές οξειδίου του νάνο – ψευδαργύρου (nano-zno) αξιολογήθηκαν για την αντίσταση διαχωρισμού των μεταλλικών ενώσεων και την υπεριώδη (uv) προστασία. Ουσιαστικά, καμία διάλυση δεν εμφανίστηκε σε οποιαδήποτε από τα δείγματα επεξεργασμένα με νάνο – ψευδάργυρο σε μια εργαστηριακή δοκιμή διαχωρισμού των μεταλλικών ενώσεων, ακόμη και στην υψηλότερη συγκράτηση 13 kg/m³. Παρ'όλα αυτά τα δείγματα που επεξεργαστήκαν με τις υψηλές συγκεντρώσεις νάνο – ψευδαργύρου παρουσίασαν σε 58-65 % χημική μείωση μετά από 12 μήνες έκθεσης. Η προστασία από την ζημία της υπεριώδους (uv) ακτινοβολίας μετά από 12 μήνες έκθεσης είναι ορατά προφανής και στις εκτεθειμένες και μη εκτεθειμένες επιφάνειες σε σύγκριση με των μη επεξεργασμένων δειγμάτων (μάρτυρες). Το γκριζάρισμα ήταν εμφανώς μειωμένο, ακόμη και αν ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε σε όλα τα δείγματα. Η επεξεργασία με οξείδιο του νάνο – ψευδαργύρου σε μια συγκέντρωση 2,5 % ή και μεγαλύτερη παρέχει ουσιαστική αντίσταση στην προσρόφηση νερού σε μια 12 μήνη υπαίθρια έκθεση, συγκρίθηκε με μη επεξεργασμένο και μη εκτεθειμένο στις καιρικές συνθήκες νότιο πεύκο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το οξείδιο του ψευδαργύρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί εισάγοντας νέες φόρμουλες ξύλινου συντηρητικού για να προσδώσουν αντοχή στο φιλτράρισμα, την προσρόφηση νερού και την ζημία από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία (uv).



Εικόνα 1 Εκτεθειμένα δοκίμια σε υπεριώδη ακτινοβολία (uv).

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Cristea et al (2011) σε υπεριώδη (uv) νανοςύνθετα ανθεκτικά υδροδιαλυτά επιστρώματα για τις εξωτερικές χρήσεις του ξύλου, τα όποια βελτιώθηκαν με τους ανόργανους απορροφητές υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας (uv) όπως τα νανοςύνθετα οξείδιο του ψευδαργύρου και το διοξείδιο του τιτανίου. Η προετοιμασία τέτοιων νανοςύνθετων επιστρωμάτων εφαρμόστηκε σε σανίδες μαύρης ερυθρελάτης. Τα πορίσματα της έρευνας έδειξαν επιταχυνόμενη ζώνη διάβρωσης. Η τεχνητή συμπεριφορά γήρανσης των επιστρωμάτων ακολουθήθηκε από αλλαγές του χρώματος, της γυαλάδας και του πάχους. Μικροσκόπιο σάρωσης ηλεκτρονίων και μικροσκόπιο μετάδοσης ηλεκτρονίων χρησιμοποιήθηκε για να ερευνηθούν οι διασπορές νανοσωματιδίων σε νανοςύνθετα ξηρά φιλμ. Η υπέρυθη φασματοσκοπία Fourier χρησιμοποιήθηκε για να χαρακτηρίσει τη χημική τροποποίηση της διαβρωμένης επιφάνειας επιστρωμάτων. Τα αποτελέσματα παρουσίασαν σημαντική βελτίωση στη υπεριώδη (uv) προστασία από τα νανοςύνθετα επικαλυπτικά.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Sahin και Μαντάνη (2010) μελετήθηκαν οι αλλαγές χρώματος σε ξύλινες επιφάνειες και συγκεκριμένα σε Ευρωπαϊκά είδη όπως πεύκο, έλατο, ρόμπολο, καστανιά και κερασιά, τα οποία τροποποιήθηκαν με ένα νέο χειρισμό νανοσωματιδίων. Οι τιμές χρώματος (CIE L*, a*, b*) και για την αναφορά (μάρτυρες) και για τα επεξεργασμένα δείγματα ξύλου μελετήθηκαν για καθένα από τα πέντε διαφορετικά

είδη. Τα αποτελέσματα παρουσίασαν ότι έχουν μια ορισμένη αποτελεσματικότητα από την αντί-uv χρησιμοποιημένη επεξεργασμένη επιφάνεια, ενώ οι αρνητικές συνέπειες οφειλόταν σε υπεριώδες φως προκαλώντας φωτοαπεικοδόμηση.

Οι μεγαλύτερες βελτιώσεις ενάντια στον αποχρωματισμό παρατηρήθηκε στο ξύλο κερασιάς. Παρατηρήθηκε ότι το αντί-uv συστατικό που χρησιμοποιήθηκε στην καστανιά ήταν αισθητά λιγότερο αποτελεσματικό ($\Delta L = -4,64$) σε σχέση με άλλα είδη. Φαίνεται ότι το κιτρίνισμα παρουσιάζει συστηματικές τάσεις με τα αντί-uv επεξεργασμένα δείγματα. Ωστόσο η uv-ακτινοβολία εμφανίζεται να μεταβάλλει το κιτρίνισμα της επιφανείας των κωνοφόρων ειδών περισσότερο από τα είδη πλατύφυλλων. Η αντί-uv επεξεργασμένη επιφάνεια πλατύφυλλου ξύλου (καστανιά και κερασιά) έδωσε περισσότερη στιλπνότητα από τα αντί-uv επεξεργασμένα κωνοφόρα (πεύκο και έλατο).

Οι Weichelt et al (2011) μελέτησαν την προστασία του νάνο-οξειδίου του ψευδαργύρου ως ένα κατάλληλο προστατευτικό για την προστασία από την uv-ακτινοβολία. Επιστρώσεις ακρυλικού ψευδαργύρου εφαρμόστηκαν σε εμποτισμένο ξύλο. Επικαλυμμένα δείγματα εκτέθηκαν σε τεχνητή δοκιμή xenon για τουλάχιστον 1500 ώρες και μελετήθηκαν σε σχέση με τις οπτικές και μηχανικές ιδιότητές τους, όπως αλλαγές χρώματος (κιτρίνισμα) καθώς επίσης και αλλαγές στην διαφάνεια ή την υδροφοβικότητα. Οι εξεταζόμενες επικαλύψεις παρουσίασαν υψηλή διαφάνεια. Τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά τις αλλαγές χρώματος και φωτεινότητας επιτεύχθηκαν όταν η ξύλινη επιφάνεια προστατεύτηκε επιπρόσθετα με ένα συνδυασμό που περιείχε ένα υδροδιαλυτό εμποτισμό ξύλου με ένα ειδικό συνδυασμό προστατευτικού της λιγνίνης πριν την εφαρμογή του επικαλυπτικού του ψευδαργύρου. Σε σύγκριση με τα συμβατικά διαθέσιμα uv-προστατευτικά τα ερευνημένα εμπορικά και αυτό-παρασκευαζόμενα σε εργαστηριακή κλίμακα είδη ψευδαργύρου έδειξαν σημαντικά υψηλότερη απόδοση σταθερότητας.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Mohammandia et al (2013) μελετήθηκε η αντίσταση ξύλου λεύκας ενάντια στην αλλαγή χρώματος το οποίο ήταν εμποτισμένο με νάνο οξείδιο του ψευδαργύρου. Τα δείγματα εμποτίστηκαν με τρεις συγκεντρώσεις του οξειδίου του ψευδαργύρου, με 0,5, 0,75 και 1 %, με την μέθοδο των πληρών κυττάρων. Κατόπιν, τα δείγματα εκτέθηκαν σε τεχνητή γήρανση διάρκειας δοκιμής 200, 400 και 600 ωρών. Με την ολοκλήρωση της γήρανσης σε κάθε στάδιο, το ποσό αλλαγής χρώματος μετρήθηκε με τη χρήση του συστήματος φασματοφωτομέτρου. Τα αποτελέσματα δείχνανε ότι το ποσό αλλαγής χρώματος των δειγμάτων που δέχτηκαν επεξεργασία με το νάνο οξείδιο του ψευδαργύρου ήταν λιγότερο από τα μη επεξεργασμένα. Κατ' επέκταση με την αύξηση της συγκέντρωσης,

οι αλλαγές μειώθηκαν και η καλύτερη αντίσταση παρατηρήθηκε στα δείγματα που επεξεργάστηκαν με συγκεντρώσεις 1,5 %. Ωστόσο με την αύξηση του χρόνου, εμφανίστηκαν τα δείγματα να σκουραίνουν αργά.



Εικόνα 2 Μη επεξεργασμένο δείγμα (1) και επεξεργασμένο δείγμα (2) με νάνο-οξείδιο του ψευδαργύρου συγκέντρωσης 1.5% μετά από 600 ώρες έκθεσης.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Grekin et al (2003-2007) μελετήθηκε η αλλαγή του χρώματος της Σκανδιναβικής δασικής πεύκης (*Pinus Sylvestris* L.) με λαμπτήρες φθορισμού τύπου UVA-351 σε μια ταχεία δοκιμή προσομοίωσης εσωτερικής έκθεσης τελικών χρήσεων. Κυκλικές καθημερινές εκθέσεις σε μια σταθερή θερμοκρασία (+20°C) και σχετική υγρασία (65%) χρησιμοποιήθηκαν. Τα χρώματα των δειγμάτων μετρήθηκαν τρεις φορές πριν από την έκθεση, περίπου στο μέσο της συνολικής περιόδου έκθεσης και μετά το πέρας της συνολικής περιόδου έκθεσης. Το χρώμα μετρήθηκε με την μέθοδο φασματικής ανακλαστικότητας από Minolta CM-2002 με το πρότυπο φασματοφωτόμετρο D65 και οι μεταβλητές χρώματος CIE L* a* b* υπολογίστηκαν. Το υλικό δοκιμής αποτελούνταν από περίπου 500 δείγματα ξύλου από πέντε επιμέρους περιοχές στην Φιλανδία και τη Σουηδία. Τα αποτελέσματα δείχνανε ότι η UVA ακτινοβολία προκάλεσε αξιοσημείωτες αλλαγές χρώματος τόσο στο σομφό όσο και στο εγκάρδιο ξύλο Σκωτσέζικου πεύκου κατά τη διάρκεια της περιόδου έκθεσης 2000 ωρών. Μια αξιοσημείωτη αύξηση στην ερυθρότητα και κιτρινίλα βρέθηκε και στο σομφό ξύλο και στο εγκάρδιο ξύλο συνέπεια της υπεριώδους (uv) ακτινοβολίας.

Σε έρευνα που πραγματοποιήθηκε από τους Saha et al (2011) εξελίχτηκαν υν προστατευτικά επικαλυπτικά με την προσθήκη των παραγώγων οργανικών υν σταθεροποιητών τριαζίνης στα ανόργανα μόρια τιτανίου. Ο στόχος αυτής της μελέτης ήταν να καθυστερήσουν την αλλαγή του χρώματος του θερμικά τροποποιημένου ξύλου που

εκτέθηκε σε εξωτερικές συνθήκες. Τα προστατευτικά επικαλυπτικά προετοιμάστηκαν στον αέρα σε θερμοκρασία δωματίου. Τα επικαλυπτικά δεν δέχτηκαν περαιτέρω θερμική επεξεργασία μετά την εφαρμογή τους σε θερμοευαίσθητα υλικά. Τα επικαλυπτικά εφαρμόστηκαν στο θερμικά τροποποιημένο ξύλο πεύκου. Στην συνέχεια, οι επιταχυνόμενες δοκιμές γήρανσης διεξήχθησαν με τη χρήση των επικαλυμμένων και των μη επικαλυμμένων δειγμάτων πεύκου. Η αλλαγή χρώματος των ξύλινων δειγμάτων μελετήθηκε και τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν. Οι επικαλυπτικοί ανόργανοι UV-απορροφητές τιτανίου και οι οργανικοί UV απορροφητές δεν παρέχουν ικανοποιητική UV προστασία για τις ξύλινες επιφάνειες όταν χρησιμοποιούνται ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα φασματοσκοπίας UV/VIS για τα μόρια τιτανίου που προστέθηκαν με το UV απορροφητή δείχνανε πολύ ελπιδοφόρα χαρακτηριστικά UV προστασίας. Ωστόσο, τα επιταχυνόμενα αποτελέσματα της δοκιμής γήρανσης δεν οδήγησαν στο ίδιο συμπέρασμα. Τα διαγράμματα αλλαγής χρώματος δείχνανε ότι το τιτάνιο που προστέθηκε με τα UV απορροφητικά επικαλυπτικά δεν είχαν σημαντική επιρροή στο χρώμα του ξύλου αλλά η προσθήκη ενός σταθεροποιητή της λιγνίνης διαδραματίζει ένα σημαντικό ρόλο στην προστασία του ξύλου έναντι στην υπεριώδη (UV) ακτινοβολία. Τα επικαλυπτικά δεν λειτουργούν αποτελεσματικά εάν δεν είναι αρκετά πυκνά δεδομένου ότι το ξύλο είναι ένα πορώδες υλικό. Δεν υπάρχει αρκετή απομένουσα προστασία στην επιφάνεια όταν τα επικαλυπτικά φιλμς γεμίζουν τους πόρους μετά από την εφαρμογή ενός λεπτού φιλμ. Οι XPS αναλύσεις αποκαλύπτουν ότι με τις καιρικές συνθήκες η λιγνίνη υποβαθμίζεται η οποία οδηγεί στο σχηματισμό οξυγονωμένων προϊόντων αφήνοντας πίσω μια εμπλουτισμένη κυτταρινική επιφάνεια.

1.2. Το χρώμα του ξύλου

Το χρώμα του ξύλου 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. Τεχνητή μεταβολή του χρώματος του ξύλου μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, όπως λ.χ. με άτμιση. Η άτμιση εφαρμόζεται και για την αλλαγή του φυσικού χρώματος του ξύλου. (Μαντάνης Γ. 2004).



Εικόνα 3 Φυσικά χρώμα ξύλου διαφόρων ειδών. (<http://www.allumetal.gr/xuloxr.jpg>).

1.2.1. Χημική σύσταση του ξύλου

Τα χημικά συστατικά του ξύλου είναι η κυτταρίνη, η λιγνίνη, η ημικυτταρίνη και τα εκχυλίσματα.

Εκχυλίσματα: Είναι ουσίες αλιφατικές, αρωματικές, μονομερείς ή ολιγομερείς, αλκαλοειδή ή και ανόργανες ουσίες. Το ποσοστό τους στα είδη ξύλου ποικίλλει (2-10%), συνήθως 2-5%, ενώ σε ξύλο τροπικών ειδών μπορεί να φτάσει και 20-25%. Η οσμή, το χρώμα και η φυσική διάρκεια του ξύλου εξαρτώνται από το είδος και την ποσότητα των εκχυλισμάτων.

Λιγνίνη: Πολυμερές τεράστιου βαθμού πολυμερισμού - υδρόφοβο & ανθεκτικό χημικά και θερμικά - που αποτελεί τη βασική συγκολλητική ουσία του ξύλου. Η παρουσία της στη φύση είναι στενά συνδεδεμένη με την κυτταρίνη. Δεν βρίσκεται όμως σ' όλα τα φυτικά είδη (π.χ. βρύα, λειχήνες, φύκη). Αν και αποτελεί σημαντικό υπόλειμμα σε βιομηχανικές διεργασίες (π.χ. παραγωγή χαρτοπολτού και σακχάρων), η αξιοποίηση της λιγνίνης είναι πολύ περιορισμένη και η εξεύρεση οικονομικών μεθόδων αποτελεί μεγάλη πρόκληση.

Ημικυτταρίνες: Μίγμα συμπολυμερών ουσιών που μαζί με την κυτταρίνη και τη λιγνίνη συγκροτούν τα κυτταρικά τοιχώματα των ξύλινων ιστών. Η παρουσία τους στη φύση είναι στενά συνδεδεμένη με την κυτταρίνη & λιγνίνη. Αν και αποτελούν υπολείμματα σε πολλές διεργασίες (π.χ. πολτοποίηση), η αξιοποίηση των ημικυτταρινών είναι πολύ περιορισμένη.

Κυτταρίνη: Ο πολυσακχαρίτης που αποτελούσε στοιχειώδη και ομοιόμορφο συστατικό

όλων των φυτικών κυττάρων και τον ονόμασε cellulose (cell = κύτταρο). Αποτελεί περίπου το 40% της οργανικής ύλης, από τη φωτοσύνθεση. Αποτελεί φθινό πολυμερές, κατάλληλο για παραγωγή προϊόντων, όπως π.χ. χαρτί, τεχνητό μετάξι, συνθετικές ίνες, ραγιόν, φιλμ, εκρηκτικά, πλαστικά, βερνίκια, υφάσματα, μεμβράνες. (Μαντάνης, 2002).

1.2.2. Αλλοιώσεις από κλιματικούς παράγοντες

Όταν το ξύλο εκτίθεται στις καιρικές συνθήκες (στην ύπαιθρο) χωρίς προστατευτική επικάλυψη υφίσταται διάφορες αλλοιώσεις γνωστές ως κλιματικές αλλοιώσεις (weathering). Η επιφάνεια του ξύλου μεταχρωματίζεται, γίνεται τραχεία, μειώνεται η συνοχή της, δημιουργούνται επιφανειακές ραγδώσεις που μπορεί να επεκταθούν σε αρκετό βάθος και τελικά το ξύλο διαβρώνεται (Βλέπε Εικόνα 4). Οι αλλοιώσεις αυτές του ξύλου προκαλούνται από την συνεπίδραση διαφόρων κλιματικών παραγόντων όπως φως, υγρασία (βροχή, χιόνι, κ.ά.), θερμοκρασία και αέρας.



Εικόνα 4 Αλλοιωμένο ξύλο από τις καιρικές συνθήκες.

1.2.3. Επίδραση φωτός

Η ηλιακή ακτινοβολία, ειδικότερα η υπεριώδης ακτινοβολία, προκαλεί φωτοχημικές αντιδράσεις στα χημικά συστατικά του ξύλου που εκδηλώνονται στην αρχή με μεταχρωματισμό και στη συνέχεια με αποικοδόμηση και έκπλυση τους.

Το ορατό φως και οι υπεριώδεις ακτίνες προκαλούν ανοικτότερο ή σκουρότερο μεταχρωματισμό ανάλογα με τον χρόνο επίδρασης του φωτός και το είδος του ξύλου. Ο μεταχρωματισμός οφείλεται σε φωτοχημικές αντιδράσεις (φωτοξείδωση και φωτόλυση) κυρίως των φαινολικών συστατικών του ξύλου (εκχυλίσματα και λιγνίνη). Το ξύλο απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία, και ειδικότερα το φάσμα του ορατού και υπεριώδους φωτός. Η αύξηση της ενέργειας που συνοδεύει την απορρόφηση της ακτινοβολίας δημιουργεί ελεύθερες ρίζες σε διάφορες δραστικές ομάδες των συστατικών του ξύλου οι οποίες ενώνονται με το οξυγόνο και σχηματίζουν υδροξυπεροξειδία. Τα υπεροξειδία διασπώνται εύκολα σε νέες ελεύθερες ρίζες, προκαλούν οξείδωση των δραστικών ομάδων σε καρβονύλια και καρβοξύλια, ανόρθωση διπλών δεσμών, δημιουργία χρωμοφορικών ομάδων και τελικά αποικοδόμηση των πολυμερών μορίων. Η λιγνίνη απορροφά μεγαλύτερες ποσότητες ακτινοβολίας και ανοικοδομείται ταχύτερα από την κυτταρίνη και τις ημικυτταρίνες. Τα προϊόντα αποικοδόμησης περιλαμβάνουν νερό, αέρια (κυρίως CO₂), οργανικά οξέα, βανιλίνη, συρινγκυλική αλδεΐδη και ολιγομερείς ενώσεις, που εκπλύνονται εύκολα από την επιφάνεια του ξύλου με την βροχή. Έκπλυση των προϊόντων αποικοδόμησης της λιγνίνης αφήνει πίσω ίνες πλούσιες σε κυτταρίνη με γκριζωπό χρώμα.

Η επίδραση της ακτινοβολίας (μεταχρωματισμός, αποικοδόμηση) περιορίζεται στην επιφάνεια του ξύλου. Πειράματα με τεχνητή ακτινοβολία φυσικού φωτός και υπεριωδών ακτινών έδειξαν ότι η ακτινοβολία απορροφάται μόνον στην επιφάνεια του ξύλου και οι προκαλούμενες αλλοιώσεις επεκτείνονται σε πολύ μικρό βάθος από την επιφάνεια (μέχρι 0.10-0.25 mm). Μακροχρόνια όμως έκθεση του ξύλου στην υπαίθρο έχει ως αποτέλεσμα την βαθμιαία αποικοδόμηση και έκπλυση των συστατικών του που εκδηλώνεται ως διάβρωση (Φιλλίπου, 1986).

1.3. ΧΡΩΜΑ – ΧΡΩΜΑΤΟΜΕΤΡΙΑ

Όπως αναφέρθηκε, το χρώμα είναι μία φυσική ιδιότητα των σωμάτων, η οποία γίνεται κατανοητή με απόλυτη ακρίβεια από το ανθρώπινο μάτι, όμως δεν είναι δυνατόν να μετρηθεί.

Η ακρίβεια μεγέθους αντίληψης της ιδιότητας αυτής εξαρτάται όχι μόνο από την ακρίβεια διέγερσης των φωτοευαίσθητων κυττάρων του παρατηρητή, αλλά και από τον τρόπο φωτισμού και τις συνθήκες παρατήρησης. Έτσι ένας παρατηρητής με σωστή και ακριβή όραση θα αντιλαμβάνεται κατά το ίδιο ποσοστό τυχόν αύξηση ή μείωση της έντασης του φωτός και για τα R,G και B, πράγμα το οποίο όμως είναι σχεδόν αδύνατο.

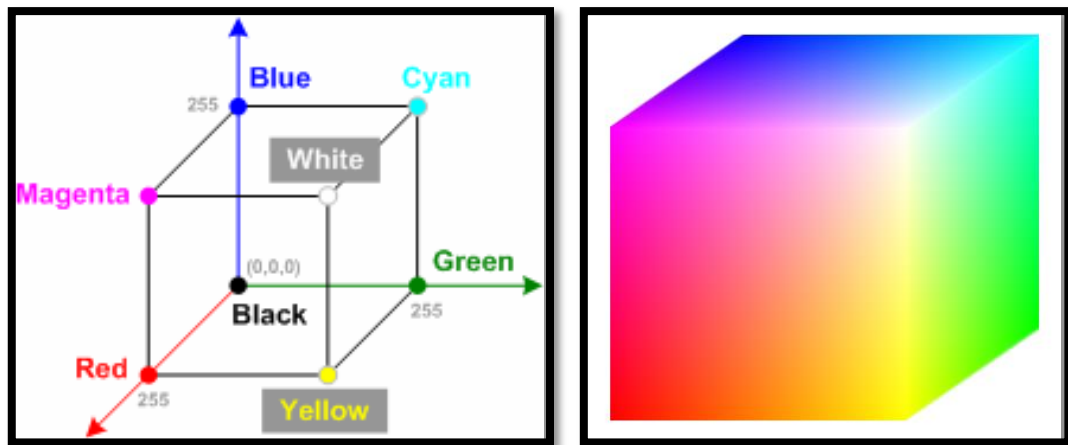
Το αποτέλεσμα συνεπώς εντοπίζεται εκτός των άλλων και στην ικανότητα του φωτός να διεγείρει τα φωτοευαίσθητα κύτταρα, ώστε να γεννηθούν οι σωστές διεγέρσεις R, G και B (Ορφανάκος, 2004).

1.3.1. Προσθετικό μοντέλο (Additive colour, RGB)

Το προσθετικό μοντέλο ή τριχρωματική θεωρία (tristimulus) του Young and Helmholtz, που υποστηρίχθηκε και από πειράματα του Maxwell, υποστηρίζει ότι κάθε χρώμα δημιουργείται από την ανάμιξη των τριών πρωτευόντων χρωμάτων σε ποικίλες αναλογίες και εντάσεις.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο, τα χρώματα εμφανίζονται με βάση τις πρωταρχικές φασματικές συνιστώσες του κόκκινου, πράσινου και μπλε και βασίζεται σε ένα καρτεσιανό τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων. Ο χρωματικός του υποχώρος είναι ο κύβος στην εικόνα 5 που ακολουθεί, του οποίου οι τρεις γωνίες πάνω στους άξονες είναι τα τρία χρώματα (RGB). Οι άλλες τρεις γωνίες είναι τα χρώματα κίτρινο, magenta και cyan, και στην αρχή των αξόνων είναι το μαύρο και το άσπρο τοποθετημένο στην πιο απομακρυσμένη γωνία από το μαύρο.

Οι εικόνες που αναπαρίστανται στο RGB χρωματικό μοντέλο αποτελούνται από 3 συστατικές εικόνες, μία για κάθε πρωταρχικό χρώμα. Ο αριθμός των bits που χρησιμοποιείται για να αναπαρασταθεί κάθε pixel στον RGB χώρο ονομάζεται pixel depth (βάθος pixel). Αν η κάθε συστατική εικόνα (δηλαδή οι εικόνες που αντιστοιχούν στα τρία βασικά χρώματα) της RGB εικόνας είναι μια 8- bit εικόνα, τότε τα pixels της RGB εικόνας θα έχουν βάθος ίσο με 24 bits. (Λαλιώτη Μ., 2011).



Εικόνα 5 Μετατροπές των βασικών χρωμάτων κόκκινο, πράσινο και μπλε.

1.3.2. Τριχρωματικά Χρωματόμετρα

Τα διάφορα όργανα μέτρησης των χρωμάτων δημιουργήθηκαν με βάση την αρχή αυτή της ισοδύναμης διέγερσης των R,G και B. Επίσης, με το χρόνο βελτιώνονται ή οδηγούν στη δημιουργία διαφορετικών και περισσότερο εξελιγμένων οργάνων μέτρησης, με αρχή πάντα τα τριχρωματικά χρωματόμετρα ή χρωματόμετρα τριών διεγέρσεων (Tristimulus Colorimeter).

Η διαδικασία μέτρησης πραγματοποιείται όταν με μία φωτεινή ακτίνα φωτίζεται ένα δοκίμιο (συνήθως υπό γωνία 45°) υποχρεώνοντας το ανακλώμενο φως να περάσει από έναν ανιχνευτή με τρία κατάλληλα φίλτρα (ένα για κάθε ακριβή ποσότητα R,G και B), πριν παραχθεί το τελικό αποτέλεσμα. Ωστόσο, αυτή είναι βασική αρχή λειτουργίας των χρωματόμετρων τριών διεγέρσεων, τα οποία στην πράξη έχουν βελτιωθεί εξαιρετικά και αποτελούν ένα εύχρηστο και φτηνό εργαλείο στα χέρια εκείνων που επιδιώκουν τη μέτρηση της διαφοράς δύο αποχρώσεων.

Τα νεότερα και βελτιωμένα όργανα δεν χρησιμοποιούν βέβαια φίλτρα, αλλά παίρνουν τις απορροφήσεις σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Επίσης, δεν χρησιμοποιούν το ανακλαστήμετρο, αλλά τη σφαίρα διάχυσης και επιτυγχάνοντας έτσι να δώσουν αποτελέσματα των χρωματομετρικών παραμέτρων L^* , a^* , b^* κατά CIE με μία μέτρηση.

Συνεπώς, με το χρωματόμετρο είναι δυνατό να μετρηθεί μία απόχρωση, άρα και διαφορές αποχρώσεων μπορούν να εκφραστούν με τους ίδιους αριθμούς CIE. Ωστόσο, η ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυτών δεν θεωρείται μεγάλη και τα αποτελέσματα παρουσιάζουν αρκετά προβλήματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η αλληλεξάρτηση μεταξύ φωτεινής πηγής και φίλτρων ή προκαθορισμένου μήκους κύματος.

Η χρησιμοποίηση κάθε φορά ενός πρότυπου φωτισμού (επιλογή των σχετικών φίλτρων/μηκών κύματος) περιορίζει το αποτέλεσμα της μέτρησης μόνο σ' αυτό, χωρίς καμία πληροφορία για τα αποτελέσματα με τους άλλους φωτισμούς. Σαν συνέπεια είναι η αδυναμία να δοθεί και η παραμικρή πληροφορία για την ύπαρξη ή όχι, καθώς και για την ποσότητα της μεταμέριας.

Τα χρωματομέτρα τριών διεγέρσεων, ωστόσο, βρίσκουν εφαρμογή κυρίως στις περιπτώσεις ελέγχου ποιότητας των αποχρώσεων. Ο συγκεκριμένος έλεγχος δίνει πληροφορίες για το πόσο και πού διαφέρει μία απόχρωση από άλλη παρόμοια, όταν μετρηθούν σε συγκεκριμένο μήκος κύματος. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα του ελέγχου αυτού είναι το χαμηλό κόστος του έναντι των φασματοφωτόμετρων.

Το πλεονέκτημα όμως αυτό δεν ισχύει πλέον, τουλάχιστον στο βαθμό που ίσχυε παλιότερα, μετά τη χρησιμοποίηση της σφαίρας διάχυσης και τη μείωση του κόστους κατασκευής των φασματοφωτόμετρων, λόγω μαζικής βιομηχανικής παραγωγής.

Τα φασμαφωτόμετρα είναι τα όργανα εκείνα, που δεν απομονώνουν τις απορροφήσεις σε συγκεκριμένα μόνο μήκη κύματος του φάσματος του ορατού φωτός, αλλά δίνουν πληροφορίες για όλα τα μήκη κύματος του. Επιτρέπουν, δε, παράλληλα με μια μέτρηση μίας απόχρωσης να πάρουμε όλες τις χρωματικές παραμέτρους για περισσότερες της μίας πρότυπες πηγές φωτισμού.

Έχοντας πλέον τη γνώμη και τη δυνατότητα ελέγχου όλου του φάσματος της απόχρωσης, ο ερευνητής είναι σε θέση όχι μόνο να συγκρίνει δύο σχεδόν ίδιες αποχρώσεις, αλλά και να ελέγξει τις διαφορές τους κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες φωτισμού. Το αποτέλεσμα είναι η δυνατότητα εντοπισμού ύπαρξης και μέτρησης του μεγέθους της μεταμέριας στις αποχρώσεις αυτές. Η δυνατότητα επίσης αναπαραγωγής μίας απόχρωσης με πολύ μεγάλη ακρίβεια συγκαταλέγεται στα πλεονεκτήματα των οργάνων αυτών.

Τα φασματοφωτόμετρα είναι τα όργανα εκείνα τα οποία μετρούν σε κάθε σημείο του φάσματος ορατού φωτός τη διαφοροποίηση που υφίσταται η δέσμη φωτός, όταν αυτό διέρχεται (transmitted) ή ανακλάται (reflected) από επιφάνεια που μπορεί να την μεταβάλει.

Σε περιπτώσεις στις οποίες οι συμφωνίες των ενδιαφερόμενων περιλαμβάνουν τον καθορισμό και την ακρίβεια μίας απόχρωσης, όπως γίνεται στις συναλλαγές χαρτιού, υφασμάτων, πλαστικών, μελανών και χρωμάτων, χρησιμοποιούνται κυρίως τα φασματοφωτόμετρα ανάκλασης (Ορφανάκος, 2004).

1.3.3. Σύστημα CIELAB (1976)

Πρόκειται περί ενός συστήματος ανάλογου του συστήματος Munsell, το οποίο είναι ένα τριαξονικό σύστημα γεωμετρικών συντεταγμένων με ενιαία και ειδική βαθμονόμηση. Η διάταξη του βοηθάει ώστε δύο παρεμφερείς αποχρώσεις να έχουν διαφορετική θέση, όπως και η διαφορά δύο γειτονικών σημείων να παριστά την διαφορά αποχρώσεως μεταξύ τους.

Με την χρήση των χρωματικών παραμέτρων L^* , a^* , b^* (οι οποίες μαζί με τα αρχικά της CIE έδωσαν το όνομα στο σύστημα), υπάρχει άμεση αντίληψη τριών σημαντικών χρωματομετρικών μεγεθών, όπως η φωτεινότητα, η χρωματική πυκνότητα και η χροιά μίας απόχρωσης.

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, του κίτρινου. Αιτία για την παραδοχή ύπαρξης και τέταρτης βασικής απόχρωσης είναι η αδυναμία δημιουργίας όλων των αποχρώσεων και σε όλους τους τόνους, όπως και του λευκού, αποκλειστικά και μόνο από τις τρεις άλλες βασικές αποχρώσεις.

Οι τέσσερις αυτές βασικές αποχρώσεις εμπλουτίζόμενες με τις «αποχρώσεις» του λευκού και του μαύρου δημιουργούν τρία ζεύγη αποχρώσεων, κάθε ένα από τα οποία δημιουργεί αντίθετα (ψυχολογικά) συναισθήματα (λευκό-μαύρο, κόκκινο-πράσινο, κίτρινο-μπλε).

Συνεπώς, αν τοποθετηθούν αντιδιαμετρικά οι ψυχολογικά αντίθετες αποχρώσεις κάθε ζεύγους σε τρεις καρτεσιανούς άξονες, δημιουργείται πάλι ένα τριαξονικό σύστημα συντεταγμένων. Στο σύστημα αυτό όμως δεν θα υπάρχουν πλέον οι ποσότητες X, Y, Z, αλλά οι έξι βασικές και κατανοητές αποχρώσεις.

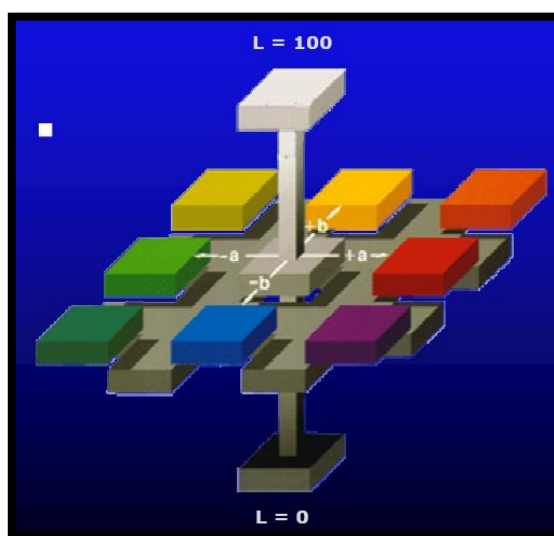
Ο άξονας λευκού-μαύρου χαρακτηρίζεται ως άξονας «λευκότητας» (L^*), έχει κλίμακα από 0 έως 100, και δείχνει πόσο μαύρο (0) ή πόσο λευκό (100) είναι ένα χρώμα. Ο άξονας κόκκινου-πράσινου χαρακτηρίζεται ως άξονας «κοκκινίσματος» (a^*), έχει κλίμακα από +100 έως -100 και δείχνει πόσο κόκκινο (θετικές τιμές) ή πόσο πράσινο (αρνητικές τιμές) είναι το χρώμα. Στην πραγματικότητα ο άξονας είναι μεταξύ πορφυρού-πράσινου κιτρινίζοντος. Ο άξονας κίτρινου-μπλε χαρακτηρίζεται ως άξονας «κιτρινίσματος» (b^*), έχει κλίμακα από +100 έως -100 και δείχνει πόσο κίτρινο (θετικές τιμές) ή πόσο μπλε (αρνητικές τιμές) είναι το χρώμα. Στην πραγματικότητα ο άξονας είναι μεταξύ κίτρινου κοκκινίζοντος-μπλε ιώδους. Αποτελέσματα των παραπάνω είναι ότι ένα χρώμα θα έχει πάντοτε θετική τιμή του L^* , ενώ δεν θα μπορεί να κοκκινίζει και να πρασινίζει ταυτόχρονα ή πάλι να κιτρινίζει και να

μπλεδίζει μαζί (Ορφανάκος, 2004). Οι συνολικές μεταβολές αποχρώσεων (ΔE^*) που οφείλονται σε κάποιο χειρισμό ή άλλο παράγοντα υπολογίζονται από τον μαθηματικό τύπο :

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

Όπου, ΔL^* , Δa^* και Δb^* : οι μεταβολές (πριν και μετά τον χειρισμό) των χρωματικών παραμέτρων L^* , a^* και b^* αντίστοιχα.

Συμφώνα με τον παραπάνω τύπο, χαμηλές τιμές του ΔE^* αντιστοιχούν σε μικρές διαφορές αποχρώσεων.



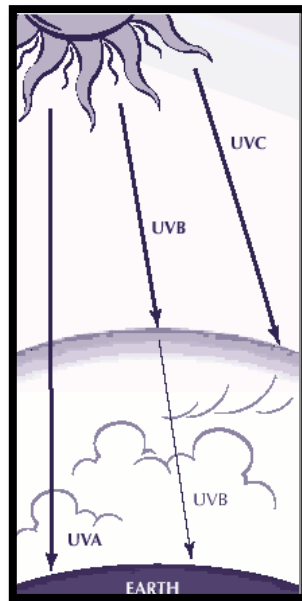
Εικόνα 6 Απεικόνιση χρωματικών διαβαθμίσεων CIE (L^* , a^* , b^*).

1.4. Υπεριώδης ηλιακή ακτινοβολία

Υπεριώδης ακτινοβολία UV (Ultra - Violet = Υπεριώδης) ονομάζεται μια μικρή μόνο περιοχή της ηλιακής ακτινοβολίας.

Υπάρχουν τρία είδη υπεριώδους ακτινοβολίας:

- UV-A: Είναι το πιο ακίνδυνο είδος. Αν και απορροφάται λιγότερο από τα στρώματα της ατμόσφαιρας, οι επιπτώσεις της στον ανθρώπινο οργανισμό είναι λιγότερες από αυτές της UV-B και της UV-Γ.
- UV-B: Γίνεται πολύ επικίνδυνη όταν η έκθεσή μας σ' αυτή υπερβαίνει κάποια όρια. Μέρος της μόνο απορροφάται από την ατμόσφαιρα.
- UV-Γ: Είναι το πιο επικίνδυνο είδος της υπεριώδους ακτινοβολίας, αλλά είναι το είδος που απορροφάται περισσότερο από τα στρώματα της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα ελάχιστο ποσοστό της να φτάνει στην επιφάνεια της γης.



Εικόνα 7. Απεικόνιση ειδών υπεριώδους ηλιακής ακτινοβολίας.

1.4.1. ΕΝΤΑΣΗ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Η ένταση της UV-B που φτάνει στο σημείο που βρισκόμαστε, εξαρτάται από:

- Εποχή. Η ένταση της UV-B είναι μεγαλύτερη το καλοκαίρι απ' ό τι τον χειμώνα.
- Ώρα της ημέρας. Όσο ο ήλιος πλησιάζει στον ορίζοντα τόσο μικρότερη η έντασή της και κατά συνέπεια τόσο μικρότερος ο κίνδυνος. Η ένταση της UV-B είναι μεγαλύτερη το μεσημέρι από το πρωί ή το απόγευμα.
- Γεωγραφικό πλάτος. Στον Ισημερινό η ένταση της ακτινοβολίας είναι πολύ μεγαλύτερη από ότι στους πόλους της γης.
- Υψόμετρο. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε υψόμετρο 1500 μ. η ένταση της UV-B αυξάνεται κατά 20%.
- Αντανάκλαση στην επιφάνεια της γης. Το γρασίδι αντανακλά μόνο το 3%, το νερό της θάλασσας 5%, η άμμος 20% και το χιόνι 85%.
- Σύννεφα. Τα σύννεφα, ανάλογα με το ύψος που βρίσκονται, την πυκνότητά τους κλπ, απορροφούν ένα ποσοστό της ακτινοβολίας. Αραιά ή διασκορπισμένα σύννεφα εμφανίζουν πολύ μικρή απορρόφηση, περίπου το 10%, ενώ τα χαμηλά και μαύρα σύννεφα απορροφούν μέχρι και το 80%.
- Ατμοσφαιρική ρύπανση. Η ρύπανση (αέρια και αιωρούμενα σωματίδια) σκεδάζει και απορροφά (άρα μειώνει) τη διερχόμενη UV-B ακτινοβολία. (<http://www.larissa-dimos.gr/larissa/anakyklosh/FOREAS/aktinovolia.pdf>).

2. Τι είναι η νανοτεχνολογία

Η Νανοτεχνολογία σχετίζεται με την κατανόηση και τον έλεγχο της ύλης σε διαστάσεις 1 έως 100 nm, όπου φυσικά φαινόμενα επιτρέπουν πρωτότυπες εφαρμογές. Αν και ακούγεται περισσότερο ως τεχνικός όρος, εντούτοις έχει επικρατήσει να περιλαμβάνει την Επιστήμη, τη Μηχανική και την Τεχνολογία της Νανοκλίμακας και εμπλέκει τη φαντασία, τη μέτρηση, την προσομοίωση και τον χειρισμό της ύλης σε αυτές τις διαστάσεις. Στη νανοκλίμακα, οι φυσικές, χημικές και βιολογικές ιδιότητες των υλικών διαφέρουν εκπληκτικά με τη συμπεριφορά της ύλης στον μακρόκοσμο, όπως δηλαδή έχουμε μάθει να την αντιλαμβανόμαστε με τις αισθήσεις μας. Η Νανοτεχνολογία στοχεύει ακριβώς στην κατανόηση αυτών των ιδιοτήτων και στη δημιουργία νέων, βελτιωμένων υλικών, συσκευών και συστημάτων έχοντας ως γνώμονα αυτές.

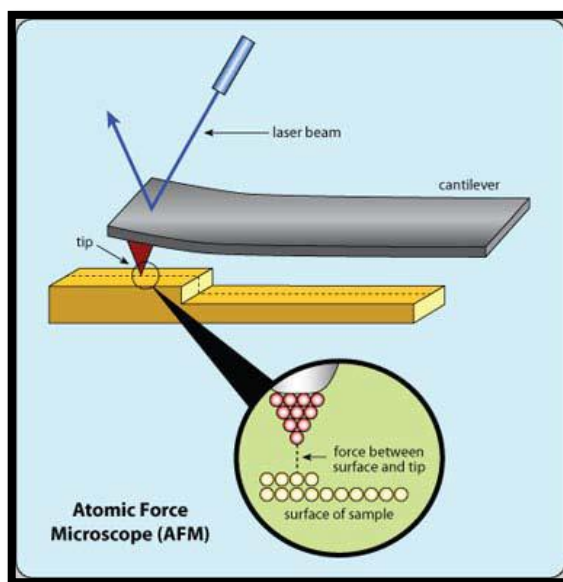
Ένας από τους σημαντικότερους λόγους για τους οποίους η Νανοτεχνολογία έχει βρεθεί στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος είναι ότι μας βοηθά να καλύψουμε ένα μεγάλο κενό που έχουμε στην κατανόηση της ύλης. Μέχρι τώρα, γνωρίζουμε αρκετά πράγματα για τα υποατομικά σωματίδια αλλά και τη συμπεριφορά μεμονωμένων ατόμων και μορίων με τη συμβολή της Φυσικής και της Χημείας. Επίσης έχουμε μάθει πολλά για τη συμπεριφορά της ύλης στον μακρόκοσμο. Ωστόσο η γνώση μας ήταν μικρή για τη συμπεριφορά συστημάτων ατόμων ή και μορίων. Η Νανοτεχνολογία μας επέτρεψε να εμβαθύνουμε σε αυτές τις διαστάσεις.

Ένας άλλος λόγος, εξίσου σημαντικός, είναι ότι τα φαινόμενα της νανοκλίμακας «γεννούν» μεγάλες προσδοκίες για εκπληκτικές εφαρμογές. Για παράδειγμα είναι δυνατή η αρχιτεκτονική εξειδικευμένων μορίων άτομο-προς άτομο.

Όσον αφορά την ιστορική εξέλιξη της Νανοτεχνολογίας, η απαρχή της μπορεί να τοποθετηθεί σε μια ιστορική ομιλία του μεγάλου και διορατικού νομπελίστα φυσικού Richard P. Feynman, την οποία έδωσε στις 29 Δεκεμβρίου 1959 στο ετήσιο συνέδριο της Αμερικανικής Ένωσης Φυσικών που διεξήχθη στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Καλιφόρνια, με τίτλο Υπάρχει πολύς χώρος στον πυθμένα (There's Plenty of Room at the Bottom). Στην ομιλία αυτή ο Feynman εξετάζει τις επιπτώσεις που θα είχε ο ενδεχόμενος έλεγχος της ύλης στην ατομική κλίμακα, προσβλέπει σε καλύτερα ηλεκτρονικά μικροσκόπια, και πραγματεύεται μερικές πολύ πρωτότυπες ιδέες που προκάλεσαν αίσθηση εκείνη την εποχή.

Μεγάλοι σταθμοί στην ανάπτυξη της Νανοτεχνολογίας ήταν το 1981 η ανακάλυψη του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (STM) αλλά και η πρώτη δημοσίευση που έκανε

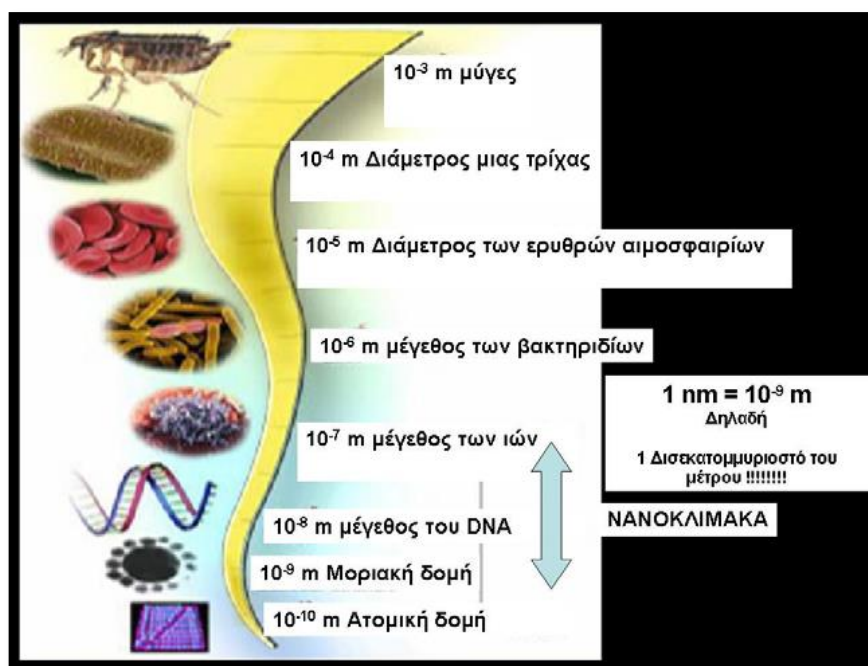
λόγο για μοριακή μηχανική με ακρίβεια ατόμου από τον K. Eric Drexler. Το 1985 η ανακάλυψη των φουλερενίων και το 1986 η ανακάλυψη του Μικροσκοπίου Ατομικής Δύναμης (AFM) (Βλέπε Εικόνα 8) έδωσαν μεγάλη δυναμική, που επιβεβαιώνεται με την δημοσίευση πολλών ερευνητικών προσπαθειών για την νανοκλίμακα και την έκδοση πολλών νέων επιστημονικών περιοδικών που αφορούν αποκλειστικά τις νανοδιαστάσεις.



Εικόνα 8 Μικροσκόπιο ατομικής δύναμης.

Σταδιακά η Νανοτεχνολογία άρχισε να εμπλέκεται με πολλά επιστημονικά πεδία, όπως η Ιατρική, η Βιολογία, η Επιστήμη Υλικών, η Χημική Μηχανική και άλλα. Ως φυσικό επακόλουθο δημιουργήθηκαν και Νάνο-υλικά. (Τρακάκης, 2010).

Αν θέλουμε να αντιληφθούμε καλύτερα τι μεγέθη αντιπροσωπεύουν αυτές οι διαστάσεις, αξίζει να αναφερθεί ότι μια ανθρώπινη τρίχα έχει περίπου πλάτος ίσο με 80.000 nm ενώ ένα ερυθρό κύτταρο αίματος περίπου 7000 nm (Βλέπε Εικόνα 9). Ειδικότερα για τον σαφή προσδιορισμό της Νανοτεχνολογίας, έχει επικρατήσει ότι αυτή αφορά διαστάσεις από το ένα έως τα εκατό νανόμετρα (1-100 nm) (Κονοφάος).



Εικόνα 9. Αποτύπωση ακριβώς της νανοκλίμακας, σε αντιδιαστολή με άλλες κλίμακες μεγέθους και διαστάσεις χαρακτηριστικών αντικειμένων για καλύτερη αντίληψη της σχέσης μεταξύ των μεγεθών.

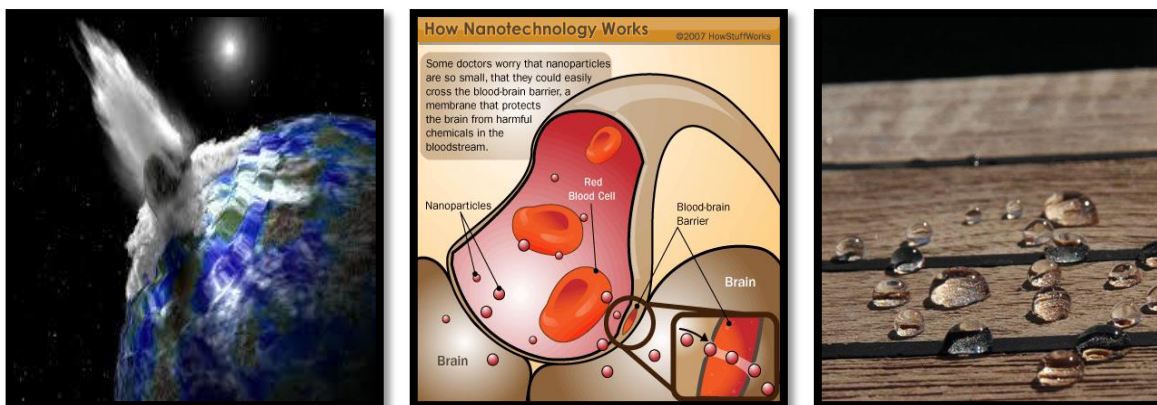
Στο επίπεδο αυτό αποκαλύπτονται διαφορετικές και συχνά καταπληκτικές ιδιότητες της ύλης και είναι δυσδιάκριτα τα όρια μεταξύ των καθιερωμένων επιστημών και τεχνικών κλάδων.

Ως εκ τούτου ο χαρακτήρας της νανοτεχνολογίας είναι άκρως διεπιστημονικός. Τα υλικά από τα οποία παράγεται το νάνο εξαρτώνται κυρίως από τις χρήσεις που προορίζεται το προϊόν, έχουν σαν βάση το νερό ή την αλκοόλη, άλλα υλικά τα οποία περιέχουν είναι: πυρίτιο, τιτάνιο, χρυσός, χαλκός, ασήμι, κεραμικά υλικά, κ.ά.

Η τεχνολογία αυτή έχει σκοπό να προσχεδιάσει και να ελέγξει τις φυσικές διεργασίες, χρησιμοποιώντας ως θεμελιώδη δομική μονάδα το άτομο, κατόπιν να συνθέσει τα μόρια και τις χημικές ενώσεις και τέλος να περάσει σε πιο σύνθετες κατασκευές με ελεγχόμενες ιδιότητες. Η διαδικασία αυτή θα μπορούσε να παραλληλιστεί με την κατασκευή μίας μηχανής, όπου ο μηχανικός αντί να χρησιμοποιήσει τα συμβατικά μέσα, όπως βίδες, γρανάζια κλπ. θα χρησιμοποιούσε τα άτομα ή τα μόρια για να συνθέσει «νανομηχανές» με προδιαγεγραμμένη λειτουργικότητα. Η νανοτεχνολογία σήμερα εφαρμόζεται:

- Στην ιατρική με πολύ εντυπωσιακά αποτελέσματα.
- Στο διάστημα για προστασία των διαστημικών σταθμών.

- Στην πληροφορική όπου νέες γενιές επεξεργαστών κατασκευάζονται και θα ανατρέψουν τα μέχρι σήμερα δεδομένα.
- Σε καταναλωτικά προϊόντα τα οποία απευθύνονται στο ευρύ κοινό με στόχο να κάνουν την ζωή των ανθρώπων καλύτερη και ασφαλέστερη.
- Στα επόμενα χρόνια τα πάντα στην ζωή μας θα περιέχουν στοιχεία νανοτεχνολογίας.



Εικόνα 10. Διάφορες εφαρμογές της νανοτεχνολογίας σε κλάδους της επιστήμης.

Ο Εθνικός Οργανισμός Προώθησης της Νανοτεχνολογίας των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής (US National Nanotechnology Initiative – NNI USA) προέβλεψε ότι η επανάσταση της νανοτεχνολογίας θα λάβει χώρα σε τέσσερα στάδια. Το πρώτο στάδιο, που ξεκίνησε το 2000, περιελάμβανε την ανάπτυξη απλών καινοτόμων υλικών με μοναδικές ιδιότητες, όπως φιλμ προστασίας και εμποτιστικές ουσίες.

Το δεύτερο στάδιο που ξεκίνησε το 2005 και περιλαμβάνει την ανάπτυξη σύνθετων νανοσκευασμάτων τα οποία μπορούν να μεταβάλλουν κάποιες από τις ιδιότητές τους (σχήμα, μέγεθος, αγωγιμότητα) κατά τη διάρκεια της χρήσης του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 11. Νανοτεχνολογία, η εξέλιξη της επιστήμης τον 21ο αιώνα.

Το τρίτο στάδιο θα ξεκινήσει το 2012 και αναμένεται τα νανοσκευάσματα να χρησιμοποιηθούν στα τελικά προϊόντα. Μετά το 2020, σύμφωνα με την πρόβλεψη του Εθνικού Οργανισμού Προώθησης της Νανοτεχνολογίας των Ηνωμένων Πολιτειών, αναμένεται να ξεκινήσει το τέταρτο και τελευταίο στάδιο της «επανάστασης», όπου θα κορυφωθεί η επέκταση της επιστήμης της νανοτεχνολογίας και θα συμπεριλάβει την ανάπτυξη υπερμοριακών συστημάτων με βιοενεργές ιδιότητες και δυνατότητες.

Παρά το γεγονός ότι το ξύλο έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως ως δομικό υλικό για χιλιάδες χρόνια, η πολύπλοκη χημική του και ιεραρχική αρχιτεκτονική του παρεμπόδισαν τις προσπάθειες των ερευνητών για να κατανοήσουν και να ελέγξουν τις επιδόσεις του.

Η νανοτεχνολογία θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών των ανέπαφων κυτταρικών τοιχωμάτων, των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των στρωμάτων του κυτταρικού τοιχώματος, καθώς και των ιδιοτήτων και των αλληλεπιδράσεων μεταξύ της κυτταρίνης, ημικυτταρίνης και λιγνίνης, που παρέχουν και τη βάση για τις ιδιότητες που παρατηρούμε στο ξύλο στο σύνολό του.

Οι βελτιώσεις που θα προσφέρει η νανοτεχνολογία στα δασικά προϊόντα θα είναι πολλές και σημαντικές. Θα μπορούν να παραχθούν προϊόντα πιο ελαφρά και με λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις. Προϊόντα ευφυή που μπορεί να περιέχουν νανοαισθητήρες για την μέτρηση της υγρασίας, της θερμοκρασίας, της πίεσης, των φορτίων καταπόνησης και των χημικών εκπομπών, καθώς και την ανίχνευση μικροοργανισμών, για την φθορά που προκαλούν τερμίτες και μύκητες (Ντέντες, Λ. 2011).

2.1. Πώς ήλθε στην ζωή μας η νανοτεχνολογία

Η φύση πρώτη εδώ και πολλά εκατομμύρια χρόνια πριν από εμάς χρησιμοποιεί την νανοτεχνολογία στα φυτά. Όλοι έχουν παρατηρήσει τις γνωστές δροσοσταλίδες που υπάρχουν στα φύλλα των δέντρων όταν βρέχει. Αυτές τις δροσοσταλίδες έβλεπαν οι επιστήμονες και δεν μπορούσαν να καταλάβουν πώς δημιουργούνται και ποιος είναι ο λόγος ύπαρξής τους.



Εικόνα 12. Το φαινόμενο της δροσοσταλίδας LOTUS EFFECT.

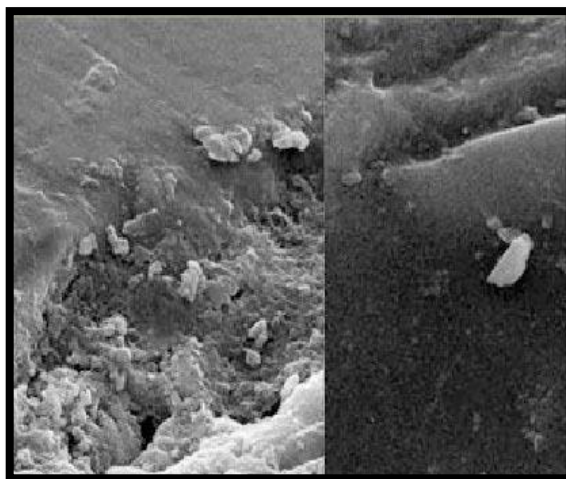
Τα τελευταία χρόνια χάρη στην κατασκευή ενός υπερσύγχρονου ηλεκτρονικού μικροσκοπίου ESEM, οι επιστήμονες αφού μεγέθυναν τα φύλλα κατά πολλές εκατομμύρια φορές, κατάφεραν να αντιληφθούν πώς δημιουργείται αυτό το φαινόμενο.

Διαπίστωσαν, λοιπόν, ότι τα φυτά για να μπορούν να καθαρίζουν τα φύλλα τους από την σκόνη και άλλες ρυπαρές ουσίες, αναπτύσσουν νανοσωματίδια τα οποία σφραγίζουν τους πόρους των φύλλων έτσι, ώστε τα ξένα σώματα να μην βρίσκουν τρόπο να σταθούν, και απλά παραμένουν πάνω στο φύλλο, ενώ ταυτόχρονα δεν εμποδίζουν την αναπνοή του φυτού. Όταν βρέχει το νερό παρασύρει τα ξένα σώματα που υπάρχουν πάνω στα φύλλα και τα καθαρίζει, την ίδια στιγμή, όμως, ούτε και το νερό βρίσκει πόρους να αγκιστρωθεί πάνω στο φύλλο, οπότε παραμένει και δημιουργεί τις γνωστές μας δροσοσταλίδες.

Το φαινόμενο αυτό οι επιστήμονες το ονόμασαν LOTUS EFFECT και θα το βλέπουμε σε όσα προϊόντα έχουν σφράγιση και προστασία με νανοτεχνολογία.

Θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι όλα τα υλικά ακόμη και τα πιο λεία, όπως το γυαλί και η πορσελάνη αν τα δούμε στο μικροσκόπιο θα διαπιστώσουμε ότι έχουν τεράστιους πόρους, αόρατους μεν στο ανθρώπινο μάτι ή στην υφή, αλλά όχι και στους ρυπογόνους οργανισμούς που υπάρχουν στο περιβάλλον.

Έτσι, λοιπόν, μέσα στους πόρους των υλικών πρώτα επικάθονται λιπαρές ουσίες του περιβάλλοντος, πάνω σε αυτές τις ουσίες κάθονται τα μικροσωματίδια των διαφόρων ρύπων του περιβάλλοντος και δημιουργείται η γνωστή μας βρωμιά που βλέπουμε σε όλες τις επιφάνειες.



Εικόνα 13. Μεγέθυνση γυάλινης επιφάνειας.

Όταν καθαρίζουμε μία επιφάνεια με τα γνωστά χημικά το μόνο που επιτυγχάνουμε είναι να αφαιρούμε τις βρωμιές και ταυτόχρονα να ξανανοίγουμε τους πόρους, οπότε επαναλαμβάνεται η προηγούμενη διαδικασία για χρόνια, με συνέπεια ο άνθρωπος μια ζωή να πληρώνει, να χάνει χρόνο και το σπουδαιότερο να ρυπαίνει τον υδροφόρο ορίζοντα, αφού όλα τα χημικά απόβλητα εκεί καταλήγουν. Εδώ λοιπόν η επιστήμη παρεμβαίνει και υποκαθιστά την φύση δημιουργώντας το φαινόμενο LOTUS EFFECT με τεχνικά μέσα.



Εικόνα 14. Τροποποιημένη με νανοσωματίδια ξύλινη επιφάνεια.

Δηλαδή μέσω του νερού ή της αλκοόλης που βρίσκονται στα μπουκάλια με το νάνοπροϊόν εκτοξεύουμε εκατομμύρια νανοσωματίδια τα οποία έχουν την ιδιότητα να γεμίζουν τους πόρους του υλικού, δημιουργώντας, έτσι μία πραγματικά λεία επιφάνεια. Σε λίγα λεπτά το νερό ή η αιθανόλη εξατμίζονται από την ψεκασμένη επιφάνεια, ενώ δια γυμνού

οφθαλμού δεν παρουσιάζει καμία διαφορά. Κανείς άνθρωπος δεν μπορεί να αντιληφθεί την διαφορά μεταξύ ενός προϊόντος σφραγισμένου με νανοτεχνολογία και ενός άλλου χωρίς.

Μόνο με πάρα πολύ ακριβά ηλεκτρονικά μικροσκόπια μπορεί κάποιος να δει τη διαφορά. Έτσι, τώρα δεν υπάρχουν πόροι όπου θα επικαθίσουν λιπώδεις ουσίες, πάνω στις οποίες θα τοποθετηθούν οι ρυπογόνοι οργανισμοί (http://www.brm.gr/?page_id=2).

2.2. Η μείωση της διόγκωσης σε προϊόντα ξύλου

Η ινώδης φύση του ξύλου το καθιστά ένα ευέλικτο και πρωταρχικό υλικό για διάφορες χρήσεις. Ωστόσο δυο ιδιότητες περιορίζουν την χρήση του.

- Μεταβολή των διαστάσεων όταν υποβάλλονται σε διακυμάνσεις υγρασίας.
- Ευαισθησία σε βιοαποδόμηση από τους μικροοργανισμούς.



Εικόνα 15. Ξύλινη επιφάνεια τροποποιημένη με νανοσωματίδια (δεξιά).

Η διαφορετική υγρασία που μπορεί να περιέχουν τα ξύλα διαμορφώνει και μια διαστασιακή αστάθεια η οποία μπορεί να μειώσει την αξία του και να θέσει σε κίνδυνο τον συνδυασμό του ξύλου με άλλα υλικά (κόλλα, επιφανειακές επεξεργασίες). Μέχρι πρόσφατα οι αδυναμίες αυτές αντιμετωπίζονταν με εμποτισμό της ξυλείας με υδρόφοβες ουσίες (όπως έλαια, σιλικόνες, πενταχλωροφαινόλη, άλατα αρσενικού, καλίου, ψευδαργύρου κ.λπ.). Επίσης το ξύλο μπορεί να τροποποιηθεί χημικά ή θερμικά, να μειωθεί έτσι η διαστασιακή αστάθεια.

Οι πιο αποτελεσματικές μέθοδοι εμποτισμού του ξύλου είναι αυτές που γίνονται σε κλειστό κύλινδρο με άσκηση πίεσης και κενού μέσα στον κύλινδρο. Με τον τρόπο αυτό το

υγρό εμποτιστικό εισχωρεί μέσα στα κενά του ξύλου και έτσι επιτυγχάνεται πλήρης προστασία του. Η μέθοδος αυτή είναι η πιο αποτελεσματική και επιβάλλεται σε εξωτερικές εφαρμογές του ξύλου και ειδικότερα όταν η κατασκευή μας έρχεται σε επαφή με το έδαφος ή το νερό ή είναι μέσα στο έδαφος (στύλοι, στρωτήρες, περιφράξεις, γέφυρες, μη εμφανείς στέγες, κλπ).

Μια επιλογή για την βελτίωση της υγρασκοπικότητας της συμπαγούς ξυλείας είναι η αξιοποίηση της νανοτεχνολογίας και οι λύσεις που προσφέρει. Η χρήση της νανοτεχνολογίας μπορεί να οδηγήσει σε μια νέα γενιά προϊόντων που θα έχουν καλύτερη απόδοση και θα χρησιμοποιηθούν σε δύσκολα περιβάλλοντα. Είναι γνωστό ότι το πορώδες κυτταρικό τοίχωμα του ξύλου αποτελείται από την κυτταρίνη, τις ημικυτταρίνες και την λιγνίνη. Έτσι είναι εύκολη η διείσδυση των νανοσωματιδίων στο πορώδες του ξύλου και αλλάζει ουσιαστικά η χημεία των επιφανειών, καθώς τα νανοσωματίδια καλύπτουν την πολύ μεγάλη εσωτερική επιφάνεια του ξύλου. Αυτό οδηγεί σε υψηλή προστασία από την υγρασία. Η σύνθεση του υδατικού διαλύματος Surfapore W αποτελείται από τρία διαφορετικά μεγέθη νανοσωματιδίων, ειδικά σχεδιασμένα για να εισχωρήσουν στη μάζα του ξύλου. Τα μικρότερα μεγέθη προορίζονται να διεισδύσουν μέσα στα τριχοειδή αγγεία και σχηματίζουν δεσμούς με τις ομάδες υδροξυλίων που υπάρχουν στην κυτταρίνη. Τα μεγαλύτερα νανοσωματίδια προορίζονται να διεισδύσουν στο κατάλληλο βάθος και αντιδρούν με τα πολυμερή του ξύλου. Τέλος η διαμόρφωση συμπληρώνεται από ένα γαλάκτωμα παραφίνης που έχει ως στόχο να προστατέψει την επιφάνεια και να διατηρήσει την φυσική όψη του ξύλου χωρίς να την αλλάζει.

Φαίνεται, λοιπόν, ότι η διείσδυση των νανοσωματιδίων έχει ως αποτέλεσμα την υψηλότερη προστασία από την υγρασία που προσροφά το ξύλο (Ντέντες, Λ. 2011).

2.3. Νανοτεχνολογία για πυροπροστασία του ξύλου

Τα νανοσωματίδια οργανώνονται μετά την σύλληψή τους σε μία στρώση (επίστρωμα) και συνδέονται στενά με την επιφάνεια. Έτσι οι επιφάνειες είναι λείες και για αυτό το λόγο δεν είναι απορροφητικές. Τότε τα σωματίδια δικτυώνονται γερά μέσα στην επιφάνεια και με αυτόν τον τρόπο προστατεύουν. Το προτέρημα μίας νανοεπικάλυψης είναι ότι το αντικείμενο μετά την σκλήρυνση μπορεί να συνεχίσει να επιβαρύνεται χημικά και μηχανικά. Αντέχει στην ζέστη μέχρι μια θερμοκρασία 450 °C καθώς και στο ψύχος. Το αποτέλεσμα είναι να έχει μεγαλύτερη αντοχή και με μια φυσιολογική χρήση και να μην προκαλείται σχεδόν καμία μηχανική φθορά.



Εικόνα 16. Πυροπροστασία με χρήση της νανοτεχνολογίας.

Η πυροπροστασία του ξύλου είναι μια προστατευτική επικάλυψη για το σχετικό υλικό σε περίπτωση πυρκαγιάς – που βασίζεται αποκλειστικά σχεδόν στη φύση, - έχοντας ως κύριο συστατικό το νερό, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο επάνω του ένα μονωτικό στρώμα. Το προστατευόμενο υλικό μπορεί να αποτελείται εντελώς από ξύλο, τάβλες από μελαμίνη ή επικαλυμμένο κόντρα-πλακέ για στεγνούς εσωτερικούς χώρους.

Τα προϊόντα νανοτεχνολογίας για πυροπροστασία του ξύλου είναι ιδιαίτερα φιλικά προς το περιβάλλον (άοσμα και δεν περιέχουν αλογόνα, βαρέα μέταλλα ή διαλυτικά μέσα).

Μπορεί να εφαρμοστεί εύκολα (βαφή με πινέλο, ρολό ή ψεκαστήρα) και είναι εντελώς διαφανές. Τα προϊόντα για την πυροπροστασία του ξύλου περιέχουν, ως κύριο συστατικό, έναν υδρογονάνθρακα από άμυλο αραβοσίτου ή πατάτας. Το προστατευτικό στρώμα που θα δημιουργηθεί, αναπτύσσει σε περίπτωση φωτιάς και εκπεμπόμενης θερμότητας αέρια που δεν καίγονται (με αμελητέα παραγωγή καπνού). Προστατεύει έτσι το ξύλο από την επίδραση της φωτιάς, σχηματίζοντας ένα μονωτικό αφρώδες στρώμα, κατά της θερμότητας, από άνθρακα.

Οι περιοχές εφαρμογής του σκευάσματος πυροπροστασίας:

- Σχολεία και παιδικοί σταθμοί.
- Στρατόπεδα.
- Διατηρητέα κτίρια.
- Ξύλινα σπίτια.
- Γενικά ξύλινες επιφάνειες (Ντέντες, Λ. 2011).

2.4. Πλεονεκτήματα της νανοτεχνολογίας

- Δεν επηρεάζει την οπτική εμφάνιση του ξύλου.
- Τεράστια οικονομία χρημάτων από εξοικονόμηση ενέργειας.
- Προστασία από την UV ακτινοβολία.
- Μεγάλη διάρκεια προστασίας και εύκολο καθαρίσμα της επιφάνειας.
- Τεράστια αντοχή σε τριβές.
- Εύκολη εφαρμογή, γρήγορο στέγνωμα.
- Άμεση χρήση μετά την εφαρμογή του προϊόντος.
- Διατηρεί τη δυνατότητα αναπνοής της καλυπτόμενης επιφάνειας.
- Ανθεκτικό σε πίεση πλύσης (50-60 bar).
- Εξαιρετική αντίσταση στον παγετό.
- Μη χημικό – άοσμο.
- Δεν επιτρέπει να δημιουργηθούν βρύα ή μύκητες ή μαυρίλες.
- Δεν επηρεάζεται από την κακοκαιρία.
- Δεν επιτρέπει στην υγρασία να διαπεράσει την προστατευμένη επιφάνεια.
- Ιδανικό για παραθαλάσσιες περιοχές, δεν αφήνει το αλάτι να διαβρώσει το ξύλο (Ντέντες, Λ. 2011).



Εικόνα 17. Ξύλινες εξωτερικές επιφάνειες τροποποιημένες.

2.5. Τρόποι χρήσης νανοπροϊόντων

Ο τρόπος εφαρμογής των νανοπροϊόντων σε μια ξύλινη επιφάνεια γίνεται με απλό ψεκασμό, όπου οι επιφάνειες ψεκάζονται σε δύο κύκλους εργασιών (ανάλογα με την απορροφητικότητα της επιφάνειας). Αρχικά γίνεται ο πρώτος ψεκασμός και πριν στεγνώσει η πρώτη επίστρωση θα πρέπει να ακολουθήσει και η δεύτερη. Εφ' όσον η επιφάνεια είναι μεγάλη θα πρέπει η εργασία να γίνεται μέτρο προς μέτρο έτσι ώστε να αποφεύγεται η συγκέντρωση αρκετού υλικού στην επιφάνεια. Άλλου είδους τεχνικές εφαρμογής είναι το πινέλο ή ρολό βαψίματος και η εμβάπτιση. Ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής αλλάζει και η ποσότητα κατανάλωσης.

Η ποσότητα κατανάλωσης που απαιτείται κάθε φορά έχει να κάνει με την μέθοδο εφαρμογής και τον τύπο της επιφάνειας, κυμαίνεται μεταξύ 30ml/m² και 200ml/m². Αυτό σημαίνει ότι με 1 λίτρο μπορούμε να καλύψουμε επιφάνειες από 5m² έως 33m². Ως προϋπόθεση συνιστάται πρώτα μία δοκιμή σε κάθε επιφάνεια προκειμένου να διαπιστωθεί η απορροφητικότητα της.

Ο χρόνος ωρίμανσης που χρειάζεται μετά από την επίστρωση του διαλύματος κυμαίνεται περίπου από 24 έως 48 ώρες (θερμοκρασία 20 °C). Ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρη σκλήρυνση μπορεί να αλλάξει ανάλογα με τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Η προστασία των νανοπροϊόντων φτάνει έως 8 χρόνια, υπό την προϋπόθεση ότι η τοποθέτηση του σκευάσματος έγινε σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Παρά την υψηλή τεχνολογία τους, το κόστος τους είναι χαμηλότερο λαμβάνοντας υπόψη τις τροποποιημένες ιδιότητες και το νέο χρόνο ζωής - από 1 € ανά τ.μ. επιφάνειας εφαρμογής - αλλά προφανέστατα προσδίδουν υψηλή προστιθέμενη αξία στην ξύλινη κατασκευή. Σε κάθε περίπτωση, φαίνεται πως τα νέα αυτά υλικά αποτελούν σημαντική τεχνολογική εξέλιξη και θα έχουν στο άμεσο μέλλον πολλές προοπτικές εφαρμογής και στη χώρα μας (Ντέντες, Λ. 2011).

3. Ξυλεία

3.1. Πεύκο (Pine)

Τα πεύκα είναι γυμνόσπερμα, αειθαλή, ρητινοφόρα κωνοφόρα δένδρα με 90 περίπου είδη ανά τον κόσμο, που ανήκουν στην οικογένεια Πευκοειδών (Pinaceae). Έχουν ύψος 3 με 80 μέτρα, με την πλειοψηφία των ειδών να έχουν ύψος 15 με 45 μέτρα.

Ο φλοιός είναι παχύς και αυλακωτός, τα φύλλα βελονοειδή και φύονται κατά σπονδύλους, παραμένοντας στο πεύκο από 2 μέχρι 17 χρόνια. Στη βάση τους περιβάλλονται από ένα μεμβρανώδη κολεό και το χρώμα τους είναι ανοιχτό ως σκούρο πράσινο.

Όλα τα βλαστικά μέρη του δέντρου διατρέχονται από αδενικά στοιχεία που έχουν την μορφή αγωγών παράγοντας ρητίνη και αιθέρια έλαια.

Στη βάση κάθε μονοετούς βλαστού αναπτύσσονται αρσενικοί και θηλυκοί κώνοι. Είναι οι «καρποί» του πεύκου γνωστοί με την ονομασία κουκουνάρια.

Στην Ελλάδα βρίσκουμε 8 είδη πεύκου που είναι αυτοφυή.

- Το κοινό πεύκο, γνωστό με την ονομασία Χαλέπιος Πεύκη. Βρίσκεται στη Κρήτη, Στερεά Ελλάδα, Εύβοια, στα Νησιά του Αιγαίου, στη Χαλκιδική, στα νησιά του Ιονίου, σχηματίζοντας δάση. Αναπτύσσεται σε χαμηλό υψόμετρο, μέχρι 1000 μέτρα. Προτιμά τις ξερές και ζεστές περιοχές και τα ασβεστολιθικά εδάφη που δεν συγκρατούν υγρασία. Από το δέντρο αυτό συλλέγεται το ρετσίνι, που προστίθεται στο κρασί για τη δημιουργία της γνωστής ρετσίνας. Το ξύλο του είναι μέτριας ποιότητας. Ο βλαστός του χρησιμοποιείται στη βυρσοδεψία.

- Το μαυρόπευκο, ψηλό δέντρο που φτάνει σε ύψος και τα 45 μέτρα. Τα κουκουνάρια του είναι μικρά και οι βελόνες του μετρίου μεγέθους. Βρίσκεται σε δάση στην οροσειρά της Πίνδου, στα βουνά της Μακεδονίας, ενώ λίγα υπάρχουν και στα βουνά της Κρήτης. Το ξύλο του έχει ερυθρώπο χρώμα εσωτερικά, είναι καλής ποιότητας, χρησιμοποιείται στις οικοδομές, στη ναυπηγική και σαν στύλος στήριξης καλωδίων μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος.

- Το δασόπευκο ή λιάχα, με κιτρινοκόκκινο φλοιό, μεγάλο ύψος που φτάνει και τα 50 μέτρα. Τα κουκουνάρια του είναι μικρά και ωοειδή, χρώματος γκριζοκάστανου. Ο κορμός του ίσιος με μεγάλες ρωγμές. Βρίσκεται σε μερικά όρη της βορείου Ελλάδας και όταν είναι γέρικο γυμνώνεται αφήνοντας μία τούφα στη κορυφή του. Το ξύλο του είναι γνωστό με την

ονομασία κόκκινη ξυλεία, ερυθρωπό εσωτερικά και σκληρό, και χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για τη παρασκευή ξυλοπολτού για χαρτί, στις οικοδομικές κατασκευές και στη ναυπηγική.

- Το βουνόπευκο, μικρό με λεπτό ίσιο κορμό, μικρά κουκουνάρια, βρίσκεται σε περιοχές της Θράκης και της Μακεδονίας σε υψόμετρο μέχρι 2000 μέτρα.

- Το Θασίτικο πεύκο που μοιάζει με το κοινό, έχει μεγαλύτερο όγκο και ύψος από αυτό, σκληρές και χοντρές βελόνες. Υπάρχει σε νησιά του Αιγαίου, τη Χαλκιδική και τη Μικρά Ασία.

- Το Μακεδονίτικο ή Βαλκανικό πεύκο που είναι χαμηλό και θαμνώδες, βρίσκεται σπάνια στην Ελλάδα και κυρίως φύτευται στην Αλβανία και Βουλγαρία.

- Η κουκουναριά ή ήμερο πεύκο, είναι πυκνό, ψηλό και σχηματίζει "ομπρέλα". Τα κουκουνάρια του είναι μεγάλα, με μεγάλα σκληρά σπόρια. Φύτευται σε παραθαλάσσιες ή πεδινές περιοχές, κυρίως στις Σποράδες αλλά και στη Χαλκιδική, Στερεά και Πελοπόννησο. Απαντά επίσης στις περισσότερες περιοχές της Μεσογείου. Το ξύλο του χρησιμοποιείται σαν στρογγυλή ξυλεία και παραγωγή σανιδωμάτων (παρκέ). Τα σπόρια του, γνωστά και αυτά με την ονομασία κουκουνάρια, χρησιμοποιούνται στη μαγειρική και τη ζαχαροπλαστική.

- Τέλος το ρόμπολο ή λευκόδερμο, με σταχτίλευκο φλοιό, ενώ οι βελόνες του σχηματίζουν τούφες στις άκρες των κλαδιών. Ο κορμός είναι χοντρός και ίσιος, το ίδιο και τα κλαδιά. Βρίσκεται σε πετρώδη και ορεινά εδάφη στη Βόρεια Ελλάδα. Εξαιτίας του αρωματικού του ξύλου είναι ιδανικό για την κατασκευή βαρελιών. Χρησιμοποιείται επίσης στην κατασκευή διαφόρων εργαλείων γιατί δεν σαπίζει.

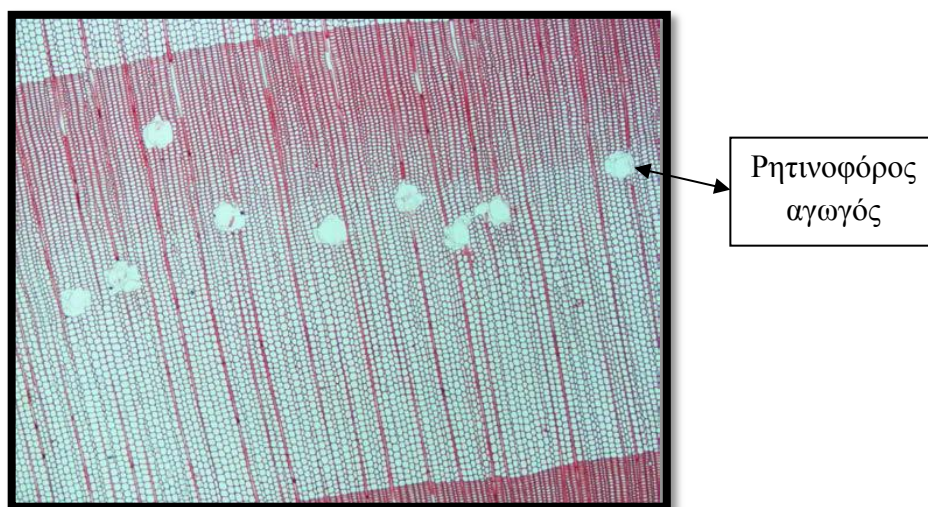
(<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B5%CF%8D%CE%BA%CE%BF>).

Είδη: Ευρωπαϊκά είδη : *P. peuce* (βαλκανική, Macedonian pine), *P. pinaster* ή *P. Maritima* (θαλασσία, maritime pine), *P. halepensis* (χαλέπιος, Aleppo pine), *P. Brutia* (τραχεία, Calabrian pine, hard pine), *P. sylvestris* (δασική, Scots pine), *P. Nigra* (μαύρη, Austrian black pine), *P. leucodermis* ή *P. heldreichii* (λευκόδερμη, whitebark pine), *P. pinea* (κουκουναριά, umprella pine, parasol pine, stone pine), *P. Strobis* (λευκή).

Αμερικανικά είδη : *P. strobus* (eastern white pine), *P. monticola* (western white pine), *P. lambertiana* (sugar pine) γνωστά ως soft pines (μαλακές πεύκες με πυκνότητα 0,35 g/m³), *P. palustris* (longleaf pine), *P. echinata* (shortleaf pine), *P. taeda* (loblolly pine), *P. eliottii* (slash pine), *P. rigida* (pitch pine) γνωστά ως southern pines (νότιες πεύκες και χαρακτηρίζονται σκληρές με πυκνότητα 0,55 g/cm³), και η ομάδα των μέτρια σκληρών πευκών με πυκνότητα

0,40 g/cm³, όπως η *P. contorta* (lodgepole pine), *P. banksiana* (jack pine), *P. ponderosa* (βαρύξυλος, ponderosa pine), *P. resinosa* (red pine).

Δομή : Το εγκάρδιο ξύλο έχει πάντα σκοτεινότερο χρώμα από το σομφό και μυρίζει ρητίνη. Υπάρχουν πάντοτε αξονικοί ρητινοφόροι αγωγοί, οι οποίοι είναι σχετικά μεγάλοι, συνήθως πολλοί, μόνοι ή σε ομάδες από 2-3, με εφαπτομενική διεύθυνση. Με γυμνό μάτι διακρίνονται σαν μικρά στίγματα σε εγκάρσιες επιφάνειες και σαν λεπτές ασυνεχείς γραμμές σε εφαπτομενικές και ακτινικές επιφάνειες.



Εικόνα 18. Μικροσκοπική εμφάνιση ξύλου πεύκης σε εγκάρσια επιφάνεια.

(<http://users.teilar.gr/~mantanis/ergastiriaki-yli.pdf>).

Ιδιότητες : Υπάρχουν διαφορές μεταξύ των ειδών. Η μαύρη, η δασική, η χαλέπιος και η τραχεία έχουν σχετικά μεγαλύτερη μηχανική αντοχή και σκληρότητα σε σύγκριση με άλλα είδη (βαλκανική, κουκουναριά) και με την ελάτη και την ερυθρελάτη. Η χαλέπιος και η τραχεία έχουν μεγαλύτερη διάρκεια. Γενικά, το σομφό ξύλο των πεύκων είναι ευαίσθητο σε προσβολές – συχνά παρουσιάζει κυάνωση. Η κατεργασία τους είναι ικανοποιητική και η ξήρανση τους εύκολη. Ο εμποτισμός του σομφού είναι κι αυτός εύκολος (Βουλγαρίδης 2008).



Εικόνα 19. Πεύκο

(http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pinus_peuce_Habitus_BotGardBln0906.jpg).

3.2. Έλατο (*Abies*)

Η Ελάτη (*Abie*) είναι γένος 48–55 ειδών αειθαλών κωνοφόρων στην οικογένεια (*Pinaceae*). Βρίσκονται σε μεγάλο μέρος της Βόρειας και Κεντρικής Αμερικής, της Ευρώπης, της Ασίας και της Βόρειας Αφρικής, σε βουνά ποικίλων ειδών.

Είναι δέντρα, που φθάνουν σε ύψος 10–80 m και διαμέτρους κορμού 0,5–4 m σε ώριμη ηλικία. Οι ελάτες μπορούν να διακριθούν από άλλα μέλη της οικογένειας των πεύκων από τα βελονοειδή τους φύλλα προσαρμοσμένα σε μικρά κλαδιά με μια βάση η οποία προσομοιάζει μια μικρή βεντούζα και από τους όρθιους κυλινδρικούς κώνους μήκους 5–25 cm, που αποσυντίθενται όταν ωριμάσουν ώστε να απελευθερώσουν τους φτερωτούς καρπούς. Η ταυτοποίηση των ειδών βασίζεται στο μέγεθος και την κατανομή των φύλλων, το μέγεθος και το σχήμα των κώνων, και στο αν οι κλίμακες των φύλλων του μίσχου στους κώνους είναι μακριά και εξέχουν, ή κοντά και κρυμμένα μέσα στον κώνο (<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BB%CE%AC%CF%84%CE%B7>).

Είδη : Τα ευρωπαϊκά είδη *A. alba* ή *A. pectinata* (λευκή ή κτενοειδής, silver fir), *A. cephalonica* (κεφαλληνιακή ελάτη, Grecian fir), *A. alba* X *A. cephalonica*, *populous hybridogenus* ή *A. borisiii regis* (υβριδογενής ελάτη) και τα αμερικανικά είδη *A. balsamea* (balsam fir), *A. fraseri* (Fraser fir) γνωστών ως eastern balsam firs *A. amabilis* (Pasific silver

fir), *A. concolor* (white fir), *A. grandis* (grand fir), *A. lasiocarpa* (subalpine fir), *A. magnifica* (California red fir), *A. procera* (noble fir) γνωστών ως western firs.

Δομή : Το ξύλο είναι ανοιχτόχρωμο καστανοκίτρινο και το εγκάρδιο δεν έχει διαφορετικό χρώμα από το σομφό. Είναι συνήθως ευθύνο με τραχιά και ανομοιόμορφη υφή. Τα όρια πρώιμου – όψιμου ξύλου σπάνια είναι απότομα. Δεν υπάρχουν ρητινοφόροι αγωγοί στο ξύλο.



Εικόνα 20. Μακροσκοπική (αριστερά) και μικροσκοπική (δεξιά) εμφάνιση ξύλου ελάτης, σε εγκάρσια επιφάνεια. (<http://users.teilar.gr/~mantanis/ergastiriaki-yli.pdf>).

Ιδιότητες : Το ξύλο είναι ελαφρύ ως μέτριο σε βάρος. Η ξυλεία κατεργάζεται ικανοποιητικά και ξηραίνεται εύκολα. Είναι σχετικά μαλακό ως μέτριο σε σκληρότητα και έχει μικρή φυσική διάρκεια. Εμποτίζεται δύσκολα επειδή παρουσιάζεται μεγάλο ποσοστό απόφραξης των αλωφόρων βοθρίων κατά την ξήρανση που δυσκολεύει την τριχοειδή κίνηση των συντηρητικών υγρών μέσα στο ξύλο.

Χρήσεις : Χρησιμοποιείται σε οικοδομικές κατασκευές, πατώματα, για ιστούς πλοίων και άλλες ναυπηγικές κατασκευές, για στύλους, κιβώτια, για παραγωγή ξυλοφύλλων, μοριοπλακών, ινοπλακών, για μουσικά όργανα (Βουλγαρίδης 2008).



Εικόνα 21. Έλατο (http://falirikanea.blogspot.gr/2012/02/blog-post_02.html).

3.3. Τροποποιημένη Ξυλεία

Για πολλές δεκαετίες, οι βιομηχανίες επεξεργασίας ξύλου προσπάθησαν να αυξήσουν τη χρονική διάρκεια χρήσης του ξύλου σαν πρώτη ύλη σε διάφορες κατασκευές (Παπαδόπουλος et. al. 2004). Το ξύλο αποτελεί εξαιρετική πρώτη ύλη για την παραγωγή διαφόρων κατασκευών καθώς συνδυάζει πολλά (αξιόλογα) πλεονεκτήματα, όπως υψηλή αισθητική, πλήθος και ποικιλία χρωμάτων και ιδιοτήτων, υψηλή θερμομονωτικότητα και οικολογικό χαρακτήρα. Εκτός όμως από τα εν λόγω πλεονεκτήματα, το ξύλο έχει και μειονεκτήματα τα οποία κυρίως οφείλονται στη χημική του σύνθεση. Είναι γνωστό ότι τα σημαντικότερα εκ των μειονεκτημάτων είναι η υψηλή υγροσκοπικότητά 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 πλήρη κατάρρευσή του (π.χ. σήψεις) (Μαντάνης 2013). Αυτοί οι παράγοντες οδήγησαν τον άνθρωπο τις προηγούμενες δεκαετίες να διερευνήσει τρόπους για να αντιμετωπίσει τα βασικά μειονεκτήματα του ξύλου. Οι τρόποι αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως: ανακατανομή της μάζας του ξύλου ύστερα από μηχανική κατεργασία, κάλυψη της επιφάνειας του ξύλου με ελαιοχρώματα, βερνίκια και ανάλογες ουσίες, και προστατευτικός εμποτισμός με κλασικές μεθόδους. Όλοι αυτοί οι τρόποι είναι

περισσότερο ή λιγότερο τεχνικοί, αλλοιώνουν σε μεγάλο βαθμό το ξύλο σαν υλικό και κυρίως βασίζονται στη χρήση τοξικών χημικών ουσιών όπως το πισσέλαιο και τα υδατοδιαλυτά άλατα αρσενικού και βορίου.

Βασικά μειονεκτήματα της χρήσης των παραπάνω ουσιών είναι τα ακόλουθα:

- Η αυξημένη τοξικότητα τους, γεγονός που οδήγησε πολλές ευρωπαϊκές χώρες να απαγορεύσουν τη χρήση τους
- Η περιορισμένη σταθερότητα και αντοχή τους στο χρόνο
- Η δυσκολία ανακύκλωσης εμποτισμένου ξύλου με αυτές τις ουσίες (Παπαδόπουλος et. al. 2004).

Για τους παραπάνω λόγους, ο άνθρωπος οδηγήθηκε στην εύρεση ασφαλών και καταλλήλων προληπτικών μέτρων για την προστασία του ξύλου όταν η χρήση του προϋποθέτει την έκθεση και εφαρμογή του σε εξωτερικούς χώρους. Τα μέτρα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν:

- Χρήση τροπικών ειδών με υψηλή φυσική ανθεκτικότητα τα οποία όμως χαρακτηρίζονται από χαμηλή διαθεσιμότητα και έντονα προβλήματα νόμιμης και αειφορικής διαχείρισης - σήμερα είναι ένα μεγάλο ερωτηματικό εξαιτίας της αλόγιστης και παράνομης καταστροφής των τροπικών δασών του Αμαζονίου, της δυτικής Αφρικής και της Ν.Α. Ασίας. Επομένως, υπάρχουν σε υψηλές τιμές και με μεγάλη περιβαλλοντική επιβάρυνση.
- Χημική ή/και θερμική τροποποίηση του ξύλου, που τα τελευταία χρόνια φαίνεται να αποκτά τεράστιο ενδιαφέρον και να δίνει «πράσινα» και αξιόπιστα προϊόντα.

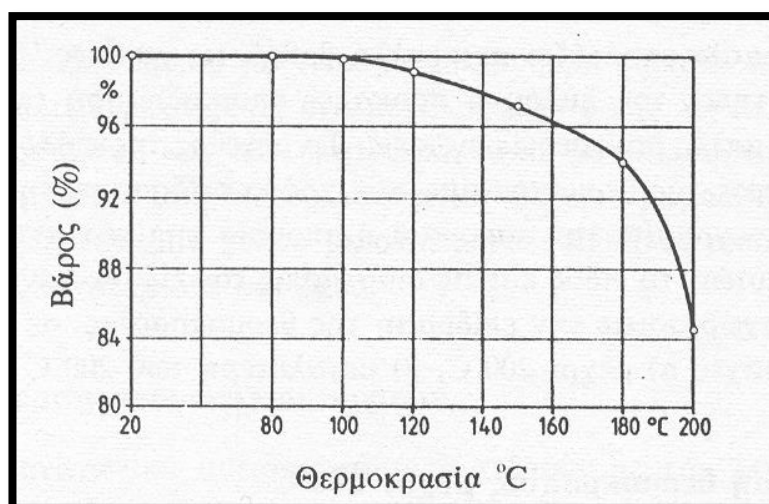
Η τροποποίηση του ξύλου -ειδικά η χημική- περιλαμβάνει την αντίδραση των βασικών χημικών συστατικών του ξύλου (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη) με αντιδραστήρια ή και με χρήση θερμότητας, προκαλώντας τη δημιουργία νέων ενώσεων και τη μεταβολή βασικών ιδιοτήτων του. Οι νέες ενώσεις αν και δεν εμφανίζουν βασικές διαφορές από τις αρχικές, παρουσιάζουν αρκετά βελτιωμένες υγροσκοπικές ιδιότητες π.χ. μειωμένη υγροσκοπικότητα και ρίκνωση/διόγκωση, αρκετά μεγαλύτερη αντοχή στους παράγοντες αλλοίωσης κ.α. (Μαντάνης 2013).

3.3.1. Θερμική τροποποίηση του ξύλου (Thermal modification of wood)

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°C-240°C) για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το οποίο ποικίλει ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται (μέχρι 36 ώρες), χωρίς προσθήκη ουσιών. 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 (Κωνσταντάκου, Τσαλίκη 2012).

Η θερμοκρασία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις χημικές, φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του ξύλου ή προκαλεί αποικοδόμηση των δομικών συστατικών του σε απλές μονομερείς ενώσεις. Το μέγεθος της επίδρασης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, οι σπουδαιότεροι των οποίων είναι το ύψος της θερμοκρασίας και ο χρόνος επίδρασης της, η υγρασία του ξύλου, η παρουσία καταλύτη, και τέλος το είδος και οι διαστάσεις του ξύλου.

Το ξύλο στις διάφορες μορφές κατεργασίας και χρήσης του υπόκειται στην επίδραση θερμοκρασίας που δεν ξεπερνά τους 200°C. Η επίδραση της αφορά κυρίως μείωση της υγροσκοπικότητας, της μηχανικής αντοχής και περιορισμένη αποικοδόμηση των συστατικών του ξύλου. Στις θερμοκρασίες αυτές διατηρείται η μακροσκοπική δομή του ξύλου. Θερμοκρασία μέχρι 100 °C, για παράδειγμα, μειώνει την ικανότητα προσρόφησης υγρασίας από το περιβάλλον αλλά η επίδραση δεν είναι μόνιμη, καθώς με μείωση της θερμοκρασίας το ξύλο αποκτά τις αρχικές του ιδιότητες. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 100 °C, η επίδραση στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες είναι περισσότερο ή λιγότερο μόνιμες, ανάλογα με το ύψος και τη διάρκεια της θερμοκρασίας. Οι μόνιμες μεταβολές στις ιδιότητες του ξύλου είναι αποτέλεσμα χημικών αλλοιώσεων των πολυμερών συστατικών του (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη). Στην εικόνα 22, φαίνεται ότι ξύλο ελάτης σε μορφή πριονιδιού μετά από θέρμανση για εικοσιτέσσερις ώρες άρχισε να χάνει βάρος στους 100 °C; η απώλεια βάρους στους 120 °C ήτανε 0.8%, ενώ στους 200 °C έφτασε το 15%.



Εικόνα 22. Απώλεια βάρους του ξύλου ελάτης με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Η απώλεια βάρους είναι αποτέλεσμα αποικοδόμησης των πολυμερών συστατικών του ξύλου (κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη), τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα μέχρι τους 100 °C. Σε θερμοκρασίες μεταξύ 120-140 °C, η κυτταρίνη και οι ημικυτταρίνες αρχίζουν να αποικοδομούνται, ενώ η λιγνίνη είναι περισσότερο ανθεκτική. Στη σταδιακή αποικοδόμηση - κατακερματισμό της κυτταρίνης και της ημικυτταρίνης είναι βασισμένη η ιδέα της θερμικής τροποποίησης του ξύλου, καθώς είναι γνωστό ότι τα συστατικά αυτά περιέχουν μεγάλες ποσότητες ελεύθερων υδροξυλίων (-OH) τα οποία είναι και οι κύριοι υπεύθυνοι για δύο βασικά μειονεκτήματα του ξύλου: περιορισμένη διαστασιακή σταθερότητα και σχετικά χαμηλή ανθεκτικότητα σε μικροοργανισμούς. Ο σταδιακός κατακερματισμός των πολυμερών συστατικών του ξύλου με την αύξηση της θερμοκρασίας, έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλών μικρών νέων συστατικών. Αυτά παρουσιάζουν μία αυξημένη ενεργητικότητα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται νέα πολυμερή συστατικά μέσα στη μάζα του ξύλου, με διαφορετικές βελτιωμένες ιδιότητες (π.χ. απορρόφηση λιγότερης ποσότητας νερού).

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°C μέχρι 260°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 (Παπαδόπουλος et. al. 2004).

3.3.1.1. Thermo Wood Process (μέθοδος παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου)

Ερευνητικές προσπάθειες πολλών ετών στον τομέα της θερμικής τροποποίησης του ξύλου από το Τεχνολογικό Ερευνητικό Κέντρο της Φινλανδίας (Technical Research Centre of Finland) και τη Βιομηχανία ξύλου της Φινλανδίας, είχαν σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη της εν λόγω μεθόδου. Θερμικά τροποποιημένο ξύλο παράγεται πλέον σε βιομηχανική κλίμακα με το εμπορικό όνομα ThermoWood®, και έχει κατοχυρωθεί διεθνώς ως δίπλωμα ευρεσιτεχνίας.



Εικόνα 23. ThermoWood® (<http://www.thermowood.gr/>).

Η άδεια χρήσης του διπλώματος ανήκε στον Φινλανδικό Συνεταιρισμό Θερμικά Τροποποιημένου ξύλου (Finnish ThermoWood Association).

Η όλη διαδικασία παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου, η οποία παρουσιάζεται στην Εικόνα 24, μπορεί να κατανεμηθεί στις εξής φάσεις:

Φάση 1, η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- (α) Στάδιο θέρμανσης, όπου το ξύλο θερμαίνεται ραγδαία σε μια θερμοκρασία που δεν ξεπερνά τους 100 ° C. Η χρονική διάρκεια του σταδίου κυμαίνεται από 2 μέχρι 4 ώρες.
- (β) Στάδιο ξήρανσης, όπου επιδιώκεται μείωση της υγρασίας του ξύλου σε ποσοστό 3-4%, η οποία μπορεί να φτάσει και το 0%. Η θερμοκρασία φτάνει και διατηρείται

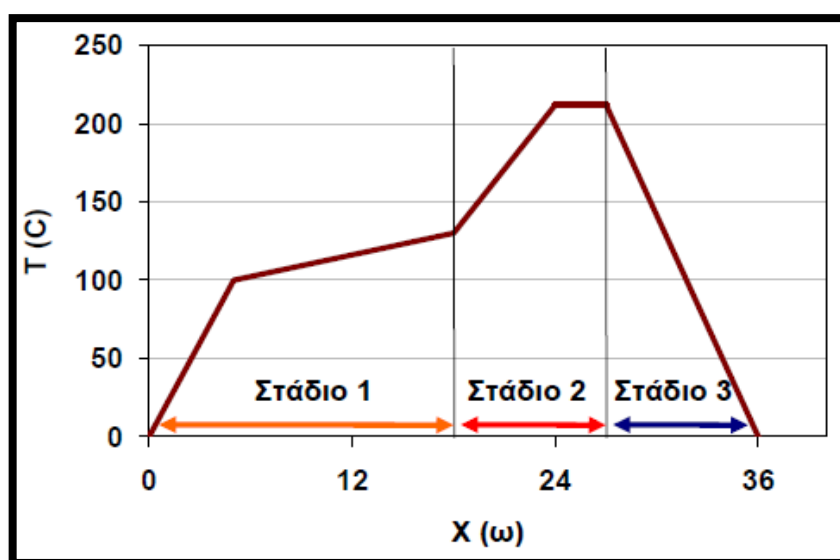
σταθερή στους 130 °C. Η χρονική διάρκεια του σταδίου κυμαίνεται από 6 μέχρι 16 ώρες.

Φάση 2, όπου πραγματοποιείται η θερμική τροποποίηση του ξύλου.

- Η θερμοκρασία ανεβαίνει στους 180 °C - 220 °C και ο αέρας στο θάλαμο χειρισμού αντικαθίσταται σταδιακά με ατμό για να αποφευχθεί πιθανή υπερθέρμανση του ξύλου. Όταν επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή για 2 με 3 ώρες. Η χρονική διάρκεια του σταδίου αυτού και του επόμενου κυμαίνεται από 6 μέχρι 10 ώρες.

Φάση 3, η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- (α) Στάδιο μερικού κλιματισμού, όπου η θερμοκρασία ελαττώνεται σταδιακά .
- (β) Στάδιο σταθεροποίησης, όπου η απολεσθείσα υγρασία επιστρέφει στο ξύλο (ψεκασμός νερού) σε ποσοστό 48% , ανάλογα με την τελική επιθυμητή χρήση. Η χρονική διάρκεια του σταδίου κυμαίνεται από 6 μέχρι 10 ώρες.
- (γ) Στάδιο τελικού κλιματισμού. Η χρονική διάρκεια του σταδίου κυμαίνεται από 4 μέχρι 6 ώρες.
- Η όλη διαδικασία θερμικής τροποποίησης έχει συνολική διάρκεια που κυμαίνεται από 24 μέχρι 46 ώρες. Η μέθοδος είναι γενικά κατάλληλη για όλα τα είδη ξύλου, αλλά μπορεί να προσαρμοσθεί ανάλογα με τις ατομικές ιδιαιτερότητες κάθε είδους (Παπαδόπουλος et. al. 2004).



Διάγραμμα 1. Στάδια της παραγωγικής διαδικασίας. (<http://www.thermowood.gr/>).

3.3.1.2. Plato Wood Process (μέθοδος παραγωγής θερμικά τροποποιημένου ξύλου)

Μια νέα καινοτόμος τεχνολογία που κλιμακώθηκε στη βιομηχανία στην πόλη Άρνεμ της Ολλανδίας είναι η τεχνολογία Plato® από τους ερευνητές A. Pizzi, M. Boonstra, B. Tieerdsma, H. Militz, και κατοχυρώθηκε με παγκόσμιο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας με το εμπορικό όνομα PlatoWood. Τα δικαιώματα χρήσης και προώθησης ανήκουν στην εταιρία *Plato International Technology BV*, ενώ η ετήσια παραγωγή είναι 24.000 m³. Με αυτή την μέθοδο η παραγόμενη ξυλεία είναι οικολογική και έχει εξαιρετική ποιότητα επειδή τροποποιείται το ξύλο θερμικά μόνο, με θερμότητα και ατμό. Η διαφοροποίηση της σε σχέση με αυτή, που αναπτύχθηκε και εφαρμόζεται στην Φινλανδία, έγκειται στη παρουσία ενός υδροθερμικού σταδίου κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της μεθόδου, το οποίο προκαλεί πολλές χημικές τροποποιήσεις.

Συγκεκριμένα, η παρουσία μεγάλης ποσότητας υγρασίας μέσα στο κυτταρικό τοίχωμα του ξύλου κατά τη διάρκεια του υδροθερμικού σταδίου, προκαλεί αυξημένη αντιδραστικότητα στα συστατικά του κυτταρικού τοιχώματος, κάτω από σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Έτσι προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, εφαρμόζονται πιο ήπιες συνθήκες τροποποίησης με αποτέλεσμα οι δυσμενείς επιπτώσεις στις μηχανικές ιδιότητες του ξύλου να ελαχιστοποιούνται.



Εικόνα 24. Ξυλινή τάβλα από ξυλεία Platowood για δομική χρήση.

Η τεχνολογία παραγωγής του PlatoWood βασίζεται σε τέσσερα στάδια παραγωγής:

- **Στάδιο υδροθερμόλυσης:** η ξυλεία θερμαίνεται στους 150-180°C υπό ατμό και σε αυξανόμενη πίεση (6 έως 8 atm) για διάστημα 5 ωρών. Το στάδιο αυτό απαιτεί ξυλεία ελαφρώς ξηραμένη στον αέρα, δηλαδή με υγρασία περίπου 15-20%. Οι ημικυτταρίνες

του ξύλου στο στάδιο αυτό αποικοδομούνται μερικώς και η λιγνίνη «ενεργοποιείται». Ωστόσο, η κυτταρίνη παραμένει ανέπαφη, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό για τη διατήρηση των μηχανικών ιδιοτήτων του Plato®Wood σε υψηλό επίπεδο.

- **Στάδιο ξήρανσης:** γίνεται σε κοινό βιομηχανικό ξηραντήριο. Η ξυλεία ξηραίνεται μέχρι ένα επίπεδο υγρασίας 8-10%. Η διαδικασία αυτή διαρκεί από 5 μέρες έως και 3 εβδομάδες.
- **Στάδιο τροποποίησης:** η ξυλεία τροποποιείται θερμικά στους 150-190°C σε ένα ξηρό περιβάλλον για χρονικό διάστημα 12-16 ωρών. Χημικές αντιδράσεις συμβαίνουν μέσα στο ξύλο, οι αλδεΐδες που σχηματίστηκαν κατά το πρώτο στάδιο αντιδρούν με την ήδη «ενεργοποιημένη» λιγνίνη με αποτέλεσμα την δημιουργία νέων, δυνατών χημικών δεσμών. Το στάδιο αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση της διαστασιακής σταθερότητας του ξύλου και δίνει στο τέλος ξυλεία με ποσοστό υγρασίας περίπου 1%.
- **Στάδιο κλιματισμού:** στο τελευταίο στάδιο της τεχνολογίας PlatoWood γίνεται ο κλιματισμός. Η διαδικασία είναι όμοια με αυτή που χρησιμοποιείται για την απλή ξυλεία, μέχρι η υγρασία της ξυλείας να κυμανθεί από το 10 έως το 16%. Η διάρκεια του σταδίου αυτού διαρκεί περίπου 3 μέρες.



Εικόνα 25. Ξύλινη κατασκευή σε ηχοπέτασμα
(<http://www.greekarchitects.gr/images/news/mantanis.2011.03.02.jpg>)

3.3.2. Χημική τροποποίηση του ξύλου (Chemical modification of wood)

Χημική τροποποίηση του ξύλου (chemical modification of wood) προκύπτει από 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 (Κωνσταντάκου, Τσαλίκη 2012).

Η χημική τροποποίηση του ξύλου χρησιμοποιείται συχνά για την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του ξύλου, μείωση της υγροσκοπικότητας και διόγκωσης του, αύξηση της ανθεκτικότητας του στη θερμική αποικοδόμηση, στη φωτιά, στους μικροοργανισμούς και στις κλιματικές αλλοιώσεις ή για δημιουργία ισχυρών και ανθεκτικών συγκολλητικών δεσμών κατά τη παραγωγή σύνθετων προϊόντων ξύλου.

Χημική τροποποίηση είναι δυνατόν να γίνει μόνο στην επιφάνεια ή σ' όλη την μάζα του ξύλου, να περιορισθεί στους κενούς χώρους ή να λάβει χώρα μόνο στα κυτταρικά τοιχώματα, ανάλογα με το είδος των χημικών αντιδραστηρίων που χρησιμοποιούνται και τον σκοπό για τον οποίο γίνεται η τροποποίηση (Φιλλίπου, 1986).

3.3.2.1. Kebony Wood Process (μέθοδος παραγωγής χημικά τροποποιημένου ξύλου)

Μια νέα τεχνολογία που αναπτύχθηκε από τον Καθηγητή Schneider σε συνεργασία με το Norwegian Agricultural University στη Νορβηγία, είναι αυτή του προϊόντος Kebony, το οποίο είναι χημικά τροποποιημένη ξυλεία που έχει προέλθει από “αντίδραση” του ξύλου με φουρφουρυλική αλκοόλη παρουσία θερμότητας, ώστε να επιτευχθεί ο απαραίτητος πολυμερισμός. Η ακίνδυνη αυτή αλκοόλη προέρχεται από αναγωγή της φουρφουράλης από υπολείμματα ζαχαροκάλαμου και καλαμποκιού. Το προϊόν φέρει το σήμα Swam που είναι οικολογικό σήμα ποιότητας το οποίο απονέμεται σε φιλικά προς το περιβάλλον προϊόντα στη Σκανδιναβία. Η τεχνολογία αποδίδει ξυλεία σκούρου καφέ χρώματος, με ανθεκτικότητα όπως

αυτή του τροπικού είδους Teak και αναμένεται να αντικαταστήσει τα τροπικά είδη και την εμποτισμένη ξυλεία σε πολλές χρήσεις.

Τα στάδια της παραγωγής του είναι τρία:

- το στάδιο του εμποτισμού,
- το στάδιο της τροποποίησης - πολυμερισμού.
- το στάδιο της ξήρανσης

Χρησιμοποιούνται σήμερα κυρίως τα είδη πεύκης, σημύδας και οξιάς. Η μέθοδος αυτή δεν έχει εξαπλωθεί στην υπόλοιπη Ευρώπη και σήμερα λειτουργούν δύο εργοστάσια στη Νορβηγία, που παράγουν σε ετήσια βάση περίπου 40.000 κ.μ. Ποιοτικοί έλεγχοι, που έχουν γίνει, έχουν κατατάξει την ξυλεία Kebony στην κλάση I: πολύ ανθεκτική, στην οποία υπάγονται τα τροπικά είδη Teak, Iroko, Merbau και Afzelia. Το νέο προϊόν αναφέρεται ότι είναι ιδανικό για κατασκευές εξωτερικού χώρου. Οι χρήσεις του είναι κυρίως σε πατώματα εξωτερικού χώρου, επενδύσεις τοίχων, εφαρμογές στην ξυλοναυπηγική και γενικότερα σε εξωτερικές ξύλινες κατασκευές (Μαντάνης, Παπαδόπουλος 2009).



Εικόνα 26. Χρήσεις χημικά τροποποιημένης ξυλείας Kebony
(<http://www.ribaproductselector.com/kebony-asa/27470/overview.aspx>)
(<http://boatsheddartmouth.blogspot.gr/2011/02/real-wood-alternative-to-teak.html>).

4. Σκοπός

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας ήταν να εξετάσει την επίδραση της χρήσης τεσσάρων νέων τεχνολογιών σκευασμάτων νανοτεχνολογίας για την μείωση ή την εξάλειψη των χρωματικών αλλαγών φυσικού και τροποποιημένου ξύλου στις δύσκολες ελληνικές κλιματικές συνθήκες. Τα είδη ξύλου που χρησιμοποιήθηκαν για την πειραματική μελέτη ήταν πεύκη, ελάτη, θερμικά τροποποιημένη ξυλεία (ThermoWood, PlatoWood) και χημικά (KebonyWood).

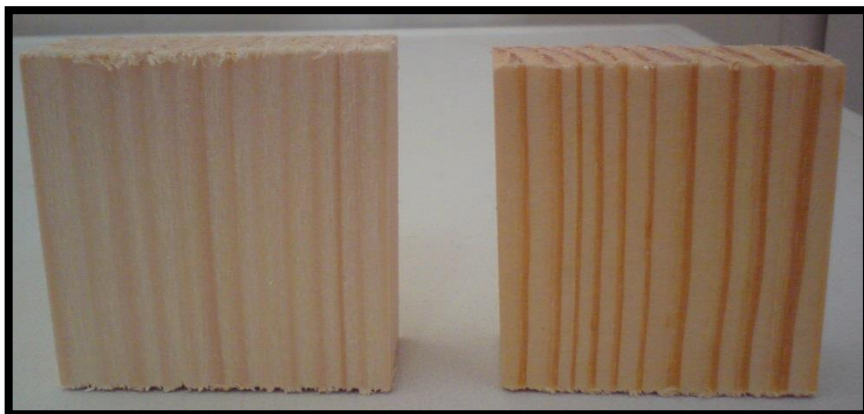
5. Υλικά και μέθοδοι

Η πειραματική μελέτη έλαβε χώρα στο *Εργαστήριο Τεχνολογίας Ξύλου* του Τ.Ε.Ι. Θεσσαλίας –Παράρτημα Καρδίτσας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου. Η έκθεση των δοκιμών έλαβε χώρα στην ταράτσα του κτιρίου του τμήματος.

5.1. Υλικά

5.1.1. Ξύλο

Για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ξύλο Ελάτης (Abies), Πεύκης (Pine), χημικά τροποποιημένο ξύλο Kebony καθώς και θερμικά τροποποιημένο ξύλο PlatoWood και ThermoWood απαλλαγμένο σφαλμάτων.



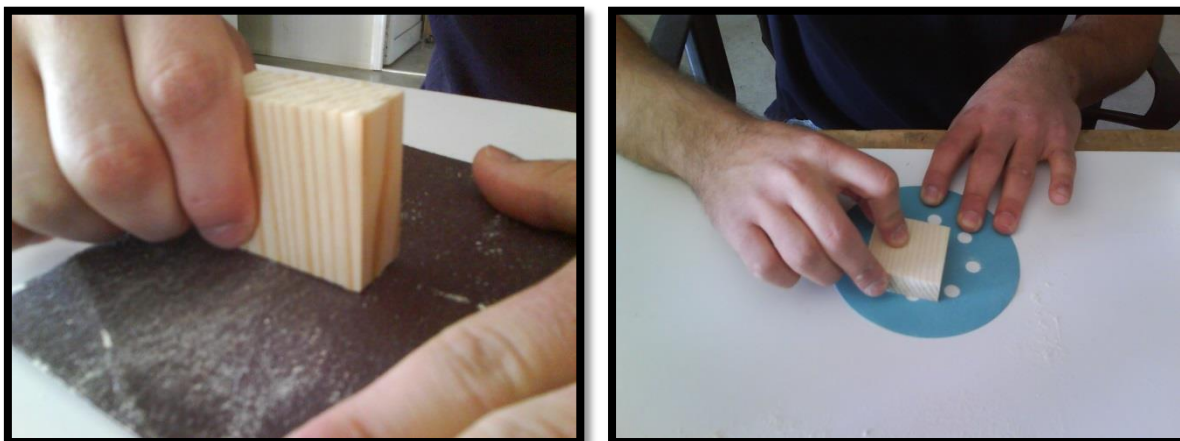
Εικόνα 27. Δοκίμιο ξύλου ελάτης (αριστερά) και πεύκης (δεξιά).



Εικόνα 28. Δοκίμιο ξύλου Kebony (αριστερά), ThermoWood (μέση) και PlatoWood (δεξιά).

5.1.2. Γυαλόχαρτα

Τα γυαλόχαρτα που χρησιμοποιήθηκαν για την λείανση των δειγμάτων έτσι ώστε η επιφάνεια των δειγμάτων να είναι ομοιογενείς και λεία ήταν Νο120 (κόκκους/cm² επιφάνειας) για τα σόκορα και Νο220 (κόκκους/cm² επιφάνειας) για την μπροστινή (χρωματικά μετρήσιμη) επιφάνεια των δοκιμίων.

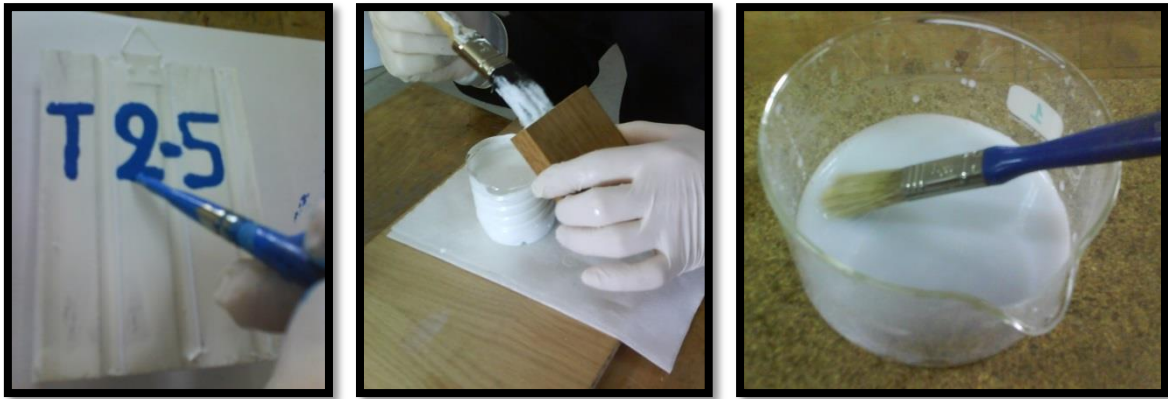


Εικόνα 29. Γυαλόχαρτα.

5.1.3. Πινέλα

Τα πινέλα που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες του πειράματος ήταν:

- Πινέλο ζωγραφικής για την αρίθμηση των δοκιμίων έτσι ώστε να γνωρίζουμε το είδος, τον χειρισμό που εφαρμόστηκε και τον αριθμό του δοκιμίου.
- Πινέλο μιας χρήσης μεγέθους 1 ½ της ίντσας για την εφαρμογή βερνικιού πολυουρεθάνης.
- Πινέλο μιας χρήσης μεγέθους 1 ίντσας για την εφαρμογή των χειρισμών με νανοσκευάσματα.



Εικόνα 30. Πινέλα που χρησιμοποιήθηκαν για το πείραμα.

5.1.4. Βερνίκι πολυουρεθάνης (αστάρι)

Χρησιμοποιήθηκε το βερνίκι πολυουρεθάνης TU0213/13 λευκού χρώματος της Sayerlack με καταλύτη TH1400 ως επικαλυπτικό για την προστασία των δοκιμών και κυρίως των σόκορων από την προσρόφηση υγρασίας και γενικά από την καιρικές συνθήκες πλην της εκτιθέμενης επιφάνειας.



Εικόνα 31. Αστάρι πολυουρεθάνης και καταλύτης (σκληρυντής).

5.1.5. Σκευάσματα νανοτεχνολογίας

Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις νέες διαφορετικές τεχνολογίες σκευασμάτων νανοτεχνολογίας προστασίας από τις χρωματικές αλλαγές της εταιρείας NanoPhos Α.Ε.. Τα σκευάσματα που γίνανε οι χειρισμοί στα δοκίμια ξύλου ήταν:

- Οξείδιο του τιτάνιου (TiO_2) (1^η τεχνολογία παρασκευής)

- Οξείδιο του τιτάνιου (TiO_2) (2^η τεχνολογία παρασκευής)
- Οξείδιο του ψευδαργύρου (ZnO)
- Μίγμα του οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO) με το οξείδιο του τιτάνιου (TiO_2) της 2^{ης} τεχνολογίας παρασκευής σε αναλογία 50%-50%.



Εικόνα 32. Σκευάσματα нанοτεχνολογίας.

5.1.6. Χημικά τροποποιημένο ξύλο AccoyaWood

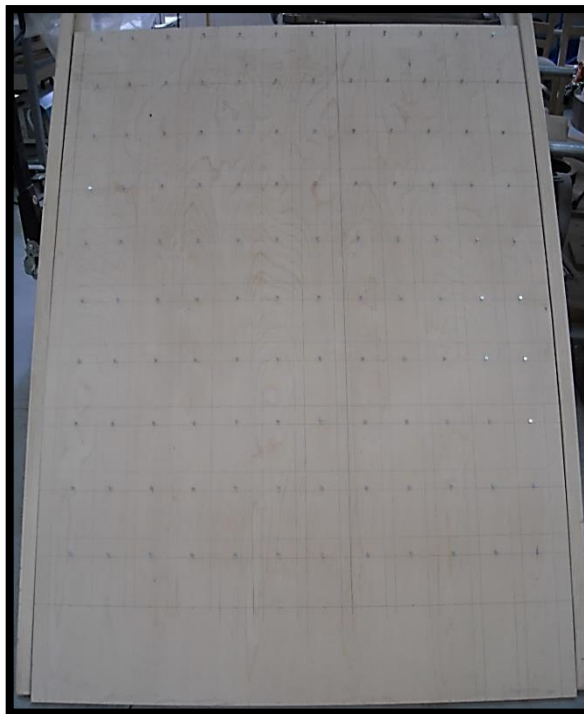
Για την ανάγκη έκθεσης των δοκιμών κατασκευάστηκε ο σκελετός της βάσης έκθεσης με χημικά (ακίνδυνα χημικά) τροποποιημένο ξύλο AccoyaWood (μεγάλη ανθεκτικότητα στις αλλοιώσεις από κλιματικούς παράγοντες).



Εικόνα 33. Βάση από χημικά τροποποιημένη ξυλεία AccoyaWood.

5.1.7. Αντικολλητό θαλάσσης (κόντρα πλακέ).

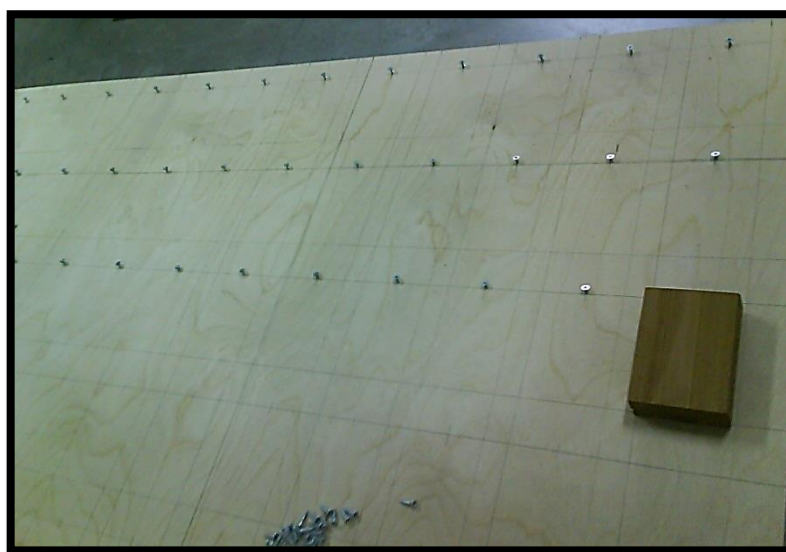
Για την έκθεση των δοκιμών χρησιμοποιήθηκε κόντρα πλακέ θαλάσσης έτσι ώστε να κρεμαστούν τα δοκίμια προς έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.



Εικόνα 34. Αντικολλητό θαλάσσης (κόντρα πλακέ).

5.1.8. Ανοξείδωτες ξυλόβιδες

Για να κρεμαστούν τα δοκίμια προς έκθεση χρησιμοποιήθηκαν ανοξείδωτες ξυλόβιδες κατάλληλου μεγέθους.



Εικόνα 35. Ανοξείδωτες ξυλόβιδες.

5.1.9. Τριγωνικά στηρίγματα

Χρησιμοποιήθηκαν τριγωνικά χρυσά στηρίγματα κορνιζών έτσι ώστε να μπορέσουμε να κρεμάσουμε τα δοκίμια προς έκθεση πάνω στη βάση έκθεσης.



Εικόνα 36. Τριγωνικά στηρίγματα.

5.1.10. Υδατοπωθητικό και προστατευτικό ξύλου νανοτεχνολογίας (Surfapore W)

Χρησιμοποιήθηκε το SurfaporeW της εταιρίας NanoPhos Α.Ε. που είναι ένα κατάλληλο αδιαβροχοποιητικό ξύλου χωρίς να αλλάζει τη φυσική εμφάνιση του το οποίο εφαρμόστηκε μόνο στα τροποποιημένα είδη του πειράματος.



Εικόνα 37. Υδατοπωθητικό και προστατευτικό ξύλου.

5.2. Εξοπλισμός και όργανα μετρήσεως

Για την δημιουργία των δοκιμίων της παρούσας πτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω εργαστηριακός εξοπλισμός του τμήματος: ταινιοπρίονο (πριονοκορδέλα), δισκοπρίονο (τύπου radial), ταινιολειαντήρα (γυαλοχαρτιέρα).



Εικόνα 38. Πριονοκορδέλα τύπου ACM BS STAR 800.



Εικόνα 39. Δισκοπρίονο τύπου DEWALT DE7023.



Εικόνα 40. Ταινιολειαντήρας - γυαλοχαρτιέρα τύπου F9.

Επίσης για την διεξαγωγή και τις ανάγκες του πειράματος χρησιμοποιήθηκαν όργανα όπως: θάλαμος κλιματισμού, ηλεκτρονικό παχύμετρο, ζυγός ακριβείας, χρωματόμετρο, χρονόμετρο, τρυπάνι χειρός, γυάλινα σκεύη, ογκομετρικό ποτήρι, ματσόλα, μεταλλικό εργαλείο δημιουργίας κυκλικού ίχνους.



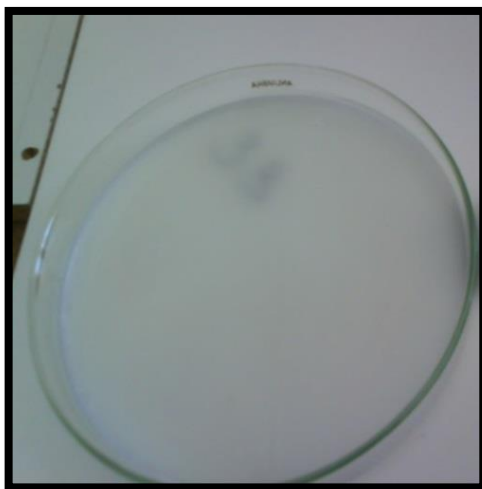
Εικόνα 41. Θάλαμος κλιματισμού τύπου Votsch VC0100.



Εικόνα 42. Ηλεκτρονικό παχύμετρο ακριβείας τύπου Mitutoyo 500-181U (αριστερά) και ζυγός ακριβείας Kern EG 220-3NM (δεξιά).



Εικόνα 43. Χρονόμετρο αντίστροφης μέτρησης (αριστερά) και χρωματόμετρο τύπου BYK-Gardner (δεξιά).



Εικόνα 44. Γυάλινο πιάτο (αριστερά) και ποτήρι ζέσεως (δεξιά).



Εικόνα 45. Ογκομετρικό πλαστικό ποτήρι ζέσεως (αριστερά) και επαναφορτιζόμενο τρυπάνι χειρός (δεξιά).

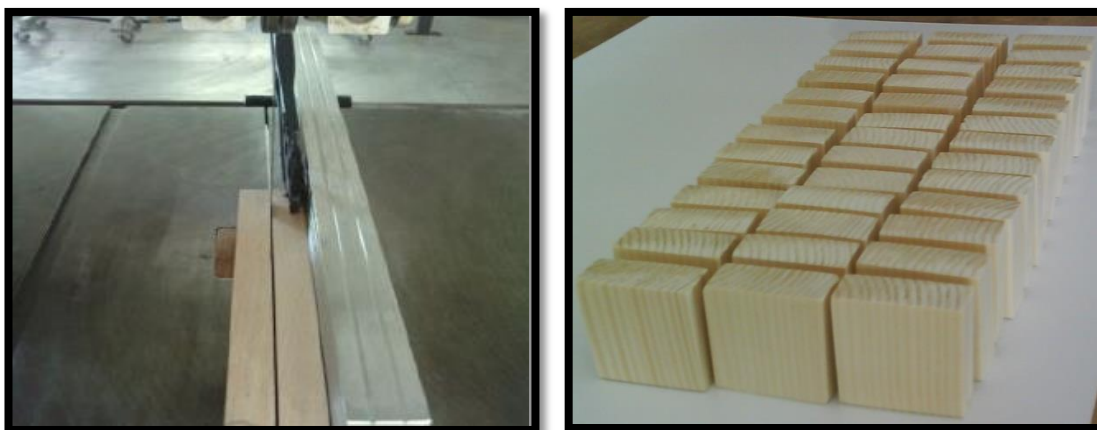


Εικόνα 46. Ματσόλα (αριστερά) και μεταλλικό εργαλείο δημιουργίας κυκλικού ίχνους (δεξιά).

5.3. Μέθοδοι

5.3.1. Διαδικασία παραγωγής δοκιμίων

Για την πραγματοποίηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας διαμορφώθηκαν 60 δοκίμια ξύλου πεύκου διαστάσεων 50mm x 50mm x 20mm (μήκος – πλάτος – πάχος), 60 δοκίμια ξύλου ελάτης διαστάσεων 50mm x 50mm x 20mm, 25 δοκίμια θερμικά τροποποιημένου ξύλου PlatoWood διαστάσεων 100mm x 70mm x 20mm, 25 δοκίμια θερμικά τροποποιημένου ξύλου ThermoWood διαστάσεων 100mm x 70mm x 20mm και 25 δοκίμια χημικά τροποποιημένου ξύλου KebonyWood διαστάσεων 100mm x 70mm x 20mm απαλλαγμένα σφαλμάτων. Για την παράγωγή των παραπάνω δοκιμίων πεύκου και έλατου χρησιμοποιήθηκε η πριονοκορδέλα για το ξεφάρδισμα, το ξεμάκρυσμα και το ξεχόνδρισμα έτσι ώστε να δώσουμε τις τελικές απαιτούμενες διαστάσεις στα δοκίμια για την εξέλιξη του πειράματος.



Εικόνα 47. Χρήση πριονοκορδέλας για παραγωγή δοκιμίων πεύκου και έλατου.

Για την παραγωγή των δοκιμίων τροποποιημένης ξυλείας χρησιμοποιήθηκε η πριονοκορδέλα για την παραγωγή του πλάτους και το δισκοπρίονο (τύπου radial) για την διαμόρφωση του μήκους των δοκιμίων.



Εικόνα 48. Διαμόρφωση τροποποιημένης ξυλείας κατά πλάτος στην πριονοκορδέλα.



Εικόνα 49. Διαμόρφωση τροποποιημένης ξυλείας στο δισκοπρίονο για τελικό μήκος δοκιμίων.

Στη συνέχεια τα δοκίμια πεύκου και έλατου λειάνθηκαν με γυαλόχαρτα Νο120 (κόκκους/cm² επιφάνειας) για τα σόκορα και Νο220 (κόκκους/cm² επιφάνειας) για την μπροστινή (χρωματικά μετρήσιμη) επιφάνεια των δοκιμίων όπου η λείανση έγινε παράλληλα στις ίνες και όχι κάθετα για να αποφύγουμε την ανασήκωση των ινών του ξύλου.



Εικόνα 50. Λείανση δοκιμίων πεύκου και έλατου.

Η τροποποιημένη ξυλεία μετά την κοπή της λειάνθηκε στην γυαλοχαρτιέρα σαν πρώτο στάδιο λείανσης, με γυαλόχαρτο Νο120 (κόκκους/cm² επιφάνειας) και στην συνέχεια εφαρμόστηκε και δεύτερο στάδιο λείανσης με πιο ψιλό γυαλόχαρτο μεγέθους Νο220 (κόκκους/cm² επιφάνειας) για καλύτερα αποτελέσματα λείανσης.



Εικόνα 51. Λείανση τροποποιημένου ξύλου στην γυαλοχαρτιέρα.

Έπειτα όλα τα δοκίμια του πειράματος λειάνθηκαν και καθαρίστηκαν προσεκτικά για να απομακρυνθεί η περιττή ύλη (ξυλόσκονη) από τις επιφάνειες των δοκιμίων.

5.3.2. Κλιματισμός των δοκιμίων

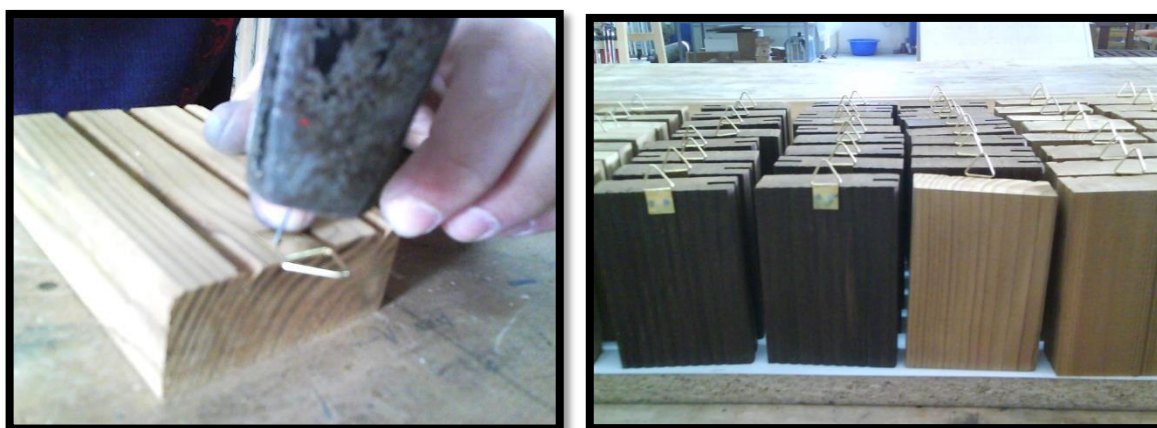
Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε θάλαμο κλιματισμού σε θερμοκρασία $20 \pm 1^\circ\text{C}$ και σχετική υγρασία αέρα $65 \pm 3\%$ έτσι ώστε να επιτευχθεί ισορροπία της υγρασίας τους για έκθεση σε εξωτερικές συνθήκες (12-15%) με σκοπό την αποφυγή ραγιδώσεων και στρεβλώσεων αυτών, οι οποίες θα ήταν δυσμενείς για την έκβαση του πειράματος. 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 52. Κλιματισμός δοκιμίων ξύλου σε κατάλληλες συνθήκες.

5.3.3. Τοποθέτηση στηριγμάτων

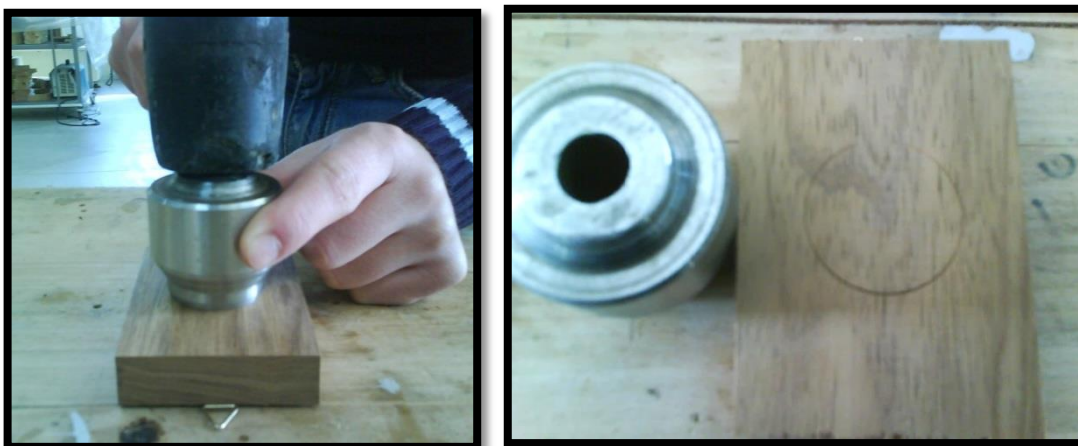
Για την έκθεση των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν στηρίγματα κορνιζάς για να τα κρεμάσουμε πάνω στην βάση έκθεσης. Τα στηρίγματα τοποθετηθήκαν πριν την εφαρμογή του βερνικιού πολυουρεθάνης στην πίσω επιφάνεια των δοκιμίων με καρφάκια μικρού μήκους και διατομής.



Εικόνα 53. Τοποθέτηση στηριγμάτων.

5.3.4. Τοποθέτηση ίχνους σε δοκίμια

Στη συνέχεια με το μεταλλικό εργαλείο δημιουργίας κυκλικού ίχνους δημιουργήθηκε η κυκλική περιοχή στο κέντρο των δοκιμίων με σκοπό οι μετρήσεις χρώματος που θα γίνονται στα δοκίμια να είναι από την ίδια περιοχή του δοκιμίου.



Εικόνα 54. Τοποθέτηση ίχνους σε δοκίμια.

5.3.5. Εφαρμογή βερνικιού πολυουρεθάνης λευκού χρώματος (αστάρι) στα δοκίμια

Σε αυτό το στάδιο του πειράματος εφαρμόστηκε στα δοκίμια του ξύλου το βερνίκι πολυουρεθάνης ως επικαλυπτικό για την προστασία τους από τις καιρικές συνθήκες πλην της εκτιθέμενης επιφάνειας. Αρχικά έγινε καλή ανακίνηση των δοχείων που υπήρχε το βερνίκι πολυουρεθάνης και του καταλύτη (σκληρυντή) και στη συνέχεια έγινε η μίξη αυτών με αναλογίες 2 μέρη βερνικιού πολυουρεθάνης και 1 μέρος σκληρυντή σε ποσότητα κατάλληλη (25ml-12,5ml) έτσι ώστε να μην γίνει η σκλήρυνση του υλικού πριν την εφαρμογή αυτής της ποσότητας στα δοκίμια. Πριν την εφαρμογή του επικαλυπτικού και ενώ έχει γίνει η ανάμιξη χτυπήθηκε το δοχείο που υπήρχε το μίγμα πάνω σε σκληρή επιφάνεια για να διαλυθούν (σκάσουν) τυχόν φυσαλίδες που είχαν δημιουργηθεί κατά την ανάμιξη που θα ήταν μειονέκτημα στην προστασία των επικαλυμμένων επιφανειών (προσρόφηση υγρασίας από τις φυσαλίδες).



Εικόνα 55. Εφαρμογή του βερνικιού πολυουρεθάνης στα δοκίμια.

Στην συνέχεια τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στις συνθήκες περιβάλλοντος του εργαστηρίου για όσο χρόνο χρειαζόταν για να στεγνώσει το βερνίκι πολυουρεθάνης καλά και στην συνέχεια ξανατοποθετήθηκαν στο θάλαμο κλιματισμού.

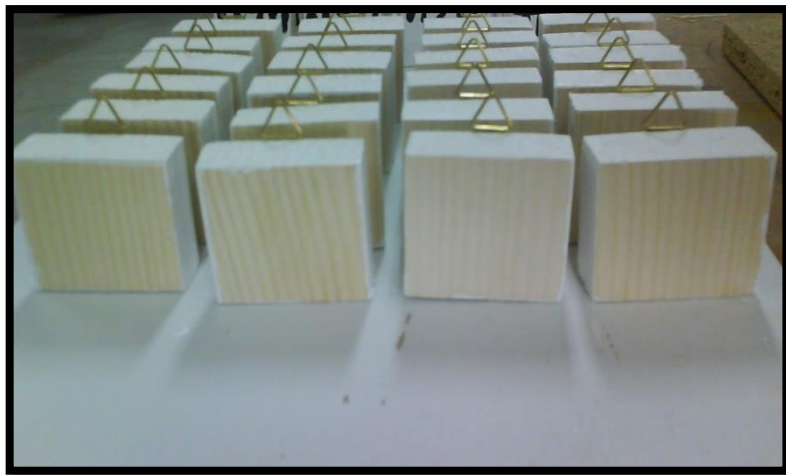


Εικόνα 56. Στέγνωμα των δοκιμίων.

5.3.6. Διαχωρισμός-Αρίθμηση δοκιμίων

Έπειτα από το στέγνωμα του βερνικιού πολυουρεθάνης έγινε ο διαχωρισμός των δοκιμίων. Τα δοκίμια **πεύκου** και **έλατου** διαχωρίστηκαν με τον εξής τρόπο:

- 12 δοκίμια από το κάθε είδος τα αφήσαμε χωρίς κανένα χειρισμό ως σημεία αναφοράς του πειράματος control ή αλλιώς μάρτυρες.
- 6 δοκίμια για κάθε ένα από τα τέσσερα σκευάσματα νανοτεχνολογίας για την μέθοδο της επάλειψης με πινέλο.
- 6 δοκίμια για κάθε ένα από τα τέσσερα σκευάσματα νανοτεχνολογίας για την μέθοδο την εμβάπτισης.



Εικόνα 57. Διαχωρισμός δοκιμίων πεύκου και έλατου.

Τα δοκίμια τροποποιημένης ξυλείας (**ThermoWood-PlatoWood-KebonyWood**) με τον εξής τρόπο:

- 5 δοκίμια από το κάθε είδος τα αφήσαμε χωρίς κανένα χειρισμό ως σημεία αναφοράς του πειράματος control ή αλλιώς μάρτυρες.
- 5 δοκίμια για κάθε ένα από τα τέσσερα σκευάσματα νανοτεχνολογίας για την μέθοδο την εμφάνισης.



Εικόνα 58. Διαχωρισμός δοκιμίων τροποποιημένης ξυλείας.

Στη συνέχεια έγινε η αρίθμηση στην πίσω επιφάνεια των δοκιμίων. Η αρίθμηση έγινε με πινέλο ζωγραφικής και λαδομπογιά με τρόπο ώστε να προσδιορίζεται επακριβώς το δοκίμιο με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Είδος ξύλου
- Είδος νανοσκευάσματος
- Μέθοδος χειρισμού
- Αριθμός δοκιμίου



Εικόνα 59. Αρίθμηση δοκιμίων.

5.3.7. Εφαρμογή υδατοπωθητικού και προστατευτικού ξύλου νανοτεχνολογίας (Surfapore W)

Στο επόμενο στάδιο του πειράματος εφαρμόστηκε το υδατοπωθητικό και προστατευτικό ξύλου μόνο στα είδη τροποποιημένης ξυλείας με την μέθοδο επάλειψης με πινέλο στην επιφάνεια προς έκθεση με σκοπό να αδιαβροχοποιήσουμε την επιφάνεια από την προσρόφιση ύδατος. Τα δοκίμια επαλειφθήκανε 2 φορές (2 χέρια) όπου εφαρμόστηκε το πρώτο χέρι και μετά από 1 ώρα έγινε η εφαρμογή και του δεύτερου χεριού. Έπειτα τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στο θάλαμο κλιματισμού για 48 ώρες πριν το χειρισμό με τα σκευάσματα νανοτεχνολογίας.



Εικόνα 60. Εφαρμογή υδατοπωθητικού.

5.3.8. Ζύγιση δοκιμίων

Στη συνέχεια του πειράματος, ακριβώς πριν γίνει ο χειρισμός με τα σκευάσματα νανοτεχνολογίας, έγινε η ζύγιση κάποιων δοκιμίων από κάθε είδος και καταγράφηκε η μάζα τους και έπειτα από το χειρισμό των δοκιμίων έγινε ξανά ζύγιση στα ίδια δοκίμια για να μπορούσαμε να δούμε πόσα ml ποσότητας νανοσκευάσματος εφαρμόστηκε ανά επιφάνεια. Δηλαδή για να διαπιστωθεί αν η ποσότητα σε ml που εφαρμόστηκε ανά επιφάνεια ήταν σχεδόν η ίδια.

5.3.9. Εφαρμογή των νανοσκευασμάτων στα δοκίμια

Σε αυτό το στάδιο του πειράματος έγινε η εφαρμογή των νανοσκευασμάτων στα δοκίμια με δυο μεθόδους:

- Μέθοδος επάλειψης με πινέλο
- Μέθοδος εμβάπτισης

Όλα τα δοκίμια πριν το χειρισμό με τα νανοσκευάσματα καθαρίστηκαν με πεπιεσμένο αέρα έτσι ώστε να επιτευχθούν καλύτερα αποτελέσματα εισχώρησης των νανοσκευασμάτων στα δοκίμια (ανοιχτοί πόροι, απουσία σκόνης).

5.3.9.1. Μέθοδος επάλειψης δοκιμίων με πινέλο

Ο χειρισμός των δοκιμίων με πινέλο treated έγινε σε 24 δοκίμια πεύκου και 24 δοκίμια ελατού. Αρχικά ανακινήθηκαν τα μπουκάλια που βρισκόταν το κάθε ένα από τα τέσσερα νανοσκευάσματα. Τοποθετήθηκε σε ποτήρι ζέσεως 40ml σκευάσματος. Έπειτα επαλείφθηκαν τα 6 δοκίμια πεύκου και τα 6 δοκίμια ελατού με πινέλο 1 ίντσας και αφεθήκανε για 5 λεπτά να το απορροφήσουν 1^ο χέρι επάλειψης και στη συνέχεια έγινε η επάλειψη του υπόλοιπου σκευάσματος από τα 40ml στα δοκίμια 2^ο χέρι επάλειψης. Με τον ίδιο τρόπο έγινε η επάλειψη και των υπόλοιπων νανοσκευασμάτων στα δοκίμια πεύκου και ελατού.



Εικόνα 61. Χειρισμός επάλειψης δοκιμίων με πινέλο.

5.3.9.2. Μέθοδος εμβάπτισης

Ο χειρισμός των δοκιμίων με εμβάπτιση treated έγινε σε 24 δοκίμια πεύκου, 24 δοκίμια ελατού, 20 δοκίμια θερμικά τροποποιημένου ξύλου ThermoWood, 20 δοκίμια θερμικά τροποποιημένου ξύλου PlatoWood και 20 δοκίμια χημικά τροποποιημένου ξύλου KebonyWood. Έγινε η οργάνωση του χώρου πειράματος με τα απαραίτητα υλικά και εργαλεία για την μέθοδο της εμβάπτισης.



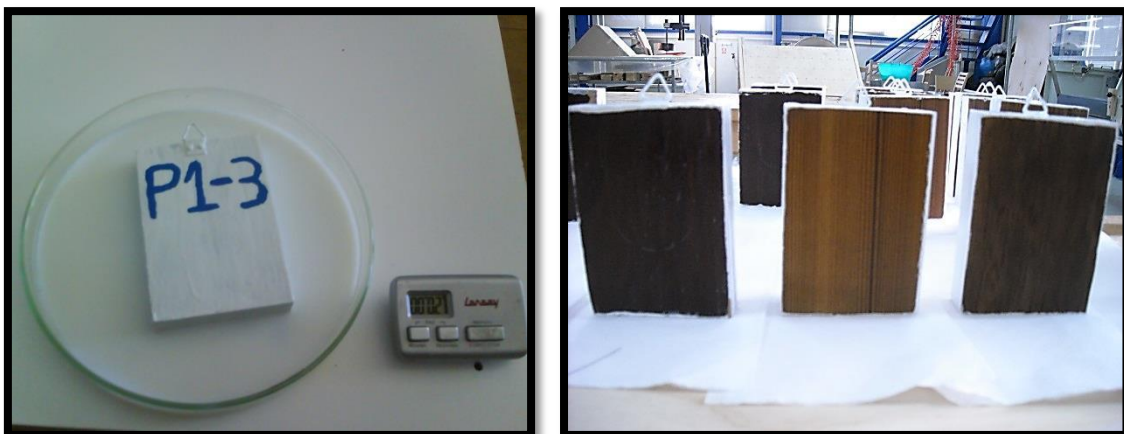
Εικόνα 62. Οργάνωση του χώρου διεξαγωγής του πειράματος.

Αρχικά αφού έγινε η ανακίνηση του μπουκαλιού τοποθετήθηκε μια ικανοποιητική ποσότητα του νανοσκευάσματος σε ποτήρι ζέσεως έτσι ώστε ολόκληρη η επιφάνεια προς έκθεση να βρίσκεται βυθισμένη στο νανοσκεύασμα κατά τη διάρκεια της εμβάπτισης. Έπειτα ρυθμίστηκε το χρονόμετρο αντίστροφης μέτρησης στα 10 δευτερόλεπτα που ήταν ο χρόνος που θα εμβάπτιζόταν τα δοκίμια στα νανοσκεύασμα.



Εικόνα 63. Νανοσκεύασμα σε ποτήρι ζέσεως και χρονόμετρο αντίστροφης μέτρησης.

Στη συνέχεια έγινε η εμβάπτιση όλων των δοκιμίων με το κατάλληλο νανοσκεύασμα για 10 δευτερόλεπτα και μετά απομακρύνθηκε η περίσσια ποσότητα του σκευάσματος με απορροφητικό χαρτί.



Εικόνα 64. Εμβάπτιση δοκιμίων και απομάκρυνση περίσσιας ποσότητας.

Στο επόμενο στάδιο του πειράματος όλα τα δοκίμια τοποθετήθηκαν στο θάλαμο κλιματισμού για 48 ώρες, σε θερμοκρασία $20 \pm 1^\circ\text{C}$ και σχετική υγρασία αέρα $65 \pm 3\%$ έτσι ώστε να επιτευχτεί ισορροπία της υγρασίας τους.



Εικόνα 65. Κλιματισμός δοκιμίων μετά από το χειρισμό με το νανοσκεύασμα.

5.3.10. Μέτρηση χρώματος

Έπειτα από τον κλιματισμό έγινε ο ακριβής προσδιορισμός του χρώματος όλων των δοκιμίων επεξεργασμένων (treated) και μη (control) με χρωματόμετρο τύπου BYK-Gardner με βάση το σύστημα CIELAB πριν την έκθεση αυτών και μετά το πέρας των χειρισμών με τα νανοσκευάσματα. Η μέτρηση πάρθηκε από κάθε δοκίμιο από την περιοχή που είχε γίνει το κυκλικό ίχνος πάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου. Όλες οι μετρήσεις καταγράφηκαν σε χρωματικά πρωτόκολλα με σκοπό την σύγκριση των μετρήσεων χρώματος μετά το τέλος του πειράματος. Οι συνολικές μεταβολές αποχρώσεων (ΔE^*) που οφείλονται σε κάποιο χειρισμό ή άλλο παράγοντα υπολογίζονται από τον μαθηματικό τύπο :

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



Εικόνα 66. Μέτρηση χρώματος δοκιμίων.

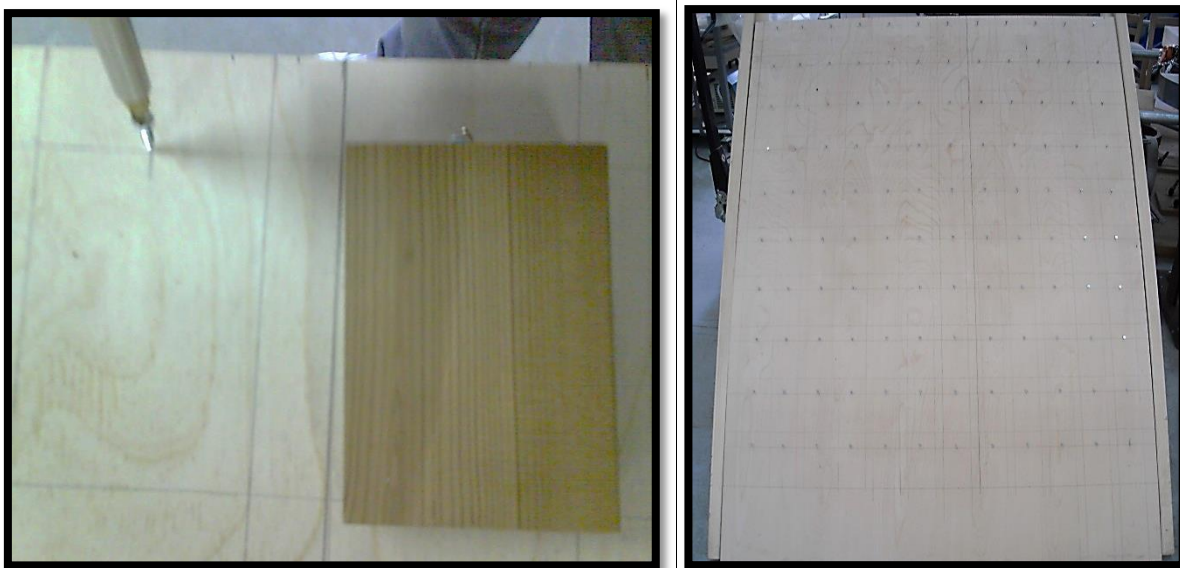
5.3.11. Συντήρηση και κατασκευή βάσεων έκθεσης δοκιμίων

Για την ανάγκη έκθεσης των δοκιμίων έγινε συντήρηση σε ήδη υπάρχουσα βάση έκθεσης. Η βάση επαλείφθηκε ολόκληρη μια φορά με το ίδιο βερνίκι πολυουρεθάνης που κάναμε επάλειψη τα δοκίμια για να μην προσροφήσει υγρασία.



Εικόνα 67. Συντήρηση υπάρχουσας βάσης έκθεσης δοκιμίων.

Έπειτα κατασκευάστηκε καινούργια βάση έκθεσης με σκελετό από χημικά τροποποιημένο ξύλο AccoyaWood και πλάκα στήριξης από αντικολλητό θαλάσσης. Το ξύλο βάσης Accoya διαμορφώθηκε στο δισκοπρίονο τύπου radial και η πλάκα στήριξης διαμορφώθηκε για τελικές διαστάσεις στην γωνιάστρα. Ακολούθησε το σημάδεμα της πλάκας στα κατάλληλα σημεία για την τοποθέτηση των ανοξείδωτων βιδών για να μπορούσαμε να κρεμάσουμε τα δοκίμια προς έκθεση. Τέλος βιδώθηκε η πλάκα πάνω στην βάση έκθεσης.



Εικόνα 68. Κατασκευή βάσης έκθεσης δοκιμίων.

5.3.12. Χωροθέτηση δοκιμίων στις βάσεις έκθεσης

Αρχικά οι δυο βάσεις έκθεσης τοποθετήθηκαν στην ταράτσα του νέου κτιρίου του τμήματος σχεδιασμού και τεχνολογίας ξύλου και επίπλου. Έπειτα στην ήδη υπάρχουσα βάση έγινε η χωροθέτηση των δοκιμίων πεύκου και έλατου. Στην καινούργια βάση έγινε η χωροθέτηση των τροποποιημένων ειδών ξύλου.



Εικόνα 69. Ταξινόμηση των δοκιμίων στις βάσεις έκθεσης στην ταράτσα του τμήματος.

5.3.13. Χρόνος διεξαγωγής πειράματος έκθεσης

Τα δοκίμια από πεύκο και έλατο εκτέθηκαν στην ηλιακή ακτινοβολία συνολικά για **10** μήνες και τα διαστήματα μέτρησης χρώματος αυτών ήταν μετά από **1-3-6-10** μήνα-ες έκθεσης ενώ τα δοκίμια τροποποιημένης ξυλείας εκτέθηκαν για **9** μήνες και τα διαστήματα μέτρησης του χρώματος ήταν μετά από **1-2-3-6-9** μήνα-ες έκθεσης.

Πίνακας 1. Ημερολογιακά οι μετρήσεις των δοκιμίων πεύκου και έλατου.

1^η μέτρηση	14/11/2011	Πριν την έκθεση
2^η μέτρηση	14/12/2011	1 μήνα μετά την έκθεση
3^η μέτρηση	14/2/2012	3 μήνες μετά την έκθεση
4^η μέτρηση	14/5/2012	6 μήνες μετά την έκθεση
5^η μέτρηση	14/9/2012	10 μήνες μετά την έκθεση

Πίνακας 2. Ημερολογιακά οι μετρήσεις των δοκιμίων ThermoWood, PlatoWood και KebonyWood.

1^η μέτρηση	15/12/2011	Πριν την έκθεση
2^η μέτρηση	15/1/2012	1 μήνα μετά την έκθεση
3^η μέτρηση	15/2/2012	2 μήνες μετά την έκθεση
4^η μέτρηση	15/3/2012	3 μήνες μετά την έκθεση
5^η μέτρηση	15/6/2012	6 μήνες μετά την έκθεση
6^η μέτρηση	15/9/2012	9 μήνες μετά την έκθεση

6. Πειραματικό μέρος

6.1. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων πεύκου

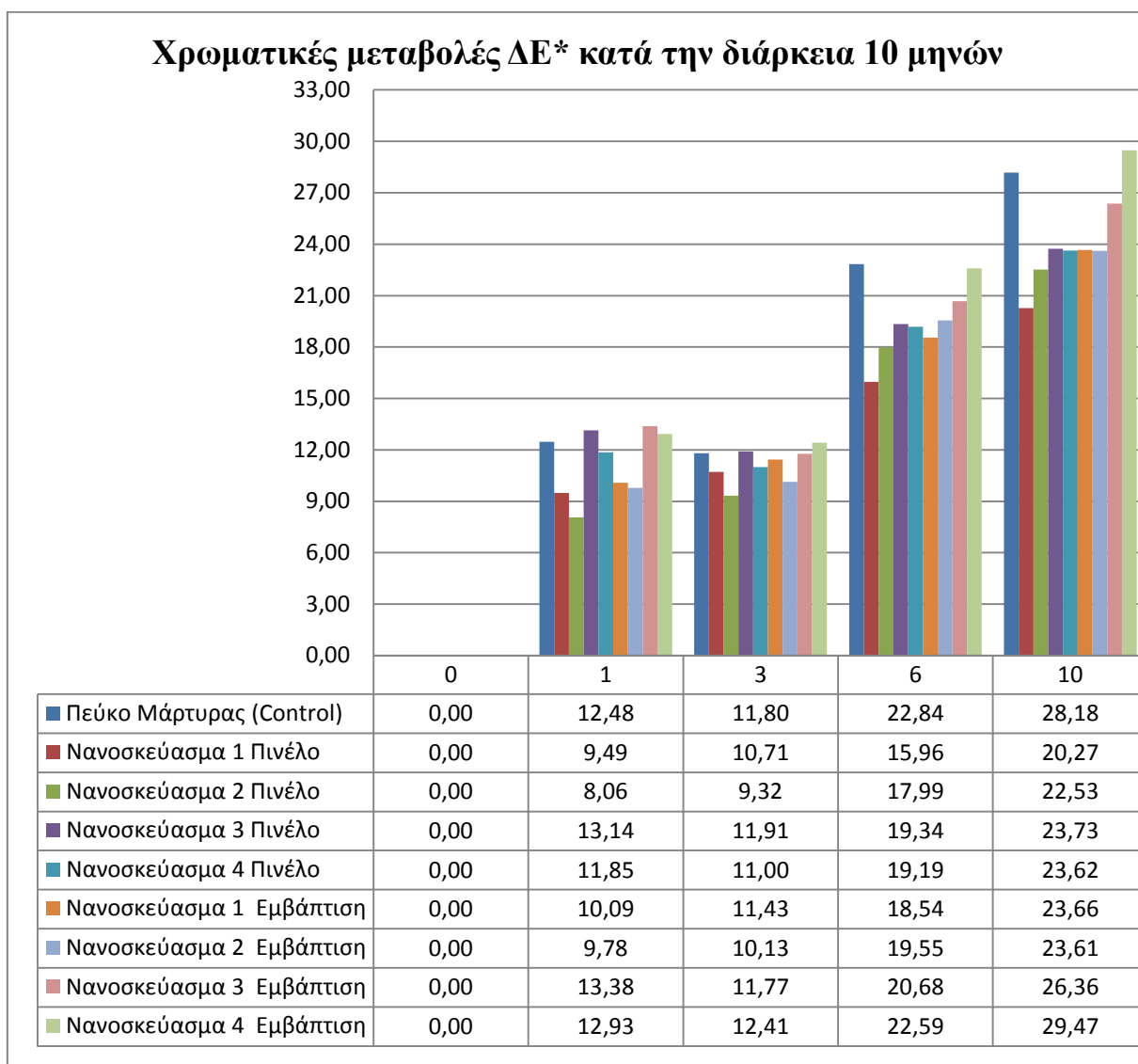
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνολικές μεταβολές του χρώματος των δοκιμίων πεύκου ΔΕ*. Οι μετρήσεις αυτές προσδιορίζουν τις μεταβολές του χρώματος των επεξεργασμένων δοκιμίων πεύκου (treated) και των μη επεξεργασμένων (control) σε σύγκριση με τις αρχικές μετρήσεις δηλαδή πριν την έκθεση αυτών στην ηλιακή ακτινοβολία υν σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

Πίνακας 3. Συγκεντρωτικός πίνακας χρωματικών μεταβολών ΔΕ* δοκιμίων πεύκου.

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Πεύκου ΔΕ* μετά από 1 μήνα έκθεσης									
A/A	control	Νανο 1 Π	Νανο 2 Π	Νανο 3 Π	Νανο 4 Π	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
AVERAGE	12,48	9,49	8,06	13,14	11,85	10,09	9,78	13,38	12,93
MAX	16,14	10,31	9,43	14,40	12,84	10,51	10,83	14,56	13,80
MIN	11,25	8,76	7,23	12,63	10,74	9,38	8,76	12,93	12,16
STDEV	1,23	0,50	0,73	0,58	0,68	0,36	0,79	0,59	0,65
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Πεύκου ΔΕ* μετά από 3 μήνες έκθεσης									
A/A	control	Νανο 1 Π	Νανο 2 Π	Νανο 3 Π	Νανο 4 Π	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
AVERAGE	11,80	10,71	9,32	11,91	11,00	11,43	10,13	11,77	12,41
MAX	13,84	11,78	10,58	13,05	11,88	12,74	11,06	12,65	13,42
MIN	10,62	9,95	7,99	10,90	9,06	10,56	9,08	10,39	11,56
STDEV	0,88	0,67	0,76	0,79	0,90	0,72	0,61	0,80	0,66
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Πεύκου ΔΕ* μετά από 6 μήνες έκθεσης									
A/A	control	Νανο 1 Π	Νανο 2 Π	Νανο 3 Π	Νανο 4 Π	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
AVERAGE	22,84	15,96	17,99	19,34	19,19	18,54	19,55	20,68	22,59
MAX	27,13	17,00	20,09	22,40	23,53	20,73	21,83	23,98	26,34
MIN	18,78	13,79	16,48	15,27	14,70	16,82	17,84	18,70	19,93
STDEV	2,42	1,11	1,24	2,24	2,66	1,40	1,62	1,67	2,22
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Πεύκου ΔΕ* μετά από 10 μήνες έκθεσης									
A/A	control	Νανο 1 Π	Νανο 2 Π	Νανο 3 Π	Νανο 4 Π	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
AVERAGE	28,18	20,27	22,53	23,73	23,62	23,66	23,61	26,36	29,47
MAX	30,81	23,86	24,65	27,05	29,66	27,68	25,72	32,61	32,64
MIN	23,98	16,14	20,41	18,86	17,91	20,91	21,00	23,18	27,57
STDEV	2,04	2,59	1,70	2,63	3,65	2,38	1,71	2,99	2,01

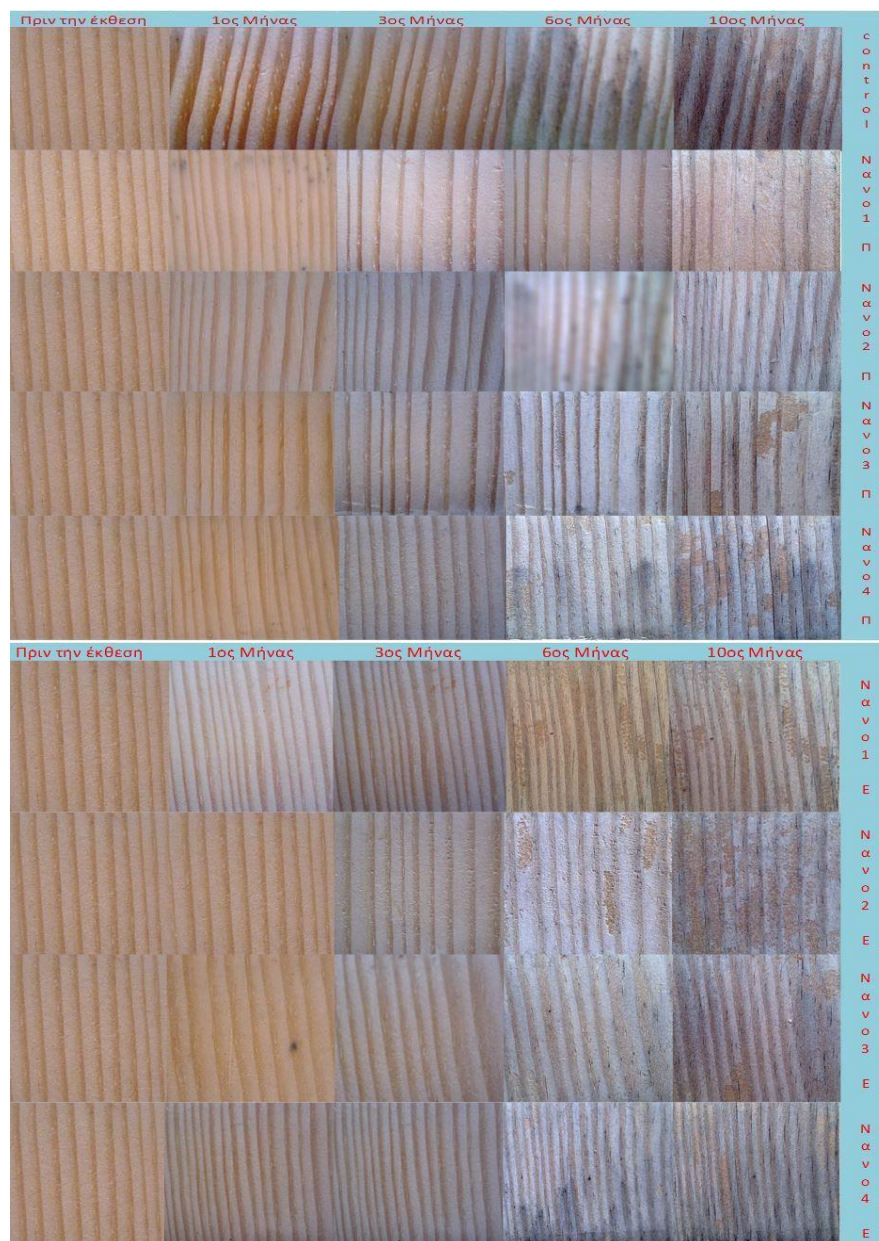
Στο **γράφημα 2** παρουσιάζονται οι χρωματικές διαφορές που υπάρχουν στα δοκίμια πεύκου επεξεργασμένα (treated) και μη επεξεργασμένα (control) για χρονικές περιόδους (1-3-6-10) μηνών από τις αρχικές τους καταστάσεις (πριν την έκθεση). Για τον 1^ο μήνα φαίνεται ότι τα δοκίμια που δέχτηκαν χειρισμό με τα νανοσκευάσματα 1 και 2 δείχνουν μικρότερη χρωματική μεταβολή, της κλίμακας των τριών τεσσάρων μονάδων σε σχέση με τα άλλα 2 νανοσκευάσματα και των μη επεξεργασμένων δοκιμίων.

Γράφημα 2. Ποσοστά χρωματικών μεταβολών δοκιμίων πεύκου.



Επίσης τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στα δοκίμια που οι χειρισμοί έγιναν με επάλειψη (πινέλο) έχουν μικρότερη μεταβολή χρώματος σε σχέση με τη μέθοδο χειρισμού δοκιμίων με εμβάπτιση. Για τον 3^ο μήνα έκθεσης οι συνολικές μεταβολές χρώματος δεν δείχνουν κάποια αξιόλογη βελτίωση στην προστασία από την αλλαγή του χρώματος όλων των δοκιμίων. Τώρα για τον 6^ο μήνα έκθεσης των δοκιμίων αρχίζει να φαίνεται στα αποτελέσματα ότι το νανοσκεύασμα 1 (οξείδιο του τιτανίου 1^{ης} τεχνολογίας παρασκευής) προστατεύει καλύτερα τα δοκίμια του πεύκου και με τους δυο χειρισμούς αλλά σε μεγαλύτερο βαθμό με την επάλειψη. Για το 10^ο μήνα έκθεσης παρατηρούμε ότι όλα τα νανοσκευάσματα και όλοι οι χειρισμοί πλην των δοκιμίων που δεχτήκαν χειρισμό με το νανοσκεύασμα 4, με την μέθοδο της εμβάπτισης, δείχνουν μια προστασία σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δοκίμια (control) της τάξεως των 2 μέχρι 8 μονάδων συνολικής μεταβολής του χρώματος ΔΕ*. Από την έκθεση

των δοκιμίων πεύκου παρατηρήσαμε ότι το νανοσκεύασμα του οξειδίου του τιτανίου (TiO_2) ($1^{\text{η}}$ τεχνολογία παρασκευής) μας έδωσε την καλύτερη προστασία από την υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία υν.



Εικόνα 70. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων πεύκου μετά από 10 μήνες έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.

6.2. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων έλατου

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνολικές μεταβολές του χρώματος των δοκιμίων έλατου ΔE^* . Οι μετρήσεις αυτές προσδιορίζουν τις μεταβολές του χρώματος των επεξεργασμένων δοκιμίων έλατου (treated) και των μη επεξεργασμένων (control) σε

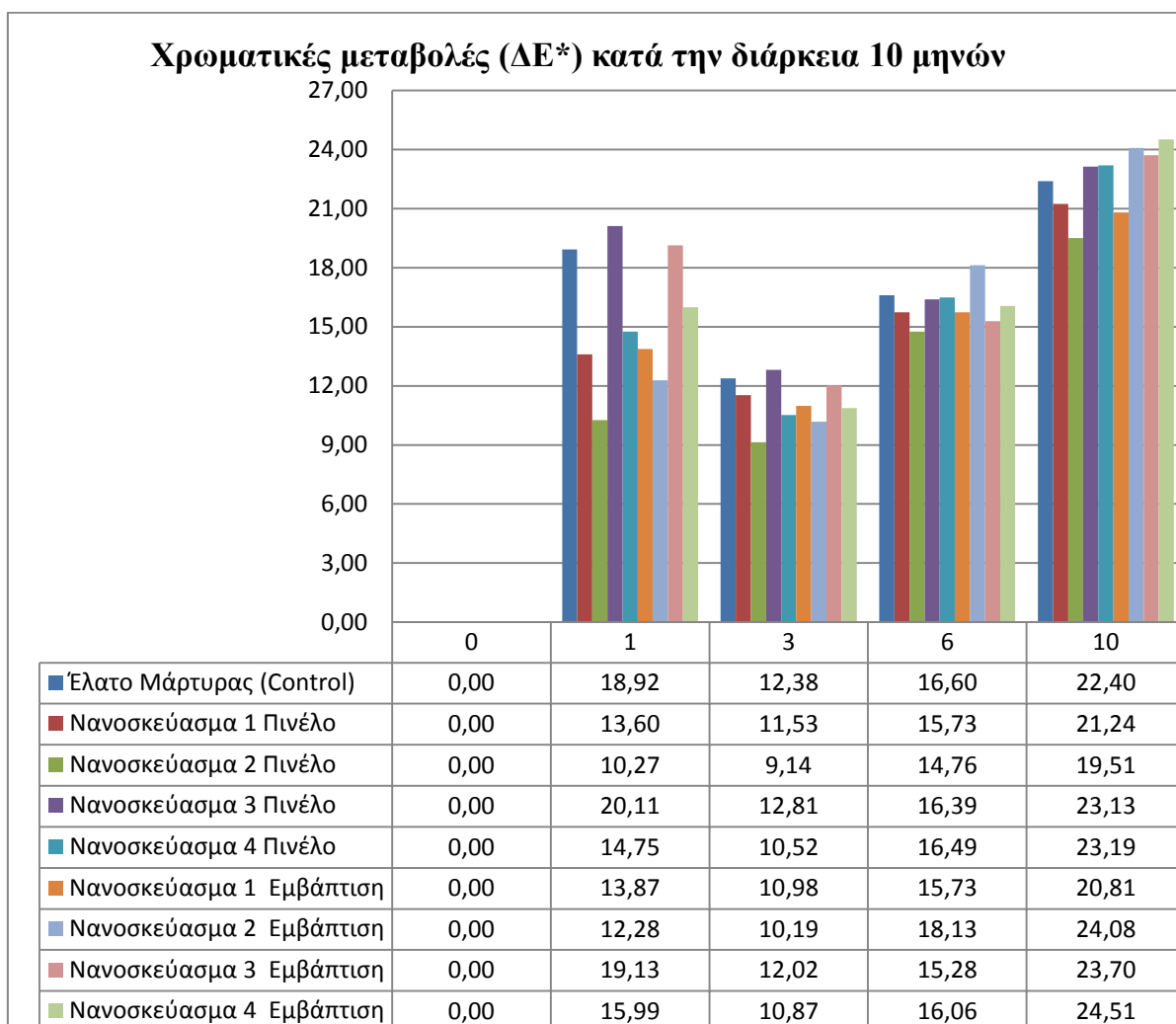
σύγκριση με τις αρχικές μετρήσεις δηλαδή πριν την έκθεση αυτών στην ηλιακή ακτινοβολία υν σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

Πίνακας 4. Συγκεντρωτικός πίνακας χρωματικών μεταβολών ΔΕ* δοκιμίων έλατου.

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Έλατου ΔΕ* μετά από 1 μήνα έκθεσης									
A/A	control	Nano 1 Π	Nano 2 Π	Nano 3 Π	Nano 4 Π	Nano 1 Ε	Nano 2 Ε	Nano 3 Ε	Nano 4 Ε
AVERAGE	18,92	13,60	10,27	20,11	14,75	13,87	12,28	19,13	15,99
MAX	20,42	14,03	11,11	21,71	16,07	15,46	13,50	20,90	16,59
MIN	15,62	13,24	9,36	18,31	13,58	11,93	11,28	17,43	15,15
STDEV	1,35	0,25	0,55	1,23	0,93	1,04	0,85	1,12	0,46
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Έλατου ΔΕ* μετά από 3 μήνες έκθεσης									
A/A	control	Nano 1 Π	Nano 2 Π	Nano 3 Π	Nano 4 Π	Nano 1 Ε	Nano 2 Ε	Nano 3 Ε	Nano 4 Ε
AVERAGE	12,38	11,53	9,14	12,81	10,52	10,98	10,19	12,02	10,87
MAX	13,78	12,63	9,81	13,89	12,98	11,48	10,90	13,53	11,67
MIN	10,82	10,38	8,77	11,73	9,18	9,48	9,17	9,72	10,33
STDEV	0,84	0,80	0,33	0,68	1,37	0,70	0,61	1,20	0,40
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Έλατου ΔΕ* μετά από 6 μήνες έκθεσης									
A/A	control	Nano 1 Π	Nano 2 Π	Nano 3 Π	Nano 4 Π	Nano 1 Ε	Nano 2 Ε	Nano 3 Ε	Nano 4 Ε
AVERAGE	16,60	15,73	14,76	16,39	16,49	15,73	18,13	15,28	16,06
MAX	19,64	17,65	15,78	18,36	20,16	16,48	19,61	18,24	18,25
MIN	13,95	13,52	14,18	14,48	14,62	14,51	15,49	12,76	14,21
STDEV	1,78	1,69	0,52	1,28	1,95	0,62	1,41	1,65	1,37
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Έλατου ΔΕ* μετά από 10 μήνες έκθεσης									
A/A	control	Nano 1 Π	Nano 2 Π	Nano 3 Π	Nano 4 Π	Nano 1 Ε	Nano 2 Ε	Nano 3 Ε	Nano 4 Ε
AVERAGE	22,40	21,24	19,51	23,13	23,19	20,81	24,08	23,70	24,51
MAX	28,10	23,43	20,17	25,74	27,57	22,30	24,92	26,75	27,94
MIN	16,85	18,45	17,62	21,56	20,74	17,01	23,41	19,76	21,47
STDEV	3,27	1,68	0,90	1,44	2,35	1,75	0,64	2,56	2,05

Στο **γράφημα 3** παρουσιάζονται οι χρωματικές διαφορές που υπάρχουν στα δοκίμια έλατου επεξεργασμένα (treated) και μη επεξεργασμένα (control) για χρονικές περιόδους (1-3-6-10) μηνών από τις αρχικές τους καταστάσεις (πριν την έκθεση). Για τον 1^ο μήνα φαίνεται ότι τα δοκίμια που δέχτηκαν χειρισμό με τα νανοσκευάσματα 1, 2 και 4 δείχνουν μικρότερη χρωματική μεταβολή, της κλίμακας των τεσσάρων έως οχτώ μονάδων σε σχέση με το 3^ο νανοσκεύασμα και των μη επεξεργασμένων δοκιμίων. Ακόμη φαίνεται ότι τα δοκίμια που δηχθήκανε το χειρισμό με το 3^ο νανοσκεύασμα και με τις δυο μεθόδους έχει μεγαλύτερο ποσοστό μεταχρωματισμού από ότι τα μη επεξεργασμένα δοκίμια (control). Επίσης τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στα δοκίμια που οι χειρισμοί έγιναν με επάλειψη (πινέλο) έχουν μικρότερη μεταβολή χρώματος σε σχέση με τη μέθοδο χειρισμού δοκιμίων με εμβάπτιση. Για τον 3^ο μήνα έκθεσης οι συνολικές μεταβολές χρώματος από την αρχική κατάσταση δείχνουν μικρότερο ποσοστό μεταχρωματισμού από ότι δείχνανε τα δοκίμια στον 1^ο μήνα έκθεσης και παρατηρείται ότι το νανοσκεύασμα 2 δίνει καλύτερη προστασία από τα υπόλοιπα 3.

Γράφημα 3. Ποσοστά χρωματικών μεταβολών δοκιμίων έλατου.



Τώρα, για τον 6^ο μήνα έκθεσης τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η προστασία από το μεταχρωματισμό των δοκιμίων είναι πάρα πολύ μικρή σχεδόν ασήμαντη ενώ παρατηρείται ότι τα δοκίμια που δεχτήκανε χειρισμό με το 2^ο νανοσκεύασμα με την μέθοδο της εμβάπτισης δείχνουν μεγαλύτερο μεταχρωματισμό από τα μη επεξεργασμένα δοκίμια. Επίσης παρατηρείται ότι στον 6^ο μήνα για κάποιο λόγο τα δοκίμια αυτά χάνουν εντελώς την προστασία τους άρα το συμπέρασμα είναι ότι ή κατά τη διαδικασία του πειραματικού μέρους κάποιος παράγοντας έπαιξε ρόλο έτσι ώστε να έχουμε αποτυχία στην προστασία των δοκιμίων ή κάποιος άλλος παράγοντας κατά την έκθεση αυτών. Για παράδειγμα, μπορεί κάποια από τα δοκίμια να μην επαλειφθήκαν καλά με το βερνίκι πολυουρεθάνης, να προσροφήσανε υγρασία από τα σόκορα και αυτό να έπαιξε σημαντικό ρόλο για την κατάρρευση της προστασίας. Για το 10^ο μήνα έκθεσης εξετάζουμε την προστασία των δοκιμίων με το νανοσκεύασμα 1 και με τις δυο μεθόδους χειρισμού (επάλειψη, εμβάπτιση). Παρατηρούμε ότι δείξαν μια μικρή προστασία τις τάξεως των δυο μονάδων. Επίσης τα

δοκίμια που επαλειφθήκαν με το νανοσκεύασμα 2 δείξαν μια προστασία τριών μονάδων συνολικής μεταβολής του χρώματος ΔE^* . Για τους υπόλοιπους χειρισμούς των δοκιμίων με τα νανοσκευάσματα δεν παρατηρήθηκε καμία προστασία για το 10^ο μήνα από τις αρχικές μετρήσεις χρώματος αυτών. Από την έκθεση των επεξεργασμένων με νανοσκευάσματα και μη επεξεργασμένων δοκιμίων έλατου μετά από 10 μήνες έκθεση μπορούμε να συμπεράνουμε από τις μετρήσεις ότι δεν υπάρχει κάποια αξιόλογη προστασία στα δοκίμια που δέχτηκαν τα σκευάσματα νανοτεχνολογίας.



Εικόνα 71. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων έλατου μετά από 10 μήνες έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.

6.3. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων ThermoWood

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνολικές μεταβολές του χρώματος των δοκιμίων θερμικά τροποποιημένου ξύλου thermowood ΔΕ*. Οι μετρήσεις αυτές προσδιορίζουν τις μεταβολές του χρώματος των επεξεργασμένων δοκιμίων thermowood (treated) και των μη επεξεργασμένων (control) σε σύγκριση με τις αρχικές μετρήσεις δηλαδή πριν την έκθεση αυτών στην ηλιακή ακτινοβολία υν σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

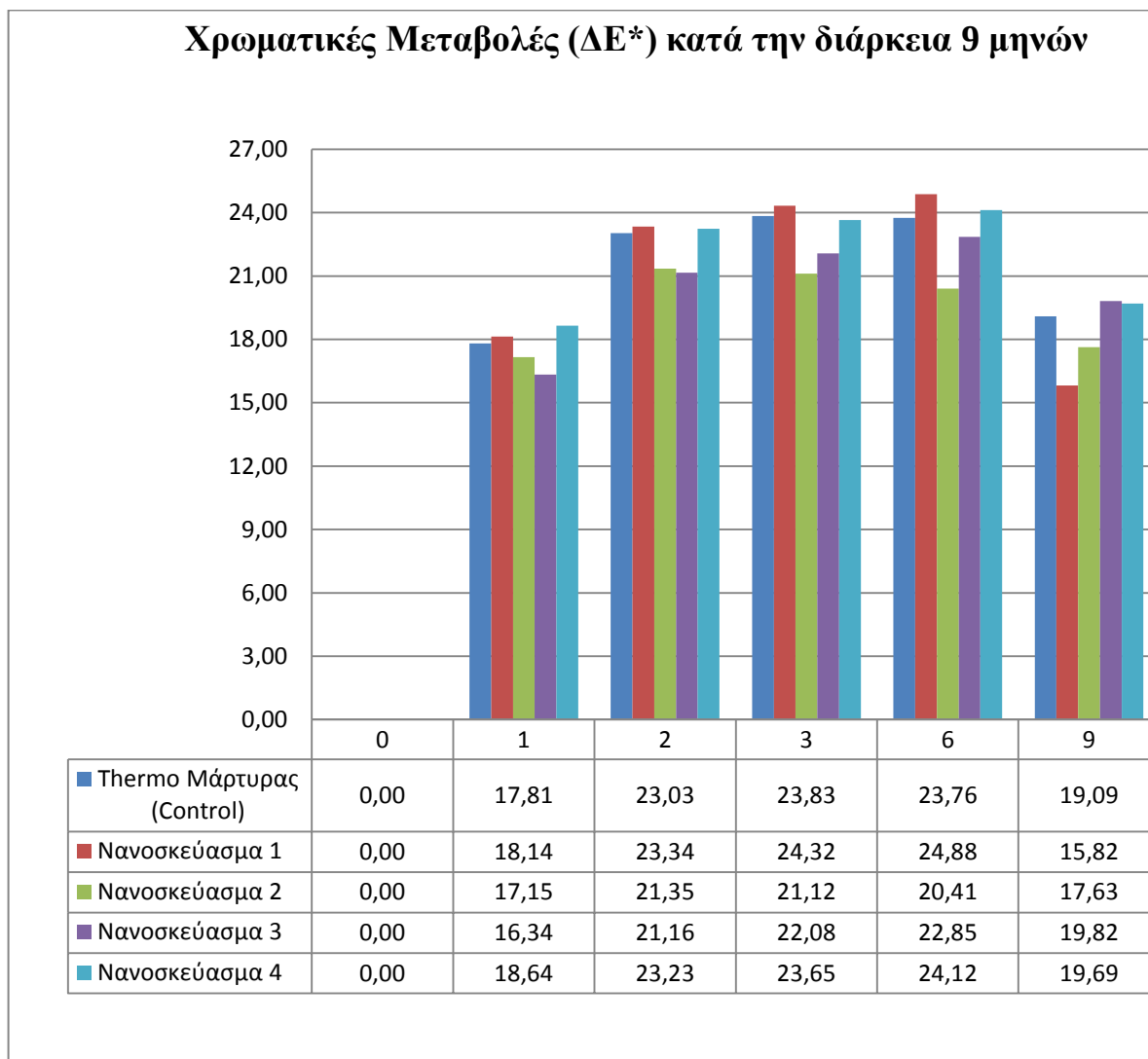
Πίνακας 5. Συγκεντρωτικός πίνακας χρωματικών μεταβολών ΔΕ* δοκιμίων ThermoWood.

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων ThermoWood ΔΕ* μετά από 1 μήνα έκθεσης					
A/A	control	Navo 1 E	Navo 2 E	Navo 3 E	Navo 4 E
AVERAGE	17,81	18,14	17,15	16,34	18,64
MAX	18,88	18,89	18,54	18,03	20,21
MIN	16,79	17,17	15,50	15,03	15,55
STDEV	0,82	0,58	1,08	1,07	1,67
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων ThermoWood ΔΕ* μετά από 2 μήνες έκθεσης					
A/A	control	Navo 1 E	Navo 2 E	Navo 3 E	Navo 4 E
AVERAGE	23,03	23,34	21,35	21,16	23,23
MAX	24,40	24,60	22,28	22,68	25,41
MIN	20,85	21,35	19,85	20,32	19,77
STDEV	1,30	1,07	0,87	0,86	2,27
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων ThermoWood ΔΕ* μετά από 3 μήνες έκθεσης					
A/A	control	Navo 1 E	Navo 2 E	Navo 3 E	Navo 4 E
AVERAGE	23,83	24,32	21,12	22,08	23,65
MAX	25,88	26,41	22,18	23,21	25,99
MIN	22,27	21,85	19,67	21,34	19,84
STDEV	1,42	1,48	0,93	0,68	2,41
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων ThermoWood ΔΕ* μετά από 6 μήνες έκθεσης					
A/A	control	Navo 1 E	Navo 2 E	Navo 3 E	Navo 4 E
AVERAGE	23,76	24,88	20,41	22,85	24,12
MAX	25,26	27,72	21,02	23,54	26,50
MIN	20,90	22,16	19,35	22,23	22,23
STDEV	1,53	1,77	0,59	0,51	1,82
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων ThermoWood ΔΕ* μετά από 9 μήνες έκθεσης					
A/A	control	Navo 1 E	Navo 2 E	Navo 3 E	Navo 4 E
AVERAGE	19,09	15,82	17,63	19,82	19,69
MAX	20,53	16,95	19,25	22,97	24,09
MIN	18,31	14,68	14,56	18,02	17,61
STDEV	0,76	0,85	1,73	1,76	2,27

Στο **γράφημα 4** παρουσιάζονται οι χρωματικές διαφορές που υπάρχουν στα δοκίμια thermowood επεξεργασμένα (treated) και μη επεξεργασμένα (control) για χρονικές περιόδους (1-2-3-6-9) μηνών από τις αρχικές τους καταστάσεις (πριν την έκθεση). Για τον 1^ο μήνα φαίνεται ότι τα δοκίμια που δέχτηκαν χειρισμό με τα νανοσκευάσματα δεν δείχνουν κάποια

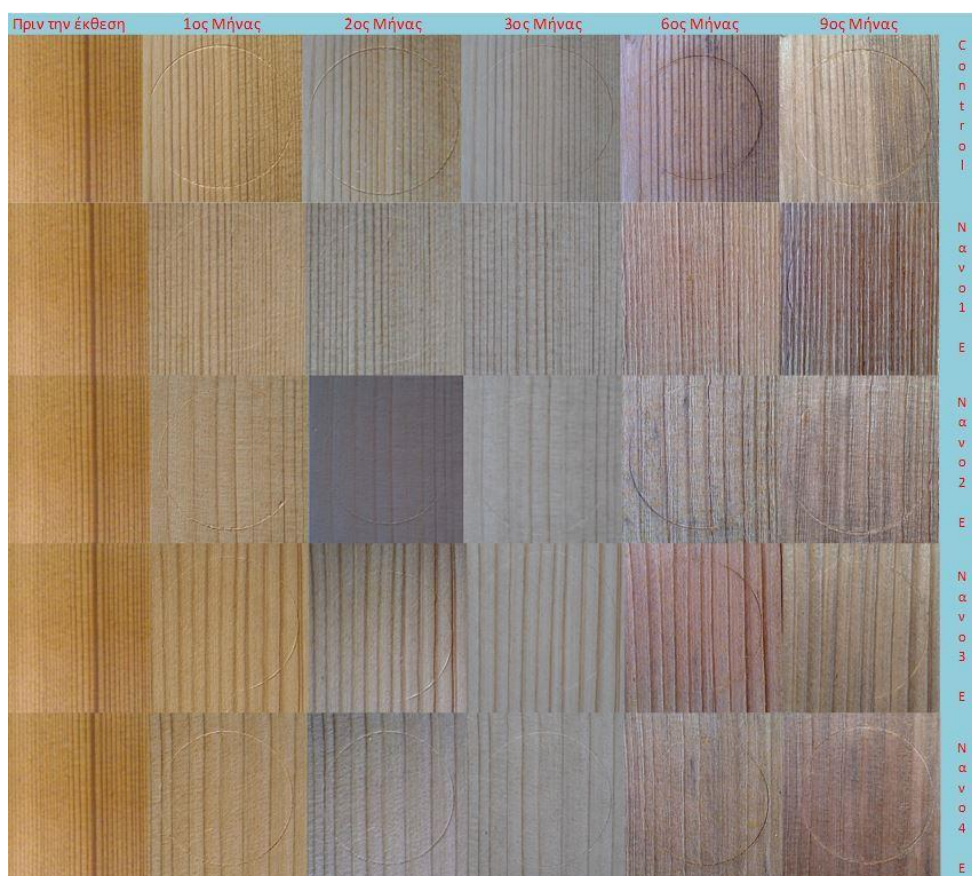
σημαντική προστασία στην μεταβολή του χρώματος σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δοκίμια (control).

Γράφημα 4. Ποσοστά χρωματικών μεταβολών δοκιμών ThermoWood.



Για τον 2^ο και 3^ο μήνα έκθεσης οι συνολικές μεταβολές χρώματος παρουσιάζουν μια πολύ μικρή προστασία των δυο μονάδων για τον χειρισμό των δοκιμών με τα νανοσκευάσματα 2 και 3. Τώρα για τον 6^ο μήνα έκθεσης των δοκιμών τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι το νανοσκεύασμα 2 (οξείδιο του τιτανίου 2^{ης} τεχνολογίας παραγωγής) μας δίνει την καλύτερη προστασία στην αλλαγή του χρώματος σε σχέση με τα άλλα σκευάσματα αλλά και πάλι καμία ουσιαστική προστασία από το μεταχρωματισμό αυτών. Μετά από 9 μήνες έκθεσης των δοκιμών thermowood παρατηρήθηκε ότι σε όλα τα δοκίμια treated και control υπάρχει μια μείωση συνολικής μεταβολής του χρώματος ΔE^* που τα αποτελέσματα τείνουν να είναι

σχεδόν ίδια με τη μεταβολή που παρατηρήθηκε για το 1^ο μήνα έκθεσης και ακόμη καλύτερα και από το 1^ο μήνα έκθεσης για τα δοκίμια που εμβαπτίστηκαν στο 1^ο σκεύασμα νανοτεχνολογίας. Μετά από 9 μήνες έκθεσης μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα δοκίμια που δέχτηκαν τον χειρισμό με τα νανοσκευάσματα 1 και 2 παρουσίασαν μια μικρή προστασία στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία υν.



Εικόνα 72. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων ThermoWood μετά από 9 μήνες έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.

6.4. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων PlatoWood

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνολικές μεταβολές του χρώματος των δοκιμίων θερμικά τροποποιημένου ξύλου platowood ΔΕ*. Οι μετρήσεις αυτές προσδιορίζουν τις μεταβολές του χρώματος των επεξεργασμένων δοκιμίων platowood (treated) και των μη επεξεργασμένων (control) σε σύγκριση με τις αρχικές μετρήσεις δηλαδή πριν την έκθεση αυτών στην ηλιακή ακτινοβολία υν σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

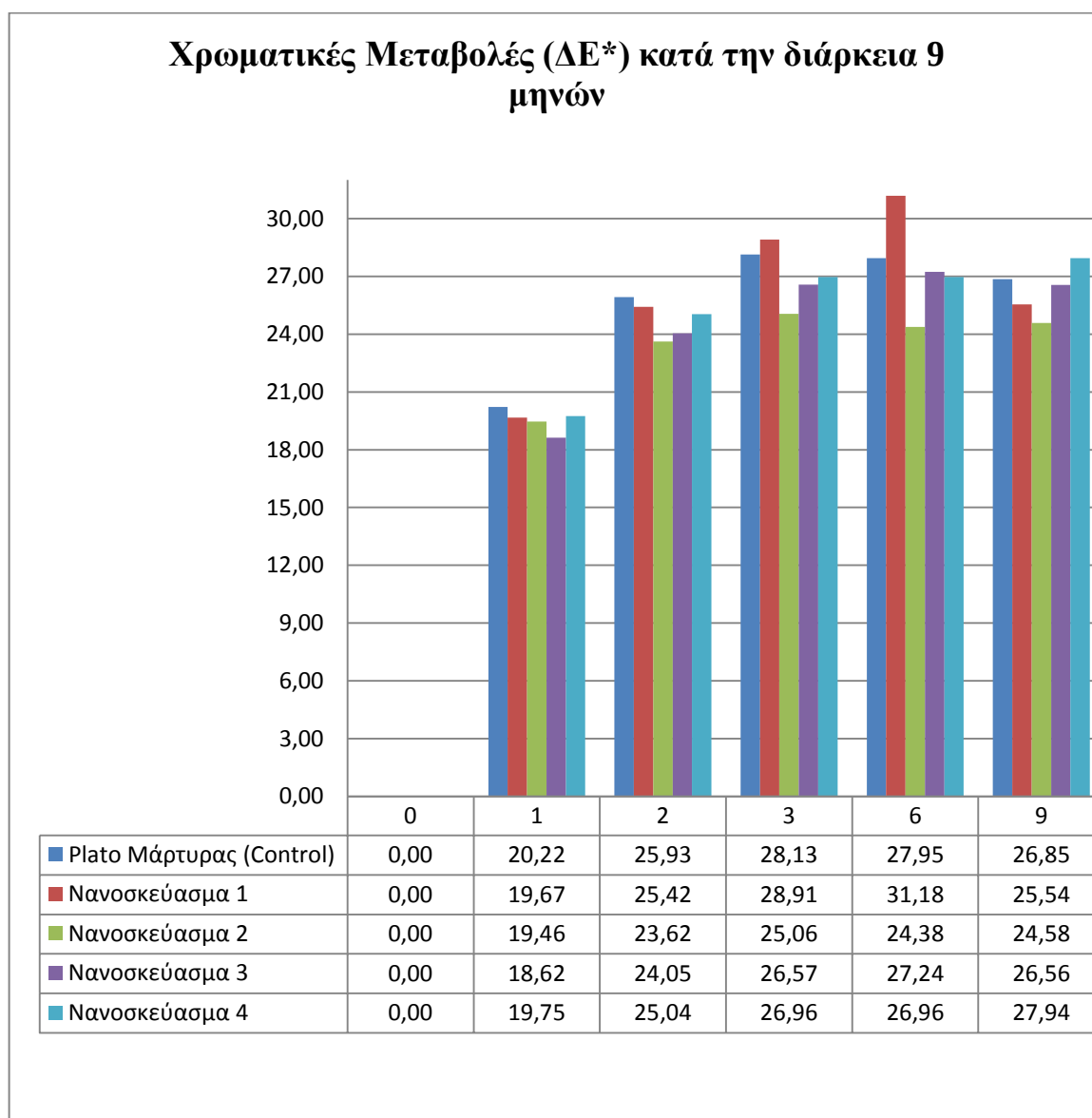
Πίνακας 6. Συγκεντρωτικός πίνακας χρωματικών μεταβολών ΔΕ* δοκιμίων PlatoWood.

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων PlatoWood ΔΕ* μετά από 1 μήνα έκθεσης					
A/A	control	Nano 1 E	Nano 2 E	Nano 3 E	Nano 4 E
AVERAGE	20,22	19,67	19,46	18,62	19,75
MAX	21,61	21,18	23,12	20,74	23,15
MIN	18,90	17,69	15,75	15,90	17,80
STDEV	1,11	1,37	2,49	1,60	2,01
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων PlatoWood ΔΕ* μετά από 2 μήνες έκθεσης					
A/A	control	Nano 1 E	Nano 2 E	Nano 3 E	Nano 4 E
AVERAGE	25,93	25,42	23,62	24,05	25,04
MAX	28,37	27,57	27,35	26,71	28,70
MIN	23,49	22,35	19,68	20,97	22,69
STDEV	1,91	1,73	2,66	1,89	2,38
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων PlatoWood ΔΕ* μετά από 3 μήνες έκθεσης					
A/A	control	Nano 1 E	Nano 2 E	Nano 3 E	Nano 4 E
AVERAGE	28,13	28,91	25,06	26,57	26,96
MAX	30,96	31,38	28,58	29,14	29,20
MIN	25,40	25,41	20,49	23,83	24,66
STDEV	2,18	1,98	2,90	1,69	1,85
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων PlatoWood ΔΕ* μετά από 6 μήνες έκθεσης					
A/A	control	Nano 1 E	Nano 2 E	Nano 3 E	Nano 4 E
AVERAGE	27,95	31,18	24,38	27,24	26,96
MAX	29,62	33,88	27,55	29,74	29,33
MIN	26,73	28,23	21,34	24,85	25,23
STDEV	1,04	1,98	2,37	1,71	1,52
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων PlatoWood ΔΕ* μετά από 9 μήνες έκθεσης					
A/A	control	Nano 1 E	Nano 2 E	Nano 3 E	Nano 4 E
AVERAGE	26,85	25,54	24,58	26,56	27,94
MAX	29,43	28,29	27,63	27,98	29,83
MIN	23,86	23,75	21,64	23,46	26,63
STDEV	2,05	1,56	2,35	1,65	1,35

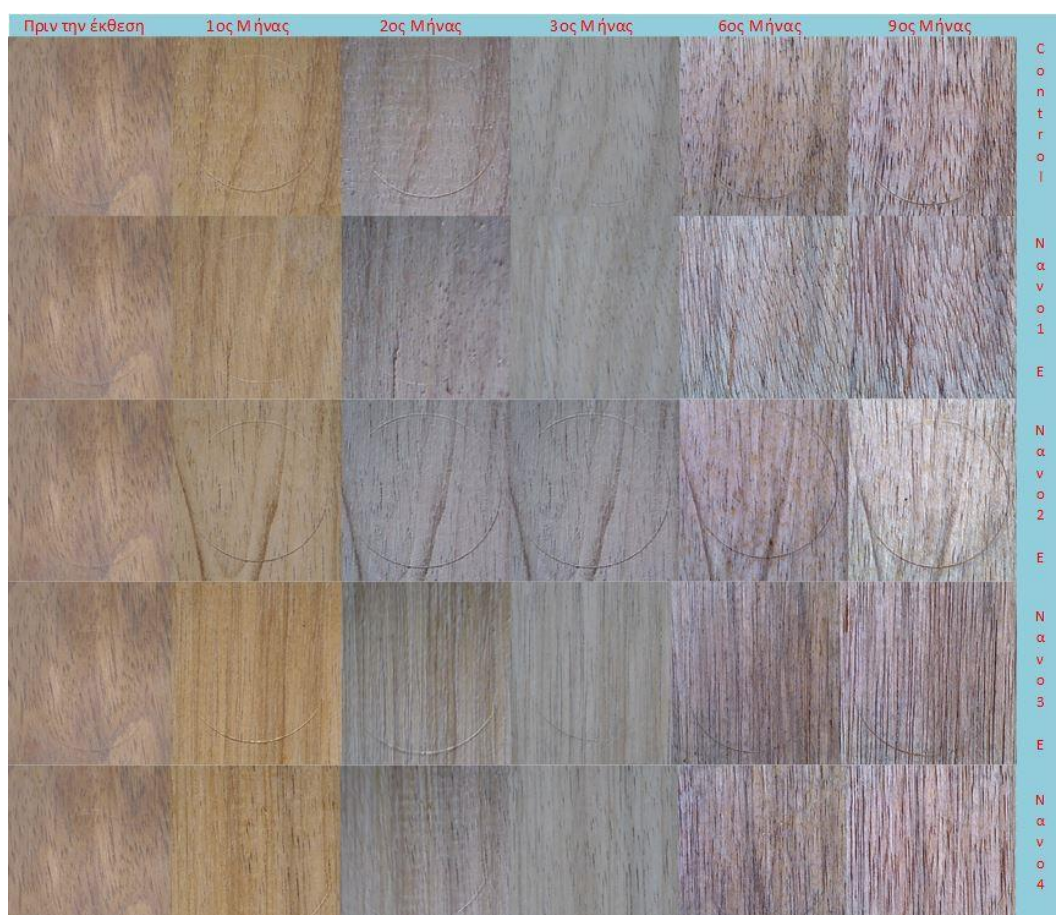
Στο **γράφημα 5** παρουσιάζονται οι χρωματικές διαφορές που υπάρχουν στα δοκίμια platowood επεξεργασμένα (treated) και μη επεξεργασμένα (control) για χρονικές περιόδους (1-2-3-6-9) μηνών από τις αρχικές τους καταστάσεις (πριν την έκθεση). Για τον 1^ο μήνα

φαίνεται ότι τα δοκίμια που δέχτηκαν χειρισμό με τα νανοσκευάσματα δεν δείχνουν κάποια σημαντική προστασία στην μεταβολή του χρώματος σε σχέση με τα μη επεξεργασμένα δοκίμια (control). Για τον 2^ο μήνα έκθεσης οι συνολικές μεταβολές χρώματος παρουσιάζουν μια πολύ μικρή προστασία των δυο μονάδων για τον χειρισμό των δοκιμίων με το νανοσκεύασμα 2. Τώρα για τον 3^ο και τον 6^ο μήνα έκθεσης των δοκιμίων τα αποτελέσματα μας δείχνουν ότι το νανοσκεύασμα 2 (οξείδιο του τιτανίου 2^{ης} τεχνολογίας παραγωγής) εξακολουθεί να μας δίνει την καλύτερη προστασία στην αλλαγή του χρώματος σε σχέση με τα άλλα σκευάσματα συγκρίσει με τα μη επεξεργασμένα δοκίμια (control) αλλά και πάλι καμία ουσιαστική προστασία από το μεταχρωματισμό αυτών.

Γράφημα 5. Ποσοστά χρωματικών μεταβολών δοκιμίων PlatoWood.



Ωστόσο παρατηρούμε ότι ο μεταχρωματισμός για τα δοκίμια που υπέστησαν επεξεργασία με το νανοσκεύασμα 1 είναι μεγαλύτερος και από τα μη επεξεργασμένα (control). Μετά από 9 μήνες έκθεσης των δοκιμίων platowood παρατηρήθηκε ότι σε όλα τα δοκίμια treated τα σκευάσματα νανοτεχνολογίας δεν μας δίνουν κάποια αξιοσημείωτη προστασία αυτών από την υν ακτινοβολία.



Εικόνα 73. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων PlatoWood μετά από 9 μήνες έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.

6.5. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων KebonyWood

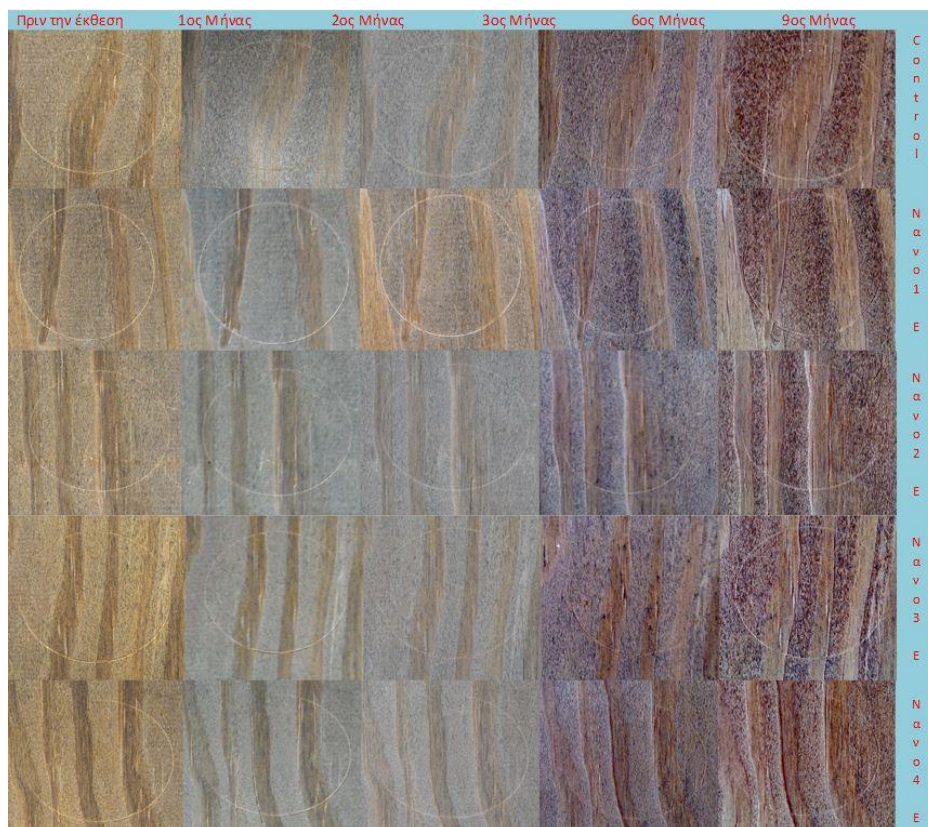
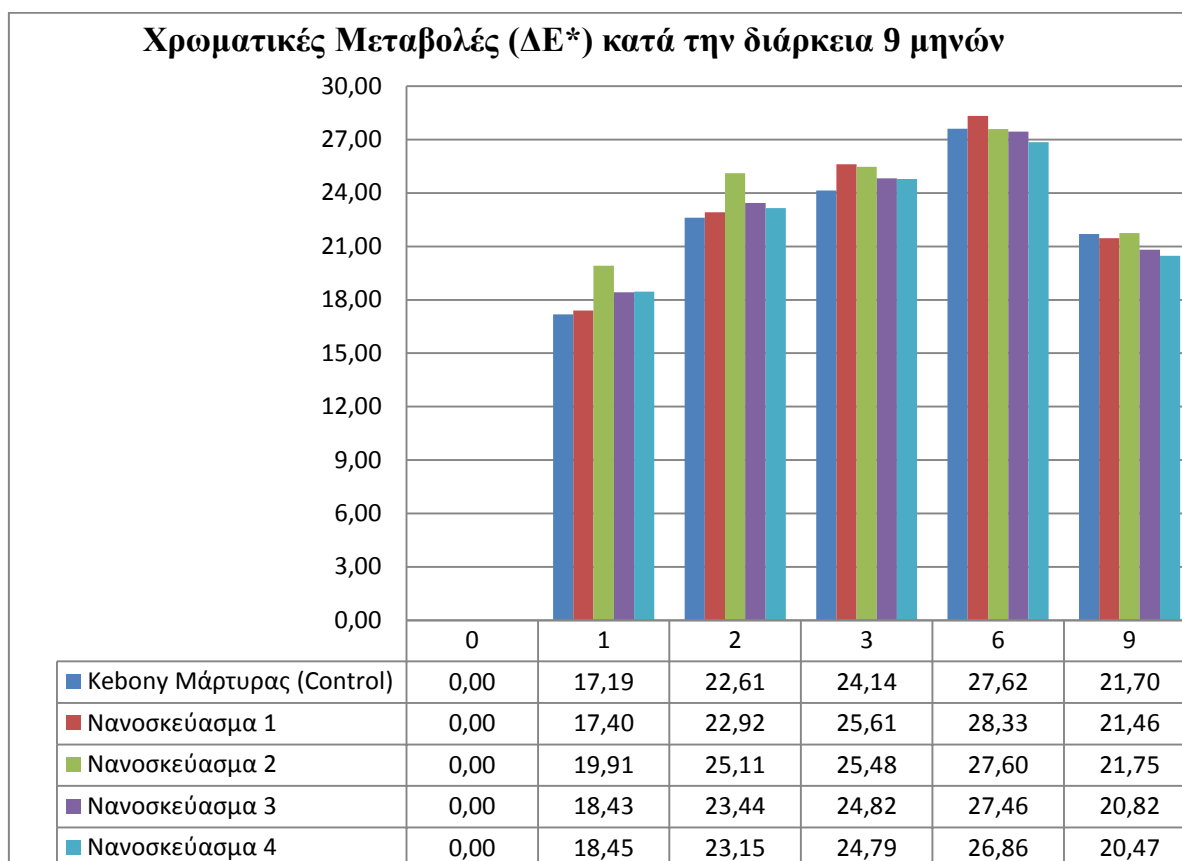
Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι συνολικές μεταβολές του χρώματος των δοκιμίων θερμικά τροποποιημένου ξύλου kebonwood ΔE^* . Οι μετρήσεις αυτές προσδιορίζουν τις μεταβολές του χρώματος των επεξεργασμένων δοκιμίων kebonwood (treated) και των μη επεξεργασμένων (control) σε σύγκριση με τις αρχικές μετρήσεις δηλαδή πριν την έκθεση αυτών στην ηλιακή ακτινοβολία υν σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.

Πίνακας 7. Συγκεντρωτικός πίνακας χρωματικών μεταβολών ΔΕ* δοκιμίων KebonyWood.

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων KebonyWood ΔΕ* μετά από 1 μήνα έκθεσης					
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
AVERAGE	17,19	17,40	19,91	18,43	18,45
MAX	18,76	18,56	21,46	21,38	22,61
MIN	15,91	15,29	18,19	15,97	15,37
STDEV	0,96	1,19	1,06	2,03	2,76
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων KebonyWood ΔΕ* μετά από 2 μήνες έκθεσης					
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
AVERAGE	22,61	22,92	25,11	23,44	23,15
MAX	25,50	24,51	26,52	27,04	27,50
MIN	20,67	20,33	24,39	20,37	20,23
STDEV	1,61	1,51	0,74	2,42	2,58
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων KebonyWood ΔΕ* μετά από 3 μήνες έκθεσης					
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
AVERAGE	24,14	25,61	25,48	24,82	24,79
MAX	27,45	27,99	26,83	28,55	28,88
MIN	22,69	22,09	24,59	22,01	22,36
STDEV	1,71	2,13	0,89	2,24	2,35
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων KebonyWood ΔΕ* μετά από 6 μήνες έκθεσης					
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
AVERAGE	27,62	28,33	27,60	27,46	26,86
MAX	32,22	31,94	29,93	31,00	30,90
MIN	24,92	24,06	25,18	25,01	24,79
STDEV	2,45	3,02	1,79	1,95	2,10
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων KebonyWood ΔΕ* μετά από 9 μήνες έκθεσης					
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
AVERAGE	21,70	21,46	21,75	20,82	20,47
MAX	24,78	25,70	24,85	25,09	24,82
MIN	19,04	16,49	18,30	18,04	17,28
STDEV	1,99	4,07	2,42	2,31	2,44

Στο γράφημα 6 παρουσιάζονται οι χρωματικές διαφορές που υπάρχουν στα δοκίμια kebonwood επεξεργασμένα (treated) και μη επεξεργασμένα (control) για χρονικές περιόδους (1-2-3-6-9) μηνών από τις αρχικές τους καταστάσεις (πριν την έκθεση). Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων για τους 9 μήνες έκθεσης μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι δεν επιτεύχθηκε καθόλου η προστασία των δοκιμίων από την υπ ακτινοβολία σε κανένα από τα 4 νανοσκευάσματα σε σύγκριση με τα μη επεξεργασμένα δοκίμια kebonwood.

Γράφημα 6. Ποσοστά χρωματικών μεταβολών δοκιμίων KebonyWood.



Εικόνα 74. Χρωματικές μεταβολές δοκιμίων KebonyWood μετά από 9 μήνες έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.

7. Συμπεράσματα

- Ένα από τα βασικά συμπεράσματα αυτής της πειραματικής μελέτης είναι πως με σιγουριά ότι σε όλα τα είδη των δοκιμίων και για όλους του χειρισμούς που εφαρμόστηκαν παρατηρήθηκε από τον 1^ο μήνα έκθεσης κίολας ακόμη και με γυμνό μάτι η αλλαγή του χρώματος όλων των δοκιμίων από την επίδραση της υν ακτινοβολίας.
- Ωστόσο, θα μπορούσαμε να πούμε με βάση τις μετρήσεις και την σύγκριση τόσο των συνολικών μεταβολών του χρώματος των επεξεργασμένων δοκιμίων (treated) όσο και των μη επεξεργασμένων (control) ότι παρατηρήθηκε μια μικρή προστασία των νανοσκευασμάτων έναντι της υν ακτινοβολίας.
- Από την παρούσα μελέτη παρατηρείται ότι στο πεύκο και στο έλατο η εφαρμογή των νανοσκευασμάτων με την μέθοδο της επάλειψης έδωσε καλύτερη προστασία των δοκιμίων από το μεταχρωματισμό. Επομένως φαίνεται να είναι καλύτερη μέθοδος εφαρμογής των νανοσκευασμάτων από ότι η μέθοδος την εμβάπτισης.
- Το νανοσκευάσματα 1 και 2 (οξείδιο του τιτάνιου 1^{ης} και 2^{ης} τεχνολογίας παραγωγής) μας δώσανε την καλύτερη προστασία από την υν ακτινοβολία για τα επεξεργασμένα δοκίμια πεύκου, έλατου, thermowood και platowood.
- Επίσης δεν παρατηρήθηκε για κανένα από τα επεξεργασμένα (treated) δοκίμια kebonywood που εκτέθηκαν στην υν ακτινοβολία καμία προστασία από τον μεταχρωματισμό αυτόν λόγω της υν ακτινοβολίας.
- Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι στα δοκίμια έλατου που εμβάπτιστηκαν με το νανοσκεύασμα 2, ενώ για τους πρώτους 3 μήνες φαινόταν να υπάρχει μια μικρή προστασία στα δοκίμια, μετά τον 3^ο μηνά έκθεσης η προστασία δείχνει να καταρρέει άρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι είτε κάποιος παράγοντας κατά την έκθεση έπαιξε σημαντικό ρόλο, είτε κατά την εμβάπτιση των δοκιμίων κάποιος άλλος παράγοντας έπαιξε αρνητικό ρόλο στην προστασία.

Σε κάθε περίπτωση, η παρούσα εργασία αποτέλεσε μια πρώτη πειραματική μελέτη για την προστασία διαφόρων ειδών ξύλου με νέες τεχνολογίες νανοσκευασμάτων ενάντια στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία (υν). Τα αποτελέσματα μόνο χρήσιμα μπορούν να θεωρηθούν είτε θετικά είτε αρνητικά και τα συμπεράσματα να οδηγήσουν σε πιθανόν βελτιώσεις της προστασίας του ξύλου από την υπεριώδη ακτινοβολία (υν) σε νέες παρόμοιες πειραματικές μελέτες. Η έρευνα δεν σταματάει εδώ.

ΒΙΒΛΙΟΦΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Clausen, C.A., Green III, F., Kartal, S.N. (2010). Weatherability and Leach Resistance of Wood Impregnated with Nano-Zinc Oxide. *Nanoscale Res Lett* (2010) 5:1464–1467.
- Cristea, M.V., Riedl, B., Blanchet, P. (2011). Enhancing the performance of exterior waterborne coatings for wood by inorganic nanosized UV absorbers. *Progress in Organic Coatings* 69 (2010) 432–441.
- Grekin, M., Lukkarinen, A., Verkasalo, E., (2003-2007). Colour change of Nordic Scots pine wood under UV radiation – A laboratory approach. *Science Research Programme* (2003–2007).
- Mohammadnia, Y.A., Omidvar, A., Marzbani, P. (2013). Effect of Artificial Weathering on the Wood Impregnated with Nano-Zinc Oxide. *World Applied Sciences Journal* 22 (9): 1200-1203.
- Sahin, H.T., Mantanis, G.I. (2010). Colour changes in wood surfaces modified by a nanoparticulate based treatment. *Wood Research* 56 (4): 2011 525-532.
- Saha, S., Kocaefe, D., Sarkar, D.K., Boluk, Y., Pichette, A. (2011). Effect of TiO₂-containing nano-coatings on the color protection of heat-treated jack pine. *J. Coat. Technol. Res.*, 8 (2) 183–190, 2011.
- Weichelt, F., Beyer, M., Emmeler, R., Flyunt, R., Beyer, E., Buchmeiser, M. (2011). Zinc Oxide Based Coatings for the UV-Protection of Wood for Outdoor Applications. *Macromol. Symp.* 2011, 301, 23–30.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βουλγαρίδης, Η. Β. (2008). Ευρωπαϊκά και τροπικά ξύλα με εμπορική σημασία: δομή, ιδιότητες και χρήσεις. Α.Π.Θ. Σχολή δασολογίας και φυσικού περιβάλλοντος τομέας συγκομιδής και τεχνολογίας δασικών προϊόντων εργαστήριο υλοχρηστικής. Σελ. 27,31.
- Κονοφάος, Ν. Επ. Καθηγητής στην Σχολή Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Αιγαίου. Εισαγωγή στην μικρό και νάνο ηλεκτρονική: Εφαρμογές στα υπολογιστικά συστήματα.
- Κωνσταντάκου, Π. Γ., Τσαλίκη, Σ. Π., (2012). Μελέτη της επίδρασης υδροθερμικών χειρισμών στη σκληρότητα και το χρώμα ξύλου οξιάς. Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Λάρισας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου.

- Λαλιώτη, Μ., (2011). Μελέτη των μεταβολών χρώματος ινοπολτού μετά από επιδράσεις με διαλύματα λεύκανσης. Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Λάρισας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου.
- Μαντάνης, Γ., (2013). Belmadur: εξαιρετική πρώτη ύλη για εξωτερικά ξύλινα κουφώματα. Επιπλέον τ.60, σελ. 104-106.
- Μαντάνης, Γ., Παπαδόπουλος, Α, (2009). Kebony®: Η πιο κατάλληλη πρώτη ύλη για ξύλινα κουφώματα στη χώρα μας;. Επιπλέον, τεύχος 39, 4/2009.
- Μαντάνης, Γ. «Εισαγωγή στη δομή ξύλου» , ΤΕΙ Λάρισας, 2003. Σελ. 15.
- Μπαρμπούτης Ι. «Η χρήση του ξύλου ως παράγοντας προστασίας του περιβάλλοντος και επιβράδυνσης της κλιματικής αλλαγής».
- Ντέντες, Α. (2011). Μελέτη υγροσκοπικών ιδιοτήτων ξύλου ελάτης και δασικής πεύκης επιφανειακά τροποποιημένου με σκεύασμα νανοτεχνολογίας. Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Λάρισας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου.
- Ορφανάκος, Β. Κ. (2004). Χρωματομετρία - Βασικές Αρχές, Εκδόσεις Σταμούλη, Αθήνα. Σελ. 36-38, 107-108.
- Παπαδόπουλος, Α., Καραστεργίου, Σ., Νταλός Γ., Μαντάνης, Γ., (2004). Θερμική τροποποίηση του ξύλου: Μία νέα τεχνική για ξύλο με βελτιωμένες ιδιότητες. Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου.
- Σιατίτσα, Θ., (2010). Μελέτη των υφιστάμενων τεχνολογιών θερμικής τροποποίησης του ξύλου στην Ευρώπη. Πτυχιακή εργασία, ΤΕΙ Λάρισας, Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Ξύλου και Επίπλου.
- Τρακάκης, Γ. (2010). Μηχανικές ιδιότητες νανοςύνθετων υλικών. Εργασία ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Πατρών σχολή θετικών επιστημών τμήμα φυσικής. Σελ. 10-12.
- Φιλίππου, Ι. Α. (1986). Χημεία και Χημική Τεχνολογία του Ξύλου. Εκδόσεις Γιαχουδή, Θεσσαλονίκη. Σελ. 240-241, 244-245.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ- ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<http://www.larissa-dimos.gr/larissa/anakyklosh/FOREAS/aktinovolia.pdf>

http://www.brm.gr/?page_id=2

http://falirikanea.blogspot.gr/2012/02/blog-post_02.html

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pinus_peuce_Habitus_BotGardBln0906.jpg

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B5%CF%8D%CE%BA%CE%BF>

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%95%CE%BB%CE%AC%CF%84%CE%B7>

<http://users.teilar.gr/~mantanis/ergastiriaki-yli.pdf>

<http://www.thermowood.gr/>

<http://www.greekarchitects.gr/images/news/mantanis.2011.03.02.jpg>

<http://www.ribaproductselector.com/kebony-asa/27470/overview.aspx>

<http://boatsheddartmouth.blogspot.gr/2011/02/real-wood-alternative-to-teak.html>

Παράρτημα Α

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών Πεύκου πριν την έκθεση							
	Πεύκο			1	Control		
	A/A	Χρώμα					
		L*	a*	b*			
	1	82,46	3,32	25,06			
	2	80,94	3,72	29,04			
	3	83,34	4,08	23,95			
	4	80,98	4,24	28,45			
	5	81,47	4,36	28,30			
	6	82,30	4,79	25,58			
	7	83,53	4,74	23,81			
	8	80,56	5,07	28,08			
	9	80,03	4,34	29,19			
	10	81,24	4,98	27,29			
	11	82,49	2,96	29,41			
	12	78,82	6,30	26,06			
Πεύκο		2	Νανο1 Π		Πεύκο		6 Νανο1 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*		L*	a*	b*
1	84,29	4,56	21,78	1	82,82	4,49	23,29
2	84,34	4,31	20,34	2	83,77	4,15	22,54
3	84,69	4,21	19,72	3	81,51	3,97	27,97
4	82,96	3,94	24,42	4	82,86	4,71	25,16
5	84,70	4,23	20,43	5	83,96	4,50	20,04
6	84,07	3,93	23,25	6	82,10	4,64	25,58
Πεύκο		3	Νανο2 Π		Πεύκο		7 Νανο2 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*		L*	a*	b*
1	85,55	3,34	16,87	1	85,40	3,26	20,24
2	85,52	3,19	19,50	2	84,89	3,82	18,96
3	86,78	2,62	18,56	3	84,64	3,25	19,53
4	85,70	3,57	15,08	4	84,08	4,53	21,77
5	87,31	2,74	15,76	5	81,97	5,24	22,91
6	86,49	3,27	15,19	6	84,95	3,62	19,03
Πεύκο		4	Νανο3 Π		Πεύκο		8 Νανο3 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*		L*	a*	b*
1	82,61	3,71	25,82	1	82,86	2,94	27,81
2	84,55	3,80	22,53	2	81,10	4,35	27,73
3	84,02	3,46	23,01	3	83,10	4,21	23,21
4	83,83	4,38	20,34	4	81,44	4,80	26,44
5	83,61	4,85	22,76	5	81,45	3,31	27,97
6	82,17	3,86	25,55	6	82,75	5,21	23,16
Πεύκο		5	Νανο4 Π		Πεύκο		9 Νανο4 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*		L*	a*	b*
1	83,69	3,83	23,69	1	83,87	4,15	22,28
2	83,61	3,48	24,95	2	83,55	3,05	25,94
3	83,75	4,52	21,69	3	81,52	5,27	25,72
4	84,27	3,38	21,85	4	83,45	4,43	22,54
5	83,47	4,32	22,57	5	81,22	5,74	25,51
6	82,19	4,71	23,93	6	82,63	3,79	25,89

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών Πεύκου μετά από 1 μήνα έκθεσης							
Πεύκο			1	Control			
A/A	Χρώμα						
	l*	a*	b*				
1	69,30	6,71	33,76				
2	69,57	6,80	35,65				
3	73,35	7,11	29,20				
4	70,53	6,85	33,72				
5	70,59	7,96	33,08				
6	71,53	7,96	31,16				
7	73,38	7,81	27,58				
8	69,89	7,91	33,22				
9	69,71	7,06	34,74				
10	70,39	7,81	32,87				
11	71,92	6,60	32,76				
12	69,03	9,52	31,83				
Πεύκο			2	Νανο1 Π	Πεύκο		
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	75,53	7,02	23,52	1	73,00	6,61	25,77
2	75,45	6,99	22,68	2	74,40	6,41	25,16
3	76,19	6,24	20,29	3	71,87	6,80	29,07
4	73,04	6,51	25,56	4	73,19	7,37	27,00
5	76,15	6,45	22,88	5	74,81	6,20	21,24
6	74,92	6,93	25,32	6	72,27	7,16	28,33
Πεύκο			3	Νανο2 Π	Πεύκο		
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	78,13	4,86	19,21	1	76,36	5,83	23,55
2	76,79	5,19	22,46	2	75,93	5,76	21,99
3	78,79	4,83	20,35	3	76,63	5,46	22,31
4	78,10	4,32	16,67	4	74,25	6,98	25,61
5	80,01	4,14	16,41	5	72,18	7,24	26,46
6	79,42	4,51	16,07	6	76,55	5,93	20,64
Πεύκο			4	Νανο3 Π	Πεύκο		
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	71,15	6,98	30,71	1	70,65	6,26	35,01
2	72,99	7,20	27,10	2	69,22	7,10	34,04
3	72,81	6,64	29,02	3	71,12	6,51	27,82
4	72,26	7,82	24,05	4	70,27	7,37	32,74
5	71,78	8,44	26,58	5	69,77	6,77	32,33
6	69,95	6,94	32,51	6	71,07	7,92	28,00
Πεύκο			5	Νανο4 Π	Πεύκο		
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	72,70	6,38	28,76	1	72,93	6,78	26,89
2	72,05	5,99	29,95	2	71,53	5,94	32,07
3	73,20	7,17	25,10	3	70,55	7,62	30,89
4	74,60	6,17	25,59	4	72,12	7,17	26,84
5	72,89	6,89	26,91	5	69,80	8,22	31,52
6	71,45	7,36	28,72	6	70,45	6,71	31,43

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών Πεύκου μετά από 3 μήνες έκθεσης							
	Πεύκο		1	Control			
	A/A	Χρώμα					
		l*	a*	b*			
	1	68,65	4,18	24,76			
	2	70,33	3,92	25,82			
	3	73,92	5,25	18,52			
	4	70,17	5,02	24,41			
	5	70,49	5,47	22,89			
	6	70,71	6,18	20,78			
	7	72,89	6,09	17,97			
	8	69,27	6,25	23,00			
	9	69,46	4,52	25,91			
	10	70,64	5,17	23,67			
	11	72,67	3,95	23,08			
	12	69,03	7,76	22,22			
Πεύκο		2	Νανο1 Π	Πεύκο	6	Νανο1 Ε	
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	74,72	6,32	19,68	1	72,26	5,51	21,27
2	74,60	6,40	20,34	2	73,22	4,38	22,04
3	73,17	6,54	18,90	3	70,20	4,07	24,44
4	71,95	4,14	25,54	4	72,54	6,29	21,04
5	74,48	4,99	22,05	5	71,43	6,14	18,39
6	73,15	4,75	21,32	6	70,76	4,23	24,70
Πεύκο		3	Νανο2 Π	Πεύκο	7	Νανο2 Ε	
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	77,96	3,42	14,37	1	76,25	3,91	16,49
2	76,64	3,45	16,06	2	75,44	4,14	15,94
3	77,60	2,55	13,31	3	76,43	3,33	15,65
4	76,62	3,57	12,71	4	74,31	5,18	16,62
5	79,16	3,08	11,91	5	72,31	5,99	18,85
6	77,77	3,27	11,56	6	76,09	4,31	13,85
Πεύκο		4	Νανο3 Π	Πεύκο	8	Νανο3 Ε	
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	72,45	3,88	21,05	1	70,26	3,55	26,84
2	73,70	5,30	18,33	2	70,13	4,33	26,11
3	73,27	3,79	21,26	3	71,22	5,05	20,62
4	71,42	6,26	17,57	4	70,30	6,41	23,02
5	71,37	6,85	18,69	5	71,99	4,46	23,84
6	70,52	3,87	24,32	6	71,14	6,58	18,70
Πεύκο		5	Νανο4 Π	Πεύκο	9	Νανο4 Ε	
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	72,96	5,45	20,82	1	73,10	5,84	18,42
2	72,10	4,37	22,16	2	71,94	3,83	23,51
3	73,34	5,29	17,18	3	69,95	6,38	21,25
4	75,55	4,05	19,48	4	72,26	5,87	18,27
5	72,74	4,63	19,25	5	69,09	7,77	20,13
6	71,24	5,01	21,44	6	69,97	3,84	22,61

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών Πεύκου μετά από 6 μήνες έκθεσης							
	Πεύκο			1	Control		
	A/A	Χρώμα					
		l*	a*	b*			
	1	61,61	1,85	14,34			
	2	67,11	1,47	15,69			
	3	70,09	2,01	10,81			
	4	62,58	1,90	13,19			
	5	60,81	1,78	10,91			
	6	65,93	3,11	12,82			
	7	65,56	3,34	8,75			
	8	63,89	3,07	12,72			
	9	63,21	2,17	15,32			
	10	60,36	1,55	12,26			
	11	67,15	1,15	14,49			
	12	59,50	3,28	10,59			
Πεύκο		2	Νανο1 Π		Πεύκο		6 Νανο1 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	71,65	3,76	11,27	1	67,74	3,45	13,13
2	71,91	2,86	11,57	2	69,24	2,25	14,29
3	69,65	3,74	12,42	3	67,17	2,49	13,99
4	68,14	3,32	16,12	4	67,29	3,08	11,57
5	72,46	3,14	14,18	5	67,81	3,60	12,16
6	70,83	2,92	13,41	6	67,78	3,23	15,74
Πεύκο		3	Νανο2 Π		Πεύκο		7 Νανο2 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	70,67	1,67	9,50	1	66,58	0,97	9,42
2	71,60	1,65	10,82	2	68,95	1,91	10,62
3	71,59	0,78	8,61	3	69,96	0,72	9,71
4	67,21	1,24	7,59	4	68,88	2,49	9,80
5	71,92	0,86	7,35	5	64,57	2,53	10,38
6	69,73	0,96	6,94	6	69,29	2,40	9,32
Πεύκο		4	Νανο3 Π		Πεύκο		8 Νανο3 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	66,40	1,23	12,83	1	62,00	0,98	16,15
2	71,01	2,38	10,50	2	66,68	2,62	15,95
3	71,74	1,94	14,07	3	65,19	1,83	13,53
4	67,07	3,09	10,34	4	65,06	2,80	13,03
5	67,81	3,46	11,08	5	67,46	1,23	14,33
6	63,04	0,31	14,45	6	67,52	3,06	10,35
Πεύκο		5	Νανο4 Π		Πεύκο		9 Νανο4 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	66,73	2,21	12,93	1	66,10	2,40	11,54
2	63,34	2,15	13,08	2	62,10	-0,16	14,20
3	69,46	3,24	11,33	3	65,89	3,13	13,54
4	72,44	1,43	13,35	4	64,89	2,11	10,97
5	66,64	2,18	12,88	5	64,79	3,30	11,44
6	65,97	2,53	13,28	6	60,02	0,55	12,77

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών Πεύκου μετά από 10 μήνες έκθεσης

	Πεύκο			1	Control		
	A/A	Χρώμα			I*	a*	b*
		I*	a*	b*			
	1	58,49	5,28	6,81			
	2	66,02	2,13	10,06			
	3	66,38	3,79	7,00			
	4	58,88	4,80	6,99			
	5	59,82	2,51	7,59			
	6	60,72	4,89	6,89			
	7	61,26	3,06	7,22			
	8	61,43	3,46	7,39			
	9	57,61	0,32	11,14			
	10	59,99	2,50	8,62			
	11	63,64	2,82	9,00			
	12	57,23	4,07	6,61			
Πεύκο		2	Νανο1 Π		Πεύκο		6 Νανο1 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	I*	a*	b*		I*	a*	b*
1	65,69	4,85	16,80	1	61,08	4,47	12,62
2	66,91	3,12	13,59	2	64,91	2,52	13,67
3	61,27	6,27	15,67	3	60,65	3,87	13,80
4	62,11	4,85	15,08	4	59,35	4,34	10,56
5	69,75	3,96	14,36	5	62,25	5,05	12,65
6	66,03	4,39	12,90	6	64,45	4,76	14,18
Πεύκο		3	Νανο2 Π		Πεύκο		7 Νανο2 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	I*	a*	b*		I*	a*	b*
1	67,57	1,94	7,31	1	62,68	0,44	8,53
2	69,56	1,27	6,46	2	66,99	1,07	7,14
3	66,33	1,62	7,18	3	65,46	1,45	11,17
4	63,59	1,32	4,42	4	64,88	2,54	7,60
5	68,90	0,42	4,72	5	63,52	2,06	6,66
6	64,42	0,80	5,13	6	63,54	3,22	6,98
Πεύκο		4	Νανο3 Π		Πεύκο		8 Νανο3 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	I*	a*	b*		I*	a*	b*
1	62,37	0,44	11,27	1	57,58	4,70	7,28
2	68,03	2,91	7,99	2	64,45	1,94	11,78
3	70,50	2,16	9,93	3	61,77	4,00	7,25
4	62,03	4,30	8,17	4	63,18	3,05	9,09
5	63,68	3,14	8,92	5	64,57	1,49	10,04
6	59,72	-0,45	11,09	6	62,37	3,07	7,50
Πεύκο		5	Νανο4 Π		Πεύκο		9 Νανο4 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	I*	a*	b*		I*	a*	b*
1	64,07	3,77	7,22	1	61,16	3,63	5,72
2	59,88	3,25	7,16	2	58,06	4,69	5,62
3	67,45	3,20	7,81	3	60,00	3,41	8,58
4	71,01	1,27	10,00	4	59,88	3,25	6,72
5	64,45	1,71	10,88	5	59,87	4,24	7,16
6	62,49	1,92	9,40	6	55,22	-1,04	10,30

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών Έλατου πριν την έκθεση							
	Έλατο			1	Control		
	A/A	Χρώμα					
		l*	a*	b*			
	1	85,71	-0,92	22,36			
	2	86,35	-0,58	22,01			
	3	85,51	-1,04	23,26			
	4	85,86	-0,37	22,86			
	5	85,54	-1,36	23,74			
	6	86,03	-0,40	22,06			
	7	85,53	-0,66	23,75			
	8	86,25	-0,32	21,47			
	9	85,26	-0,97	23,51			
	10	86,40	2,19	18,82			
	11	83,60	2,06	21,55			
	12	84,86	0,30	22,26			
Έλατο		2	Νανο1 Π		Έλατο		6 Νανο1 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	85,14	1,62	20,49	1	85,17	1,48	20,87
2	85,76	0,91	21,22	2	85,91	0,78	21,81
3	85,78	1,64	19,71	3	83,40	2,53	22,41
4	85,75	1,31	20,30	4	86,18	0,19	22,91
5	85,70	0,71	21,23	5	85,37	1,38	20,81
6	85,56	0,78	21,77	6	85,09	0,50	21,41
Έλατο		3	Νανο2 Π		Έλατο		7 Νανο2 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	88,00	1,75	13,87	1	85,86	1,49	18,48
2	88,14	1,25	15,44	2	86,07	1,12	19,00
3	87,04	1,38	16,48	3	86,03	1,21	18,83
4	87,55	1,60	15,43	4	87,56	1,23	16,49
5	88,08	1,43	14,67	5	87,15	0,93	17,80
6	87,94	1,34	14,94	6	86,39	0,90	18,95
Έλατο		4	Νανο3 Π		Έλατο		8 Νανο3 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	85,14	0,43	21,29	1	85,08	1,59	21,36
2	85,75	-0,14	23,10	2	86,02	-1,88	25,24
3	86,89	0,81	19,41	3	86,15	0,56	20,84
4	84,89	-1,13	25,07	4	85,36	-0,98	24,14
5	85,48	0,29	21,81	5	83,34	1,77	23,33
6	85,38	1,59	19,31	6	85,40	0,52	21,34
Έλατο		5	Νανο4 Π		Έλατο		9 Νανο4 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	86,20	1,20	19,40	1	86,32	0,70	20,84
2	85,43	1,60	19,89	2	85,29	-0,13	22,66
3	85,39	1,29	20,25	3	85,15	0,77	21,30
4	85,43	0,63	22,10	4	85,43	1,86	20,16
5	86,37	-0,64	22,84	5	86,48	-0,61	22,64
6	86,10	0,76	19,56	6	85,64	1,36	20,08

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών Έλατου μετά από 1 μήνα έκθεσης							
	Έλατο		1	Control			
	A/A	Χρώμα					
		l*	a*	b*			
	1	72,51	3,07	35,74			
	2	73,55	2,52	36,74			
	3	72,02	3,12	36,87			
	4	74,13	1,71	37,97			
	5	72,86	2,19	38,05			
	6	73,44	2,10	37,19			
	7	72,87	1,98	38,64			
	8	73,99	1,91	36,47			
	9	72,11	3,16	38,58			
	10	73,92	6,08	29,86			
	11	72,41	3,85	34,96			
	12	73,33	4,23	32,04			
Έλατο		2	Νανο1 Π	Έλατο	6	Νανο1 Ε	
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	74,05	5,51	28,16	1	73,16	5,36	29,80
2	74,72	5,30	27,73	2	74,57	5,08	28,93
3	74,72	6,05	26,53	3	73,89	4,50	29,33
4	75,05	5,36	27,28	4	75,09	3,97	29,82
5	75,29	5,02	28,19	5	74,17	5,03	28,49
6	74,48	5,11	28,50	6	74,28	4,89	29,39
Έλατο		3	Νανο2 Π	Έλατο	7	Νανο2 Ε	
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	79,39	4,04	16,73	1	76,40	4,21	23,98
2	78,14	3,87	19,50	2	75,63	4,60	24,38
3	77,87	4,09	19,85	3	75,66	3,98	24,06
4	78,41	4,38	18,33	4	76,18	4,77	22,37
5	78,72	4,10	19,08	5	76,24	4,90	24,68
6	78,77	3,98	18,88	6	76,47	4,10	23,68
Έλατο		4	Νανο3 Π	Έλατο	8	Νανο3 Ε	
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	70,39	2,02	36,13	1	71,60	4,54	33,82
2	72,20	0,61	39,21	2	73,09	-0,90	41,63
3	73,41	2,63	31,66	3	72,99	3,88	33,36
4	70,62	0,27	41,37	4	71,98	2,39	37,85
5	71,61	1,61	35,73	5	72,27	2,53	36,77
6	70,81	5,90	30,58	6	71,13	3,04	35,07
Έλατο		5	Νανο4 Π	Έλατο	9	Νανο4 Ε	
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	72,47	4,93	26,88	1	73,71	4,03	30,28
2	74,26	4,95	27,88	2	72,98	4,81	31,02
3	74,36	4,21	28,28	3	73,29	3,80	30,23
4	74,92	3,51	30,20	4	73,15	4,68	30,39
5	74,29	2,72	31,21	5	73,90	3,11	32,79
6	73,81	4,96	28,38	6	72,35	5,43	28,38

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμίων Έλατου μετά από 3 μήνες έκθεσης							
	Έλατο			1	Control		
	A/A	Χρώμα					
		l*	a*	b*			
	1	74,61	-2,49	28,10			
	2	75,43	-2,32	27,12			
	3	74,17	-3,19	28,49			
	4	75,59	-1,83	26,80			
	5	74,64	-3,77	29,78			
	6	74,05	-1,76	26,09			
	7	73,51	-1,09	28,70			
	8	74,84	-3,14	27,43			
	9	73,56	-3,44	30,35			
	10	74,11	3,76	19,28			
	11	74,04	-0,66	25,83			
	12	74,08	-0,98	25,78			
Έλατο		2	Νανο1 Π		Έλατο		6 Νανο1 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	74,82	2,26	23,19	1	74,31	2,52	22,54
2	74,28	2,33	23,57	2	74,59	2,56	22,39
3	73,44	3,47	21,69	3	73,96	1,64	22,58
4	74,85	0,79	23,69	4	74,86	0,89	24,68
5	75,52	2,17	22,60	5	74,51	2,26	21,97
6	73,71	2,19	24,50	6	73,74	1,49	22,36
Έλατο		3	Νανο2 Π		Έλατο		7 Νανο2 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	79,35	3,04	13,25	1	76,73	1,61	17,61
2	79,38	2,02	13,63	2	75,69	1,85	18,61
3	78,65	2,03	13,56	3	75,23	0,80	17,40
4	77,89	2,63	14,09	4	77,04	2,40	15,46
5	79,19	2,38	12,54	5	77,66	1,56	16,77
6	79,17	2,06	12,36	6	76,13	1,85	17,30
Έλατο		4	Νανο3 Π		Έλατο		8 Νανο3 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	72,88	-0,53	25,36	1	73,69	0,64	23,60
2	73,69	-2,77	27,98	2	74,73	-4,36	29,62
3	74,39	0,76	21,09	3	74,76	-0,91	24,19
4	72,13	-2,67	30,34	4	73,20	-3,51	27,67
5	73,28	-0,17	23,87	5	73,97	-0,46	24,61
6	74,32	0,74	23,13	6	72,11	-0,40	23,71
Έλατο		5	Νανο4 Π		Έλατο		9 Νανο4 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	l*	a*	b*		l*	a*	b*
1	73,32	2,08	18,07	1	75,79	1,14	23,17
2	75,94	1,12	20,12	2	75,03	-0,99	25,74
3	75,92	1,37	20,09	3	74,66	-0,66	23,12
4	76,26	0,51	21,82	4	75,58	-1,22	20,64
5	74,74	-1,47	23,01	5	75,59	-1,03	23,80
6	75,79	1,43	20,06	6	73,99	1,91	20,35

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών Έλατου μετά από 6 μήνες έκθεσης							
	Έλατο		1	Control			
	A/A	Χρώμα					
		L*	a*	b*			
	1	69,17	-3,84	22,39			
	2	70,04	-2,38	18,54			
	3	68,72	-4,14	21,66			
	4	72,49	-2,89	18,73			
	5	69,89	-4,44	22,50			
	6	69,48	-3,83	19,17			
	7	68,40	-2,64	21,22			
	8	72,66	-3,34	20,53			
	9	68,83	-3,63	22,43			
	10	67,65	-0,89	13,86			
	11	70,55	-0,63	17,10			
	12	65,97	-0,48	17,80			
Έλατο		2	Νανο1 Π	Έλατο	6	Νανο1 Ε	
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*		L*	a*	b*
1	71,92	4,09	14,83	1	69,98	2,09	15,98
2	69,58	3,15	15,48	2	70,25	2,00	16,82
3	68,99	3,05	14,46	3	71,05	2,45	14,80
4	72,14	2,11	16,73	4	71,76	1,51	16,42
5	73,20	2,51	16,40	5	71,20	3,79	13,62
6	69,71	3,15	15,53	6	71,02	2,64	15,28
Έλατο		3	Νανο2 Π	Έλατο	7	Νανο2 Ε	
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*		L*	a*	b*
1	74,08	1,31	10,30	1	71,42	-0,63	13,28
2	73,27	0,44	10,21	2	69,63	-0,27	13,52
3	73,88	0,40	11,30	3	69,00	-1,30	13,57
4	73,20	0,83	11,16	4	69,14	0,17	9,84
5	74,55	0,87	9,18	5	69,50	0,64	9,93
6	74,42	0,36	9,48	6	69,17	0,90	11,01
Έλατο		4	Νανο3 Π	Έλατο	8	Νανο3 Ε	
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*		L*	a*	b*
1	70,21	1,12	15,23	1	71,10	0,02	16,51
2	71,94	-1,67	19,01	2	71,93	-4,01	21,37
3	70,83	0,88	13,37	3	71,87	-2,43	17,97
4	68,18	0,37	17,62	4	69,88	-2,53	19,83
5	71,30	0,17	16,25	5	72,37	-0,13	17,09
6	68,88	-0,86	16,18	6	68,13	-1,03	15,69
Έλατο		5	Νανο4 Π	Έλατο	9	Νανο4 Ε	
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*		L*	a*	b*
1	67,56	0,00	11,82	1	71,17	-0,42	18,17
2	71,97	-0,92	14,76	2	70,31	-3,10	20,69
3	71,04	-0,47	17,03	3	68,14	-2,79	19,71
4	72,07	-0,67	15,33	4	72,22	-0,59	15,52
5	70,87	-1,04	15,52	5	71,65	-1,92	17,95
6	69,81	-1,11	14,39	6	68,39	-1,86	15,05

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών Έλατου μετά από 10 μήνες έκθεσης

	Έλατο			1	Control		
	A/A	Χρώμα					
		I*	a*	b*			
	1	64,70	-1,11	16,35			
	2	67,29	-1,24	15,01			
	3	63,11	-1,26	15,63			
	4	70,33	-0,92	16,35			
	5	66,28	1,81	15,08			
	6	64,65	2,79	11,46			
	7	62,87	7,14	9,07			
	8	68,96	3,79	12,87			
	9	63,97	0,97	14,91			
	10	62,18	1,69	9,64			
	11	68,62	2,60	12,03			
12	62,09	4,05	10,03				
Έλατο		2	Νανο1 Π	Έλατο		6	Νανο1 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	I*	a*	b*		I*	a*	b*
1	68,34	6,94	15,01	1	65,46	7,74	14,06
2	64,26	4,56	16,02	2	66,62	5,82	15,09
3	63,88	4,98	16,15	3	67,67	5,87	16,87
4	66,81	6,79	14,95	4	67,40	5,62	13,86
5	68,04	7,82	14,20	5	65,04	7,15	13,68
6	64,35	7,63	14,54	6	66,70	7,83	13,80
Έλατο		3	Νανο2 Π	Έλατο		7	Νανο2 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	I*	a*	b*		I*	a*	b*
1	68,40	0,76	9,23	1	65,39	4,38	5,85
2	69,27	0,13	8,82	2	64,24	1,83	10,11
3	71,20	0,54	8,81	3	64,39	0,91	9,91
4	69,03	1,87	7,61	4	64,24	-0,13	7,80
5	69,87	1,89	6,73	5	65,56	-0,20	8,67
6	70,26	0,48	7,29	6	63,82	0,57	8,48
Έλατο		4	Νανο3 Π	Έλατο		8	Νανο3 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	I*	a*	b*		I*	a*	b*
1	65,64	6,40	9,91	1	65,56	5,50	9,74
2	68,11	5,43	11,71	2	66,85	7,52	10,38
3	67,50	2,58	10,14	3	67,43	3,77	11,28
4	62,53	3,36	13,14	4	65,94	6,18	9,43
5	67,28	3,42	9,04	5	70,37	6,58	9,22
6	63,41	1,88	9,77	6	63,18	6,04	7,51
Έλατο		5	Νανο4 Π	Έλατο		9	Νανο4 Ε
A/A	Χρώμα			A/A	Χρώμα		
	I*	a*	b*		I*	a*	b*
1	62,45	3,90	5,66	1	67,68	6,05	9,02
2	67,27	3,40	9,40	2	65,66	6,93	8,31
3	66,71	3,40	11,48	3	62,43	6,87	6,23
4	68,47	3,95	8,63	4	68,10	4,31	7,72
5	66,58	2,88	10,75	5	66,68	4,51	9,02
6	63,98	1,43	9,20	6	62,71	1,66	9,95

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών ThermoWood πριν την έκθεση			
Thermo		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	45,24	10,64	33,85
2	42,34	9,77	34,53
3	45,90	11,54	33,12
4	44,05	10,72	33,73
5	47,52	10,43	33,98
Thermo		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	49,40	9,94	31,28
2	46,86	10,22	32,55
3	46,02	10,50	30,36
4	43,74	10,71	29,58
5	45,16	11,12	30,85
Thermo		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	49,25	10,99	26,85
2	48,80	9,56	28,59
3	49,55	8,49	30,96
4	52,43	10,19	30,14
5	46,49	9,73	28,17
Thermo		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	53,45	11,16	33,87
2	48,69	10,38	35,20
3	44,78	10,56	32,20
4	43,81	10,86	33,00
5	43,83	10,32	33,51
Thermo		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	45,33	12,08	30,33
2	45,41	10,87	32,69
3	45,41	11,54	32,19
4	45,11	9,86	32,92
5	43,49	11,06	30,85

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών ThermoWood μετά από 1 μήνα έκθεσης			
Thermo		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	62,37	4,50	29,92
2	58,89	4,06	32,26
3	63,06	4,21	30,25
4	59,33	4,50	30,63
5	63,08	4,70	29,77
Thermo		2	Nano 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	64,66	3,55	26,70
2	63,60	3,85	28,96
3	63,14	3,56	26,42
4	60,71	3,97	27,05
5	61,56	4,54	27,79
Thermo		3	Nano 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	66,25	4,61	23,12
2	64,68	3,91	24,52
3	63,61	3,46	26,81
4	68,42	4,04	24,74
5	61,75	4,22	25,60
Thermo		4	Nano 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	66,55	4,75	30,22
2	62,60	4,20	32,80
3	61,53	4,26	30,03
4	59,19	3,92	31,64
5	58,63	3,81	31,53
Thermo		5	Nano 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	61,69	3,98	30,62
2	63,10	3,73	28,68
3	63,75	4,11	28,06
4	59,10	3,63	30,20
5	61,88	4,28	28,84

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών ThermoWood μετά από 2 μήνες έκθεσης			
Thermo		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	65,17	2,96	22,06
2	62,25	2,26	24,79
3	65,53	3,27	21,77
4	61,72	3,19	25,62
5	65,23	3,30	22,29
Thermo		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	66,52	2,44	20,96
2	66,67	2,56	20,13
3	65,62	2,14	20,64
4	63,79	2,26	20,30
5	64,72	2,97	20,31
Thermo		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	67,76	3,68	16,83
2	66,36	2,91	18,63
3	65,00	2,63	19,96
4	69,39	3,21	17,72
5	64,49	3,09	19,15
Thermo		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	68,27	3,89	22,02
2	64,57	3,19	24,61
3	63,94	2,92	22,76
4	61,61	2,54	24,63
5	61,29	2,57	24,71
Thermo		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	63,27	2,90	23,53
2	65,59	2,42	20,75
3	66,22	2,96	20,39
4	61,13	2,47	23,99
5	64,70	2,88	21,01

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών ThermoWood μετά από 3 μήνες έκθεσης			
Thermo		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	63,50	4,28	16,65
2	60,19	2,58	20,72
3	64,02	2,69	18,39
4	60,40	4,33	19,87
5	63,07	1,89	20,52
Thermo		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	66,18	1,84	19,86
2	67,53	0,98	18,95
3	65,21	1,48	19,29
4	63,97	1,19	19,46
5	64,79	2,53	18,21
Thermo		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	65,48	2,89	14,29
2	63,93	2,03	16,55
3	61,98	2,06	17,14
4	66,36	3,73	14,14
5	62,01	2,64	16,03
Thermo		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	65,68	6,12	14,80
2	62,31	2,34	20,62
3	61,24	1,80	19,72
4	59,91	1,60	21,42
5	59,18	1,49	21,61
Thermo		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	61,70	2,94	18,98
2	63,83	3,24	16,02
3	64,37	2,31	17,04
4	58,61	1,50	21,03
5	62,20	1,88	17,92

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών ThermoWood μετά από 6 μήνες έκθεσης			
Thermo		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	61,14	4,99	15,05
2	58,31	6,56	15,76
3	62,10	3,63	17,44
4	58,02	4,78	19,37
5	63,19	1,55	18,29
Thermo		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	64,38	3,18	16,41
2	66,01	3,62	13,63
3	62,77	4,15	12,82
4	61,91	2,65	15,35
5	62,56	3,63	14,57
Thermo		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	63,81	5,11	12,87
2	63,19	2,36	15,49
3	61,35	2,77	16,73
4	64,32	2,42	15,09
5	60,83	3,68	15,25
Thermo		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	64,26	4,52	14,34
2	61,38	2,59	18,70
3	61,05	2,79	17,06
4	58,39	5,78	16,85
5	58,46	3,07	17,55
Thermo		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	59,95	1,65	17,23
2	61,94	3,73	13,25
3	63,47	4,62	14,77
4	58,36	3,03	16,39
5	60,31	1,83	17,16

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών ThermoWood μετά από 9 μήνες έκθεσης			
Thermo		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	57,16	2,16	22,18
2	54,88	2,22	22,48
3	59,39	2,41	20,63
4	56,59	2,90	22,92
5	58,71	1,18	21,80
Thermo		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	57,19	3,12	20,87
2	57,18	3,61	21,47
3	53,95	3,34	18,62
4	53,22	3,35	20,45
5	53,74	6,75	16,90
Thermo		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	62,40	5,88	13,75
2	61,19	1,15	17,61
3	57,38	2,19	20,42
4	60,49	2,91	14,71
5	57,29	5,08	16,03
Thermo		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	60,52	6,81	12,45
2	59,36	1,28	21,20
3	57,52	2,57	19,06
4	52,98	6,71	17,69
5	52,83	1,28	20,78
Thermo		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	55,04	0,76	20,97
2	54,85	1,67	18,63
3	62,88	1,68	18,85
4	54,55	-0,22	20,40
5	55,94	1,76	20,16

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών PlatoWood πριν την έκθεση			
Plato		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	41,98	8,71	26,90
2	42,64	9,33	28,88
3	41,65	9,53	25,70
4	41,64	10,53	26,08
5	40,11	10,15	24,98
Plato		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	45,81	9,42	29,08
2	39,56	8,52	24,32
3	44,99	10,13	24,70
4	42,55	9,36	25,60
5	39,84	10,64	23,51
Plato		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	44,06	10,36	23,53
2	43,25	9,80	24,23
3	49,63	9,08	25,59
4	46,81	8,13	24,89
5	46,82	7,95	26,34
Plato		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	40,40	8,22	26,97
2	34,75	8,89	23,28
3	41,55	9,76	27,94
4	35,38	9,04	23,75
5	41,92	8,15	28,68
Plato		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	42,97	8,70	29,01
2	40,55	11,44	25,70
3	42,29	8,54	28,82
4	41,96	8,50	28,15
5	44,35	8,21	30,17

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών PlatoWood μετά από 1 μήνα έκθεσης			
Plato		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	60,25	3,87	27,29
2	62,03	3,28	26,90
3	59,79	3,90	25,61
4	62,33	4,33	25,36
5	60,01	3,49	22,15
Plato		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	63,18	3,80	26,13
2	60,04	3,34	22,77
3	61,54	4,80	21,45
4	62,58	3,66	23,55
5	58,95	4,68	22,13
Plato		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	65,78	3,29	19,98
2	63,43	4,26	22,60
3	66,87	3,79	22,81
4	61,71	3,40	22,97
5	64,60	2,31	21,72
Plato		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	58,30	3,57	27,00
2	53,63	4,53	25,78
3	59,22	4,57	26,84
4	55,40	3,93	25,52
5	57,11	3,68	27,26
Plato		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	59,88	3,66	26,69
2	62,76	4,96	25,03
3	62,02	2,99	24,92
4	60,15	3,60	26,85
5	61,59	3,40	27,84

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών PlatoWood μετά από 2 μήνες έκθεσης			
Plato		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	63,86	2,36	21,18
2	66,08	1,68	19,20
3	63,54	2,32	19,28
4	66,44	2,65	17,64
5	65,15	1,62	14,74
Plato		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	67,45	2,03	18,14
2	65,18	1,45	16,98
3	64,65	3,61	16,31
4	66,00	1,48	19,39
5	64,01	3,00	16,44
Plato		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	68,33	1,96	14,12
2	66,50	2,78	15,90
3	69,11	2,59	16,31
4	64,36	2,57	17,94
5	66,28	1,47	16,19
Plato		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	61,86	2,07	20,30
2	58,45	2,67	19,88
3	63,52	2,80	19,57
4	60,85	2,08	19,74
5	60,61	2,36	21,15
Plato		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	62,91	2,20	20,34
2	66,60	3,22	16,89
3	65,58	1,68	17,09
4	63,64	2,23	20,28
5	64,50	2,48	20,87

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών PlatoWood μετά από 3 μήνες έκθεσης			
Plato		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	64,75	1,96	17,88
2	67,17	0,57	15,91
3	64,36	1,28	16,81
4	67,34	1,79	14,63
5	66,55	0,38	12,18
Plato		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	70,42	0,71	15,35
2	68,19	0,80	14,04
3	66,65	2,80	13,61
4	68,33	0,08	17,65
5	66,19	1,05	13,57
Plato		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	68,46	0,82	12,11
2	67,26	2,16	12,75
3	68,68	2,30	13,10
4	63,39	3,18	13,92
5	66,75	1,09	13,36
Plato		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	62,84	3,81	13,85
2	59,72	3,65	14,85
3	63,95	1,81	15,87
4	62,65	0,98	17,40
5	61,85	2,20	17,04
Plato		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	63,32	3,58	14,74
2	65,97	2,87	14,16
3	65,51	2,18	12,65
4	64,49	2,01	15,67
5	64,25	1,65	17,16

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών PlatoWood μετά από 6 μήνες έκθεσης			
Plato		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	64,52	3,17	13,17
2	65,65	2,29	14,04
3	62,89	2,01	11,32
4	64,70	2,01	12,36
5	64,21	0,53	10,70
Plato		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	69,62	0,79	10,68
2	69,23	2,12	9,27
3	66,39	2,14	8,12
4	67,06	1,93	10,15
5	66,69	1,61	7,38
Plato		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	66,95	1,63	10,92
2	65,47	1,90	11,70
3	66,14	2,02	11,70
4	62,16	1,73	11,52
5	64,44	1,35	12,10
Plato		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	60,49	1,15	12,18
2	58,72	1,76	11,87
3	62,96	1,28	11,71
4	61,27	1,62	11,13
5	59,16	0,86	12,33
Plato		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	62,39	2,17	11,59
2	64,46	3,29	13,92
3	64,86	1,15	11,61
4	61,78	1,99	13,50
5	61,31	1,59	12,70

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών PlatoWood μετά από 9 μήνες έκθεσης			
Plato		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	63,12	1,63	15,30
2	65,05	0,10	15,55
3	59,82	1,01	12,80
4	64,02	5,13	7,74
5	63,42	-0,40	13,21
Plato		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	63,52	4,55	10,68
2	64,30	3,74	11,45
3	62,99	3,59	9,42
4	61,35	3,14	12,49
5	60,79	4,25	11,13
Plato		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	67,61	1,92	11,81
2	65,00	1,68	12,27
3	68,92	3,10	10,06
4	62,87	2,53	11,51
5	64,06	1,25	14,38
Plato		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	60,65	3,22	9,24
2	56,88	3,35	10,19
3	61,61	1,81	10,61
4	59,43	0,45	12,31
5	55,80	2,83	10,53
Plato		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	61,76	3,36	10,30
2	66,08	2,21	14,59
3	65,30	1,09	11,36
4	63,42	1,56	13,53
5	62,06	2,45	11,13

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών KebonyWood πριν την έκθεση			
Kebony		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	24,30	4,02	12,48
2	26,27	5,49	14,17
3	25,52	3,22	13,58
4	25,37	3,60	15,24
5	25,03	2,59	14,17
Kebony		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	25,79	5,63	11,87
2	25,83	3,82	12,90
3	25,77	4,02	11,81
4	25,34	3,78	12,49
5	26,35	3,19	14,65
Kebony		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	25,72	3,32	9,86
2	27,57	4,66	10,26
3	26,30	4,15	9,93
4	28,28	4,84	9,28
5	28,31	5,48	10,69
Kebony		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	25,07	5,03	12,55
2	24,97	4,40	12,12
3	24,46	4,29	11,66
4	25,41	2,90	13,49
5	24,99	3,19	13,68
Kebony		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	25,88	1,72	15,10
2	25,82	2,76	14,49
3	25,45	5,60	10,50
4	27,25	7,23	12,59
5	25,50	4,35	12,26

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών KebonyWood μετά από 1 μήνα έκθεσης			
Kebony		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	40,00	1,38	17,51
2	43,69	3,66	20,88
3	41,44	1,42	20,95
4	41,30	0,47	20,06
5	40,09	0,64	18,93
Kebony		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	41,75	1,90	16,11
2	40,50	0,78	15,94
3	42,81	3,53	19,15
4	42,72	2,54	18,06
5	43,71	1,89	18,88
Kebony		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	43,58	1,76	17,68
2	44,61	4,18	16,60
3	44,62	2,40	17,95
4	47,82	3,12	17,98
5	47,18	2,30	17,39
Kebony		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	44,39	4,39	21,69
2	42,28	2,00	20,57
3	41,30	2,54	20,37
4	40,54	0,55	18,04
5	40,52	1,02	18,20
Kebony		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	41,21	0,91	18,43
2	40,51	1,00	18,64
3	43,68	3,58	19,38
4	47,25	4,51	22,77
5	41,71	2,03	20,19

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών KebonyWood μετά από 2 μήνες έκθεσης			
Kebony		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	46,39	0,99	15,34
2	50,71	3,79	21,25
3	47,12	1,24	20,07
4	46,58	0,41	18,80
5	45,17	0,38	18,24
Kebony		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	47,61	2,36	14,97
2	45,76	0,24	14,76
3	48,93	3,58	19,81
4	48,81	2,63	18,27
5	49,19	2,66	19,09
Kebony		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	49,47	1,30	16,16
2	50,95	4,02	17,18
3	50,33	1,85	16,75
4	53,52	2,78	17,15
5	52,46	1,38	15,06
Kebony		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	50,89	4,40	20,57
2	48,07	1,33	18,30
3	47,67	2,08	19,20
4	45,29	0,60	17,28
5	45,79	1,06	16,99
Kebony		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	46,61	1,25	17,75
2	45,71	0,84	17,62
3	48,53	2,94	16,82
4	53,30	4,04	20,80
5	47,59	1,21	18,00

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών KebonyWood μετά από 3 μήνες έκθεσης			
Kebony		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	47,34	2,02	13,76
2	53,04	2,78	19,61
3	48,85	2,23	19,17
4	48,50	1,47	17,87
5	47,38	1,61	17,93
Kebony		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	49,74	1,60	14,67
2	47,41	-0,25	15,28
3	52,20	3,72	21,03
4	51,92	3,47	18,93
5	52,07	3,39	19,45
Kebony		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	50,07	2,43	13,18
2	53,17	5,19	15,75
3	51,01	2,86	14,32
4	54,15	2,79	16,10
5	52,45	1,44	13,68
Kebony		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	53,18	4,85	17,54
2	49,48	2,18	15,85
3	49,37	2,61	16,83
4	47,05	0,84	16,97
5	47,79	1,07	16,97
Kebony		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	48,67	1,94	16,27
2	48,12	1,88	15,85
3	50,59	2,87	15,09
4	55,40	3,99	18,18
5	49,20	1,55	16,30

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών KebonyWood μετά από 6 μήνες έκθεσης			
Kebony		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	50,85	2,11	13,67
2	58,39	3,70	15,99
3	52,56	3,03	18,10
4	52,17	2,29	16,85
5	49,80	2,36	16,89
Kebony		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	51,18	3,71	12,53
2	49,78	1,67	13,81
3	57,36	4,90	16,46
4	54,89	4,20	16,23
5	56,65	4,37	16,27
Kebony		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	51,97	3,66	12,14
2	56,52	5,48	14,78
3	53,36	4,50	12,77
4	57,70	4,00	14,74
5	53,28	2,58	12,09
Kebony		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	55,98	4,36	14,83
2	52,00	2,54	15,95
3	51,32	3,38	14,31
4	50,32	2,86	15,76
5	51,83	2,71	15,30
Kebony		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	52,19	4,23	13,86
2	50,49	4,19	12,52
3	51,46	3,53	12,93
4	57,90	3,88	14,66
5	51,29	2,44	14,11

Πρωτόκολλο Χρώματος δοκιμών KebonyWood μετά από 9 μήνες έκθεσης			
Kebony		1	Control
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	45,30	7,09	13,03
2	51,03	5,61	15,20
3	47,04	4,91	21,38
4	45,50	4,52	18,91
5	43,47	4,61	18,44
Kebony		2	Νανο 1
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	41,81	7,12	15,76
2	42,08	5,14	15,39
3	49,97	7,40	19,77
4	48,17	7,32	19,61
5	49,73	7,16	20,40
Kebony		3	Νανο 2
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	45,48	4,03	15,36
2	50,22	7,05	18,18
3	46,14	4,77	16,62
4	51,40	5,89	18,33
5	46,09	4,21	14,81
Kebony		4	Νανο 3
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	49,67	7,06	17,06
2	44,56	5,95	17,18
3	43,92	4,81	17,80
4	42,74	4,39	18,26
5	44,83	4,93	17,48
Kebony		5	Νανο 4
A/A	Χρώμα		
	L*	a*	b*
1	45,62	5,67	17,63
2	42,91	4,90	15,86
3	44,99	5,26	14,52
4	51,58	5,69	17,27
5	45,08	4,53	16,32

	Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Πεύκου ΔΕ* μετά από 1 μήνα έκθεσης								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A/A	control	Νανο 1 Π	Νανο 2 Π	Νανο 3 Π	Νανο 4 Π	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	16,14	9,26	7,93	12,88	12,37	10,35	9,96	14,56	12,16
2	13,51	9,58	9,43	12,89	12,84	9,99	9,66	13,73	13,80
3	11,69	8,76	8,48	13,11	11,40	10,11	8,76	13,04	12,35
4	11,99	10,31	7,80	12,63	10,74	10,20	10,83	13,08	12,42
5	12,42	9,17	7,46	12,94	11,72	9,38	10,60	12,94	13,14
6	12,54	9,85	7,23	14,40	12,05	10,51	8,86	12,93	13,70
7	11,25								
8	12,18								
9	12,03								
10	12,52								
11	11,67								
12	11,81								
Avg	12,48	9,49	8,06	13,14	11,85	10,09	9,78	13,38	12,93
Max	16,14	10,31	9,43	14,40	12,84	10,51	10,83	14,56	13,80
Min	11,25	8,76	7,23	12,63	10,74	9,38	8,76	12,93	12,16
s	1,23	0,50	0,73	0,58	0,68	0,36	0,79	0,59	0,65

	Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Έλατου ΔΕ* μετά από 3 μήνες έκθεσης								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A/A	control	Νανο 1 Π	Νανο 2 Π	Νανο 3 Π	Νανο 4 Π	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	13,84	9,95	7,99	11,23	11,22	10,80	9,91	12,65	11,56
2	11,09	9,96	9,53	11,73	11,88	10,56	9,93	11,09	11,89
3	10,94	11,78	10,58	10,90	11,37	11,85	9,08	12,19	12,45
4	11,57	11,07	9,38	12,85	9,06	11,22	11,06	11,76	12,06
5	12,29	10,38	9,02	13,05	11,24	12,74	10,51	10,39	13,42
6	12,62	11,12	9,45	11,71	11,23	11,38	10,29	12,51	13,08
7	12,21								
8	12,44								
9	11,07								
10	11,20								
11	11,73								
12	10,62								
Avg	11,80	10,71	9,32	11,91	11,00	11,43	10,13	11,77	12,41
Max	13,84	11,78	10,58	13,05	11,88	12,74	11,06	12,65	13,42
Min	10,62	9,95	7,99	10,90	9,06	10,56	9,08	10,39	11,56
s	0,88	0,67	0,76	0,79	0,90	0,72	0,61	0,80	0,66

	Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Έλατου ΔΕ* μετά από 6 μήνες έκθεσης								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A/A	control	Νανο 1 Π	Νανο 2 Π	Νανο 3 Π	Νανο 4 Π	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	23,49	16,46	16,69	20,92	20,15	18,21	21,83	23,98	20,84
2	19,35	15,28	16,48	18,17	23,53	16,82	18,09	18,70	24,66
3	18,78	16,72	18,25	15,27	17,70	20,08	17,84	20,50	19,93
4	24,02	17,00	20,09	19,56	14,70	20,73	19,45	21,26	21,99
5	27,13	13,79	17,64	19,70	19,54	17,99	21,61	19,65	21,77
6	20,82	16,53	18,82	22,40	19,53	17,43	18,47	20,02	26,34
7	23,49								
8	22,76								
9	21,91								
10	25,95								
11	21,48								
12	24,93								
Avg	22,84	15,96	17,99	19,34	19,19	18,54	19,55	20,68	22,59
Max	27,13	17,00	20,09	22,40	23,53	20,73	21,83	23,98	26,34
Min	18,78	13,79	16,48	15,27	14,70	16,82	17,84	18,70	19,93
s	2,42	1,11	1,24	2,24	2,66	1,40	1,62	1,67	2,22

	Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Έλατου ΔΕ* μετά από 10 μήνες έκθεσης								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A/A	control	Νανο 1 Π	Νανο 2 Π	Νανο 3 Π	Νανο 4 Π	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	30,19	19,26	20,41	25,14	25,62	24,22	25,72	32,61	28,11
2	24,19	18,73	20,70	22,03	29,66	20,91	21,63	23,18	32,64
3	23,98	23,86	23,42	18,86	21,45	25,22	21,00	26,64	27,57
4	30,81	22,86	24,65	24,97	17,91	27,68	23,95	25,25	28,41
5	30,02	16,14	21,59	24,32	22,48	22,94	24,79	24,69	28,19
6	28,55	20,80	24,38	27,05	24,64	21,01	24,57	25,79	31,90
7	27,82								
8	28,22								
9	29,06								
10	28,40								
11	27,78								
12	29,14								
Avg	28,18	20,27	22,53	23,73	23,62	23,66	23,61	26,36	29,47
Max	30,81	23,86	24,65	27,05	29,66	27,68	25,72	32,61	32,64
Min	23,98	16,14	20,41	18,86	17,91	20,91	21,00	23,18	27,57
s	2,04	2,59	1,70	2,63	3,65	2,38	1,71	2,99	2,01

	Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Έλατου ΔΕ* μετά από 1 μήνα έκθεσης								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A/A	control	Νανο 1 Π	Νανο 2 Π	Νανο 3 Π	Νανο 4 Π	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	19,21	14,03	9,36	20,98	16,07	15,46	11,28	18,59	16,10
2	19,76	13,55	11,11	21,06	14,14	14,06	12,25	20,90	15,68
3	19,61	13,72	10,14	18,31	13,95	11,93	11,94	18,47	15,15
4	19,24	13,40	9,98	21,71	13,58	13,60	13,29	19,45	16,23
5	19,45	13,24	10,69	19,69	15,08	14,06	13,50	17,43	16,59
6	19,84	13,67	10,32	18,92	15,70	14,14	11,45	19,96	16,19
7	19,72								
8	19,50								
9	20,42								
10	17,11								
11	17,56								
12	15,62								
Avg	18,92	13,60	10,27	20,11	14,75	13,87	12,28	19,13	15,99
Max	20,42	14,03	11,11	21,71	16,07	15,46	13,50	20,90	16,59
Min	15,62	13,24	9,36	18,31	13,58	11,93	11,28	17,43	15,15
s	1,35	0,25	0,55	1,23	0,93	1,04	0,85	1,12	0,46

	Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Έλατου ΔΕ* μετά από 3 μήνες έκθεσης								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A/A	control	Νανο 1 Π	Νανο 2 Π	Νανο 3 Π	Νανο 4 Π	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	12,59	10,69	8,77	12,95	12,98	11,04	9,17	11,65	10,79
2	12,18	11,80	8,98	13,27	9,50	11,47	10,41	12,36	10,75
3	12,67	12,63	8,91	12,61	9,47	9,48	10,90	11,96	10,74
4	11,10	11,43	9,81	13,89	9,18	11,48	10,63	12,91	10,33
5	12,69	10,38	9,19	12,38	11,66	10,96	9,57	9,72	10,96
6	12,71	12,24	9,17	11,73	10,34	11,43	10,44	13,53	11,67
7	13,01								
8	13,18								
9	13,78								
10	12,40								
11	10,82								
12	11,41								
Avg	12,38	11,53	9,14	12,81	10,52	10,98	10,19	12,02	10,87
Max	13,78	12,63	9,81	13,89	12,98	11,48	10,90	13,53	11,67
Min	10,82	10,38	8,77	11,73	9,18	9,48	9,17	9,72	10,33
s	0,84	0,80	0,33	0,68	1,37	0,70	0,61	1,20	0,40

	Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Έλατου ΔΕ* μετά από 6 μήνες έκθεσης								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A/A	control	Νανο 1 Π	Νανο 2 Π	Νανο 3 Π	Νανο 4 Π	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	16,80	14,59	14,38	16,13	20,16	15,97	15,49	14,88	15,42
2	16,77	17,31	15,78	14,48	14,62	16,48	17,38	14,77	15,40
3	17,15	17,65	14,18	17,16	14,81	14,51	18,00	14,87	17,45
4	14,22	14,09	14,99	18,36	15,03	15,87	19,61	16,14	14,21
5	16,00	13,52	14,61	15,23	17,15	16,07	19,33	12,76	15,61
6	17,15	17,20	14,61	16,97	17,19	15,50	18,96	18,24	18,25
7	17,43								
8	13,95								
9	16,68								
10	19,64								
11	14,05								
12	19,43								
Avg	16,60	15,73	14,76	16,39	16,49	15,73	18,13	15,28	16,06
Max	19,64	17,65	15,78	18,36	20,16	16,48	19,61	18,24	18,25
Min	13,95	13,52	14,18	14,48	14,62	14,51	15,49	12,76	14,21
s	1,78	1,69	0,52	1,28	1,95	0,62	1,41	1,65	1,37

	Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων Έλατου ΔΕ* μετά από 10 μήνες έκθεσης								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A/A	control	Νανο 1 Π	Νανο 2 Π	Νανο 3 Π	Νανο 4 Π	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	21,85	18,45	20,17	23,35	27,57	21,77	24,23	23,05	22,71
2	20,32	22,42	20,03	21,72	21,05	21,04	23,58	26,01	25,32
3	23,66	22,44	17,62	21,56	20,74	17,01	23,41	21,26	27,94
4	16,85	20,43	20,11	25,74	21,91	21,54	24,92	25,39	21,47
5	21,35	20,29	19,87	22,45	23,46	22,30	23,47	19,76	24,57
6	24,08	23,43	19,28	23,95	24,44	21,21	24,88	26,75	25,07
7	28,10								
8	19,74								
9	23,04								
10	25,91								
11	17,76								
12	26,12								
Avg	22,40	21,24	19,51	23,13	23,19	20,81	24,08	23,70	24,51
Max	28,10	23,43	20,17	25,74	27,57	22,30	24,92	26,75	27,94
Min	16,85	18,45	17,62	21,56	20,74	17,01	23,41	19,76	21,47
s	3,27	1,68	0,90	1,44	2,35	1,75	0,64	2,56	2,05

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων ThermoWood ΔΕ* μετά από 1 μήνα έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	18,62	17,17	18,54	15,03	18,26
2	17,65	18,27	17,34	15,41	19,49
3	18,88	18,89	15,50	18,03	20,21
4	16,79	18,43	17,96	16,93	15,55
5	17,11	17,93	16,43	16,29	19,70
Avg	17,81	18,14	17,15	16,34	18,64
Max	18,88	18,89	18,54	18,03	20,21
Min	16,79	17,17	15,50	15,03	15,55
s	0,82	0,58	1,08	1,07	1,67

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων ThermoWood ΔΕ* μετά από 2 μήνες έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	24,40	21,35	22,28	20,32	21,27
2	23,40	24,60	21,26	20,40	24,92
3	24,14	23,42	19,85	22,68	25,41
4	20,85	23,65	22,15	21,36	19,77
5	22,39	23,67	21,20	21,03	24,77
Avg	23,03	23,34	21,35	21,16	23,23
Max	24,40	24,60	22,28	22,68	25,41
Min	20,85	21,35	19,85	20,32	19,77
s	1,30	1,07	0,87	0,86	2,27

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων ThermoWood ΔΕ* μετά από 3 μήνες έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	25,88	21,85	22,06	23,21	21,92
2	23,69	26,41	20,75	21,51	25,99
3	24,97	23,92	19,67	22,44	25,97
4	22,37	24,54	22,18	21,89	19,84
5	22,27	24,88	20,94	21,34	24,53
Avg	23,83	24,32	21,12	22,08	23,65
Max	25,88	26,41	22,18	23,21	25,99
Min	22,27	21,85	19,67	21,34	19,84
s	1,42	1,48	0,93	0,68	2,41

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων ThermoWood ΔΕ* μετά από 6 μήνες έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	25,26	22,16	21,02	23,29	22,23
2	24,85	27,72	20,75	22,23	26,50
3	23,89	25,07	19,35	23,54	26,03
4	20,90	24,45	20,69	22,34	22,26
5	23,89	24,98	20,23	22,83	23,57
Avg	23,76	24,88	20,41	22,85	24,12
Max	25,26	27,72	21,02	23,54	26,50
Min	20,90	22,16	19,35	22,23	22,23
s	1,53	1,77	0,59	0,51	1,82

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων ThermoWood ΔΕ* μετά από 9 μήνες έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	18,71	14,68	19,25	22,97	17,61
2	18,96	16,52	18,57	19,82	19,27
3	20,53	15,87	14,56	19,97	24,09
4	18,31	15,08	18,87	18,32	18,64
5	18,95	16,95	16,90	18,02	18,86
Avg	19,09	15,82	17,63	19,82	19,69
Max	20,53	16,95	19,25	22,97	24,09
Min	18,31	14,68	14,56	18,02	17,61
s	0,76	0,85	1,73	1,76	2,27

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων PlatoWood ΔΕ* μετά από 1 μήνα έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	18,90	18,49	23,12	18,49	17,80
2	20,41	21,18	20,99	19,54	23,15
3	18,99	17,69	18,25	18,45	20,86
4	21,61	20,93	15,75	20,74	18,88
5	21,17	20,07	19,22	15,90	18,05
Avg	20,22	19,67	19,46	18,62	19,75
Max	21,61	21,18	23,12	20,74	23,15
Min	18,90	17,69	15,75	15,90	17,80
s	1,11	1,37	2,49	1,60	2,01

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων PlatoWood ΔΕ* μετά από 2 μήνες έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	23,49	25,35	27,35	23,30	22,69
2	26,49	27,57	25,68	24,74	28,70
3	23,92	22,35	22,53	24,52	26,96
4	27,36	25,51	19,68	26,71	23,90
5	28,37	26,32	22,88	20,97	22,92
Avg	25,93	25,42	23,62	24,05	25,04
Max	28,37	27,57	27,35	26,71	28,70
Min	23,49	22,35	19,68	20,97	22,69
s	1,91	1,73	2,66	1,89	2,38

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων PlatoWood ΔΕ* μετά από 3 μήνες έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	25,40	29,50	28,58	26,37	25,38
2	29,10	31,38	27,69	26,87	29,20
3	25,75	25,41	23,77	26,66	29,00
4	29,46	28,53	20,49	29,14	26,56
5	30,96	29,75	24,75	23,83	24,66
Avg	28,13	28,91	25,06	26,57	26,96
Max	30,96	31,38	28,58	29,14	29,20
Min	25,40	25,41	20,49	23,83	24,66
s	2,18	1,98	2,90	1,69	1,85

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων PlatoWood ΔΕ* μετά από 6 μήνες έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	26,97	31,30	27,55	25,93	26,89
2	28,27	33,88	26,70	27,49	27,87
3	26,73	28,23	22,70	28,17	29,33
4	28,15	29,91	21,34	29,74	25,49
5	29,62	32,60	23,60	24,85	25,23
Avg	27,95	31,18	24,38	27,24	26,96
Max	29,62	33,88	27,55	29,74	29,33
Min	26,73	28,23	21,34	24,85	25,23
s	1,04	1,98	2,37	1,71	1,52

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων PlatoWood ΔΕ* μετά από 9 μήνες έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	25,13	26,00	27,63	27,38	27,05
2	27,66	28,29	26,12	26,30	29,33
3	23,86	24,50	25,48	27,68	29,83
4	29,43	23,75	21,64	27,98	26,88
5	28,16	25,16	22,03	23,46	26,63
Avg	26,85	25,54	24,58	26,56	27,94
Max	29,43	28,29	27,63	27,98	29,83
Min	23,86	23,75	21,64	23,46	26,63
s	2,05	1,56	2,35	1,65	1,35

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων KebonyWood ΔΕ* μετά από 1 μήνα έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	16,70	16,93	19,56	21,38	15,71
2	18,76	15,29	18,19	19,41	15,37
3	17,64	18,56	20,07	19,04	20,38
4	16,93	18,29	21,46	15,97	22,61
5	15,91	17,92	20,28	16,32	18,19
Avg	17,19	17,40	19,91	18,43	18,45
Max	18,76	18,56	21,46	21,38	22,61
Min	15,91	15,29	18,19	15,97	15,37
s	0,96	1,19	1,06	2,03	2,76

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων KebonyWood ΔΕ* μετά από 2 μήνες έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	22,48	22,28	24,65	27,04	20,90
2	25,50	20,33	24,39	24,11	20,23
3	22,64	24,51	25,08	24,50	24,08
4	21,74	24,20	26,52	20,37	27,50
5	20,67	23,27	24,88	21,17	23,04
Avg	22,61	22,92	25,11	23,44	23,15
Max	25,50	24,51	26,52	27,04	27,50
Min	20,67	20,33	24,39	20,37	20,23
s	1,61	1,51	0,74	2,42	2,58

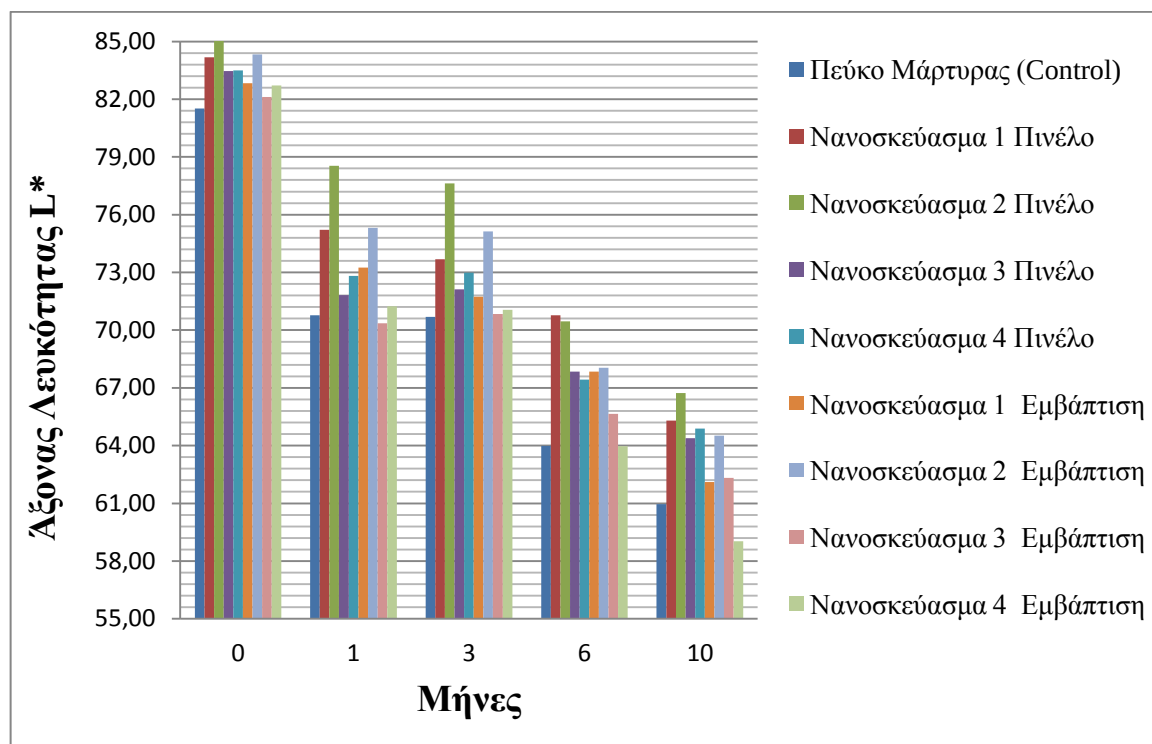
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων KebonyWood ΔΕ* μετά από 3 μήνες έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	23,16	24,45	24,59	28,55	22,82
2	27,45	22,09	26,19	24,89	22,36
3	24,01	27,99	25,13	25,50	25,70
4	23,38	27,35	26,83	22,01	28,88
5	22,69	26,16	24,66	23,13	24,20
Avg	24,14	25,61	25,48	24,82	24,79
Max	27,45	27,99	26,83	28,55	28,88
Min	22,69	22,09	24,59	22,01	22,36
s	1,71	2,13	0,89	2,24	2,35

Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων KebonyWood ΔΕ* μετά από 6 μήνες έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	26,65	25,47	26,35	31,00	26,46
2	32,22	24,06	29,31	27,36	24,79
3	27,42	31,94	27,21	27,01	26,21
4	26,88	29,79	29,93	25,01	30,90
5	24,92	30,37	25,18	26,89	25,93
Avg	27,62	28,33	27,60	27,46	26,86
Max	32,22	31,94	29,93	31,00	30,90
Min	24,92	24,06	25,18	25,01	24,79
s	2,45	3,02	1,79	1,95	2,10

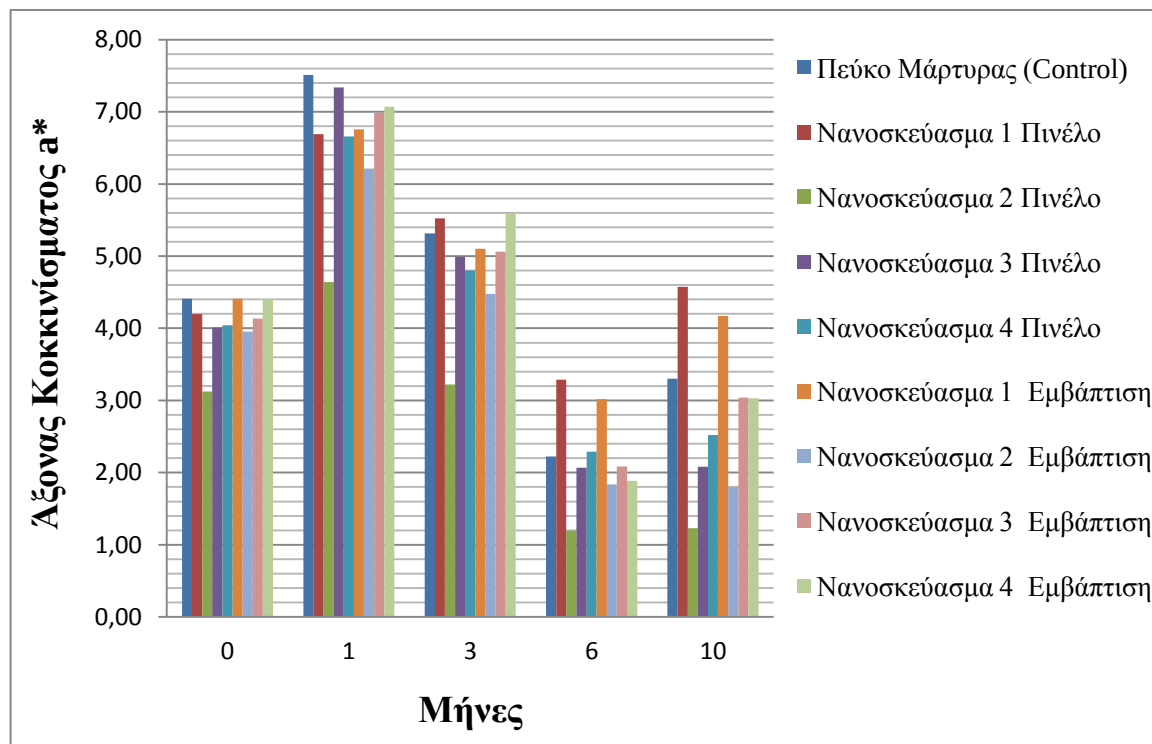
Συνολικές μεταβολές αποχρώσεων KebonyWood ΔΕ* μετά από 9 μήνες έκθεσης					
	1	2	3	4	5
A/A	control	Νανο 1 Ε	Νανο 2 Ε	Νανο 3 Ε	Νανο 4 Ε
1	21,23	16,55	20,52	25,09	20,29
2	24,78	16,49	24,11	20,29	17,28
3	22,95	25,70	20,95	20,41	19,95
4	20,48	24,18	24,85	18,04	24,82
5	19,04	24,40	18,30	20,28	20,00
Avg	21,70	21,46	21,75	20,82	20,47
Max	24,78	25,70	24,85	25,09	24,82
Min	19,04	16,49	18,30	18,04	17,28
s	1,99	4,07	2,42	2,31	2,44

Παράρτημα Β

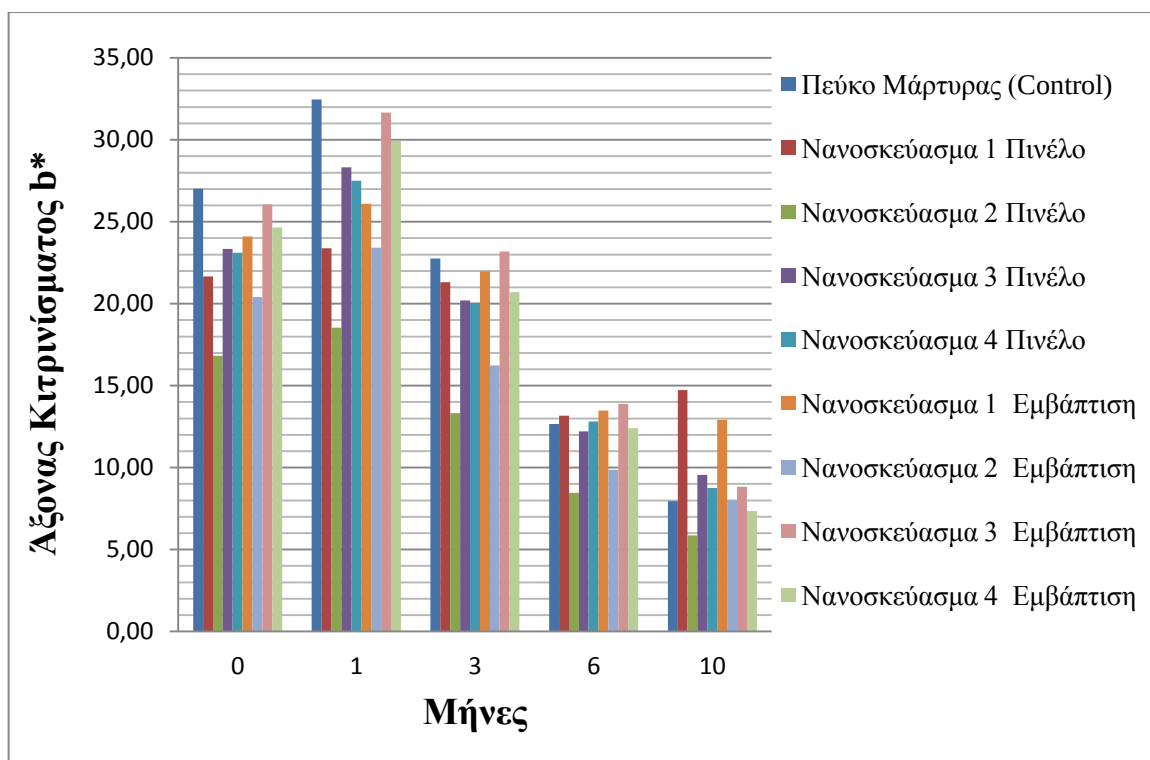
Γράφημα 1. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα L^* δοκιμίων πεύκου μετά από 10 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



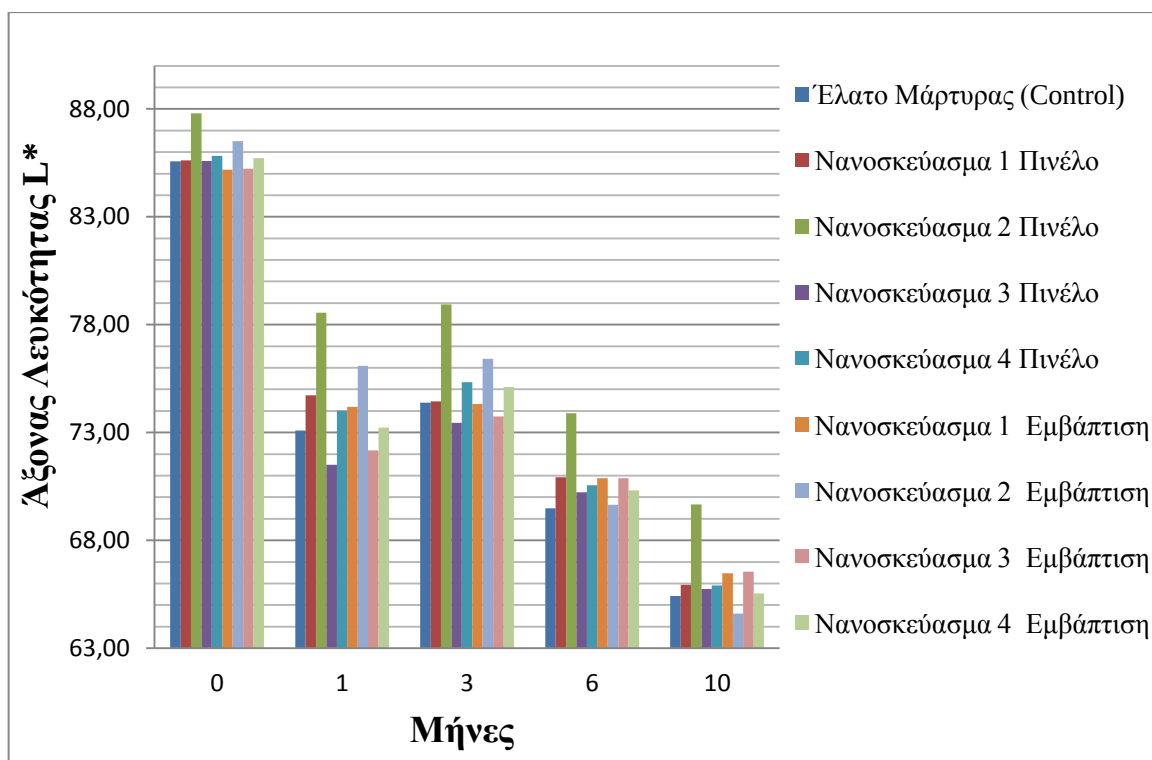
Γράφημα 2. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα a^* δοκιμίων πεύκου μετά από 10 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



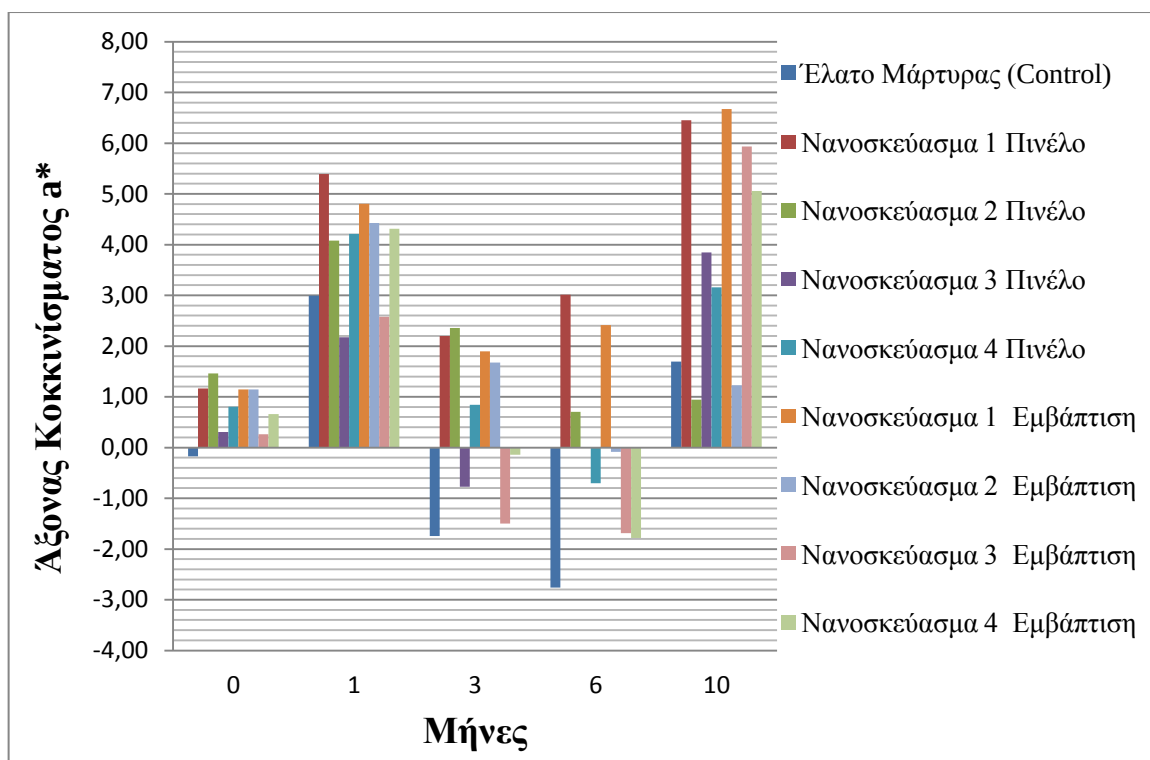
Γράφημα 3. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα b^* δοκιμίων πεύκου μετά από 10 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



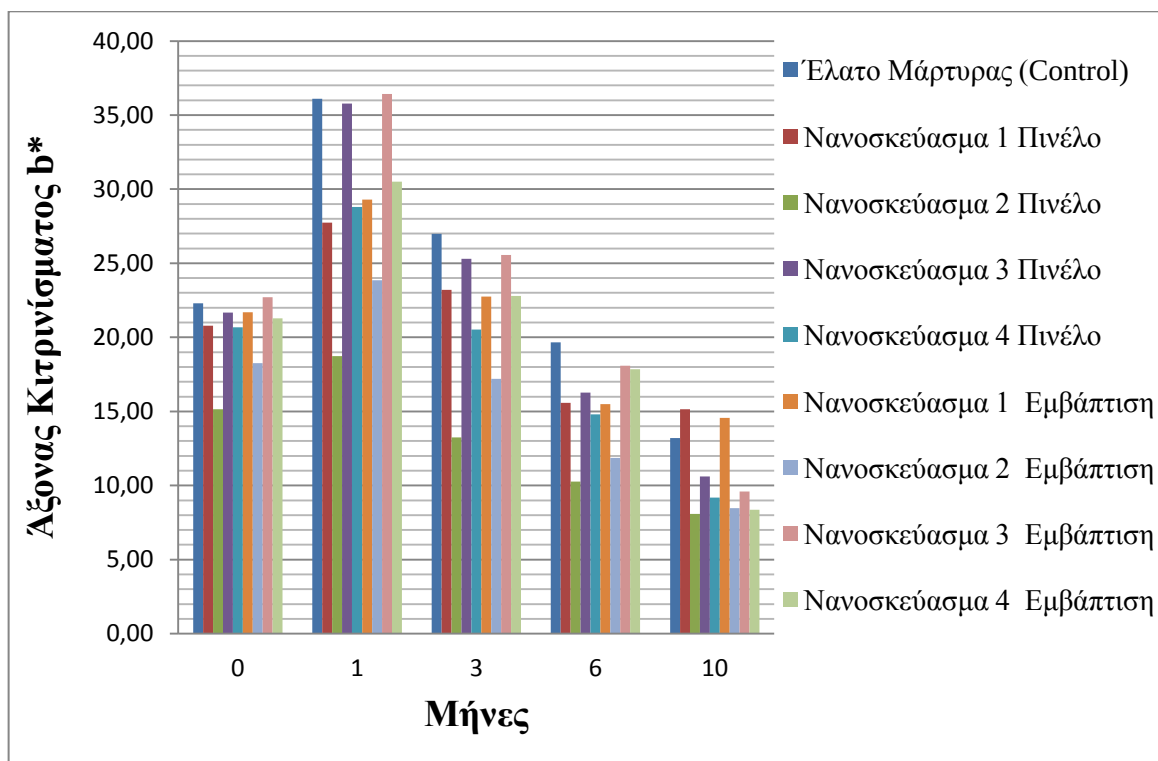
Γράφημα 4. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα L^* δοκιμίων έλατου μετά από 10 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



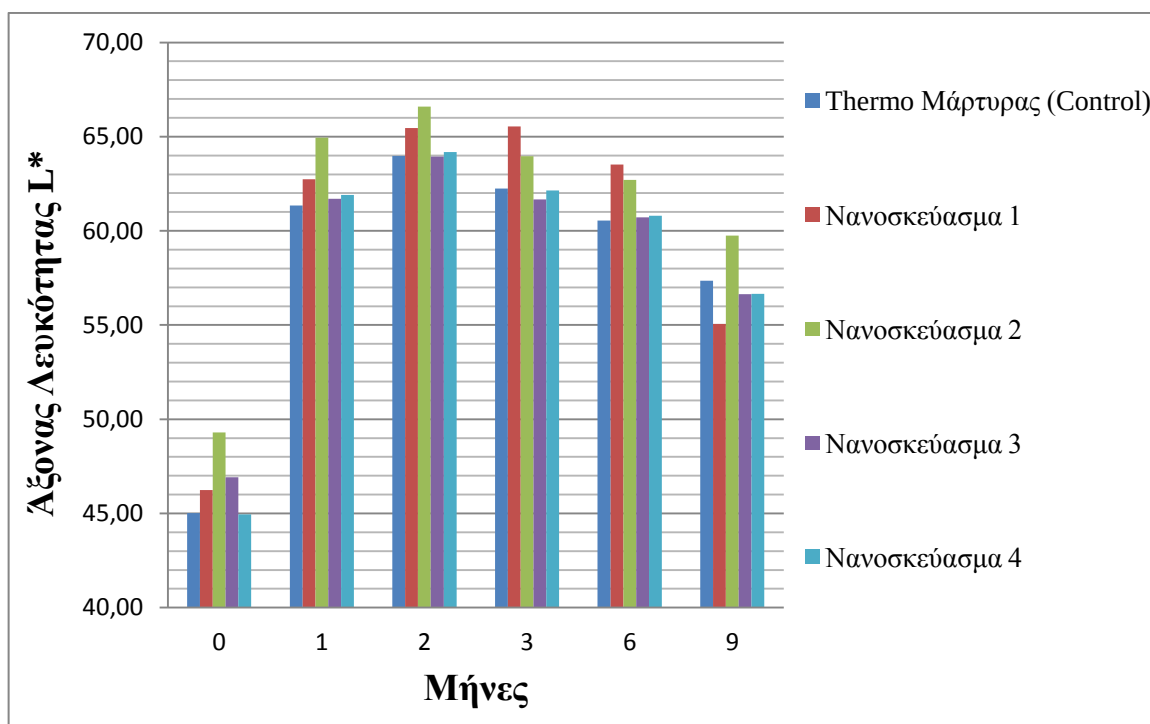
Γράφημα 5. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα a^* δοκιμίων έλατου μετά από 10 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



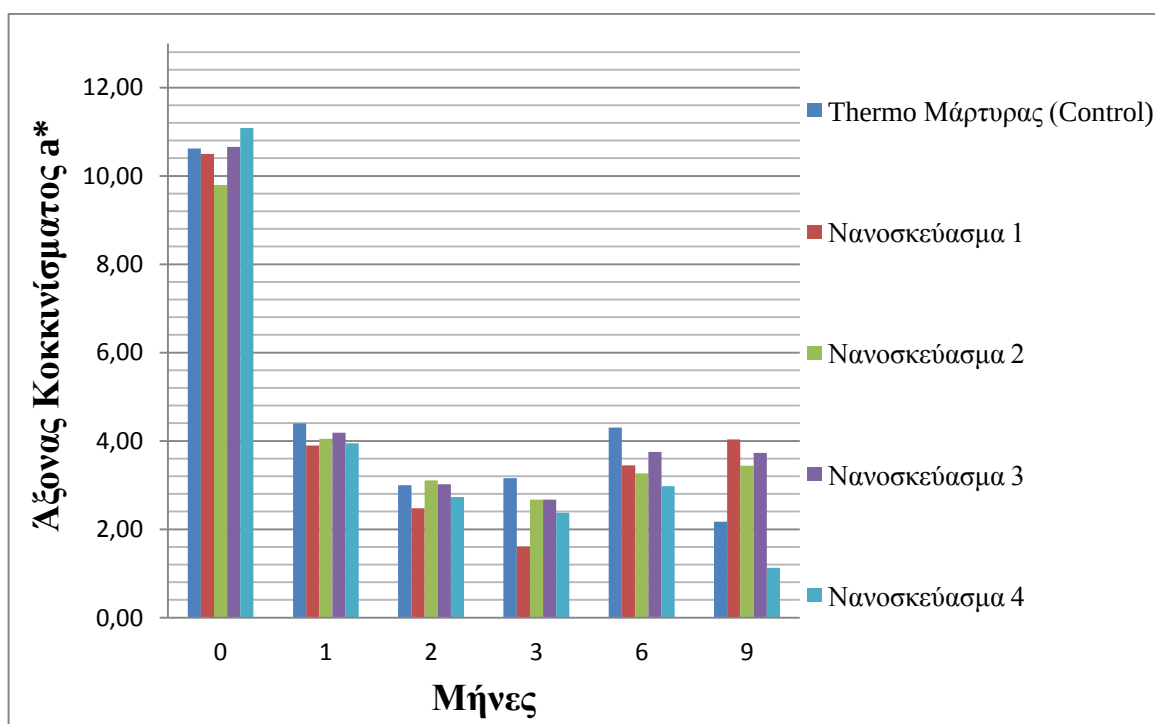
Γράφημα 6. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα b^* δοκιμίων έλατου μετά από 10 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



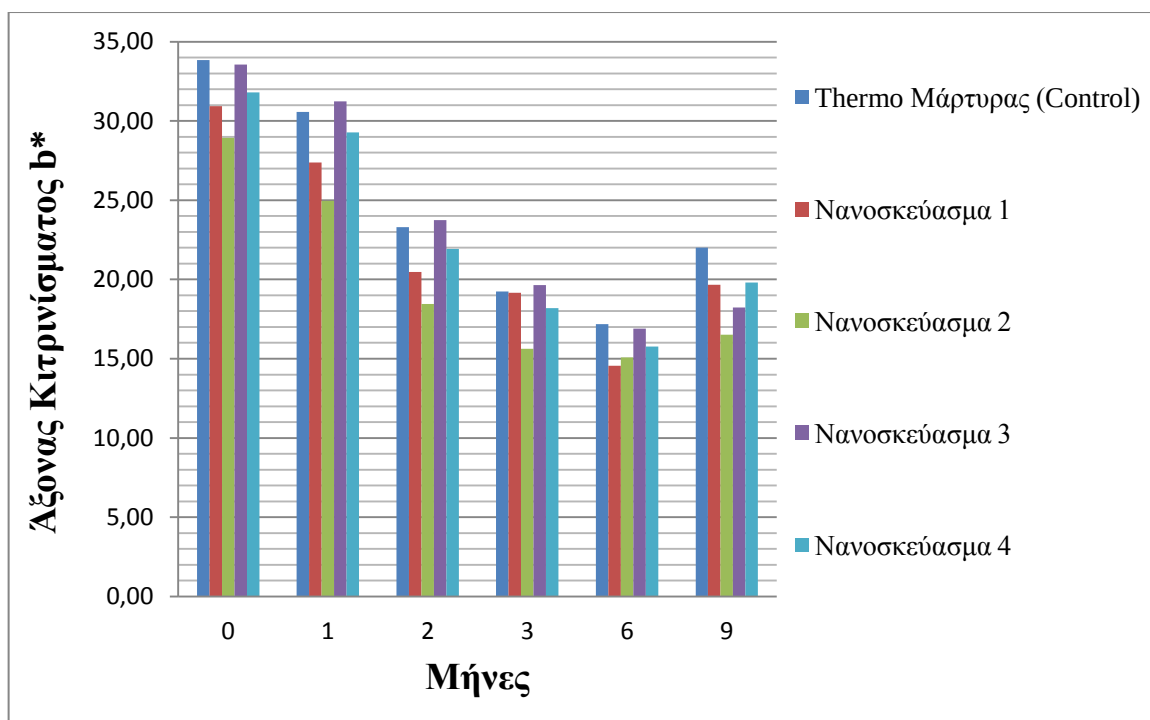
Γράφημα 7. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα L^* δοκιμίων ThermoWood μετά από 9 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



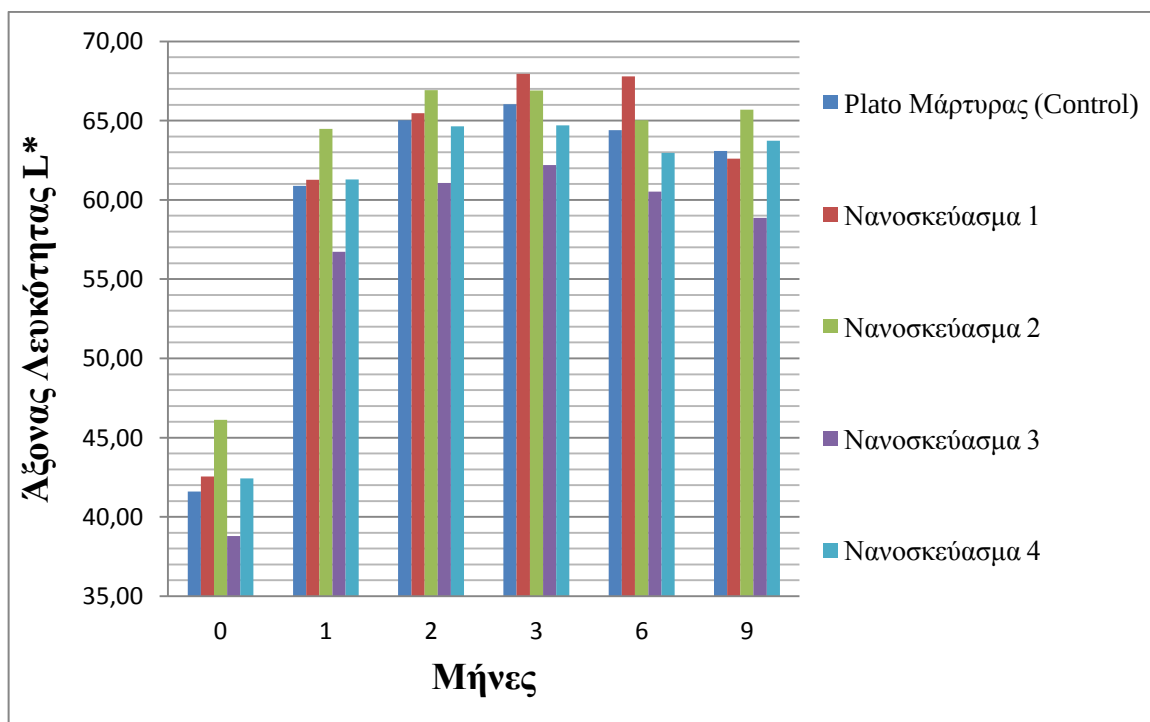
Γράφημα 8. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα a^* δοκιμίων ThermoWood μετά από 9 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



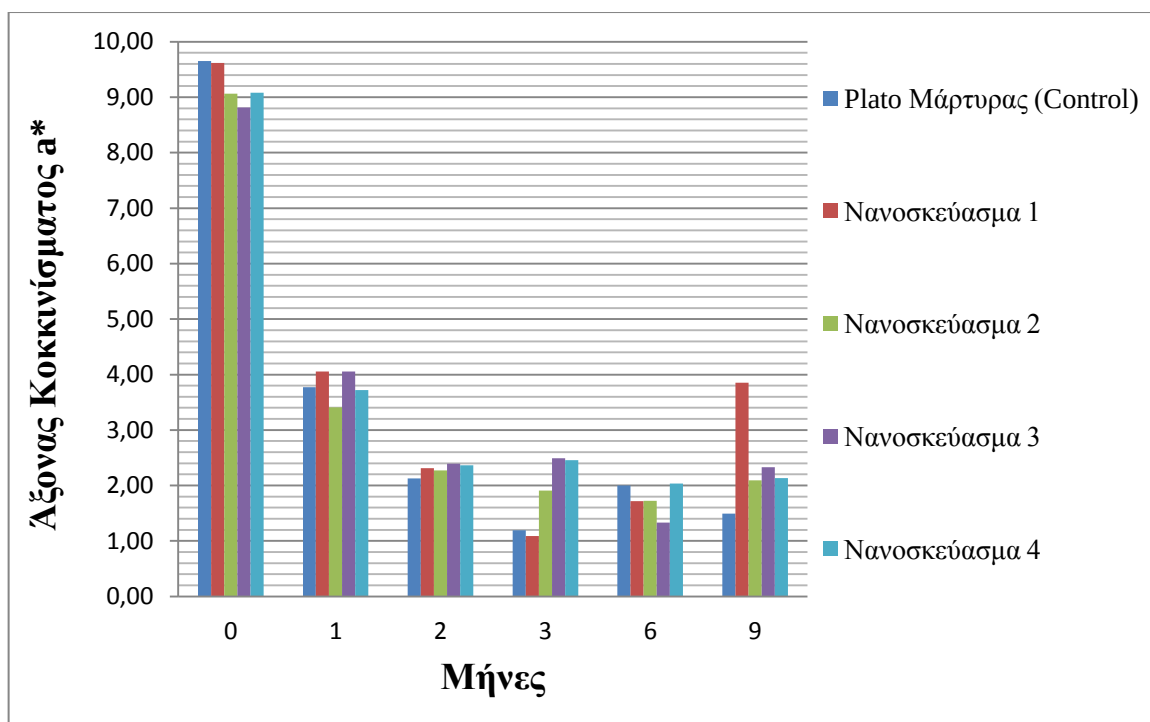
Γράφημα 9. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα b^* δοκιμίων ThermoWood μετά από 9 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



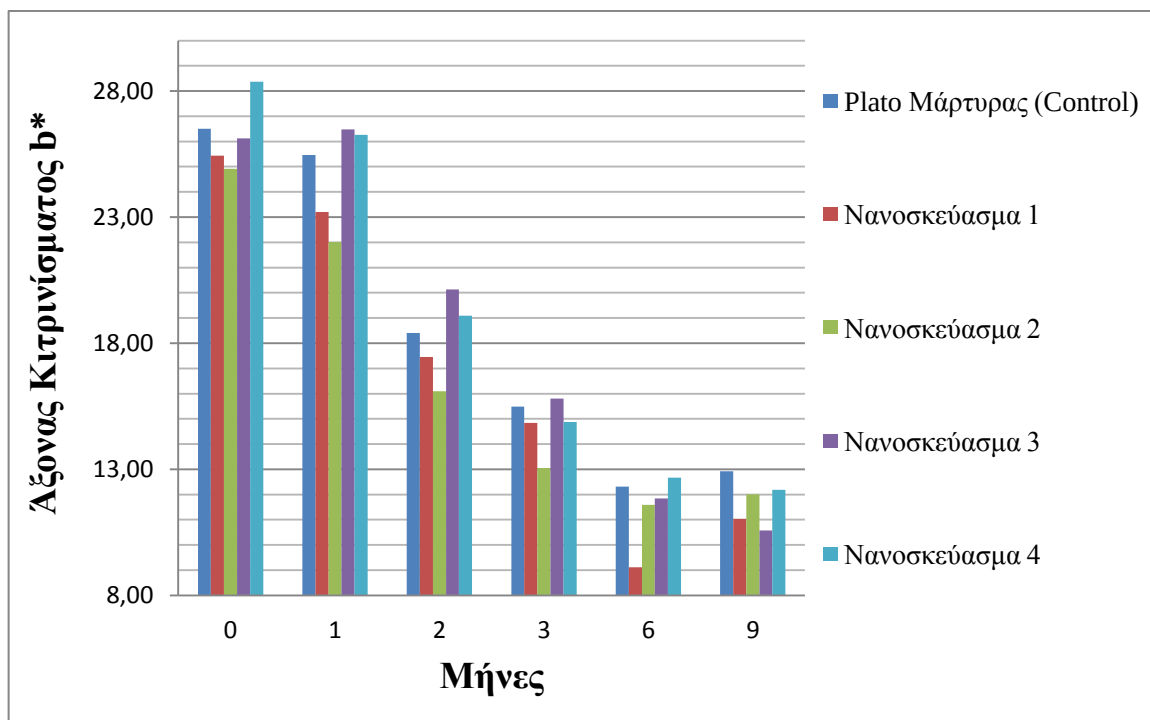
Γράφημα 10. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα L^* δοκιμίων PlatoWood μετά από 9 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



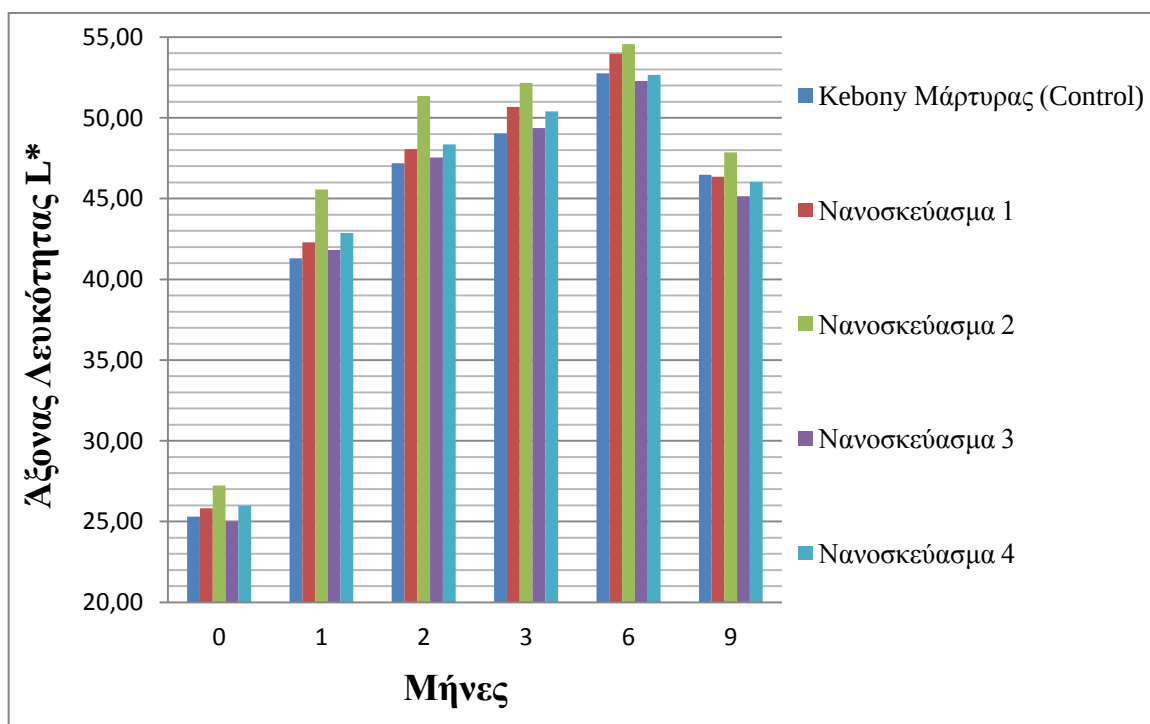
Γράφημα 11. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα a^* δοκιμίων PlatoWood μετά από 9 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



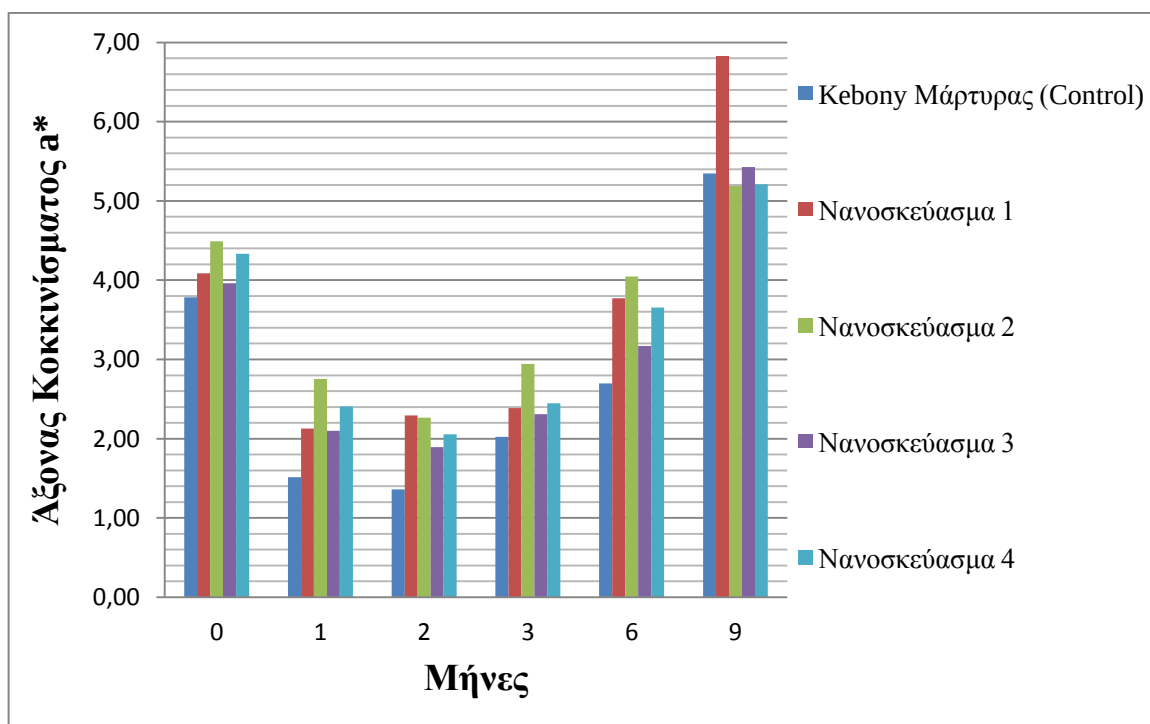
Γράφημα 12. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα b^* δοκιμίων PlatoWood μετά από 9 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



Γράφημα 13. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα L^* δοκιμίων KebonyWood μετά από 9 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



Γράφημα 14. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα a^* δοκιμίων KebonyWood μετά από 9 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.



Γράφημα 15. Μεταβολή του χρωματικού παράγοντα b^* δοκιμίων KebonyWood μετά από 9 μήνες έκθεσης στην υπεριώδη ηλιακή ακτινοβολία UV.

